Bois & forêts des tropiques

3e trimestre 2023
n° 357

Revue éditée par le Cirad
n° 357 / 3e trimestre 2023

Rédaction en chef
Kévin Candelier
Marie-France Thévenon
Jean-François Trébuchon

Rédacteurs scientifiques
Vincent Freycon
Antoine Galiana
Valéry Gond
Jean Gérard
Romain Lehnebach
Jacques Tassin

Coordination éditoriale
Jean-François Trébuchon

Comité éditorial 2023-2025
Mariem Ben Said (Maroc)
Richardson Barbosa Gomes da Silva (Brésil)
Stéphanie Carrière (France)
Pascal Danthu (France)
Chauvelin Douh (République du Congo)
Mohamed Tahar Elaieb (Tunisie)
Belkacem El Amrani (Maroc)
Gerard Nounagnon Gouwakinnou (Bénin)
Patrick Heuret (France)
Dalila Kherchouche (Algérie)
Nassima Lassouane (Algérie)
Anne Larson (Indonésie)
Lucas Jose Mazzei de Freitas (Brésil)
Bernard Mallet (France)
Jean-Yves Meyer (France)
Blandine Marie Ivette Nacoulma (Burkina Faso)
Oumeldjilali Naggar (Algérie)
Junior Ngaba (Cameroun)
Florence Bobélé Niamke (Côte d'Ivoire)
Amadé Ouédraogo (Burkina Faso)
Éric Penot (France)
Romain Pirard (Afrique du Sud)
Khelaff Rabhi (Algérie)
Josoa Randriamalala (Madagascar)
Flavio Ruffinatto (Italie)
Er-riyahi Saber (Maroc)
Boutheina Stiti (Tunisie)
Jose Antonio Sierra-Huelsz (Mexique)
Irié Casimir Zo-Bi (Côte d'Ivoire)

Graphistes
Pierre-Yves Bled

Correcteur
Jacques Bodichon

Correctrice d'épreuve en français
Tina Brognoli

Traductrices
Ilona Bossanyi, Anna Lon Quintana

Service de presse
Laurence Campas
Jean-François Trébuchon

Webmestre
Jean-François Trébuchon

Directrice de publication
Élisabeth Claverie de Saint Martin

Relecteurs ayant contribué à l'évaluation des articles en 2022/
Reviewers who have contributed to the evaluation of articles in 2022
Tancrède Alméras, Isabelle Auger, Raphael Aussenac, Roger Bayala, Ronald Bellefontaine, Kévin Candelier, Stéphanie Carrière, Marcia Carvalho, Cyrille Chatelain, Pascal Danthu, Victor Deklerck, Magalie Delalande, Liselotte Deligne, Tom Demil, Paulo André De Oliveira, Kangbéni Dimobe, Jana Dlouha, Émilien Dubiez, Yannick Estevez, Adeline Fayolle, Vincent Freycon, Antoine Galiana, Laurent Gazull, Jaurès Gbetoho, Jean Gérard, Hassen Gherbi, Valéry Gond, Gérard Nounagnon Gouwakinnou, François Wenemi Kagambèga, Christophe Kouame, Said Lahssini, Patrick Langbour, Nassima Lassouane, Romain Lehnebach, Guillaume Lescuyer, Naielly Lopes Marques, William Mala, Bernard Mallet, Bruce Manley, Jean-Noël Marien, Lucas Jose Mazzei De Freitas, Florence Bobélé Niamke, Adrien Péroches, Austint Phiri, Uday Pimple, Camille Piponiot, Josoa Randriamalala, Herizo Randrianbanona, Niry Solofonianja Rasoanaivo, Jean-Marc Roda, Vivien Rossi, Patrice Savadogo, Marie-Laure Sougoti-Guissou, Jacques Tassin, Emmanuel Torquebiau, Issam Touhami, Jean-François Trébuchon, Gede Wibawa, Irié Casimir Zo-Bi.

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

revues.cirad.fr

© Bois et forêts des tropiques © Cirad
ISSN 0006-579X
ISBN: 978-2-87614-834-5 (PDF)
ISBN: 978-2-87614-833-8 (relié)
Dépôt légal : octobre 2023
283997X - Imprimé en Belgique par CIACO SC, rue de Rodeuhaie, 27, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique
Maquette : P.-Y. Bled, Curvalle, France
Numéro d'inscription à la CPPP : 59465
Directrice gérante : E. Claverie de Saint Martin

Impression du numéro à la demande
consulter le site web i6doc : 80 €/exemplaire

Version papier abonnement annuel de 4 numéros :
France : **240 €/an ttc**
Autres pays de l'Union européenne : **240 €/an ht**
Pays hors Union européenne : **260 €/an ht**

Abonnements et commandes de numéros
Cirad - Bois et forêts des tropiques
Campus international de Baillarguet
TA C-DIR/B
34398 Montpellier Cedex 5, France
Tél. : +33 4 67 59 37 81
Télécopie : +33 4 67 59 37 55
Site web : http://revues.cirad.fr/index.php/bft

Calibrage en stères de bois dans une plantation d'*Eucalyptus saligna* à Butembo en République démocratique du Congo.
Calibrating the wood into steres in an Eucalyptus saligna plantation at Butembo in the Democratic Republic of the Congo.
Photo D. K. Kasekete.

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

Conditions de publication
Consulter les instructions aux auteurs qui figurent sur le site web : http://revues.cirad.fr/index.php/bft
Pour être recevables, les textes doivent être originaux. Tous les articles sont soumis à l'appréciation d'un comité éditorial. Après acceptation, des corrections ou modifications sont proposées aux auteurs.
Les opinions émises par les auteurs n'engagent pas la responsabilité de la rédaction.

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

La licence utilisée est
Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).
Cette licence autorise la redistribution, à des fins commerciales ou non, tant que l'œuvre est diffusée sans modification et dans son intégralité, avec attribution et citation du nom des auteurs selon le souhait de la revue. L'auteur est autorisé à partager, copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats pour toute utilisation, y compris commerciale. L'offrant ne peut retirer les autorisations concédées par la licence tant que vous appliquez les termes de cette licence. Les utilisateurs doivent créditer l'œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'œuvre.
L'utilisation d'une licence *creative commons* ne se substitue pas au Droit d'auteur et au *copyright*.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN : L-0006-579X
Volume 357 – 3e trimestre – octobre 2023 – p. 1-2

ÉDITORIAL

L'interdépendance plantes-plantes et les interactions mutualistes dans les écosystèmes hétérogènes cachent encore bien des secrets 3
B. El Amrani

ARTICLES DE RECHERCHE

Bois-énergie et plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo : cas de la province du Nord-Kivu – Synthèse bibliographique 5
D. K. Kasekete, N. Bourland, M. Gerkens, D. Louppe, J. Schure, J.-P. Mate

Ajustements de tarifs de cubage du bois fort pour la gestion de peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Beni Imloul en Algérie 29
K. Zeghichi, D. Kherchouche, A. Bentouati, T. Sghaier, L. Belkhiri

Quatre espèces polyvalentes du genre *Vitex* (Lamiaceae) de la République démocratique du Congo réagissent différemment aux techniques de multiplication pour la production en pépinière 43
D. Numbi Mujike, P. Meerts, B. Mbinga Lokoto, M. Ngoy Shutcha

Impacts des tabous et des cérémonies rituelles sur la structure des peuplements de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., un arbre sacré au Bénin 57
G. Ganka, A. B. Fandohan, K. V. Salako

Effet du type d'utilisation des terres sur l'état des populations de *Vitex doniana* Sweet en zone soudanienne du Burkina Faso 71
H. T. Guindé, P. Sabo, B. Ouattara, A. Ouédraogo

Regard critique sur les impacts socio-économiques et écologiques des peuplements d'eucalyptus au Burundi 85
A. Nduwimana, R. Habonayo, B. Habonimana, V. Ndorere, S. Kaboneka, J. Bogaert

DESCRIPTIF TECHNIQUE

Descriptif technique d'essence tropicale – Sipo – *Entandrophragma utile* Sprague 99

RÉSUMÉ DE THÈSE

Dynamiques des paysages forestiers au Mozambique : étude de l'écologie du Miombo pour contribuer aux stratégies de restauration des terres dégradées 105
F. Montfort

VOS LECTURES

98, 108

Bertrand A. Gérer durablement les forêts tropicales africaines. 109

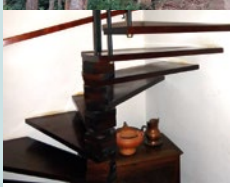
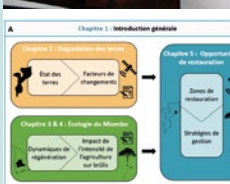
Caron A., Cornélis D., Chardonnet P., Prins H. H. T. Ecology and management of the African buffalo. 107

ACTES DE CONFÉRENCE

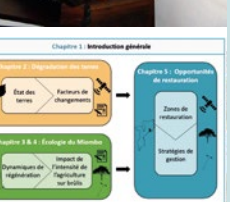
Climate resilient and sustainable forest management – Recueil des résumés. 97

CONFÉRENCES INTERNATIONALES

26e congrès mondial de l'IUFRO, Forêts et société vers 2050, Suède, Stockholm, 23-29 juin 2024. 110

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 1-2
CONTENTS



EDITORIAL

Plant-Plant Interdependence and Mutualism Interactions in Heterogeneous Ecosystems still hide a lot of secrets 3
B. El Amrani

SCIENTIFIC ARTICLES

Fuelwood and fuelwood plantations in the Democratic Republic of the Congo: case study in Northern Kivu province – Bibliographic review 5
D. K. Kasekete, N. Bourland, M. Gerkens, D. Louppe, J. Schure, J.-P. Mate

Adjusting roundwood volume tables for the management of Aleppo Pine stands (*Pinus halepensis* Mill.) in the Beni Imloul forest in Algeria 29
K. Zeghichi, D. Kherchouche, A. Bentouati, T. Sghaier, L. Belkhirii

Four multipurpose species of the genus *Vitex* (Lamiaceae) in the Democratic Republic of the Congo show different responses to propagation techniques for nursery production 43
D. Numbi Mujike, P. Meerts, B. Mbinga Lokoto, M. Ngoy Shutcha

Impacts of taboos and ritual ceremonies on the population structure of a sacred tree in Benin, *Triplochiton scleroxylon* K. Schum 57
G. Ganka, A. B. Fandohan, K. V. Salako

Effects of land use types on the health status of *Vitex doniana* Sweet populations in Burkina Faso's Sudanian zone 71
H. T. Guindé, P. Sabo, B. Ouattara, A. Ouédraogo

A critical appraisal of the socio-economic and ecological impacts of eucalyptus stands in Burundi 85
A. Nduwimana, R. Habonayo, B. Habonimana, V. Ndorere, S. Kaboneka, J. Bogaert

TECHNICAL DESCRIPTION

Technical description of tropical species – Sipo/Utile – *Entandrophragma utile* Sprague 99

PHILOSOPHIÆ DOCTOR ABSTRACT

Forest landscape dynamics in Mozambique: a study of Miombo ecology to contribute to restoration strategies for degraded lands 105
F. Montfort

BOOK REVIEW

98, 108

Bertrand A. Gérer durablement les forêts tropicales africaines. 109

Caron A., Cornélis D., Chardonnet P., Prins H. H. T. Ecology and management of the African buffalo. 107

CONFERENCE PROCEEDINGS

Climate resilient and sustainable forest management – Compendium of abstracts. 97

INTERNATIONAL CONFERENCES

26th IUFRO World Congress, Forests and Society Towards 2050, Sweden, Stockholm, 23-29 June 2024. 110

Plant-Plant Interdependence and Mutualism Interactions in Heterogeneous Ecosystems still hide a lot of secrets

Heterogeneous ecosystems, such as tropical forests, serve as vital reservoirs of biodiversity, harboring a myriad of plant species. Within these ecosystems, plants not only interact with their environment and other living beings such as fungi and bacteria, but also engage in intricate relationships with one another. Plant-plant interactions play a crucial role in shaping the structure, dynamics, and resilience of these ecosystems. These interactions encompass various aspects, the most important is the cooperative and mutualistic relationships. In this editorial, we explore the significance of these mutualistic interactions and highlight the pressing need for further research to unlock their full potential.

Plant species can facilitate each other's growth through interactions such as nurse-plant relationships. Certain plant species act as nurse plants by providing shade, shelter, or improved microclimatic conditions for the establishment and growth of other plants. This facilitation allows less competitive or more sensitive species to thrive in challenging or disturbed environments. The nurse plants create a more favorable environment by reducing competition, protecting against herbivory, or enhancing water availability. In forest ecosystems, whether they are deciduous forests (Bartkowicz and Paluch, 2019) or tropical forests (Ntawuhiganayo *et al.*, 2020), there is a fascinating phenomenon where shade-intolerant plant species play a crucial role. These species form a canopy that offers shade and protection for shade-tolerant plant species. The shade-intolerant plants benefit from the increased competition for light, while the shade-tolerant plants benefit from reduced light intensity and lower temperatures. This mutualistic interaction allows both types of plants to coexist and thrive. Understanding these interactions can help us to identify and to utilize the potential of nurse plants to restore degraded ecosystems or to enhance biodiversity conservation efforts. Additionally, further research is needed to explore the specific mechanisms and ecological implications of these facilitative interactions, particularly in different ecosystems and under changing environmental conditions.

Belowground interactions between plant roots can play a crucial role in nutrient acquisition and plant growth. Some plant species form mycorrhizal associations where fungal hyphae extend the nutrient-absorbing capacity of roots, benefiting both plants involved. In addition, certain plants have been shown to share nutrients through mycorrhizal hyphae, allowing them to support each other in nutrient-limited conditions. Recently, it was found that the healthy neighboring plants connected through the common mycorrhizal networks showed increased disease resistance and the activation of various defensive enzymes and genes (Jung *et al.*, 2012). Furthermore, some studies draw parallels between the fungal mycelia of mycorrhizae, which facilitate communication between trees in a forest, and social networks or neural networks (Gorzelak *et al.*, 2015). This suggests that the mycorrhizal networks can serve as an underground communication conduit, allowing plants to transfer disease resistance and defense signals to neighboring plants before they are attacked. Exploring the intricate networks of mycorrhizal associations and root provides opportunities to enhance sustainable agricultural practices, ecological restoration efforts, and plant community management.

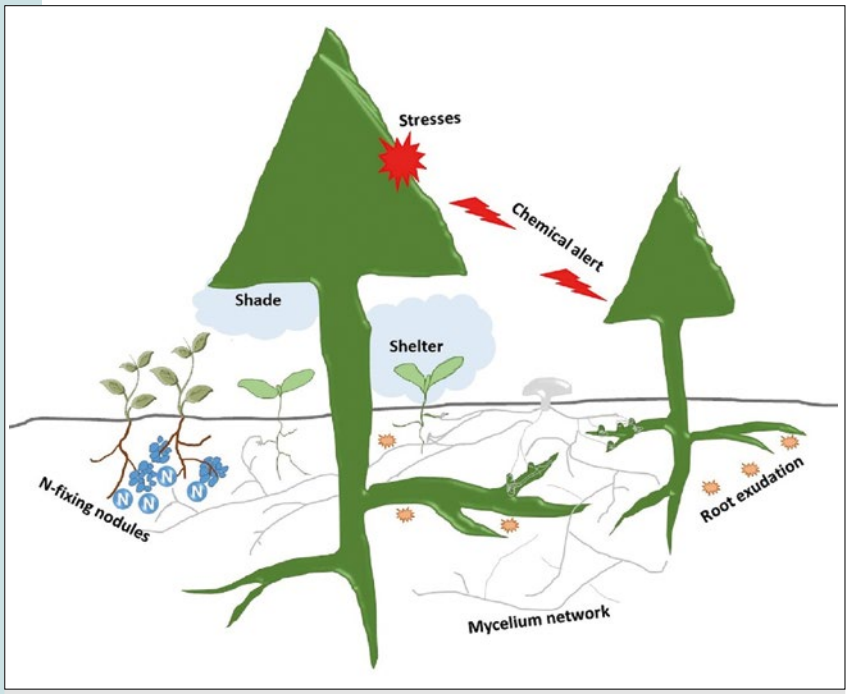


Figure 1.
Schematic representation of key mutualistic plant interactions in a heterogeneous ecosystem.

In addition, plant species can interact in ways that promote nutrient cycling within ecosystems. They can form specialized root systems that enhance nutrient uptake and make nutrients accessible to neighboring plants. For instance, in nitrogen-limited environments, such as tropical rainforests, symbiotic nitrogen-fixing trees can efficiently capture and convert atmospheric nitrogen into usable forms through specialized root nodules (Menge and Chazdon, 2016). By doing so, they create a local nitrogen source that can benefit neighboring non-nitrogen-fixing plants. This mutualistic interaction allows nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing plants to coexist and thrive by increasing nitrogen availability. Furthermore, this beneficial plant-plant association can occur over time; the passage of a nitrogen-fixing plants from one plot, forms a nitrogen-rich microenvironment for the subsequent crop. This sequential association allows plants to benefit from the nitrogen released by the preceding species. This type of beneficial plant-plant relationship has long been utilized by humans in the form of crop rotation. However, in complex and natural ecosystems such as tropical and mediterranean forests, the investigation of such associations is often overlooked, despite their potential significant

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 3-4
EDITORIAL

role in maintaining biodiversity and the functioning of natural ecosystems.

Although allelopathy can lead to adverse effects on nearby plants, it also offers the potential for mutually beneficial interactions in certain cases. Some plant species release chemicals that suppress the growth of competing plants but have a positive effect on the growth of other plant species. This can create a mutualistic relationship where the allelopathic plant provides a competitive advantage to the beneficiary plant. One example is the *Juglans nigra* tree, which produces the juglone[1]. It is toxic to many plant species and can inhibit their growth or even cause their death. However, there are certain plant species, such as the *Asimina triloba*, that are allelopathically tolerant to juglone (Mosquera-Losada and Prabhu, 2019). These tolerant plants can thrive in the presence of *J. nigra* trees and may even benefit from the suppression of competing plants, allowing them to occupy niches that would otherwise be occupied by other species. This demonstrates how allelopathy can influence plant interactions and shape the composition of plant communities. Chemical Signaling can play another role in plant cooperation, in certain cases, plant species may cooperate to defend against herbivores or environmental stresses. They can emit chemical signals that alert neighboring plants to the presence of herbivores, triggering defense mechanisms in those plants. For example, in temperate forests, *Betula pubescens* are known to release methyl jasmonate when attacked by herbivores. Methyl jasmonate is a signaling molecule that can induce defensive responses in neighboring plants, even of different species. When the nearby plants sense the methyl jasmonate, they activate their own chemical defenses, making them less susceptible to herbivore damage (Benevenuto *et al.*, 2020). Further research in this field is essential to unravel the intricacies of these interactions, identify key chemical compounds involved, and assess their ecological consequences in diverse ecosystems. By unraveling the mechanisms and ecological implications of allelopathy and chemical signaling, we can gain a deeper understanding of plant community dynamics and potentially apply this knowledge to enhance biodiversity conservation efforts and sustainable agricultural practices.

In this editorial, we have highlighted the fascinating and complex nature of beneficial plant-plant interactions. These interactions hold tremendous potential, yet our understanding of their underlying mechanisms remains limited. The nature, triggers, outcomes, and environmental factors influencing these interactions are still poorly understood, hampering their practical application in various agricultural and reforestation systems. Nonetheless, these interactions serve as vital threads that intertwine and shape the diverse fabric of heterogeneous ecosystems. Recognizing the significance of plant-plant interactions and their implications, it is crucial to invest in further research. By delving into these intricate relationships, we can unlock the secrets that lie within, fostering a deeper appreciation for the interconnectedness and complexity of life within forests and other natural landscapes.

Belkacem El Amrani[2]

[1] Juglone is an organic compound with the molecular formula $C_{10}H_6O_3$.

[2] Member of the Editorial Committee of the journal
Bois et Forêts des Tropiques
University of Sidi Mohamed Ben Abdellah
1002 - 66, Al-Wafaa Retail, Road Sefrou
Cp 30060, Fez
Morocco

Auteur correspondant / Corresponding author:
Belkacem EL AMRANI – elamranibelkacem@gmail.com

ORCID : https://orcid.org/0000-0002-8969-199X

References

Bartkowicz L., Paluch J., 2019. Co-occurrence of shade-tolerant and light-adapted tree species in uneven-aged deciduous forests of southern Poland. European Journal of Forest Research, 138 (1): 15-30. https://doi.org/10.1007/s10342-018-1149-5

Benevenuto R. F., Seldal T., Moe S. R., Rodriguez-Saona C., Hegland S. J., 2020. Neighborhood Effects of Herbivore-Induced Plant Resistance Vary Along an Elevational Gradient. Frontiers in Ecology and Evolution, 8: 117. https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00117

Gorzelak M. A., Asay A. K., Pickles B. J., Simard S. W., 2015. Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. AoB Plants, 7: plv050. https://doi.org/10.1093/aobpla/plv050

Jung S. C., Martinez-Medina A., Lopez-Raez J. A., Pozo M. J., 2012. Mycorrhiza-Induced Resistance and Priming of Plant Defenses. Journal of Chemical Ecology, 38 (6): 651-664. https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6

Menge D. N. L., Chazdon R. L., 2016. Higher survival drives the success of nitrogen-fixing trees through succession in Costa Rican rainforests. New Phytologist, 209 (3): 965-977. https://doi.org/10.1111/nph.13734

Mosquera-Losada M. R., Prabhu R. (Eds.), 2019. Agroforestry for sustainable agriculture (1st edition). Burleigh Dodds Science Publishing, 542 p. https://doi.org/10.1201/9780429275500

Ntawuhiganayo E. B., Uwizeye F. K., Zibera E., Dusenge M. E., Ziegler C., Ntirugulirwa B., Nsabimana D., Wallin G., Uddling J., 2020. Traits controlling shade tolerance in tropical montane trees. Tree Physiology, 40 (2): 183-197. https://doi.org/10.1093/treephys/tpz119

Doi : 10.19182/bft2023.357.a37293 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 9 juin 2023 ; date d'acceptation : 8 septembre 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article

El Amrani B., 2023. Editorial: The Plant-Plant Interdependence and Mutualism Interactions in Heterogeneous Ecosystems, hides yet a lot of secrets. Bois et Forêts des Tropiques, 357: 3-4. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a37293

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN : L-0006-579X
Volume 357 – 3e trimestre – octobre 2023 – p. 5-28
BOIS-ÉNERGIE ET PLANTATIONS / RECHERCHE

Bois-énergie et plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo : cas de la province du Nord-Kivu – Synthèse bibliographique

Désiré Katembo KASEKETE[1, 2]
Nils BOURLAND[3, 4, 5]
Michel GERKENS[6]
Dominique LOUPPE[7]
Jolien SCHURE[4]
Jean-Pierre MATE[8]

[1] Université de Kisangani
Faculté des sciences, BP 2012, Kisangani
République démocratique du Congo

[2] Université officielle de Ruwenzori
Faculté des sciences, BP 560, Butembo
République démocratique du Congo

[3] Musée royal de l'Afrique centrale
Service de biologie du bois
Tervuren, Belgique

[4] Center for International Forestry Research (CIFOR)
Jalan CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang Bogor (Barat) 16115
Indonesia

[5] Resources & Synergies Development Sprl
Rue du Vallon 81
1332 Genval, Belgique

[6] Docteur en sciences agronomiques Gembloux/Belgique
Chercheur indépendant
Politique forestière, Gestion de patrimoines forestiers nationaux,
Aménagement de territoires,
Belgique

[7] Ingénieur des eaux et forêts AIGx
Chercheur retraité
Montpellier, France

[8] Université de Kinshasa
École régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux (ERAIFT)
Commune de Lemba, BP 15 373, Kinshasa
République démocratique du Congo

Auteur correspondant / Corresponding author:
Désiré Katembo KASEKETE – dkasekete@gmail.com

ORCID :
https://orcid.org/0000-0001-8938-1185

Photos 1.
Meule en cours de montage dans les plantations d'*Acacia auriculiformis* à Mampu (A) et de *Grevillea robusta* à Kirotshe (B), et calibrage en stères de bois dans une plantation d'*Eucalyptus saligna* à Butembo (C), RDC.
Grinding wheel being assembled in the Acacia auriculiformis plantation at Mampu (A) and the Grevillea robusta plantation at Kirotshe (B), and calibrating the wood into steres in an Eucalyptus saligna plantation at Butembo (C), DRC.
Photos D. Louppe (A) et D. K. Kasekete (B et C).

Doi : 10.19182/bft2023.357.a36927 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 2 mai 2022 ; date d'acceptation : 13 avril 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Kasekete D. K., Bourland N., Gerkens M., Louppe D., Schure J., Mate J.-P., 2023. Bois-énergie et plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo : cas de la province du Nord-Kivu – Synthèse bibliographique. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 5-28. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a36927

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

D. K. Kasekete, N. Bourland, M. Gerkens, D. Louppe, J. Schure, J.-P. Mate

RÉSUMÉ

Bois-énergie et plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo : cas de la province du Nord-Kivu – Synthèse bibliographique

L'énergie d'origine ligneuse est largement utilisée en République démocratique du Congo (RDC) où elle satisfait plus de 90 % des besoins énergétiques des ménages et de certains professionnels. Cette étude dresse l'état des lieux des connaissances sur la filière bois-énergie et les plantations dédiées en RDC, en particulier dans la province du Nord-Kivu, et cherche à relever les éventuelles lacunes dans l'information qui nécessiteraient d'être comblées. La revue des études a révélé un caractère fragmentaire de la recherche sur la filière. La consommation en bois-énergie n'est connue que pour quelques villes, avec des estimations questionnables pour certaines d'entre elles dont Butembo au Nord-Kivu. L'extraction du bois-énergie se fait dans toutes les zones boisées accessibles dont les forêts naturelles, les terres agricoles et les plantations forestières. Certaines pratiques sont illégales et ont lieu dans les aires protégées. Depuis les années 1980, environ 69 400 ha de plantations à vocation énergétique ont été réalisés en RDC par 15 projets. Ces plantations sont encore marginales, trop jeunes et incapables de satisfaire la demande actuelle ou future. Elles fourniraient, combinées avec les plantations initiées hors projets, environ 9, 30, 32 et 54 % du bois-énergie consommé respectivement à Kinshasa, Bukavu, Goma et Butembo. À part celles sur les plantations du plateau Batéké et du Nord-Kivu, il n'existe pas encore de publications scientifiques sur les autres plantations à vocation énergétique de la RDC. Pour gérer durablement la ressource et sécuriser les approvisionnements, des actions sont indispensables en ce qui concerne prioritairement : la diversification des sources d'approvisionnement en bois-énergie, à travers notamment de larges programmes de plantations forestières et agroforestières ainsi que l'aménagement des forêts naturelles ; l'amélioration des techniques d'exploitation du bois et de sa carbonisation ; la réduction de la consommation en bois-énergie grâce aux foyers de combustion améliorés et au recours à des énergies alternatives au bois. Cela exige aussi la formalisation et la structuration de la filière bois-énergie suivant des dispositions réglementaires spécifiques à édicter. Des recherches complémentaires sont nécessaires en vue d'améliorer l'exploitation, la transformation et d'optimiser l'utilisation du bois-énergie.

Mots-clés : bois-énergie, charbon de bois, plantation à vocation énergétique, projet de reboisement, synthèse bibliographique, province du Nord-Kivu, République démocratique du Congo.

ABSTRACT

Fuelwood and fuelwood plantations in the Democratic Republic of the Congo: case study in Northern Kivu province – Bibliographic review

Fuelwood is widely used in the Democratic Republic of the Congo (DRC), covering over 90% of the energy needs of households and certain economic sectors. This study reviews current knowledge on the wood-energy sector and fuelwood plantations in the DRC, with a focus on the province of Northern Kivu, seeking to identify any gaps in information that need to be filled. The review of studies shows that research on the sector is fragmentary. Fuelwood consumption data only exist for a few towns, with questionable estimates for some, including Butembo in Northern Kivu. Fuelwood is extracted from all accessible wooded areas, including natural forests, farmland and forest plantations. Some practices are illegal and occur in protected areas. Since the 1980s, around 69,400 ha of fuelwood plantations have been established in the DRC under 15 projects. However, these plantations are still too recent and too marginal to meet current or future demand. Total production from these and other plantations established outside the projects would cover around 9%, 30%, 32% and 54% of fuelwood consumption in Kinshasa, Bukavu, Goma and Butembo respectively. As yet, there are no scientific publications on fuelwood plantations in the DRC other than those concerning the Batéké Plateau and Northern Kivu. In order to manage the resource sustainably and secure supplies, action must be taken to: diversify sources of fuelwood supply, in particular through large-scale forestry and agroforestry plantation programmes and management of natural forests; improve wood harvesting and charcoaling techniques; and reduce fuelwood consumption through improved stove design and the use of alternative energy sources. Sustainability also requires formalising and structuring a fuelwood sector operating in accordance with specific regulatory provisions that are yet to be enacted. Further research is also needed in order to improve fuelwood extraction and processing and optimise its use.

Keywords: fuelwood, charcoal, fuelwood plantation, reforestation project, bibliographic review, province of Northern Kivu, Democratic Republic of the Congo.

RESUMEN

Leña y plantaciones para leña en la República Democrática del Congo: caso de la provincia de Kivu del Norte – síntesis bibliográfica

La energía de origen leñoso es ampliamente utilizada en la República Democrática del Congo (RDC), donde cubre más del 90 % de las necesidades energéticas de los hogares y de algunos profesionales. Este artículo presenta el conocimiento sobre el sector de la leña y las plantaciones de leña en la RDC, enfocado a la provincia del Kivu del Norte, y pretende poner de manifiesto las lagunas en la información que habría que rellenar. La revisión de los estudios ha revelado el carácter fragmentario de la investigación en el sector. Solo se conoce el consumo de leña de determinadas ciudades, con estimaciones cuestionables para algunas de las mismas, como Butembo, en Kivu del Norte. La extracción de leña se realiza en todas las zonas boscosas accesibles, entre ellas los bosques naturales, las tierras agrícolas y las plantaciones forestales. Algunas prácticas son ilegales y tienen lugar en zonas protegidas. Desde los años 1980, se han establecido aproximadamente 69 400 ha de plantaciones con vocación energética en la RDC mediante quince proyectos. Estas plantaciones todavía son marginales, demasiado jóvenes e insuficientes para satisfacer la demanda actual o futura. Combinadas con las plantaciones iniciadas al margen de los proyectos, proporcionarían alrededor del 9, 30, 32 y 54 % de la leña consumida en Kinsasa, Bukavu, Goma y Butembo respectivamente. A excepción de las plantaciones de la meseta de Bateke y de Kivu del Norte, todavía no hay publicaciones científicas sobre el resto de las plantaciones con vocación energética de la RDC. Para gestionar de forma sostenible el recurso y garantizar los aprovisionamientos, son necesarias acciones prioritariamente en: la diversificación de las fuentes de aprovisionamiento de leña especialmente mediante amplios programas de plantaciones forestales y agroforestales, así como la ordenación de los bosques naturales, la mejora de las técnicas de aprovechamiento maderero y de su carbonización, y la reducción del consumo de leña gracias a los hogares con combustión mejorada y a la utilización de energías alternativas a la madera. Ello también exige la formalización y la estructuración del sector de la leña mediante la promulgación de disposiciones reglamentarias específicas. Son necesarias investigaciones complementarias de cara a mejorar la explotación, la transformación y la optimización del uso de la leña.

Palabras clave: leña, carbón vegetal, plantación con vocación energética, proyecto de reforestación, síntesis bibliográfica, provincia de Kivu del Norte, República Democrática del Congo.

Introduction

Ces dernières années, parmi les sujets en lien avec les changements climatiques figurent ceux ayant trait aux forêts et à l'énergie (FAO, 2008 ; Fortin *et al.*, 2016 ; ADEME, 2022). Selon des estimations, quelque 50 % des 3,7 milliards de mètres cubes de bois extraits des forêts mondiales en 2015 ont été utilisés comme combustibles, principalement pour la cuisine et le chauffage (FAO, 2017). En Afrique subsaharienne (ASS), l'énergie d'origine ligneuse compte encore pour plus de 70 % de l'énergie totale consommée (Madon, 2017 ; Banque mondiale, 2022), principalement par les ménages, les petites industries et le secteur artisanal (Banos et Dehez, 2017 ; FAO, 2017 ; Dubiez *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d ; Gazull *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d). Cette forte consommation en bois-énergie est due au fait que le bois est une ressource localement disponible à un coût abordable par rapport aux énergies modernes (Sander *et al.*, 2011 ; Madon, 2017). Étant donné la croissance démographique, l'urbanisation et l'exode rural auxquels on assiste ces dernières années en ASS (Tabutin et Schoumaker, 2020), la consommation de bois-énergie continuera à augmenter, conformément aux observations de Montagne *et al.* (2016) et Peltier (2019). Face à cette situation, la gestion durable des forêts naturelles restantes ainsi que l'investissement dans des systèmes complémentaires d'approvisionnement en bois-énergie, que sont les plantations à vocation énergétique, s'avèrent indispensables et devraient figurer parmi les priorités des pouvoirs publics et des bailleurs de fonds.

Les premières plantations forestières en ASS datent du début du XXe siècle (Chamshama et Nwonwu, 2004 ; Marien *et al.*, 2014). Ces plantations étaient principalement initiées à des fins industrielles car à cette époque il y avait une très forte disponibilité en bois-énergie pour les populations (Chamshama et Nwonwu, 2004 ; Louppe, 2011 ; Gazull et Gautier, 2015). La réelle prise de conscience du problème de l'approvisionnement en bois-énergie date des années 1960 avec le financement international de projets de plantations destinées à cette production, principalement en zones sèches (Chamshama et Nwonwu, 2004 ; Madon, 2017). En zones de forêts denses humides, cette prise de conscience est arrivée plus tardivement sous l'impulsion essentiellement d'organisations internationales (Louppe, 2011 ; Madon, 2017). Dès les années 1970, on a commencé à investir dans des plantations à vocation énergétique pour alimenter les grandes villes et limiter l'impact de l'exploitation du bois-énergie sur les forêts naturelles (Marien *et al.*, 2008 ; Louppe, 2011 ; Peltier, 2019). Des plantations ont ainsi été installées dans de nombreux pays, essentiellement en zones sèches (Chamshama et Nwonwu, 2004 ; Madon, 2017), sans parvenir à satisfaire la demande qui continue à augmenter avec la croissance démographique et l'urbanisation (Montagne *et al.*, 2016 ; Peltier, 2019). Ces plantations sont généralement récentes et/ou de petites superficies (Gazull et Gautier, 2015 ; Mallet, 2021) et ne fournissent qu'environ 5 % du bois-énergie consommé en ASS (Gazull et Gautier, 2015). Ce sont des boisements publics, privés ou communautaires créés autour des grandes villes et sur des terres dégradées ou peu productives pour un approvisionnement local ou non en bois-énergie et de service (Marien *et al.*, 2008 ; Louppe, 2011 ; Gazull et Gautier, 2015 ; Mallet, 2021).

En raison de la taille de sa population et de l'accès limité aux énergies modernes (Banque mondiale, 2020), la République démocratique du Congo (RDC) est le pays le plus grand consommateur de bois-énergie d'Afrique centrale (Schure *et al.*, 2012 ; CAFI, 2015). En dépit de l'importance énergétique de la ressource en bois et des recommandations de gestion formulées à travers des études localisées qu'il est essentiel de mettre en relation, le gouvernement congolais a porté peu d'intérêt au secteur du bois-énergie. Depuis quelques décennies, le pays s'est lancé dans des plantations à vocation énergétique grâce notamment aux projets Mampu (Bisiaux *et al.*, 2009), Eco-Makala (Lejeune *et al.*, 2013), Makala (Dubiez *et al.*, 2012 ; Péroches *et al.*, 2019), AFODEK (Boldrini *et al.*, 2017), Ibi Village (Ibi Village, 2022), FORETS (CIFOR, 2022), etc. ; mais l'impact de toutes ces actions récentes sur l'approvisionnement en bois-énergie n'est pas encore connu. Cet article présente une synthèse bibliographique des données disponibles sur la filière bois-énergie et les plantations dédiées en RDC, en particulier dans la province du Nord-Kivu. La focalisation de l'étude sur le Nord-Kivu est due au fait que l'approvisionnement en bois-énergie des agglomérations riveraines du parc national des Virunga (PNVi), notamment la ville de Goma, se fait en grande partie par des abattages illégaux dans le parc (Lejeune *et al.*, 2013), lequel se dégrade rapidement, et qu'il est urgent de trouver des solutions au bois-énergie pour le sauver. En se basant sur un corpus chronologique des recherches menées sur la filière bois-énergie et les plantations dédiées à l'échelle nationale, l'étude vise à relever les éventuelles lacunes dans l'information qui doivent être comblées. Spécifiquement, l'étude cherche à répondre aux questions suivantes concernant la RDC :

- Quel est l'état des lieux de la recherche sur la filière bois-énergie et les plantations dédiées ?
- La consommation en bois-énergie est-elle connue à l'échelle nationale en général et de la province du Nord-Kivu en particulier ?
- Quel est le bilan des projets de plantations à vocation énergétique réalisés ou en cours ?
- Quelle est la part des plantations dans l'approvisionnement énergétique des ménages ?
- Comment rationaliser l'utilisation du bois-énergie et sécuriser durablement les approvisionnements ?

Les résultats de cette synthèse permettront d'orienter les débats/recherches scientifiques et/ou politiques, ainsi que les futurs projets en rapport avec la filière bois-énergie de la RDC en général, et de la province du Nord-Kivu en particulier.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

Méthodologie

Principaux concepts

Nous désignons ici par « bois-énergie » le bois utilisé comme combustible sous la forme de bois de feu (ou bois de chauffe) et de charbon de bois, et par « plantation à vocation énergétique », toute plantation forestière ou agroforestière à base d'espèces exotiques ou indigènes établie dans le but de produire du bois-énergie. Selon la FAO (2021), une plantation forestière est toute forêt équienne plantée à des écartements réguliers et gérée de manière intensive à des fins de production. Une plantation agroforestière est une plantation où des arbres sont délibérément associés à des cultures ou de l'élevage, simultanément ou en séquence temporelle (Torquebiau *et al.*, 2002). Les plantations établies par plusieurs planteurs sur des parcelles de petites superficies et non contiguës ont été qualifiées de « plantations villageoises ». Toutes les plantations initiées hors projets sur des parcelles privées et/ou appartenant aux communautés religieuses ont été classées dans cette dernière catégorie. Enfin, nous avons désigné par « énergies modernes » les énergies alternatives au bois pour la cuisson des aliments et le chauffage. Ces énergies comprennent l'électricité, le pétrole et le gaz.

Revue de littérature

La présente synthèse a rassemblé les études qui traitent de la filière bois-énergie et des plantations afférentes ainsi que des projets de reboisement énergétique en RDC. Les articles scientifiques et les rapports consultés proviennent des bases de données de référencement d'articles scientifiques Scopus, ScienceDirect, de la littérature grise disponible sur le moteur de recherche Google Scholar et d'autres sites web pertinents, tels que des archives publiques numériques, en français comme en anglais. Nous avons utilisé les termes de recherche suivants, toujours en combinaison avec « République démocratique du Congo ou République du Zaïre – *Democratic Republic of (the) Congo or Republic of Zaïre* » : « bois-énergie – *wood energy* / *fuel wood* », « énergie domestique – *household energy* », « plantation – (*forest*) *plantation* », « bois-énergie et plantation – *wood energy* / *fuel wood and (forest) plantation* », « reboisement énergétique – *energy reforestation* », « restauration forestière – *forest restoration* ». Les références citées dans les articles et rapports consultés ont permis d'identifier d'autres documents pertinents. Des spécialistes de la foresterie en Afrique centrale ainsi que ceux qui ont participé à l'élaboration de la politique énergétique ont été contactés et ont fourni de la documentation supplémentaire. Deux contraintes d'ordre méthodologique ont été rencontrées : la focalisation de l'étude sur la RDC n'a permis d'obtenir qu'un corpus scientifique limité ; certaines références identifiées dans les documents consultés ne sont pas disponibles en ligne ni n'ont pu être obtenues de leurs auteurs.

Au total 116 documents comprenant des articles scientifiques, des rapports d'étude ou d'évaluation, des présentations de conférences, des documents non publiés ou encore des travaux de fin d'études ont été obtenus. Ces documents ont ensuite été classés puis examinés selon qu'ils traitent : de la filière bois-énergie en RDC (consommation, approvisionnement, aspects institutionnels et/ou réglementaires, etc.) ; des projets de reboisement énergétique initiés en RDC (présentation du projet, objectifs, localisation géographique, itinéraires techniques, période d'exécution, réalisations, etc.) ; spécifiquement des plantations destinées à la production de bois-énergie (gestion, exploitation, production, impacts sur les écosystèmes, etc.), quel que soit le cadre ou la motivation de leur mise en place (projet de reboisement financé ou initiative locale/privée). Pour éviter la redondance des sources, les présentations de conférences, les chapitres de livres ou encore les notes de perspectives/informations reprenant les contenus d'articles scientifiques et de rapports déjà consultés ont été écartés. Des travaux de fin d'études ainsi que les rapports moins pertinents en contenu ont aussi été exclus. À l'issue de cette démarche, 69 documents, dont 17 articles scientifiques, ont pu être exploités. Les pages web de différents projets et contacts avec leurs responsables ont permis de compléter et d'actualiser les données/informations. Enfin, divers documents traitant du sujet dans d'autres pays ont permis de consolider la discussion.

Facteurs de conversion, estimations de la consommation en bois-énergie et des superficies à reboiser

Afin de faciliter la lecture et la comparaison des chiffres en rapport avec la consommation et/ou la production de bois-énergie, mais aussi réaliser les projections de la consommation future et des superficies nécessaires à reboiser en fonction des besoins de la population, les facteurs moyens de conversion et formules suivants ont été utilisés :

- un mètre cube de bois rond = 725 kg de bois sec à l'air et 1 000 kg de bois = 1,38 m^3 (Schure et Hunhyet, 2014) ;
- une tonne de charbon de bois = 8 tonnes d'équivalent bois, pour un rendement massique de carbonisation traditionnelle estimé à 12,5 % (Gazull *et al.*, 2020c) ;
- la consommation en bois-énergie par habitant a été obtenue en divisant la consommation totale estimée de chaque ville par sa population ;
- la consommation en bois-énergie en milieu urbain a été estimée en multipliant la consommation individuelle annuelle par la population urbaine à l'échelle nationale ou de la province du Nord-Kivu supposée utiliser du bois-énergie ;
- les superficies nécessaires à reboiser à des fins énergétiques ont été estimées à l'échelle des villes de Kinshasa et Goma en divisant la consommation urbaine en bois-énergie estimée au point précédent par la productivité moyenne des plantations mises en place en périphérie de chacune de ces deux villes ;
- les projections de la population urbaine nationale et celle du Nord-Kivu ont été calculées par la méthode basée sur

l'extrapolation des tendances en considérant une croissance exponentielle à partir de l'équation 1 ci-après :

$$P_t = P_0 \times e^{\alpha t} \text{ (équation 1)}$$

où P_0 est la population estimée au moment de l'évaluation ; P_t la population projetée en 2030 ; α le taux annuel de croissance démographique ; t le nombre d'années de la période de projection et e la base des logarithmes naturels (Pelletier et Spoorenberg, 2016).

État des lieux de la recherche sur la filière bois-énergie et les plantations à vocation énergétique en RDC

La filière bois-énergie et les initiatives de plantations à vocation énergétique sont peu documentées en RDC (figure 1). La plupart des informations disponibles sont contenues dans la littérature grise : rapports d'étude ou d'évaluation, présentations de conférences, chapitres de livres, guides techniques, travaux de fin d'études.

Les études disponibles revêtent un caractère fragmentaire et intermittent. En effet, les études en rapport avec l'approvisionnement des ménages congolais en bois-énergie ont débuté dans la région minière du Haut-Katanga et sont restées longtemps concentrées dans cette zone (voir par exemple : Misson, 1954 ; Schmitz, 1957 ; Schmitz et Misson, 1960 ; Schmitz et Debra, 1961, Malaisse *et al.*, 1980 ; Malaisse et Binzangi, 1985). Ces études indiquent que le bois-énergie consommé par les ménages et les mines du Haut-Katanga est principalement extrait du miombo. En 1982, Sindani et Ndjele ont publié la première liste des essences forestières utilisées pour produire le charbon de bois consommé dans la région de Kisangani (province de la Tshopo). Cette étude révèle que, à part les espèces à bois plus légers comme *Anonidium mannii* (Oliv.) Engler & Diels, *Musanga cecropioides* R. Br., *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb. ou encore *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Heckel, la plupart des essences forestières locales étaient carbonisées. Néanmoins, le charbon à base de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard était le plus apprécié des consommateurs en raison de sa qualité et de l'abondance de cette espèce autour de la ville (Sindani et Ndjele, 1982). En 1995, la publication de Tshibangu et Malaisse a donné les premières indications sur l'approvisionnement de la ville de Kinshasa en produits ligneux dont le bois-énergie. Selon ces auteurs, la consommation moyenne annuelle en bois-énergie de Kinshasa était

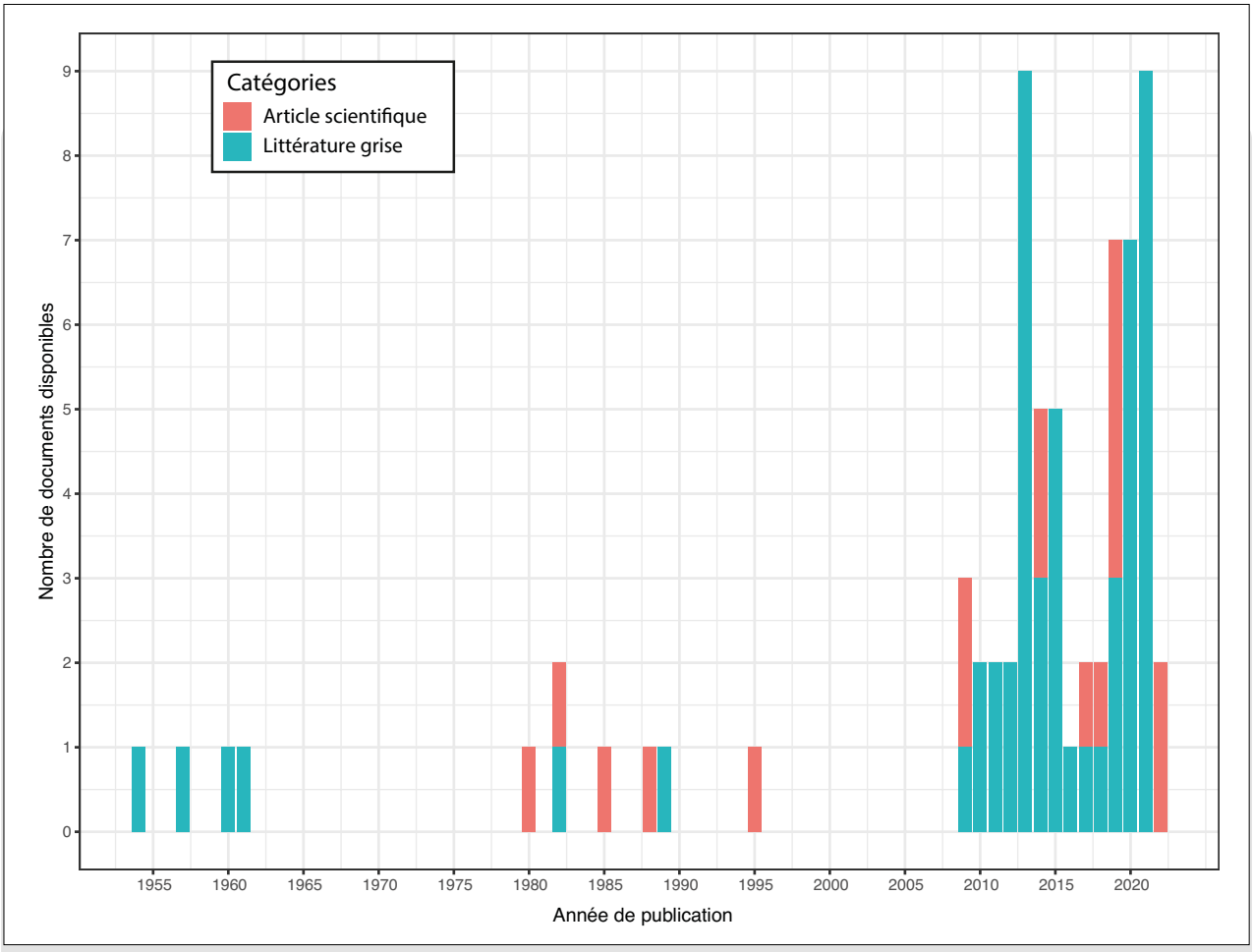


Figure 1.
Chronologie des documents obtenus sur la filière bois-énergie et les plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo.
Chronology of documents obtained on the wood-energy sector and energy plantations in the Democratic Republic of the Congo.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

Tableau I.
Études sur la filière bois-énergie et les plantations à vocation énergétique en République démocratique du Congo.
Studies on the wood-energy sector and energy plantations in the Democratic Republic of Congo.

Thèmes des documents	Nombre			Cible(s)	Bailleur(s) de fonds	Références bibliographiques
	Articles scientifiques	Littérature grise	Total			
La filière bois-énergie (sources d'approvisionnement, production, techniques de carbonisation, consommation, réglementation, options de gestion de la ressource, etc.)	9	37	46	Villes de Kinshasa, Kisangani, Lubumbashi, Bukavu, Kindu, Goma, Kananga, Mbuji-Mayi et Butembo	UE, GIZ, CAFI / FONAREDD, auteurs	Misson, 1954 ; Schmitz, 1957 ; Schmitz et Misson, 1960 ; Schmitz et Debra, 1961 ; Malaisse *et al.*, 1980 ; Sindani et Ndjele, 1982 ; Malaisse et Binzangi, 1985 ; Tshibangu et Malaisse, 1995 ; Schure *et al.*, 2010 ; Trefon *et al.*, 2010 ; Schure *et al.*, 2011 ; Dubiez *et al.*, 2012 ; Mvula et Schure, 2012 ; Pinta *et al.*, 2013 ; Marien *et al.*, 2013 ; Mate et Ndjele, 2013 ; Schmitt et Larzillière, 2013a, 2013b ; Gerkens, 2014 ; Schure *et al.*, 2014b ; Schure et Hunhyet, 2014 ; MEDD/PIF, 2015 ; Münkner *et al.*, 2015 ; Schure *et al.*, 2015 ; Balomba *et al.*, 2018 ; Djibu *et al.*, 2018 ; Mulondi *et al.*, 2019 ; Péroches *et al.*, 2019 ; Schure *et al.*, 2019 ; Dubiez *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d ; Gazull *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d ; Gerkens, 2020 ; Dubiez *et al.*, 2021a, 2021b, 2021c ; Ihalainen *et al.*, 2021 ; Imani et Moore-Delate, 2021 ; Péroches *et al.*, 2021 ; Schure *et al.*, 2021a, 2021b.
Les projets de reboisement énergétique passés et en cours (localisation, motivation et objectifs, bailleur, itinéraires techniques, réalisations, etc.)	0	14	14	Projets Mampu, EcoMakala, Makala, Ibi-village, Ntsio, PGAPF, PIREDD et AFODEK	UE, FAO, BAD, CAFI / FONAREDD	Lillelund, 1982 ; Mille, 1989 ; Ducenne, 2009 ; BAD, 2013 ; Bisiaux *et al.*, 2013a, 2013b ; Bouyer *et al.*, 2013 ; Lejeune *et al.*, 2013 ; Gouvernement de la RDC, 2015 ; Boldrini *et al.*, 2017 ; Dubiez et Peltier, 2019 ; ONFI et WWF, 2019 ; PIF-RDC, 2019 ; CAFI, 2021.*
Les plantations à vocation énergétique (gestion, production / productivité, impacts sur les écosystèmes)	8	1	9	Plantations du plateau Batéké, plantations EcoMakala	UE, UNESCO, auteurs	Gerkens et Kasali, 1988 ; Bisiaux *et al.*, 2009 ; Kasongo *et al.*, 2009 ; Maurice et Le Crom, 2014 ; Paul et Fraser, 2014 ; Proces *et al.*, 2017 ; Dubiez *et al.*, 2019 ; Kasekete *et al.*, 2022a, 2022b.
Total	**17**	**52**	**69**	**–**	**–**	**–**

* Les informations concernant les autres projets ont été tirées de leurs sites web respectifs (voir le tableau III et la liste des références bibliographiques).
AFODEK : Agroforêts pour le développement de Kipushi ; CAFI : Initiative pour la forêt de l'Afrique centrale ; BAD : Banque africaine de développement ; FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ; FONAREDD : Fonds national REDD+ ; GIZ : Coopération allemande ; PGAPF : Projet de gestion améliorée des paysages forestiers ; PIREDD : Projet intégré REDD+ ; UE : Union européenne ; UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.

d'environ 160 kg de bois sec par personne en 1990. L'approvisionnement se faisait suivant deux principaux axes routiers : Kinshasa-Matadi et Kinshasa-Kikwit (Tshibangu et Malaisse, 1995). Entre 1995 et 2008, aucune étude n'a été publiée sur la filière bois-énergie de la RDC. Les études ont redémarré avec l'analyse de la filière effectuée entre 2009 et 2011 dans les villes de Kinshasa et de Kisangani par le projet Makala (Schure *et al.*, 2011). Entre 2010 et 2022, d'autres études ont été conduites à travers le pays (tableau I). Ces études ont essentiellement été réalisées avec des financements extérieurs par des institutions, des centres de recherche ou encore des organisations non gouvernementales, souvent étrangères en collaboration avec certaines institutions locales. Elles restent localisées à l'échelle de quelques villes dont Bukavu, Butembo, Goma, Kananga, Kindu, Kinshasa, Kisangani, Lubumbashi et Mbuji-Mayi. Ces villes sont les plus grands centres urbains (population proche ou supérieure à un million d'habitants, excepté la ville de Kindu) où la consommation en bois-énergie (plus spécifiquement le charbon de bois) est importante. Ce sont

également des entités où des enquêtes sur les circuits de commercialisation du bois-énergie semblent pouvoir être menées plus ou moins facilement.

Concernant les plantations à vocation énergétique, la première étude fut celle présentée en 1982 par la FAO pour le compte du gouvernement zaïrois (Lillelund, 1982). En 1988, la publication de Gerkens et Kasali sur *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. planté sur le plateau Batéké a apporté les premières indications sur sa productivité et la gestion à lui appliquer. En 1989, le plan d'action pour le reboisement au Zaïre a été publié après que le pays ait officiellement adhéré au Plan d'action forestier tropical de la FAO en 1986 (Mille, 1989). De 1990 à 2008, aucune étude en rapport avec les (projets de) plantations à vocation énergétique n'a été publiée sur la RDC. À partir de 2009, les études ont repris avec le rapport d'évaluation des réalisations du projet Mampu par Ducenne (2009). La même année, Bisiaux *et al.* (2009) et Kasongo *et al.* (2009) ont publié les résultats de leurs recherches en rapport avec les plantations de ce même projet. Entre 2010 et 2021, d'autres études ont été menées sur les plantations du plateau Batéké (voir par exemple : Maurice et Le Crom, 2014 ; Paul et Fraser, 2014 ; Proces *et al.*, 2017 ; Dubiez et Peltier, 2019). En 2022 (juin et septembre), les premiers résultats des recherches en cours sur les plantations du projet EcoMakala (au Nord-Kivu) ont été publiés (Kasekete *et al.*, 2022a, 2022b).

Le bois dans la consommation énergétique des ménages congolais en général et de la province du Nord-Kivu en particulier

À l'échelle nationale, des études sur la consommation et l'approvisionnement des ménages congolais en bois-énergie existent pour quelques villes (tableau II) : Bukavu (Schmitt et Larzillière, 2013a ; Guidal *et al.*, 2015 ; Gazull *et al.*, 2020a ; Dubiez *et al.*, 2021a), Butembo (Mulondi *et al.*, 2019), Goma (Gazull *et al.*, 2020b ; Dubiez *et al.*, 2021b), Kananga (MEDD/PIF, 2015), Kindu (Schmitt et Larzillière, 2013b ; Schure et Hunhyet, 2014), Kinshasa (Tshibangu et Malaisse, 1995 ; Schure *et al.*, 2011 ; Gazull *et al.*, 2020c ; Dubiez *et al.*, 2021c), Kisangani (Sindani et Ndjele, 1982 ; Schure *et al.*, 2011 ; Mate et Ndjele, 2013 ; MEDD/PIF, 2015 ; Imani et Moore-Delate, 2021), Lubumbashi (Malaisse *et al.*, 1980 ; Malaisse et Binzangi, 1985 ; Münkner *et al.*, 2015 ; Schure *et al.*, 2015 ; Djibu *et al.*, 2018 ; Gazull *et al.*, 2020d ; Péroches *et al.*, 2021) et Mbuji-Mayi (MEDD/PIF, 2015). Ces études ont été conduites dans le cadre de différents programmes ou projets : Programme Biodiversité et Forêts (PBF), Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie, projet Makala, projet intégré REDD+ à travers le Programme d'investissement pour la forêt (PIF), projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (GML), ou encore de la recherche scientifique (tableau II).

Ces études révèlent que le bois est une ressource énergétique très prisée en RDC où il fournit plus de 90 % de l'énergie consommée principalement par les ménages et certains professionnels dont les ferronniers, briquetiers, boulangers, restaurateurs, vendeurs de brochettes, etc. (Schure *et al.*, 2011 ; Dubiez *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d ; Gazull *et al.*, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d ; Belani Masamba *et al.*, 2023). Ce bois est principalement utilisé sous la forme de charbon de bois, mais le ratio charbon/bois de feu dans la consommation énergétique des ménages varie selon les situations (figure 2). L'analyse de l'évolution de la consommation en bois-énergie montre qu'elle fluctue parallèlement à la démographie (figure 2A) et certainement avec le passage du bois de feu au charbon de bois en milieu urbain. Cependant, si l'on se réfère à la FAO (2001) pour qui la consommation moyenne en bois-énergie dans les pays en développement est d'un mètre cube par habitant et par an, on constate que cette consommation est proche ou supérieure à la moyenne dans certaines villes alors qu'elle est sous-estimée dans d'autres (figure 2B). Les différences dans les estimations s'expliqueraient, d'une part, par des difficultés d'accès au flux total dans certaines zones car la production et la commercialisation du bois-énergie se font essentiellement dans l'informel et, d'autre part, par la non-adaptation de la méthode d'enquête utilisée au contexte local de chaque ville.

Les bassins d'approvisionnement en bois-énergie s'étendent sur des dizaines voire des centaines de kilomètres autour des villes selon les régions et les moyens de transport utilisés (tableau II). Suivant les situations, le bois-énergie est issu des terres agricoles, des forêts denses humides de la Cuvette centrale, des forêts des montagnes, des forêts claires (miombo), des savanes boisées, des plantations villageoises ou encore des plantations à vocation énergétique. Même les aires protégées ainsi que les plantations expérimentales sont illégalement exploitées à des fins énergétiques, notamment au Kivu (Lejeune *et al.*, 2013 ; Schmitt et Larzillière, 2013a) et dans la Tshopo (Schure *et al.*, 2010 ; Kyale Koy *et al.*, 2019). En outre, l'extraction du bois et la carbonisation se font encore selon des modes traditionnels et informels (Pinta *et al.*, 2013 ; Schure *et al.*, 2014a, 2019). Le rendement de la carbonisation est ainsi particulièrement faible, induisant un gaspillage de bois. Cela conduit, ensemble avec l'expansion agricole par abattis-brûlis et l'extraction artisanale du bois d'œuvre, à la disparition accélérée de la ressource en bois autour des grandes villes (Lootens-de Muynck *et al.*, 1982 ; Malaisse et Binzangi, 1985 ; Boulogne *et al.*, 2013 ; Gond *et al.*, 2016 ; Sikuzani *et al.*, 2017).

À l'échelle de la province du Nord-Kivu, la quantité globale de bois-énergie consommée n'est connue que pour la ville de Goma et partiellement pour Butembo (figure 2 et tableau II). En 2019, la consommation annuelle en bois-énergie par les ménages de Goma (un million d'habitants) a été estimée à 1,26 million de tonnes d'équivalent bois (Gazull *et al.*, 2020b), soit 1 260 kg d'équivalent bois par personne et par an. Concernant la ville de Butembo (900 000 habitants), la consommation annuelle de charbon de bois est estimée à 4 877 tonnes (Mulondi *et al.*, 2019), soit 43 kg d'équivalent bois par personne et par an. Si la

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

Tableau II.
Consommation en bois-énergie des ménages et sources d'approvisionnement pour quelques villes de la République démocratique du Congo. Les noms de villes ont été présentés suivant l'ordre alphabétique.
Household consumption of wood fuel and sources of supply for a number of towns in the Democratic Republic of Congo. Town names have been listed in alphabetical order.

Ville	Population en millions d'habitants [année d'estimation]*	Quantité de bois-énergie consommée en tonnes d'équivalent bois par an [bois issu des plantations]**	Consommation en bois-énergie par habitant (kg d'équivalent bois par an)	Sources d'appro-visionnement	Distance moyenne d'appro-visionnement (km)	Moyens de transport utilisés	Projets / programmes et références bibliographiques
Bukavu	0,8 [2012] 1,0 [2019]	729 149 [NP] 917 000 [30 %]	911 917	FM, J, TA, PV, AP	≈ 100	Camion, camionnette, pirogue, à pied	Programme Biodiversité et Forêts (Schmitt et Larzillière, 2013a ; Guidal *et al.*, 2015), Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie (Gazull *et al.*, 2020a ; Dubiez *et al.*, 2021a).
Butembo	0,9 [2016]	39 016 [54 %]***	43***	FDH, FM, J, TA, PV	≤ 150	Camion, voiture, moto, vélo, à pied	Recherche scientifique (Mulondi *et al.*, 2019).
Goma	1,0 [2019]	1 260 000 [32 %]	1 260	FM, J, TA, PV, PVE, AP	≤ 200	Camion, moto, pirogue, vélo, à pied	Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie (Gazull *et al.*, 2020b ; Dubiez *et al.*, 2021b).
Kananga	1,1 [2015]	69 336 [NP]	63	FDH, SB, TA, PV	≤ 120	Camion, vélo, à pied	Projet intégré REDD+ à travers le Programme d'investissement pour la forêt – PIF (MEDD/PIF, 2015).
Kindu	0,3 [2014]	94 200 [NP]	314	FDH, J, TA	≤ 25	Vélo, pirogue, à pied	Programme Biodiversité et Forêts (Schmitt et Larzillière, 2013b ; Schure et Hunhyet, 2014).
Kinshasa	3,7 [1990] 5,8 [2010] 11,2 [2019]	599 847 [NP] 3 480 000 [NP] 11 377 000 [8,7 %]	162 600 1 015	SB, FDH, J, PVE	≈ 500	Camion, bus, pick-up / voiture, baleinière, pirogue	Recherche scientifique (Tshibangu et Malaisse, 1995), projet Makala (Schure *et al.*, 2011), Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie (Dubiez *et al.*, 2020c, 2021c).
Kisangani	1,1 [2010] 1,2 [2015] 1,8 [2021]	145 000 [NP] 166 266 [NP] 1 975 850 [NP]	132 138 1 098	FDH, J, TA, PEI	≤ 100	Pirogue, baleinière, camion, vélo, à pied	Recherche scientifique (Sindani et Ndjele, 1982 ; Mate et Ndjele, 2013), projet Makala (Schure *et al.*, 2011), projet intégré REDD+ à travers le PIF (MEDD/PIF, 2015), projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (Imani et Moore-Delate, 2021).
Lubumbashi	0,5 [1980] 1,3 [2008] 1,8 [2014] 2,3 [2019]	470 376 [NP] 77 318 [NP]*** 2 330 000 [NP] 2 870 000 [< 1 %]	940 60*** 1 294 1 258	FC, J, TA, PV	≈ 300	Camion, camionnette, bus, vélo, à pied	Recherche scientifique (Malaisse *et al.*, 1980 ; Malaisse et Binzangi, 1985 ; Djibu *et al.*, 2018), Programme Biodiversité et Forêts (Münkner *et al.*, 2015 ; Schure *et al.*, 2015), Programme de consommation durable et substitution partielle au bois-énergie (Gazull *et al.*, 2020d ; Péroches *et al.*, 2021).
Mbuji-Mayi	1,3 [2015]	92 144 [NP]	71	FDH, SB, TA, PV	≤ 150	Camion, vélo, à pied	Projet intégré REDD+ à travers le PIF (MEDD/PIF, 2015).

* Les données de la population pour la ville de Butembo sont tirées de l'*Atlas des populations et pays du monde*, disponible sur https://www.populationdata.net/pays/republique-democratique-du-congo/. Celles des autres villes proviennent des statistiques des Nations unies telles que reprises dans les documents consultés. ** NP signifie que la quantité de bois-énergie issu des plantations n'est pas précisée. *** Le chiffre concerné se rapporte seulement à la consommation en charbon de bois.
AP : aire protégée ; FC : forêt claire (miombo) ; FDH : forêt dense humide ; FM : forêt de montagne ; J : jachère ; PEI : plantation expérimentale à vocation industrielle ; PV : plantation villageoise ; PVE : plantation à vocation énergétique ; SB : savane boisée ; TA : terre agricole.

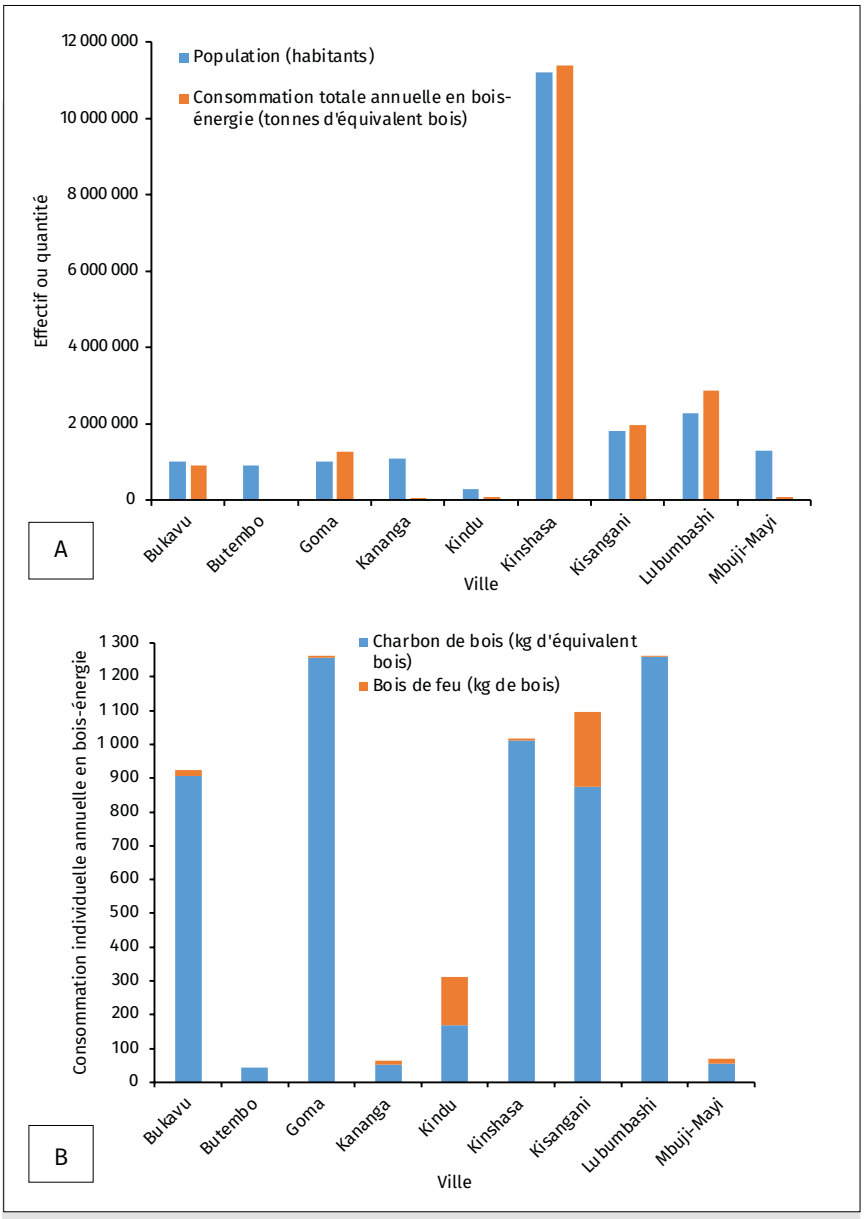
consommation des ménages de Goma a été déduite d'une méthode adaptée aux conditions locales, celle de Butembo est très largement sous-estimée, remettant ainsi en cause la méthode d'évaluation basée sur la concentration des enquêtes uniquement au sein des marchés de vente du charbon de bois dans cette ville. Même si la consommation urbaine en bois de feu n'est pas incluse dans cette évaluation, les habitants n'ont qu'un accès limité aux énergies modernes. Le bois est loin de devenir une source secondaire d'énergie malgré le raccordement de certains ménages à l'électricité par la société Énergie du Nord-Kivu (ENK) ou l'installation de panneaux solaires privés dont l'électricité produite n'est pas suffisante pour assurer l'alimentation de cuisinières électriques, par ailleurs trop chères pour la majorité de la population.

Il n'existe pas de données de consommation en bois-énergie pour les autres villes et encore moins pour les zones rurales de la RDC. Toutefois, les estimations récemment réalisées en adaptant la même méthode aux villes de Bukavu (Gazull *et al.*, 2020a), Goma (Gazull *et al.*, 2020b), Kinshasa (Gazull *et al.*, 2020c), Kisangani (Imani et Moore-Delate, 2021) et Lubumbashi (Gazull *et al.*, 2020d) ont révélé que, dans les faits, la consommation individuelle en bois-énergie dans ces villes congolaises est supérieure à la moyenne FAO (cf. figure 2B). Si cette consommation urbaine est approximativement fixée à 1 000 kg d'équivalent bois par habitant et par an, soit 1,38 m³ d'équivalent bois rond, et sachant que la population urbaine représente environ 43 % (Banque mondiale, 2018) de la population congolaise totale estimée à 99 millions d'habitants en 2022 (Pison *et al.*, 2022), la consommation annuelle en bois-énergie par 94 % de cette population urbaine (Schure *et al.*, 2014b ; Kusakana, 2016), soit environ 40 millions d'habitants, serait de 55,2 millions de mètres cubes d'équivalent bois rond en 2022. Particulièrement pour la province du Nord-Kivu avec ses 2,1 millions d'habitants vivant dans les villes de Goma, Butembo et Beni (Villeret, 2022) et dont environ 99 % utiliseraient du bois-énergie (Lejeune *et al.*, 2013 ; Dubiez *et al.*, 2021b), la consommation annuelle urbaine serait évaluée à 2,9 millions de mètres cubes d'équivalent bois rond en 2022. Avec un taux de croissance démographique estimé à 4,1 % par an en milieu urbain (Banque mondiale, 2018) et toutes choses restant égales par ailleurs, d'ici 2030 la demande urbaine pourrait approcher les 76,6 millions de mètres cubes de bois rond à l'échelle nationale dont environ 4 millions de mètres cubes pour les trois villes de la province du Nord-Kivu.

Les plantations à vocation énergétique en RDC, quel bilan pour les projets réalisés et en cours ?

À l'échelle nationale

En RDC, la question de l'approvisionnement en bois-énergie a vite attiré l'attention des chercheurs de l'Institut national pour l'étude agronomique du Congo belge (INEAC). Dès les années 1950, des boisements expérimentaux à base d'espèces exotiques à croissance rapide



Figures 2.
Consommation totale (A) et individuelle (B) annuelle en bois-énergie dans quelques villes congolaises.
Total (A) and individual (B) annual wood-energy consumption in a number of Congolese towns.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

Tableau III.
Quelques projets de reboisement énergétique en République démocratique du Congo. Les projets ont été présentés dans l'ordre chronologique de leur période de début de mise en œuvre. Les noms des projets en majuscules correspondent aux sigles et sont définis dans la légende.
Some energy reforestation projects in the Democratic Republic of Congo. The projects have been listed in chronological order ofwhen implementation began. Project names in capitals correspond to acronyms and are defined in the legend.

N°	Projet	Bailleur(s) de fonds	Opérateur(s) ou structure(s) de mise en œuvre	Période d'exécution*	Localisation (province)	Essences plantées	Superficie prévue (ha)	Superficie reboisée (ha)	Type de plantation	Références
1	Mampu	UE	Hva et FHS	1987-1993 1994-2001	Kinshasa	*Acacia auriculiformis* (avec un peu d'*Eucalyptus* spp.)	100 000	8 000	Forestier (industriel), agroforestier	Bisiaux *et al.*, 2009 ; Ducenne, 2009 ; FHS, 2021.
2	EcoMakala	UE	WWF	2007-aujourd'hui	Nord-Kivu	*Eucalyptus* spp., *Grevillea robusta, Acacia mearnsii,* etc.	60 000	17 500	Villageois et agroforestier	Lejeune *et al.*, 2013 ; ONFI et WWF, 2019 ; Thierry Lusenge, com. pers.
3	Ibi Village	Umicore et SUEZ-Tractebel	Mushiete et Cie, GI Agro et les Amis d'Ibi Village	2008-2015	Kinshasa	*Acacia auriculiformis, Acacia mangium* et arbres fruitiers	4 200	2 000	Agroforestier	GI Agro, 2022 ; Ibi Village, 2022.
4	Gungu	UE	FHS	2009-2017	Kwilu	*Acacia auriculiformis*	1 550	1 550	Villageois	FHS, 2022a.
5	Makala	UE	FHS	2009-2013	Kinshasa, Tshopo, Kongo-Central et Kasaï-Oriental	*Acacia auriculiformis* et essences locales	3 000	1 700	Villageois	Dubiez *et al.*, 2012 ; Proces *et al.*, 2017 ; Émilien Dubiez, com. pers.
6	DEFIV-DAFOMA	UE	GRET	2010-2015	Kongo-Central	*Acacia auriculiformis*	Non précisée	14,5	Villageois	Proces *et al.*, 2017 ; GRET, 2022.
7	PRGILT	BAD	WWF	2011-2013	Sud-Kivu	*Eucalyptus grandis, Grevillea robusta, Acacia mangium* et essences locales	720	720	Villageois	WWF, 2011 ; Smith *et al.*, 2012.
8	AFODEK	UE	GRET	2012-2017	Haut-Katanga	*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*	2 000	2 000	Agroforestier	Boldrini *et al.*, 2017.
9	Idiofa-Lobi	Faja Lobi	Faja Lobi	2012-aujourd'hui	Kwilu	*Acacia auriculiformis* et essences locales	50 000	3 931	Agroforestier	Faja Lobi, 2023.
10	Ntsio	UE	FHS	2013-2022	Kinshasa	*Acacia auriculiformis, Acacia mangium* et rarement *Maesopsis eminii*	4 500	2 500	Agroforestier	Dubiez et Peltier, 2019 ; FHS, 2022b.
11	PGAPF	Banque mondiale et CAFI / FONAREDD	MEDD à travers l'UC-PIF	2015-2019	Kinshasa, Kongo-Central, Kwango, Maï-Ndombe	Acacias et arbres fruitiers	20 000	17 166	Agroforestier	PIF-RDC, 2019, 2022b.
12	PIREDD**	CAFI / FONAREDD	MEDD à travers l'UC-PIF ; WWF et Consortium FRMi / WWC	2015-aujourd'hui	Maï-Ndombe, Lomami, Kongo-Central, Kasaï-Oriental, Kasaï-Central, Tshopo, Ituri, Bas-Uélé, Kwilu, Équateur, Mongala, Sud-Ubangi, Maniema	*Acacia auriculiformis, Acacia mangium* et arbres fruitiers	30 000	7 000	Villageois et agroforestier	BAD, 2013 ; Gouvernement de la RDC, 2015 ; PIF-RDC, 2019 ; CAFI, 2021 ; FONAREDD, 2022 ; PIF-RDC, 2022a ; WWF, 2020.
13	FORETS-NPC	UE	CIFOR	2018-2022 (phase 1)	Tshopo	*Acacia auriculiformis, Acacia mangium* et essences locales	2 000	1 840	Agroforestier	CIFOR, 2022 ; Nils Bourland et Principe Alowakinnou, com. pers.
14	APHK	UE	GRET	2019-aujourd'hui	Haut-Katanga	*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*	Non précisée	≈ 1 500	Agroforestier	GRET, 2023.
15	BGF	GIZ	MEDD	2020-aujourd'hui	Sud-Kivu	*Eucalyptus* spp., *Casuarina equisetifolia, Grevillea robusta,* etc.	Non précisée	2 000	Villageois	BGF/GIZ, 2021

* Dans ce tableau, « aujourd'hui » se réfère à la date du 20 janvier 2023. ** Les projets intégrés REDD+ (PIREDD) n'ont pas encore démarré dans d'autres provinces (au 20 janvier 2023). AFODEK : Agroforêts pour le développement de Kipushi ; APHK : Agroforesterie périurbaine dans le Haut-Katanga ; BAD : Banque africaine de développement ; BGF : Programme de maintien de la biodiversité et gestion durable des forêts ; CAFI : Initiative pour la forêt de l'Afrique centrale ; CIFOR : Centre de recherche forestière internationale ; DEFIV-DAFOMA : Projet de sécurité alimentaire via le développement des filières agricoles vivrières de Mayanda ; FHS : Fondation Hanns-Seidel ; FONAREDD : Fonds national REDD+ ; FORETS : Formation, recherche et environnement dans la Tshopo ; FRMi : FRM Ingénierie ; GI Agro : Groupe d'initiatives pour l'agroforesterie en Afrique ; GIZ : Coopération allemande ; GRET : Groupe de recherche et d'échange technologique ; Hva : Hollandaise agro-industries ; MEDD : Ministère de l'Environnement et Développement durable ; NPC : Nouveaux paysages du Congo ; PGAPF : Projet de gestion améliorée des paysages forestiers ; PIREDD : Projet intégré REDD+ ; PRGILT : Programme régional de gestion intégrée du lac Tanganyika ; UC-PIF : Unité de coordination du Programme d'investissement pour la forêt ; UE : Union européenne ; WWC : Wildlife Works Carbon ; WWF : Fonds mondial pour la nature.

dont les genres *Eucalyptus*, *Pinus* et *Cupressus* ont été installés d'abord à la station de Mulungu (Sud-Kivu), puis dans toutes les stations de recherche qui dépendaient du siège central de Yangambi (Pierlot, 2006). Ces expériences ont malheureusement été abandonnées lorsque le pays a accédé à l'indépendance et, jusque 1965, la RDC ne comptait qu'environ 5 000 ha de plantations d'*Eucalyptus* spp. (FAO, 1982). Après l'indépendance, la pression d'une population en croissance rapide s'est faite sentir sur les formations forestières jusqu'à entraîner leur quasi-disparition autour des grandes villes dont Kinshasa (Boulogne *et al.*, 2013 ; Gond *et al.*, 2016) et Lubumbashi (Lootens-de Muynck *et al.*, 1982 ; Malaisse et Binzangi, 1985 ; Sikuzani *et al.*, 2017). Face à cette demande croissante induisant un appauvrissement marqué du couvert arboré des zones facilement accessibles, la mise en place d'un système complémentaire d'approvisionnement est devenue indispensable. Vers 1970, les gestionnaires forestiers ont lancé les premières plantations à vocation énergétique près de Kinshasa (Gerkens, 2014). Ces plantations n'ont malheureusement pas subsisté car, trop proches de la ville, les surfaces allouées ont vite été converties en terrains d'habitation. L'amplification du problème d'approvisionnement en bois-énergie au cours des années a poussé le ministère de l'Environnement à recourir à une nouvelle approche. Dès 1976, des plantations industrielles de production de bois-énergie sur les terres non cultivées du plateau Batéké ont été envisagées (Lillelund, 1982 ; Gerkens, 2014). En 1978, ce ministère a créé le Centre forestier de Kinzono sous la tutelle du Service national de reboisement. Ce centre avait pour mission la mise au point de techniques d'installation et de gestion de plantations à vocation énergétique sur les sols sableux et chimiquement pauvres du plateau Batéké (Lillelund, 1982 ; Ducenne, 2009 ; Kasongo *et al.*, 2009 ; Dubiez et Peltier, 2019). Sur plus de 80 espèces locales et exotiques testées, seule *A. auriculiformis* a montré une croissance satisfaisante (Gerkens et Kasali, 1988 ; Ducenne, 2009 ; FHS, 2021). Cette espèce a été utilisée pour des plantations de démonstration dont les résultats ont été mis en application par le projet Mampu. Décidé en 1984, ce programme de reboisement a été mis en œuvre en 1987 par une entreprise privée pour le compte de l'Union européenne (UE) au bénéfice de la population kinoise (Gerkens, 2014 ; FHS, 2021). Pendant que l'essentiel des expérimentations se concentrait près de Kinshasa, le ministère de l'Environnement a démarché divers bailleurs pour développer des projets de plantations à vocation énergétique à proximité d'autres grandes villes. Les événements politiques des années 1990 ont mis un terme à cet élan (FHS, 2021), et il a fallu attendre 2007 pour qu'en RDC se développent à nouveau de tels projets (tableau III). Ainsi, entre 2007 et 2022, 14 autres projets de plantations ont été engagés dans 18 provinces de la RDC (figure 3).

Ces projets restent cependant limités et leurs impacts peu documentés. La quasi-totalité de leurs activités est exécutée sur financements extérieurs, principalement de l'UE. Ils sont esentiellement mis en œuvre dans les provinces où se situent les moyennes et grandes villes (population urbaine supérieure à 500 000 habitants). Certains de ces projets sont déjà terminés alors que d'autres sont en cours d'exécution. Les plantations initiées s'appuient souvent sur des filières existantes pour pérenniser leur développement et assurer leur durabilité en générant des revenus aux populations locales. Cependant, les terres potentiellement reboisables ne sont pas accessibles à tous (Karpe et Dubiez, 2014 ; Péroches *et al.*, 2019) et les programmes de reboisement se heurtent de front à des difficultés d'ordre politique, financier, technique, foncier ou encore socio-économique (tableau IV). Cela compromet les objectifs visés et se traduit par un taux de réalisation faible, voire très faible. Sur près de 280 000 ha de plantations prévus dans le cadre des différents projets, seulement 69 400 ha environ ont été effectivement réalisés (figure 4), soit un taux de réalisation d'environ 25 %.

Les essences utilisées appartiennent majoritairement au genre *Acacia*, sauf au Kivu où l'on recourt principalement à *Eucalyptus* spp. et *Grevillea robusta* A. Cunn. (photos 1a à 1c). Quelques essences locales sont aussi marginalement utilisées, par exemple par les projets Makala dans le Kongo-Central et sur le plateau Batéké (Dubiez *et al.*, 2012), Idiofa Lobi dans le Kwilu (Faja Lobi, 2023) ou encore FORETS-NPC dans la Tshopo à Yangambi (Nils Bourland et Principe Alowakinnou, com. pers.). La plupart de ces plantations sont essentiellement des systèmes agroforestiers développés selon le modèle Taungya (Dubiez *et al.*, 2014).

Les études disponibles sur les caractéristiques des plantations initiées sur le plateau Batéké (proche de Kinshasa) et en périphérie du PNVi (au Nord-Kivu) révèlent que, dans les faits, la productivité varie avec l'espèce, les conditions de site et la sylviculture. Pour des écartements variant entre 2 et 3 m, la productivité moyenne est d'environ 12 m^3/ha/an sur 7 ou 8 ans dans les plantations d'*A. auriculiformis* du plateau Batéké (Gerkens et Kasali, 1988 ; Proces *et al.*, 2017) et de 42 m^3/ha/an sur 8 ans et 25 m^3/ha/an sur 12 ans respectivement dans les plantations d'*Eucalyptus saligna* Sm. et de *G. robusta* du Nord-Kivu (Kasekete *et al.*, 2022b). Sur la base de ces productivités moyennes et des estimations de la consommation en bois-énergie par les ménages de Kinshasa et de Goma réalisées en 2019 (cf. tableau II), la satisfaction de la demande en bois-énergie nécessiterait environ 1,3 million d'hectares de plantations d'*A. auriculiformis* pour la ville-province de Kinshasa et 41 000 ou 70 000 ha de plantations d'*E. saligna* ou de *G. robusta*, respectivement, pour la ville de Goma dans la province du Nord-Kivu. En considérant un taux moyen de croissance démographique de 4,1 % dans les villes congolaises (Banque mondiale, 2018) et toutes choses restant égales par ailleurs, d'ici 2030 le besoin en plantations pour satisfaire la demande énergétique pourrait approcher 2 millions d'hectares d'*A. auriculiformis* pour Kinshasa et 64 000 ha d'*E. saligna* ou 110 000 ha de *G. robusta* pour la ville de Goma. Suite aux contraintes notamment foncières, techniques et financières, de telles superficies sont, dans le contexte actuel, « irréalisables » tant en périphérie de Kinshasa que de Goma.

Des plantations d'arbres pilotées par des opérateurs privés ou des communautés religieuses existent aussi à l'échelle nationale et fournissent du bois-énergie et de service. Ces plantations villageoises sont, depuis des décen-

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 5-28
RESEARCH / AN UPDATE ON FUELWOOD USE AND PLANTATIONS

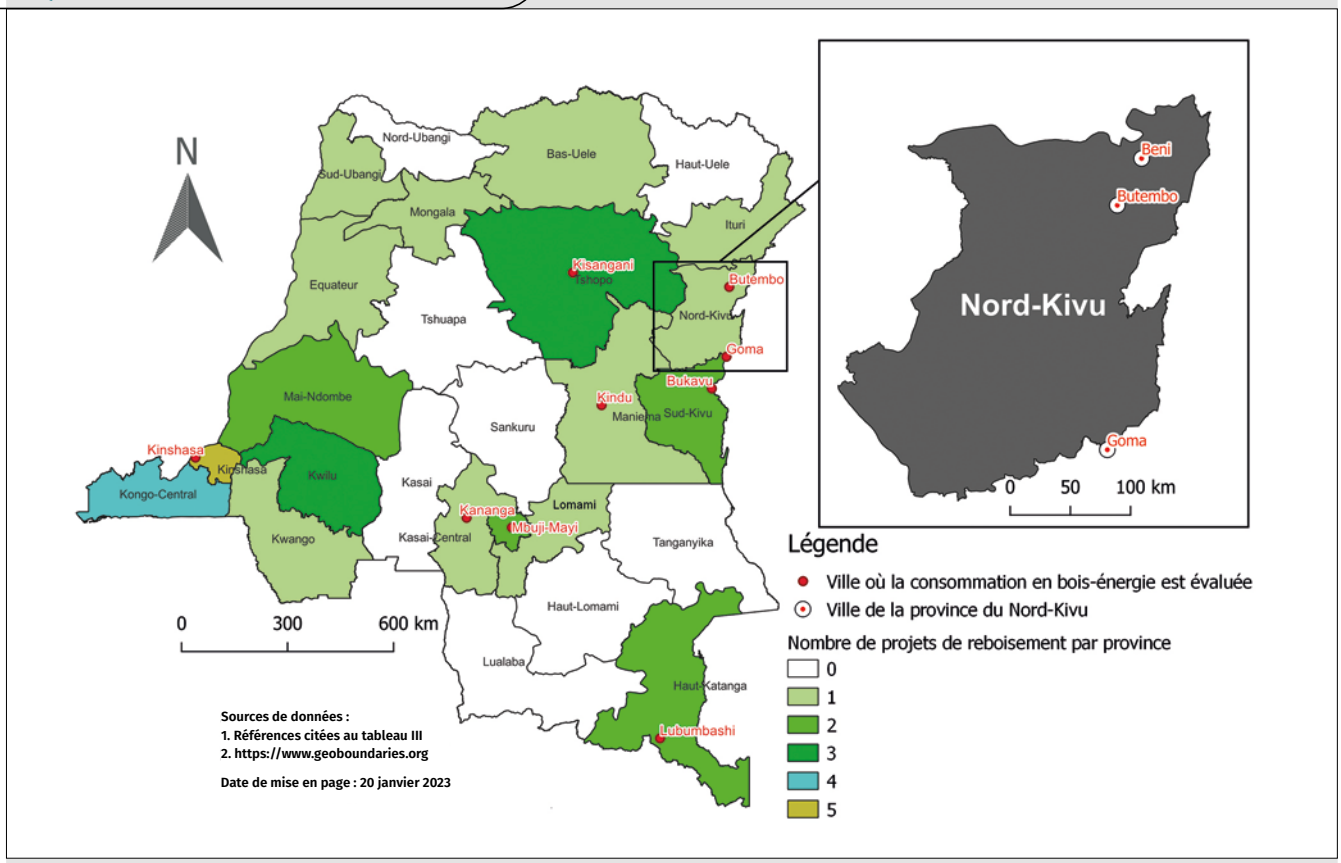


Figure 3.
Cartographie des projets de reboisement énergétique en République démocratique du Congo. Les couleurs ont été attribuées sur la base du nombre de projets exécutés ou en cours dans chaque province jusqu'à la date du 20 janvier 2023. La période d'exécution de chaque projet est renseignée au tableau III.
Mapping of energy reforestation projects in the Democratic Republic of the Congo. The colours have been assigned on the basis of the number of projects completed or under way in each province until 20 January 2023. The implementation period for each project is shown in table III.

nies, entreprises en dehors de projets, notamment dans les deux Kivu et au Kwango (Mille, 1989 ; Pierlot, 2006). Jusqu'à aujourd'hui, ces plantations n'ont fait l'objet ni d'études ni de publications scientifiques et ne sont donc pas documentées. D'autres initiatives de plantations d'arbres à vocations diverses dont la production de bois-énergie existent depuis quelques années. C'est le cas de l'Initiative pour la restauration des forêts et paysages forestiers en Afrique lancée en 2015 par les représentants des pays africains à la COP-21 avec l'appui de partenaires techniques et financiers (AFR100, 2017). La RDC a adhéré à cette initiative en lançant officiellement le projet « Jardins scolaires pour un milliard d'arbres à l'horizon 2023 » (MEDD, 2022). Cette initiative politique, particulièrement rare en matière de bois-énergie, vise à reboiser 5 millions d'hectares dans les 26 provinces nationales grâce à l'appui financier du Fonds forestier national (FFN). Le bilan disponible fin décembre 2022 fait état de 355 millions d'arbres plantés sur 351 268 ha dans cinq provinces pilotes (Mudiayi, 2022). Ces chiffres restent sujets à caution, essentiellement en ce qui concerne la superficie plantée, car beaucoup de projets initiés et financés depuis des décennies n'ont planté qu'environ 69 400 ha (cf. tableau III).

À l'échelle de la province du Nord-Kivu

Des plantations villageoises à base d'*E. saligna*, *Eucalyptus maidenii* F. Muell., *Acacia mearnsii* (De Wild.) Pedley ou encore de *G. robusta* ont été installées dès l'époque coloniale (Pierlot, 2006 ; Dumont *et al.*, 2015). La raréfaction de la ressource ligneuse ainsi que l'accroissement démographique et l'expansion urbaine sont les principales motivations pour ces plantations. Le bois d'*E. saligna* est principalement utilisé sous forme de bois de feu par les ménages, les boulangeries et pour la cuisson des briques alors que celui d'*A. mearnsii* est préférentiellement transformé en charbon de bois pour les ménages, les restaurants et les fonderies (Dumont *et al.*, 2015 ; Mulondi *et al.*, 2019). Depuis les années 2010, *E. saligna* est aussi carbonisé mais son charbon est peu apprécié des consommateurs car, léger, il se consume rapidement. Cela impacte négativement son prix sur le marché, comme à Butembo où un sac de 45 kg de charbon à base d'*E. saligna* se vendait, en septembre 2022, entre 10 et 12 USD selon les quartiers alors que le charbon à base de *A. mearnsii* coûtait entre 15 et 18 USD, soit 50 % de plus pour une masse similaire (Désiré Kasekete, obs. pers.). Les plantations d'*E. maidenii*

et de *G. robusta* sont quant à elles principalement exploitées pour produire du bois de menuiserie et de construction (Dumont *et al.*, 2015). Les rémanents d'exploitation sont soit utilisés comme bois de feu, soit transformés en charbon de bois. Essentiellement installées sur des terres agricoles (Lejeune *et al.*, 2013 ; Dumont *et al.*, 2015), voire sur des domaines privés en milieu urbain comme à Butembo (photo 2), ces plantations n'ont jusqu'à aujourd'hui pas fait l'objet d'étude ni de publication scientifique. En conséquence, leurs superficies ainsi que leurs productivités ne sont pas connues, ni même estimées.

De nouvelles plantations à vocation de bois-énergie sont, depuis novembre 2007, entreprises dans les zones périphériques du PNVi par le projet EcoMakala (Lejeune *et al.*, 2013). Ce projet financé par l'UE est mis en œuvre par le Fonds mondial pour la nature (WWF), qui accompagne techniquement et financièrement les planteurs via des associations villageoises (figure 5).

Les essences plantées, dans l'ordre de préférence décroissant des planteurs, sont *E. saligna*, *E. maidenii*, *G. robusta*, *A. mearnsii*, *Cedrela serrulata* Miq. et *Senna siamea* (Lam.) H. S. Irwin et Barneby. Le choix d'une essence est, pour certains planteurs, motivé par la capacité à produire un grand volume de bois sur une courte révolution. Pour d'autres, c'est la qualité du charbon de bois produit qui joue un rôle prépondérant. Certains planteurs préfèrent des systèmes agroforestiers (photo 3a) alors que d'autres privilégient les plantations forestières pures (photo 3b) pour de meilleurs rendements (Lejeune *et al.*, 2013). Jusqu'en décembre 2022, 17 500 ha, dont 13 000 ha (74,3 %) de plantations pures et 4 500 ha (25,7 %) de plantations agroforestières, ont été installés sur les 60 000 ha prévus (Thierry Lusenge, com. pers.), soit un taux de réalisation de 29,2 % en quinze ans. L'insuffisance de moyens financiers, le manque de semences et de plants, les problèmes fonciers, l'insécurité ou encore la faible compétitivité du charbon produit en plantation par rapport à celui issu des forêts naturelles sont principalement à la base de ce faible taux de réalisation (Bouyer *et al.*, 2013). Si la superficie réalisée était équitablement répartie entre les 9 370 planteurs regroupés en 80 associations sélectionnées par le WWF (ONFI et WWF, 2019), la surface moyenne plantée sur une durée de 15 ans serait de 1,8 ha par planteur. Les plantations sont donc très souvent installées sur des parcelles de petites à très petites superficies. L'évaluation de la productivité d'une partie de ces plantations (Kasekete *et al.*, 2022b) à Sake (environ 30 km à l'ouest de Goma) et Kirumba (environ 150 km au nord de Goma) a révélé que, dans les faits,

Tableau IV.
Contraintes imposées aux projets de reboisement énergétique en République démocratique du Congo.
Constraints imposed on energy reforestation projects in the Democratic Republic of Congo.

Type de contraintes	Conséquences	Références bibliographiques
Politique : • troubles politiques internes ; • manque de sécurisation du foncier ; • non-implication de l'administration dans la structuration d'un cadre politique et réglementaire stable ; • faible prise en compte du secteur du bois-énergie aux plans politique et institutionnel.	Arrêt des travaux ; rupture de financement ; réduction des surfaces à planter ; conflits fonciers ; caractère informel de la filière.	Schure *et al.*, 2010 ; Louppe, 2011 ; Bouyer *et al.*, 2013 ; Tonneau *et al.*, 2013 ; Gerkens, 2014 ; Karpe et Dubiez, 2014.
Financier : • insuffisance ou manque des moyens nécessaires pour financer les projets de reboisement énergétique ; • limitation dans le temps du financement alloué aux activités du projet par les bailleurs de fonds ; • engagement des bailleurs de fonds limité dans le temps pour encadrer / accompagner les planteurs ; • détournement d'une partie du financement par les gestionnaires des projets.	Limitation des programmes de reboisement autour des grandes villes à cause du coût de mise en œuvre élevé ; difficulté à faire avancer les activités du projet ; désintérêt des populations impliquées ; abandon / arrêt du projet.	Schure *et al.*, 2010 ; Louppe, 2011 ; Bouyer *et al.*, 2013 ; Marien *et al.*, 2013 ; Péroches *et al.*, 2019.
Technique : • compétences techniques insuffisantes (manque de forestiers qualifiés et expérimentés) pour la mise en œuvre des projets ; • mauvaise compréhension des systèmes de production, y compris la conciliation de l'agriculture avec la plantation d'arbres.	Retard dans le démarrage des activités du projet ; faible développement des plantations ; recours à de la main-d'œuvre extérieure, avec comme conséquences la perte de marché et la fuite des capitaux ; mauvaise exécution des travaux par une main-d'œuvre sous-qualifiée ; non-appropriation d'innovations techniques par quelques planteurs ; ruptures dans l'exécution des projets, décourageant les acteurs et faisant perdre tout ou partie des acquis.	Lillelund, 1982 ; Bouyer *et al.*, 2013 ; Marien *et al.*, 2013 ; Péroches *et al.*, 2019.
Socio-économique : • mauvaise gestion / partage des bénéfices générés par les projets ; • sous-information ou mauvaise sensibilisation de la population ; • pas de réelle démarche participative.	Conflits d'intérêts entre les gestionnaires et, dans le cas extrême, arrêt des activités du projet ; non-appropriation du projet et des techniques de plantation par la population cible ; perte / fuite des capitaux.	Schure *et al.*, 2011 ; Larzillière *et al.*, 2013 ; Marien *et al.*, 2013.

les révolutions généralement appliquées par les planteurs (entre 6 et 10 ans) sont comparables à la révolution optimale préconisée dans les plantations d'*E. saligna* (8 ans) tandis qu'elles sont plus courtes que dans les plantations de *G. robusta* (12 ans).

Part du bois de plantations dans l'approvisionnement énergétique des ménages

La contribution des plantations (villageoises et/ou à vocation énergétique) à l'approvisionnement énergétique des ménages congolais n'est jusqu'à aujourd'hui évaluée que pour les seules villes de Kinshasa, Lubumbashi, Bukavu, Goma et Butembo (cf. tableau II).

Selon Dubiez *et al.* (2021c), 8,7 % du bois-énergie consommé à Kinshasa (soit 1,49 million de tonnes d'équivalent bois) est issu des plantations. La production annuelle des plantations du projet Mampu étant estimée entre 8 000 et 12 000 tonnes de charbon de bois (Bisiaux *et al.*, 2009), soit entre 64 000 et 96 000 tonnes d'équivalent bois (0,04 et 0,06 % de la consommation de la ville), une grande partie (environ 8 %) du bois de plantations consommé à Kinshasa provient donc des plantations villageoises ou de celles portées par d'autres projets dont Ibi Village et Ntsio (FHS, 2022a, 2022b ; Ibi Village, 2022 ; Émilien Dubiez, com. pers.). À Lubumbashi, la contribution de quelques plantations villageoises à l'approvisionnement énergétique des ménages est inférieure à 1 % (Péroches *et al.*, 2021). Cette proportion pourrait toutefois être légèrement revue à la hausse d'ici deux ou trois ans, avec notamment l'entrée en production des *A. auriculiformis* des plantations agroforestières installées à Kipushi dans le cadre du projet AFODEK (cf. tableau III). Concernant Bukavu, 32 % du charbon de bois et 100 % du bois de feu consommés sont issus des plantations villageoises (Dubiez *et al.*, 2021a). Ces plantations principalement à base d'*Eucalyptus* spp. sont depuis des décennies installées sur des parcelles privées et leur développement dans la région fait suite aux initiatives coloniales, notamment les plantations expérimentales conduites à Mulungu par l'INEAC (Pierlot, 2006 ; Baraka *et al.*, 2018).

Au Nord-Kivu, les plantations fournissent 39 % du charbon de bois et 66 % du bois de feu consommés à Goma (Dubiez *et al.*, 2021b), et 54 % du charbon de bois consommé à Butembo (Mulondi *et al.*, 2019). Une grande partie de ce bois-énergie proviendrait de plantations villageoises dont la superficie et le développement restent à évaluer. La production des plantations du projet EcoMakala n'est pas encore bien établie car la plupart d'entre elles n'ont pas encore atteint la maturité, et le circuit de commercialisation n'est pas bien structuré. Toutefois, les estimations de 2018 font état de quelque 112 tonnes de charbon de bois (soit 896 tonnes d'équivalent bois) issues de ces plantations et vendues à Goma par la société Goma-Stove (ONFI et WWF, 2019). L'implication de cette société partenaire du WWF dans la commercialisation de l'écomakala (charbon de bois produit par le projet) pourrait permettre de quantifier le charbon de bois réellement produit par les plantations et ainsi formuler des recommandations en vue de pérenniser les acquis du projet et de construire une chaîne d'approvisionnement durable.

Quelques plantations d'arbres en ville de Butembo (Nord-Kivu, RDC)

Photo 2.
Localisation de quelques plantations d'arbres (essentiellement *Eucalyptus saligna* par endroits en mélange avec *Grevillea robusta*) d'une partie de la ville de Butembo sur image Google Earth. Les concessions identifiées par les lettres sont celles de Dada à Mutiri (A), Dénis Paluku à Vungi (B), l'Évêché à la Procure (C), Pères Augustins de l'Assomption à Kambali (D), Sœurs Oblates de l'Assomption à Malkia (E), l'Auberge à Kyavuyiri (F), CAFEKIT à Mutsanga (G) et de Pères Croisiers à Ntwaga (H).
Location of some tree plantations (mainly Eucalyptus saligna in places mixed with Grevillea robusta) in part of the town of Butembo on a Google Earth image. The concessions identified by the letters are those of Dada at Mutiri (A), Dénis Paluku at Vungi (B), l'Évêché at la Procure (C), Pères Augustins de l'Assomption at Kambali (D), Sœurs Oblates de l'Assomption at Malkia (E), l'Auberge at Kyavuyiri (F), CAFEKIT at Mutsanga (G) and Pères Croisiers at Ntwaga (H).

Bien que d'autres plantations à vocation énergétique aient été initiées depuis près d'une décennie dans d'autres provinces de la RDC (cf. figure 3 et tableau III), leur contribution à la satisfaction des besoins énergétiques des ménages n'est pas connue. L'absence de données scientifiques tangibles sur le potentiel de ces plantations traduit un manque de suivi, leur non-entrée en production et/ou la difficulté d'accès aux données car la production et la vente du bois-énergie se font essentiellement dans l'informel. Toutefois, étant donné la faible superficie des plantations réalisées (cf. figure 4), leur production en bois-énergie reste très faible par rapport aux besoins.

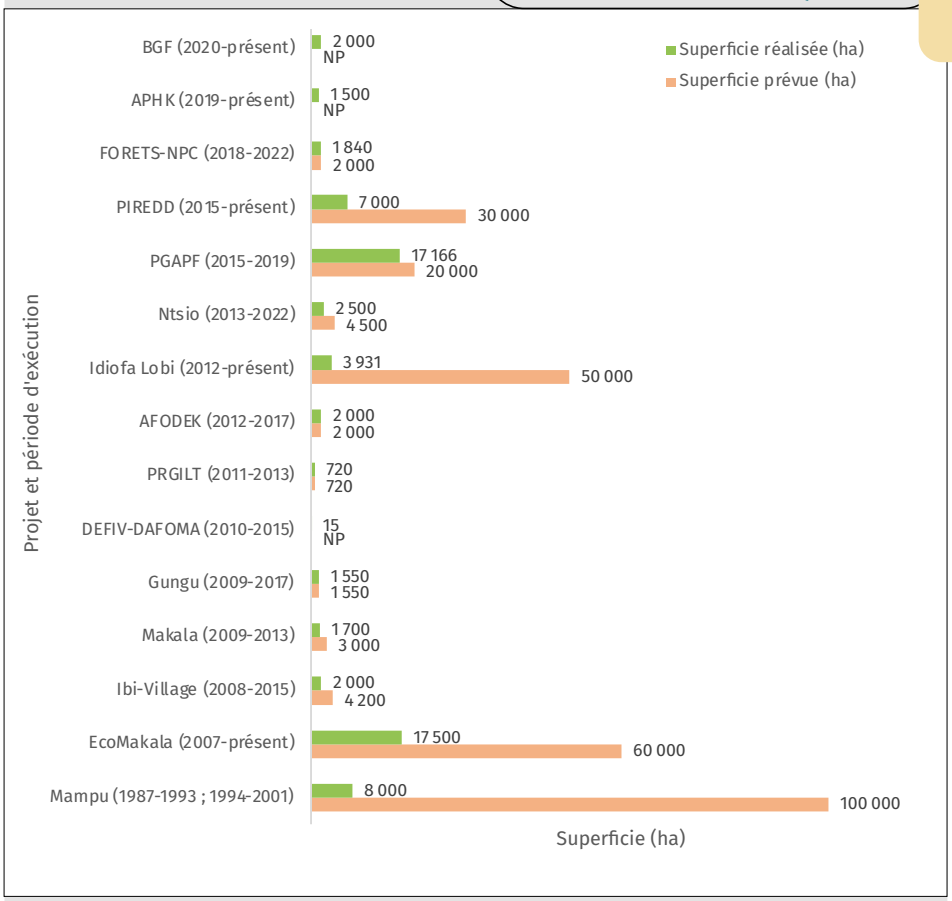


Figure 4.
Superficies à reboiser prévues (en orange) et réellement reboisées (en vert) par projet, du plus au moins récent. NP signifie que la superficie concernée n'est pas précisée. Le présent veut dire que les actions du projet concerné continuent jusqu'à la date du 20 janvier 2023.
Areas to be reforested planned (in orange) and actually reforested (in green) by project, from the most to the least recent. NP means that the area concerned is not specified. The present means that the actions of the project concerned continue until 20 January 2023.
AFODEK : Agroforêts pour le développement de Kipushi ; APHK : Agroforesterie périurbaine dans le Haut-Katanga ; BGF : Programme de maintien de la biodiversité et gestion durable des forêts ; DEFIV-DAFOMA : Projet de sécurité alimentaire via le développement des filières agricoles vivrières de Mayanda ; FORETS : Formation, recherche et environnement dans la Tshopo ; NPC : Nouveaux paysages du Congo ; PGAPF : Projet de gestion améliorée des paysages forestiers ; PIREDD : Projet intégré REDD+ ; PRGILT : Programme régional de gestion intégrée du lac Tanganyika.

Recommandations pour une gestion durable de la filière bois-énergie

Avec une population urbaine estimée à 43 % de la population nationale et un taux moyen de croissance de 4,1 % par an (Banque mondiale, 2018), les villes congolaises accueillent chaque année près d'un million d'habitants supplémentaires. Cette croissance démographique s'accompagne de plusieurs défis majeurs, dont une demande croissante en bois-énergie (Montagne *et al.*, 2016 ; Peltier, 2019). Comme les plantations à vocation énergétique sont moins développées en RDC – avec parfois des productions inférieures aux prévisions (cf. supra) – et qu'une grande partie des 126,1 millions d'hectares de forêts naturelles restants à l'échelle nationale (FAO, 2021) est éloignée et/ou située dans les zones marécageuses de la Cuvette centrale (Biddulph *et al.*, 2023), certains grands centres urbains ne pouvant être alimentés en raison des difficultés d'accès et/ou de transport, des interventions à l'échelle de la filière sont indispensables en vue de rationaliser l'utilisation du bois-énergie et d'en sécuriser les approvisionnements. Ces interventions devraient prioritairement être concentrées sur une série de dispositions dont : la diversification des sources d'approvisionnement en bois-énergie en faisant appel à la fois aux forêts naturelles aménagées et aux plantations (forestières et agroforestières), car ni les premières ni les secondes ne pourront, prises séparément, satisfaire la demande future en bois (Louppe, 2011) ; l'amélioration des techniques d'exploitation et de carbonisation du bois ; la réduction de la consommation individuelle en bois-énergie à travers notamment la promotion des foyers améliorés et le remplacement d'une partie de l'énergie domestique dépassant la capacité de production des bassins d'approvisionnement par des énergies alternatives au bois (tableau V).

Ces dispositions requièrent la mobilisation des acteurs, tant de la société civile que des services gouvernementaux, et la mise en place d'une police forestière/environnementale intègre et aux moyens suffisants pour juguler l'exploitation outrancière des peuplements naturels, conformément aux dispositions actuelles du code forestier (dia Massamba et Lumpungu, 2013), en attendant que les principaux axes stratégiques définis dans la

Tableau V.
Dispositions prioritaires proposées pour rationaliser l'utilisation du bois-énergie et sécuriser les sources d'approvisionnement en RDC.
Proposed priority measures to rationalise the use of wood energy and secure sources of supply in the DRC.

Disposition	Actions à mener	Acteurs à impliquer	Exigences	Références bibliographiques
Diversification des sources d'approvisionnement en bois-énergie	Aménagement d'une partie des forêts naturelles restantes à des fins énergétiques ; accompagnement technique et financier des paysans dans la mise en place et la gestion rationnelle des plantations villageoises ; conciliation de la production de bois-énergie avec l'agriculture à travers notamment la promotion de l'agroforesterie car le bois-énergie est, dans la plupart des cas, un sous-produit de l'agriculture ; démarrage, dans les bassins actuels d'approvisionnement, de projets de plantations industrielles à haute productivité comprenant une composante forestière sur les terres incultes ou peu productives et une composante agroforestière sur des terres agricoles.	Gouvernements central et provinciaux ; bailleurs de fonds et institutions / organisations / ONG locales ou étrangères de développement ; concessionnaires ou propriétaires fonciers ; communautés locales ; experts forestiers.	Compréhension des systèmes de production ; mobilisation de fonds par le gouvernement et les bailleurs de fonds ; compétences techniques suffisantes (forestiers formés et expérimentés) pour exécuter et assurer le suivi des plantations à réaliser ; sélection des essences résilientes face aux effets des changements climatiques ; renforcement des capacités des planteurs en termes de pratiques sylvicoles, de techniques d'exploitation et de transformation du bois ; implication effective de toutes les parties prenantes dans la définition des objectifs des plantations à réaliser, l'identification des sites, la sélection des essences, la gestion des financements ou encore le partage des bénéfices futurs ; suivi et évaluation.	Louppe, 2011 ; Larzilière *et al.*, 2013 ; Peltier, 2019 ; Péroches *et al.*, 2019 ; Brancalion et Holl, 2020 ; Gerkens, 2020 ; Fremout *et al.*, 2022 ; Péroches *et al.*, 2022.
Amélioration des techniques d'exploitation et de carbonisation du bois	Adoption de l'abattage sélectif ; respect des quotas et des révolutions ; formation des charbonniers à l'utilisation de techniques de carbonisation efficientes en insistant sur les facteurs – par exemple, le séchage préalable du bois, le suivi de la carbonisation – qui influencent le rendement des meules et la qualité du charbon, les types de meules et de fours et leurs rendements, etc. ; amélioration de la traditionnelle charbonnière en meule (avec ou sans cheminée externe) et/ou investissement dans des cheminées ou des fours fixes, le cas échéant.	Gouvernements central et provinciaux ; bailleurs de fonds et institutions / organisations / ONG locales ou étrangères de développement ; concessionnaires ; bûcherons et charbonniers ; experts forestiers.	Compétences techniques suffisantes (experts forestiers et charbonniers) et disponibles pour former les exploitants forestiers et les charbonniers ; moyens financiers suffisants pour prendre en charge cette formation ainsi que les activités relatives au suivi.	Pinta *et al.*, 2013 ; Schure *et al.*, 2019 ; Ihalainen *et al.*, 2021 ; Schure *et al.*, 2021a.
Réduction de la consommation en bois-énergie	Promotion des foyers dits améliorés ; révision, le cas échéant, de la qualité de ces foyers en vue d'augmenter leur efficacité ; remplacement d'une partie de l'énergie domestique dépassant la capacité de production des bassins d'approvisionnement par des énergies alternatives au bois (électricité, gaz, pétrole).	Gouvernements central et provinciaux ; bailleurs de fonds et institutions / organisations / ONG locales ou étrangères de développement.	Développement de partenariats qui permettraient tout d'abord de produire et/ou distribuer les foyers améliorés ou les énergies alternatives, et ensuite aux ménages de se procurer ces énergies ou des foyers adaptés / performants à des prix abordables ; moyens financiers suffisants.	Schure *et al.*, 2014a ; Peltier, 2019 ; Imani et Moore-Delate, 2021 ; CAFI, 2022.

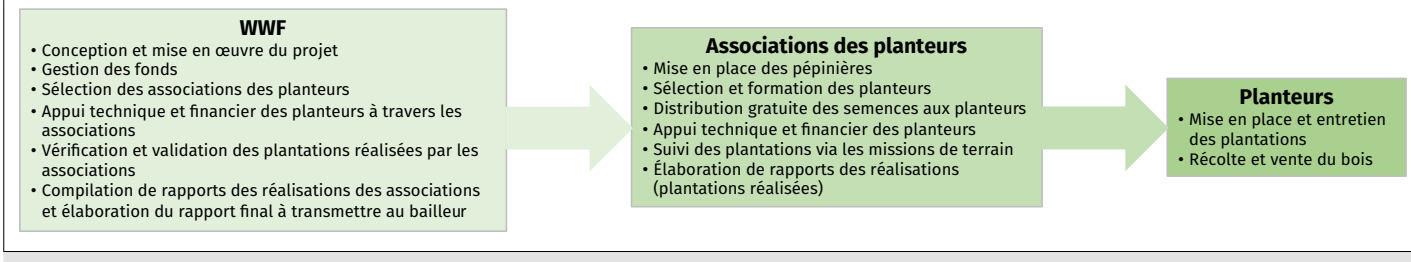


Figure 5.
Organisation et rôles des principaux acteurs impliqués dans le projet EcoMakala.
Organisation and roles of the main players involved in the EcoMakala project.

politique énergétique nationale en cours de validation (CAFI, 2020b) soient insérés dans les différents codes existants. Au Nord-Kivu, par exemple, le WWF en collaboration avec l'Agence congolaise pour l'environnement (ACE) applique, depuis 2017, une taxe spéciale sur tout le charbon de bois produit en dehors des plantations et vendu dans la ville de Goma (Archippe Sivaghanzana, com. pers.). Même si l'impact de cette mesure sur la gestion de la ressource en bois reste à évaluer, elle devrait être encouragée dans d'autres régions où le bois-énergie est illégalement extrait des aires protégées (cf. tableau II) (Kyale Koy *et al.*, 2019 ; Mangaza *et al.*, 2022 ; Lonpi Tipi *et al.*, 2023). Cependant, la mise en œuvre d'une telle mesure reste loin d'être aisée en raison du caractère informel de la filière et de la complicité de certains agents étatiques (Mvula et Schure, 2012). Il faudrait, enfin, que le gouvernement congolais avec ses partenaires trouve des alternatives aux producteurs de charbon de bois qui sont en majorité des acteurs à faible voire très faible revenu et pour qui la production/vente de charbon constitue une source de revenus non négligeable (Schure *et al.*, 2014b).

Conclusion et perspectives

La République démocratique du Congo (RDC) est très dépendante du bois comme principale source d'énergie pour les ménages. Cependant, les volumes de bois produits et/ou consommés sont mal connus aussi bien à l'échelle nationale que locale. Les données disponibles ne concernent que les grandes villes, avec des estimations discutables pour certaines d'entre elles dont Butembo dans la province du Nord-Kivu. Étant donné l'accès très limité aux énergies modernes et le faible développement d'une politique visant à réduire la consommation de bois-énergie en RDC, les besoins en bois pour l'énergie resteront considérables durant des décennies du fait d'une capacité limitée à répondre à la demande en bois-énergie. Pour aider le pays à préserver et gérer durablement ses ressources forestières restantes, l'une des actions fondamentales que devraient mener les cadres forestiers est la création de plantations à vocation énergétique partout où cela est possible, tout en réalisant les études et le suivi indispensables à la réussite de ces peuplements. Depuis quelques décennies, des telles plantations sont initiées dans quelques provinces de la RDC dont le Nord-Kivu, mais les superficies allouées et leurs productions restent faibles par rapport aux besoins actuels et aux prévisions d'augmentation parallèlement à la démographie. Outre l'appui technique et financier, la conduite et la réussite de telles plantations exigent des stratégies de mise en œuvre adaptées aux contextes des zones ciblées : sols, climats, espèces adaptées ou convenant aux associations agroforestières et, avant tout, disponibilité en terres et en superficies plantables.

Pour améliorer les connaissances et permettre de mieux gérer l'ensemble de la filière bois-énergie, des recherches complémentaires sont à mener. Ces recherches devraient notamment se focaliser sur les questions ci-après :

- L'actualisation des données de consommation des villes de Butembo (au Nord-Kivu), Kananga (au Kasaï-Central), Kindu (au Maniema) et Mbuji-Mayi (au Kasaï-Oriental), car celles existantes sont manifestement sous-estimées. Pour faciliter la confrontation de données, cette actualisation devrait être menée en adaptant la méthode dernièrement appliquée à Kinshasa, Lubumbashi, Kisangani, Bukavu et Goma au contexte local de chaque ville.
- La filière bois-énergie d'autres villes et communes rurales de la RDC, en précisant si possible la part du bois issue des plantations, en référence à ce qui a été réalisé pour Kinshasa, Lubumbashi, Bukavu et Goma. Cela permettrait d'estimer assez précisément la consommation nationale en bois-énergie en tenant compte de la disparité des conditions socio-économiques ainsi que de la disponibilité de la ressource en bois de chaque région. Ces données serviraient de base de réflexion pour une bonne organisation de la filière, notamment l'élaboration d'une réglementation et/ou une politique spécifique au secteur du bois-énergie.
- L'impact de la diffusion des foyers améliorés sur la consommation en bois-énergie, les habitudes de cuisson des aliments et le revenu des ménages afin d'évaluer l'efficacité desdits foyers et identifier, le cas échéant, le potentiel des énergies alternatives au bois.
- Les possibilités d'aménager, à des fins énergétiques, les forêts naturelles subsistantes dans les zones actuelles d'approvisionnement en bois-énergie afin de limiter l'impact de l'exploitation du bois-énergie sur ces massifs forestiers.
- La sélection d'essences (si possible indigènes et à densité de bois élevée, à croissance aussi rapide que possible) résilientes face aux changements climatiques et adaptées aux conditions des sites, ainsi que l'évaluation de la productivité des plantations établies en vue de déterminer leurs productions potentielles et définir les itinéraires sylvicoles optimaux. La complémentarité entre les données de productivité et celles de consommation en bois-énergie permettrait de définir les superficies nécessaires à reboiser, qui, *a priori*, sont considérables, pour satisfaire une partie des besoins futurs sans surexploiter les forêts naturelles restantes.
- L'utilisation de nouvelles technologies (imagerie drone, Lidar terrestre et/ou aérien, télédétection, etc.) dans le suivi des plantations et l'évaluation de leur production potentielle, en complément ou remplacement du suivi de terrain, principalement dans les zones présentant des risques sécuritaires et/ou sanitaires, comme en province du Nord-Kivu (épidémie d'Ebola, groupes armés étrangers et locaux : ADF-NALU, M23, FDLR, Nyatura, Maï-Maï, etc.).
- La complémentarité entre le bois-énergie, le bois de service et le bois d'œuvre produits en plantations et en forêt naturelle aménagée, et l'impact de la diversification de ces produits sur la rentabilité économique, en vue de relever les indicateurs/preuves qui inciteraient à investir davantage dans les plantations à vocation énergétique et/ou l'aménagement des forêts naturelles.
- L'évaluation des autres rôles/services joués/rendus par les plantations entreprises en RDC afin de déterminer leurs impacts potentiels sur les écosystèmes locaux (restauration et/ou conservation de la biodiversité, évolution de la

fertilité des sols, lutte contre l'érosion, effets sur la ressource en eau, etc.), la lutte contre les changements climatiques (séquestration de carbone, régime des précipitations, etc.) et le développement socio-économique en termes de revenu des ménages, y compris de manière indirecte (par exemple, à travers la production de miel).

Les résultats et recommandations de ces recherches constituent une voie d'accès vers des informations clés qui permettront aux décideurs/gouvernements (central et/ou provinciaux) de formuler une politique énergétique rationnelle à long terme incluant l'énergie-bois, et aux acteurs du développement de bien orienter les futurs projets et investissements.

Remerciements

Nous remercions le Centre de recherche forestière internationale (CIFOR) pour son appui scientifique à la Faculté des sciences de l'Université de Kisangani à travers le projet FORETS (Formation, Recherche et Environnement dans la Tshopo). Nous adressons un remerciement tout particulier au Dr Q. Ducenne (*Resources & Synergies Development*) et en mémoire de M. Franck Bisiaux (Fondation Hanns-Seidel) pour l'appui apporté dans la compréhension des systèmes agroforestiers développés à Mampu et Ntsio, respectivement, ainsi qu'à de nombreux chercheurs pour leurs conseils avisés et l'accès à certaines des références citées dans cet article. Nous remercions enfin les relecteurs sollicités par la revue pour leurs remarques et propositions avisées qui ont permis d'améliorer cet article.

Sources de financement

Cette recherche a été subventionnée par l'Union européenne à travers le projet FORETS mis en œuvre par le CIFOR et ses partenaires à la Faculté des sciences de l'Université de Kisangani, ainsi que par la Fondation internationale pour la science (IFS, Stockholm, Suède) à travers la subvention n° I-1-D-6291-1 attribuée au premier auteur.

Références bibliographiques

ADEME, 2022. Forêt, bois énergie et changement climatique. Angers, France, Agence de la transition écologique, 15 p. https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/5217-foret-bois-energie-et-changement-climatique.html

AFR100, 2017. Initiative pour la restauration des forêts et paysages forestiers en Afrique. World Resources Institute (WRI), Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD), Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) et Banque mondiale, 11 p. https://www.mediaterre.org/docactu,cGV4aW5lZy9kb2NzL2FmcjEwMC1vdmVydmlld2Zy,11.pdf

BAD, 2013. Projet intégré REDD+ dans les bassins de Mbuji-Mayi/Kananga et de Kisangani. Abidjan, Côte d'Ivoire, Banque africaine de développement, 19 p. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/RDC_-_Projet_intégré_REDD__dans_le_s_bassins_de_Mbuji-Mayi-Kananga_et_de_Kisangani_-_Rapport_d_évaluation.pdf

Balomba P. M., Nsakala H. N., Bokombola P. B., 2018. Forêts, exploitation et consommation du bois-énergie en République démocratique du Congo : cas de provinces de Kinshasa, du Kwango et du Kongo Central. Tropicultura, 36 (3) : 553-564. https://popups.uliege.be/2295-8010/index.php?id=688&file=1

Banos V., Dehez J., 2017. Le bois-énergie dans la tempête, entre innovation et captation ? Les nouvelles ressources de la forêt landaise. Natures Sciences Sociétés, 25 (2) : 122-133. https://doi.org/10.1051/nss/2017024

Banque mondiale, 2018. Revue de l'urbanisation en République démocratique du Congo : Des villes productives et inclusives pour l'émergence de la République démocratique du Congo. Washington, DC, USA, Directions du développement, 78 p. https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1205-7

Banque mondiale, 2020. Accéder à l'électricité en République démocratique du Congo : Opportunités et défis. Washington, DC, USA, 81 p. https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/e1f7bc4d-e47c-512f-93d5-3e216255aa2f/content

Banque mondiale, 2022. Consommation d'énergies renouvelables (% de la consommation totale d'énergie) - Sub-Saharan Africa. Washington, DC, USA, https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.FEC.RNEW.ZS?end=2015&locations=ZG&start=1990

Baraka M., Mugisho I., Mutabana N., Zihilarwa B., *et al.*, 2018. Diversité végétale du sous-bois et stocks de carbone dans les arboretums en zone de montagne dans la province du Sud-Kivu, R.D. Congo. Annales des Sciences et des Sciences Appliquées, 4 (3/4) : 84-106. https://www.africmemoire.com/read-diversite-du-sous-bois-et-de-stocks-de-carbone-des-plantations-forestieres-en-zone-de-montagne-sud-kivu-republique-democratique-du-congo-1052.html

Belani Masamba J., Mpanzu Balomba P., Ngonde Nsakala H., Kinkela Savy C., 2023. État des lieux de l'utilisation des énergies de cuisson dans les ménages de Kinshasa : analyse de la substitution du bois-énergie. Bois et Forêts des Tropiques, 355 : 35-46. https://doi.org/10.19182/bft2023.355.a36853

BGF/GIZ, 2021. République démocratique du Congo : Biodiversité et gestion durable des forêts (BGF). Protéger la plus grande zone forestière d'Afrique et sa biodiversité pour les générations actuelles et futures contre la déforestation et le braconnage. Kinshasa, RDC, GIZ et MEDD, 2 p. https://www.giz.de/en/downloads/giz2021-fr-congo-biodiversite-et-gestion-durable-des-forets.pdf

Biddulph G. E., Bocko Y. E., Bola P., Crezee B., Dargie G., Emba O., *et al.*, 2023. Connaissances actuelles et orientations futures des recherches sur le complexe de tourbières de la Cuvette centrale du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 355 : 73-86. https://doi.org/10.19182/bft2023.355.a37152

Bisiaux F., Diowo S., Lufungula S., Wakambo S., Mafinga J.-P., Matungulu P., *et al.*, 2013a. Réintroduire l'arbre dans le système cultural : succès et difficultés de l'agroforesterie villageoise. *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, Quæ, 149-155. https://agritrop.cirad.fr/569684/

Bisiaux F., Dubiez E., Ilanga-Lofonga J., Lebou L., Diowo S., Lufungula S., *et al.*, 2013b. Les plantations agroforestières d'*Acacia auriculiformis* de Mampu, un système agroforestier innovant. *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, Quæ, 135-147. https://agritrop.cirad.fr/569681/

Bisiaux F., Peltier R., Muliele J.-C., 2009. Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 301 : 21-32. https://doi.org/10.19182/bft2009.301.a20404

Boldrini S., Bracke C., Daïnou K., Vermeulen C., Fétiveau J., Ngoy Shutcha M., *et al.*, 2017. Guide technique : plantation agroforestière d'*Acacia auriculiformis* dans le Haut-Katanga. Gembloux, Belgique, Presses Agronomiques de Gembloux, 53 p. https://orbi.uliege.be/handle/2268/213989

Boulogne M., Pennec A., Dubiez E., Gigaud M., Péroches A., Lavialle J., *et al.*, 2013. Évolution du couvert végétal et des stocks de carbone dans le bassin d'approvisionnement de Kinshasa. *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, Quæ, 45-59. https://agritrop.cirad.fr/569656/

Bouyer O., Maurice J., Le Crom M., Rutinigira L., 2013. Évaluation finale du projet EcoMakala : Viabilisation durable de l'approvisionnement en bois-énergie des populations rurales riveraines de la ville de Goma (République démocratique du Congo). Paris, France, SalvaTerra, 140 p. http://www.salvaterra.fr/download/79-rdc-fr-evaluation-finale-du-projet-wwf-ecomakala.pdf

Brancalion P. H. S., Holl K. D., 2020. Guidance for successful tree planting initiatives. Journal of Applied Ecology, 57 (12): 2349-2361. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725

Photos 3.
Plantation associant haricot et maïs sous *Grevillea robusta* (A) et plantation pure d'*Acacia mearnsii* (B) à Kaseghe (Nord-Kivu, République démocratique du Congo).
Plantation combining beans and maize under Grevillea robusta (A) and a pure Acacia mearnsii plantation (B) in Kaseghe (North Kivu, Democratic Republic of the Congo).
Photos D. Kasekete.

CAFI, 2015. Contexte de la foresterie et de la perte de couvert forestier en RDC : Complexe et nuancé. Note d'information. Kinshasa, RDC, Central African Forest Initiative, 8 p. https://www.cafi.org/index.php/fr/pays-partenaires/democratic-republic-congo/le-secteur-forestier-en-rdc-nuance-et-complexe

CAFI, 2020a. Annual report. Genève, Suisse, United Nations Development Group, 131 p. https://www.cafi.org/sites/default/files/2021-07/CAFI_2020_Consolidated_Annual_Report_-_FINAL_rev_30_June.pdf

CAFI, 2020b. RDC : vers une politique nationale d'énergie et de cuisson plus respectueuse des forêts. Partenariat pour les forêts du Bassin du Congo. https://pfbc-cbfp.org/actualites-partenaires/respectueuse-for%C3%AAts.html

Chamshama S. A. O., Nwonwu F. O. C., 2004. Forest plantations in Sub-Saharan. Lessons learnt on sustainable forest management in Africa. KSLA, AFORNET, FAO, 55 p. https://energypedia.info/images/f/fe/Forest_Plantation_in_Sub_Saharan_Africa.pdf

CIFOR, 2022. Paysage de Yangambi : projets en cours. Bogor, Indonésie, CIFOR. https://www.cifor.org/yangambi/projets-en-cours/

dia Massamba V. V., Lumpungu G. K., 2013. Code forestier commenté et annoté : version complétée. Loi n° 11/2002 du 29 août 2002. Kinshasa, RDC, 148 p. https://www.iucn.org/sites/default/files/import/downloads/code_forestier_commente_et_annote_version_completee___mai_2013.pdf

Djibu J.-P., Vranken I., Bastin J.-F., Malaisse F., Nyembwe S., Useni Y., *et al.*, 2018. Approvisionnement en charbon de bois des ménages lushois : quantités, alternatives et conséquences. *In* : Bogaert J., Colinet G., Mahy G. (éds). Anthropisation des paysages katangais. Gembloux, Belgique, Presses Universitaires de Liège, 297-311. https://orbi.uliege.be/handle/2268/225635

Dubiez E., Imani G., Péroches A., Gazull L., 2021a. Études des filières bois-énergie de Bukavu en République démocratique du Congo. CIRAD-ERAIFT, 4 p. https://agritrop.cirad.fr/600153/

Dubiez E., Imani G., Péroches A., Gazull L., 2021b. Études des filières bois-énergie de Goma en République démocratique du Congo. CIRAD-ERAIFT, 4 p. https://agritrop.cirad.fr/600154/

Dubiez E., Péroches A., Akalakou M. C., Gazull L., 2021c. Études des filières bois-énergie de Kinshasa en République démocratique du Congo. CIRAD-ERAIFT, 4 p. https://agritrop.cirad.fr/600152/

Dubiez E., Gazull L., Imani G., Péroches A., 2020a. Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Bukavu. CIRAD-CAFI, 37 p. https://agritrop.cirad.fr/600197/

Dubiez E., Gazull L., Imani G., Péroches A., 2020b. Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Goma. CIRAD-CAFI, 39 p. https://agritrop.cirad.fr/600198/

Dubiez E., Gazull L., Mayimba C. A., Péroches A., 2020c. Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Kinshasa. CIRAD-CAFI, 44 p. https://agritrop.cirad.fr/600196/

Dubiez E., Gazull L., Okwe A. N., Nkulu J., Péroches A., 2020d. Rapport d'étude de la consommation en énergies de production des usagers productifs de la ville de Lubumbashi. CIRAD-CAFI, 43 p. https://agritrop.cirad.fr/600199/

Dubiez E., Peltier R., 2019. Rapport de mission réalisée du 04 au 5 mars 2019 sur le plateau Bateke, RD Congo, à Kinzono, Imbu et Ntsio. Montpellier, France, CIRAD, 11 p. https://agritrop.cirad.fr/591789/1/Rapport_mission_04-05_mars_2019-Plateau_Bateke-RDC.pdf

Dubiez E., Peltier R., Péroches A., Smith E., 2014. Chapitre 2.1. Appréhender la sylviculture tropicale dans sa complexité. Kinshasa, RDC, projet Makala, diaporama, 52 vues. https://agritrop.cirad.fr/574409/

Dubiez E., Vermeulen C., Larzillière A., 2012. Gérer durablement la ressource bois-énergie. Les notes de perspectives du Projet Makala (n° 4). Kinshasa, RDC, CIRAD, 4 p.

Ducenne Q., 2009. Évaluation des actions agroforestières développées à Mampu, RDC. Vol. II. Rapport final. Cardno Agrisystems Ltd, 83 p.

Dumont E. S., Bonhomme S., Sinclair F., 2015. Guide technique d'agroforesterie pour la sélection et la gestion des arbres au Nord-Kivu. Naïrobi, Kenya, ICRAF, 130 p. https://www.worldagroforestry.org/sites/default/files/Manuel_%20Agroforesterie_RDC_Nord_kivu_ICRAF.pdf

Faja Lobi, 2023. Planting trees, growing forests and supporting people. Gent, Belgium. https://www.fajalobi.org/#homeview

FAO, 2021. Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : Rapport principal. Rome, Italie, FAO, 170 p. https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9825fr

FAO, 2017. The charcoal transition: Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods. Rome, Italy, FAO, 178 p. http://www.fao.org/3/a-i6935e.pdf

FAO, 2008. Les forêts et l'énergie : questions principales. Rome, Italie, FAO, Étude Forêts, 154, 65 p. http://www.fao.org/docrep/010/i0139f/i0139f00.htm

FAO, 2001. Informations sur l'énergie ligneuse en Afrique : Examen des rapports CTPD par pays et comparaison avec l'étude régionale réalisée par le WETT. Rome, Italie, CE et FAO, 67 p. https://www.fao.org/3/am331f/am331f.pdf

FAO, 1982. Les eucalyptus dans les reboisements. Rome, Italie, FAO, coll. Forêts, n° 11, 753 p. https://duddal.org/files/original/23994546e74847ed22d85204c47d49f6608046c9.pdf

FHS, 2022a. Le projet Gungu. Fondation Hanns Seidel. http://ntsio.org/le-projet-gungu/

FHS, 2022b. Projet agroforesterie Ntsio: Des hommes, des arbres et des champs au service d'un développement durable. Fondation Hanns Seidel. http://ntsio.org/

FHS, 2021. Mampu : L'agroforesterie, une différence durable. Fondation Hanns Seidel. http://ntsio.org/le-projet-mampu-2/

FONAREDD, 2022. Forêts de la RDC, poumon de la planète. Mobiliser et agir pour un développement durable : Énergie. Fonds national REDD+. http://www.fonaredd-rdc.org/energie/

Fortin M., Pelletier C., François J., Dufour A., 2016. La forêt : stock de carbone ou source d'énergie ? Revue Forestière Française, 68 (2) : 133-142. https://doi.org/10.4267/2042/61862

Fremout T., Thomas E., Taedoumg H., Briers S., Gutiérrez-Miranda C. E., Alcázar-Caicedo C., *et al.*, 2022. Diversity for Restoration (D4R): Guiding the selection of tree species and seed sources for climate-resilient restoration of tropical forest landscapes. Journal of Applied Ecology, 59 (2): 664-679. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14079

Gazull L., Dubiez E., Imani G., Péroches A., 2020a. Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Bukavu. CIRAD-CAFI, 45 p. https://agritrop.cirad.fr/600193/

Gazull L., Dubiez E., Imani G., Péroches A., 2020b. Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Goma. CIRAD-CAFI, 44 p. https://agritrop.cirad.fr/600192/

Gazull L., Dubiez E., Mayimba C. A., Péroches A., 2020c. Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Kinshasa. CIRAD-CAFI, 52 p. https://agritrop.cirad.fr/600194/

Gazull L., Dubiez E., Okwe A. N., Nkulu J., Péroches A., 2020d. Rapport d'étude de la consommation en énergies domestiques des ménages de la ville de Lubumbashi. CIRAD-CAFI, 48 p. https://agritrop.cirad.fr/600195/

Gazull L., Gautier D., 2015. Woodfuel in a global change context. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 4 (2): 156-170. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wene.115

Gerkens M., 2020. La problématique de l'énergie-bois en RDC. Quelle politique forestière appliquer ? Bruxelles, Belgique, 66 p.

Gerkens M., 2014. La question de l'énergie-bois domestique en RDC de 1930 à 2013 et l'approvisionnement de la ville de Kinshasa en makala. Quel avenir ? Kinshasa, RDC, 35 p.

Gerkens M., Kasali L., 1988. Productivité des peuplements d'*Acacia auriculiformis* sur le plateau des Bateke au Zaïre. Tropicultura, 6 (4) : 171-175. http://www.tropicultura.org/text/v6n4/171.pdf

GI Agro, 2022. Page d'accueil de l'ONG GI Agro. http://www.giagro.online/#giagro

Gond V., Dubiez E., Boulogne M., Gigaud M., Péroches A., Pennec A., *et al.*, 2016. Dynamics of forest cover and carbon stock change in the Democratic Republic of Congo: Case of wood-fuel supply basin for Kinshasa. Bois et Forêts des Tropiques, 327 : 19-28. https://doi.org/10.19182/bft2016.327.a31293

Gouvernement de la RDC, 2015. Plan d'investissement REDD+ (2015-2020). Kinshasa, 165 p. https://www.cafi.org/sites/default/files/2021-05/DRC_2015_Plan_Investissement National REDD RDC 24 Novembre 2015.pdf

GRET, 2023. Un nouveau projet d'agroforesterie en RDC : le projet Agroforesterie périurbaine dans le haut-Katanga (APHK). Nogent-sur-Marne, France, GRET. https://www.gret.org/2018/11/un-nouveau-projet-dagroforesterie-en-rdc/

GRET, 2022. DEFIV-Projet de sécurité alimentaire via le développement des filières agricoles vivrières de Mayanda, en République démocratique du Congo. Nogent-sur-Marne, France, GRET.

Guidal A., Imani G., Barbiche R., 2015. Système de suivi de l'offre et de la demande en bois énergie dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie provinciale de développement durable au Sud-Kivu. Kinshasa, RDC, 74 p. https://docplayer.fr/143531361-Systeme-d-information-et-de-suivi-de-l-offre-et-de-la-demande-en-bois-energie-dans-le-bassin-d-approvisionnement-de-lubumbashi.html

Ibi Village, 2022. Ibi Village hier, aujourd'hui et demain. https://www.ibi-village.cd/ibi-village/

Ihalainen M., Awono A., Banda E., Moombe K., Mwaanga B., Schure J., *et al.*, 2021. Les femmes, cette anomalie persistante dans le secteur du charbon de bois : des approches intégrant la dimension de genre pour des résultats plus inclusifs, équitables et durables. Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya, CIFOR-ICRAF, 22 p. https://www.cifor.org/knowledge/publication/8482

Imani G., Moore-Delate E., 2021. Rapport d'étude de la consommation de bois-énergie et des équipements de cuisson de la ville de Kisangani. Bogor, Indonésie, CIFOR, 56 p. https://www.cifor.org/knowledge/publication/8063/

Karpe P., Dubiez E., 2014. Sécuriser le statut foncier des plantations forestières villageoises. *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, Quæ, 87-94. https://agritrop.cirad.fr/569667/

Kasekete D. K., Kimbuluma C. K., Bourland N., Drouet T., Makana J.-R., Vasombolwa K., *et al.*, 2022a. Plantations monospécifiques d'espèces exotiques, déserts biologiques ou îlots de diversité floristique ? Exemple de situations biotiques et abiotiques contrastées au Nord-Kivu en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 352 : 71-88. https://doi.org/10.19182/bft2022.352.a36810

Kasekete D. K., Ligot G., Mweru J.-P. M., Drouet T., Rousseau M., Moango A., *et al.*, 2022b. Growth, productivity, biomass and carbon stock in *Eucalyptus saligna* and *Grevillea robusta* plantations in North Kivu, Democratic Republic of the Congo. Forests, 13 (9): 1508. https://doi.org/10.3390/f13091508

Kasongo R. K., Van Ranst E., Verdoodt A., Kanyankagote P., Baert D., 2009. Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. Soil Use and Management, 25 (1): 21-27. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00188.x

Kusakana K., 2016. A Review of Energy in the Democratic Republic of Congo. ICDRE 2016: 18th International Conference on Desalination and Renewable Energy, August, 1-10. https://www.researchgate.net/publication/306380971

Kyale Koy J., Wardell D. A., Mikwa J.-F., Kabuanga J. M., Monga Ngonga A. M., Oszwald J., *et al.*, 2019. Dynamique de la déforestation dans la Réserve de biosphère de Yangambi (République démocratique du Congo) : variabilité spatiale et temporelle au cours des 30 dernières années. Bois et Forêts des Tropiques, 341 : 15-28. https://doi.org/10.19182/bft2019.341.a31752

Larzillière A., Vermeulen C., Dubiez E., Yamba Yamba T., 2013. Une démarche participative pour un partage des connaissances. *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, Quæ, 77-86.

Lejeune G., Ansay F., Van Geit M., Lusenge T., 2013. ECOmakala : répondre à la demande énergétique pour protéger les forêts du Parc National des Virunga au Nord-Kivu (RDC) et lutter contre la pauvreté. Bruxelles, Belgique, WWF, 36 p. https://wwfafrica.awsassets.panda.org/downloads/brochure_wwf_ecomakala_fr2.pdf?25762/ECOmakala

Lillelund H., 1982. Étude de reboisement au Zaïre – Rapport technique : Reboisement de Kinzono sur le palteau Bateke. Rome, Italie, FAO, 77 p.

Lonpi Tipi E., Sambieni K. R., Khasa D., Bogaert J., Lumande Kasali J., Huart A., *et al.*, 2023. Les chenilles consommées dans la région de la réserve de biosphère de Luki en République démocratique du Congo : acteurs, connaissances locales et pressions. Bois et Forêts des Tropiques, 355 : 21-34. https://doi.org/10.19182/bft2023.355.a36785

Lootens-de Muynck M. T., Mbuyi B. D., Binzangi K., 1982. Typologie et aspects socio-économiques de quelques villages de bûcherons et charbonniers des environs de Lubumbashi (Shaba, Zaïre). Geo-Eco-Trop, 6 (1) : 45-63. http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_061_04.pdf

Louppe D., 2011. Plantations forestières : un sujet d'actualité ? Bois et Forêts des Tropiques, 309 : 4-7. https://doi.org/10.19182/bft2011.309.a20465

Madon G., 2017. Le bois, énergie de première nécessité en Afrique : Une ressource trop souvent négligée. Afrique Contemporaine, 261-262 (1): 201-222. https://doi.org/10.3917/afco.261.0201

Malaisse F., Binzangi K., 1985. Wood as a source of fuel in Upper Shaba (Zaïre). Commonwealth Forestry Review, 64 (3): 227-240. https://www.jstor.org/stable/42608048?seq=1

Malaisse F., Binzangi K., Kapinga I., 1980. L'approvisionnement en produits ligneux de Lubumbashi (Zaïre). Geo-Eco-Trop, 4 (1-4) : 139-163. http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_041_06.pdf

Mallet B., 2021. Les nouveaux enjeux des plantations forestières. Feuilles du Flamboyant, 8 : 1-23. https://agritrop.cirad.fr/600514/

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

Marien J.-N., Gourlet-Fleury S., Peltier R., Daïnou K., Vermeulen C., *et al.*, 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 P. (éds). Les forêts du Bassin du Congo - État des forêts 2013. Neufchâteau, Belgique, Weyrich, 197-212. https://agritrop.cirad.fr/574744/

Marien J.-N., Bisiaux F., Dubiez E., Mate J.-P., Louppe D., Peltier R., *et al.*, 2013. Sécuriser la source de bois-énergie : de la réflexion à l'action. *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, Quæ, 185-203. https://agritrop.cirad.fr/569688/

Marien J.-N., Bertrand A., Du Toit B., Gautier D., Gazull L., Idowu M., *et al.*, 2008. Foresterie urbaine et périurbaine en Afrique. Quelles perspectives pour le bois-énergie ? Rome, Italie, FAO, 92 p. http://www.fao.org/3/a-i1973f.pdf

Mate J.-P., Ndjele L., 2013. Les essences forestières à charbon de bois des 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, Quæ, 159-165. https://www.quae.com/extract/2598

Maurice J., Le Crom M., 2014. Carbonisation et commercialisation du makala produit à partir des plantations commerciales du Puits de carbone agroforestier d'Ibi Batéké en périphérie de Kinshasa, République démocratique du Congo. Paris, France, SalvaTerra, 70 p. http://www.salvaterra.fr/download/99-rdc-fr-amenagement-forestier-et-carbonisation-en-rdc.pdf

MEDD, 2022. Jardins scolaires pour un milliard d'arbres à l'horizon 2023. Kinshasa, RDC, Ministère de l'Environnement et Développement durable. https://medd.gouv.cd/jardins-scolaires-pour-1-milliards-darbres-a-lhorizon-2023-le-ministre-claude-nyamugabo-implique-les-confessions-religieuses/

MEDD/PIF, 2015. Évaluation de la filière bois-énergie dans les bassins d'approvisionnement de Mbuji-Mayi, de Kananga et de Kisangani. Kinshasa, RDC, Ministère de l'Environnement et Développement durable, 68 p. https://docplayer.fr/113713558-Evaluation-de-la-filiere-bois-energie-dans-les-bassins-d-approvisionnement-de-mbuji-mayi-de-kananga-et-de-kisangani.html

Mille G., 1989. Foresterie et utilisation des terres : reboisements et foresterie rurale. Parties 1 et 2. Plan d'action forestier tropical du Zaïre. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-CTFT, 218 p. https://agritrop.cirad.fr/585019/

Misson A., 1954. La carbonisation du bois au Katanga. Publication du CSK, Direction de l'agriculture, des forêts et de l'élevage, Bruxelles, Belgique, Imp. Wellens-Pay, 27 p. https://koha.uac.bj/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=22443&shelfbrowse_itemnumber=22443

Montagne P., Idrissa O., Bertrand A., Rives F., Ichaou A., Peltier R., 2016. Bois-énergie domestique, démographie et urbanisation : situation après vingt-cinq années de gestion forestière des néo-communs au Sud-Niger. *In* : Conférence internationale de l'AFD sur le développement. Paris, France, AFD, 14 p. http://agritrop.cirad.fr/582613/

Mudiayi A., 2022. RDC : au moins 355 millions d'arbres sont plantés dans le cadre du projet 1 milliard d'arbres. https://desknature.com/rdc-au-moins-355-millions-darbres-sont-plantes-dans-le-cadre-du-projet-1-milliard-darbres/

Mulondi G. K., Musavandalo C. M., Sahani M., 2019. Approche géographique des approvisionnements en charbon de bois en milieu urbain à Butembo (Nord-Kivu, RDC). Geo-Eco-Trop, 43 (1) : 185-196. http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_431_14.pdf

Münkner C., Bouquet T., Muakana R., 2015. Élaboration du schéma d'approvisionnement durable en bois-énergie pour la ville de Lubumbashi (Katanga). Programme Biodiversité et Forêts (PBF), Projet Filière Bois / Chaînes de valeur ajoutée, GIZ, MEDD, DFS, GFA, 68 p.

Mvula E., Schure J., 2012. Rapport sur les taxes et permis du secteur bois énergie dans la zone d'approvisionnement de Kinshasa (RDC) : Processus formel et réalité du terrain. Kinshasa, RDC, Projet Makala, 21 p. https://agritrop.cirad.fr/565934/1/document_565934.pdf

ONFI, WWF, 2019. Évaluation de l'impact d'une décennie d'efforts visant à réduire la déforestation dans et autour du parc national des Virunga, province du Nord-Kivu, RDC. Rapport final. Paris, France, 95 p. https://wwf.be/sites/default/files/inline-images/hfl9ktWJ3OYN3WsmuTRec8BgkR3Jap2jWNdMO6ZGhf11jSjvDr.pdf

Paul C., Fraser I. M., 2014. Woodfuel plantation projects in Kinshasa province: potential contribution to the alleviation of pressure on natural forests. International Forestry Review, 16 (6): 507-523. https://www.jstor.org/stable/24310633

Pelletier F., Spoorenberg T., 2016. Atelier régional sur les projections de population (Dakar, 28 novembre - 2 décembre 2015). Séance 2 – Aperçu sur les méthodes de projection de la population. Nations unies, Division de la population, DESA, 36 p. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/unpd_ws_201611_2_methodes_de_projection_final.pdf

Peltier R., 2019. Quelles évolutions pour la consommation d'énergie domestique et la gestion des ressources naturelles dans les bassins d'approvisionnement des grandes villes du Sud ? Bois et Forêts des Tropiques, 340 : 3-12. https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31708

Péroches A., Baral H., Chesnes M., Lopez-Sampson A., Lescuyer G., 2022. Suitability of large-scale tree plantation models in Africa, Asia and Latin America for forest landscape restoration objectives. Bois et Forêts des Tropiques, 351: 29-44. https://doi.org/https://doi.org/10.19182/bft2022.351.a36870

Péroches A., Dubiez E., Nge Okwe A., Mowa J., Gazull L., 2021. Études des filières bois-énergie de Lubumbashi en République démocratique du Congo. CIRAD-ERAIFT, 4 p. https://agritrop.cirad.fr/600155/

Péroches A., Dubiez E., Peltier R., Proces P., Diowo S., Vermeulen C., 2019. Les Plans Simples de Gestion destinés à la production de bois-énergie en périphérie de Kinshasa : la participation et la restauration à l'épreuve du foncier. Bois et Forêts des Tropiques, 340 : 71-90. https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31698

Pierlot R., 2006. Reboiser sous les tropiques. AIGx-Bulletin, 4 : 3-6.

PIF-RDC, 2022a. Le Projet Intégré REDD dans les Bassins de Mbuji-Mayi/Kananga et de Kisangani (PIREDD/MBKIS). Programme d'investissement pour la forêt de la RDC. https://www.pifrdc.org/piredd_mbkis

PIF-RDC, 2022b. Note sur la clôture des composantes 1, 2 et 3 du PGAPF. Programme d'investissement pour la forêt de la RDC. https://www.pifrdc.org/cloture_pgapf

PIF-RDC, 2019. Programme d'investissement pour la forêt de la RDC. Rapport 2019. Kinshasa, RDC, Ministère de l'Environnement et Développement durable, 56 p. https://www.pifrdc.org/glis_c/pifrdc/RAPPORT_ANNUEL_2019.pdf

Pinta F., Dubiez E., Kalala D., Volle G., Louppe D., 2013. Amélioration de la carbonisation en meule traditionnelle. *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, Quæ, 95-106. https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=569669

Pison G., Couppié E., Caporali A., 2022. Tous les pays du monde. Population et Sociétés, 603 : 1-8. https://doi.org/10.3917/popsoc.603.0001

Proces P., Dubiez E., Bisiaux F., Péroches A., Fayolle A., 2017. Production d'*Acacia auriculiformis* dans le système agroforestier de Mampu, plateau Batéké, République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 334 : 23-36. https://doi.org/10.19182/bft2017.334.a31489

Sander K., Haider S. W., Hyseni B., Araya M. K., 2011. Wood-based biomass energy development for Sub-Saharan Africa: issues and approaches. Washington, DC, USA, World Bank, ESMAP, 46 p. http://hdl.handle.net/10986/26149

Schmitt A., Larzillière A., 2013a. La filière bois-énergie dans le bassin d'approvisionnement de la ville de Bukavu (Sud-Kivu). Kinshasa, RDC, 4 p.

Schmitt A., Larzillière A., 2013b. La filière bois artisanal dans le bassin d'approvisionnement de la ville de Kindu (Maniema). Kinshasa, RDC, 4 p.

Schmitz A., 1957. La carbonisation des bois à Élisabethville (Katanga - Congo Belge). Division forestière de l'INEAC-Yangambi, 46 p.

Schmitz A., Debra A., 1961. L'utilisation du bois au Katanga. Publication de l'Université de l'État à Élisabethville, 2 : 171-186.

Schmitz A., Misson A., 1960. La carbonisation du bois dans le Haut-Katanga industriel. Publication du CSK, Direction de l'agriculture, des forêts et de l'élevage, Bruxelles, Belgique, Imp. Wellens-Pay, 70 p.

Schure J., Hubert D., Ducenne H., Kirimi M., Awono A., Mpuruta-Ka-Tito R., *et al.*, 2021a. Carbonisation 2.0 : Comment produire plus de charbon de bois tout en réduisant la quantité de bois et d'émissions de gaz à effet de serre ? Dossier n° 1. Série de dossiers sur le bois-énergie durable. Projet Gouvernance des paysages multifonctionnels (GML). Bogor, Indonésie et Nairobi, Kenya, CIFOR-ICRAF, 26 p. https://www.cifor.org/knowledge/publication/8481

Schure J., Kasereka-Muvatsi L., Cerutti P. O., Sola P., 2021b. Impact of COVID-19 on woodfuel value chains in the DRC: Addressing risks and vulnerabilities of operators and end-users. Bogor, Indonesia, CIFOR, 8 p. https://doi.org/10.17528/cifor/008076

Schure J., Pinta F., Cerutti P. O., Kasereka-Muvatsi L., 2019. Efficiency of charcoal production in Sub-Saharan Africa: solutions beyond the kiln. Bois et Forêts des Tropiques, 340: 57-70. https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31691

Schure J., Imani G., Bouquet M., 2015. Système d'information et de suivi de l'offre et de la demande en bois énergie dans le bassin d'approvisionnement de Lubumbashi. Kinshasa, RDC, Programme Biodiversité et Forêts, 73 p. https://docplayer.fr/143531361-Systeme-d-information-et-de-suivi-de-l-offre-et-de-la-demande-en-bois-energie-dans-le-bassin-d-approvisionnement-de-lubumbashi.html

Schure J., Hunhyet O., 2014. Élaboration d'un schéma d'approvisionnement durable en bois énergie pour la ville de Kindu (Maniema). Kinshasa, RDC, Programme Biodiversité et Forêts, 58 p.

Schure J., Dkamela G. P., Van der Goes A., McNally R., 2014a. An approach to promote REDD+ compatible wood-fuel value chains. The Hague, Netherlands, SNV, 52 p. https://doi.org/10.13140/2.1.3258.1765

Schure J., Levang P., Wiersum K. F., 2014b. Producing woodfuel for urban centers in the Democratic Republic of Congo: A path out of poverty for rural households? World Development, 64 (S1): S80-S90. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.03.013

Schure J., Ingram V., Akalakou-Mayimba C., 2011. Bois énergie en RDC : Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani. Projet Makala, 84 p. http://makala.cirad.fr

Schure J., Marien J.-N., de Wasseige C., Drigo R., Salbitano F., Dirou S., 2012. Contribution du bois-énergie à la satisfaction des besoins énergétiques des populations d'Afrique centrale : Perspectives pour une gestion durable des ressources disponibles. *In* : de Wasseige C., Didier D. (éds). Les forêts du Bassin du Congo - État des forêts 2010, Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 109-122. https://www.cifor.org/knowledge/publication/3756/

Schure J., Mvondo S. A., Awono A., Ingram V., Lescuyer G., Sonwa D., *et al.*, 2010. L'état de l'art du bois énergie en RDC : Analyse institutionnelle et socio-économique de la filière bois énergie. Bogor, Indonésie, CIFOR, 103 p. https://agritrop.cirad.fr/566698/

Sikuzani Y. U., Malaisse F., Kaleba S. C., Kankumbi F. M., Bogaert J., 2017. Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo): synthèse. Tropicultura, 35 (3) : 215-221. http://www.tropicultura.org/text/v35n3/215.pdf

Sindani K., Ndjele M., 1982. Étude de la carbonisation de quelques essences forestières de la région de Kisangani, Zaïre. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique, 115 (2) : 228-230. https://www.jstor.org/stable/20793914

Smith E., Kuria A., Muthuri C., Kindt R., Sinclair F., 2012. Manuel de terrain pour la sélection et la gestion des arbres : interventions agroforestières pour lutter contre l'érosion et la pauvreté dans les bassins du lac Tanganyika de la République Démocratique du Congo. Nairobi, Kenya, ICRAF, 73 p. https://www.worldagroforestry.org/publication/manuel-de-terrain-pour-la-selection-et-la-gestion-des-arbres-interventions

Sola P., Schure J., Atyi R. E., Gumbo D., Okeyo I., Awono A., 2019. Woodfuel policies and practices in selected countries in Sub-Saharan Africa – a critical review. Bois et Forêts des Tropiques, 340 : 27-41. https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31690

Tabutin D., Schoumaker B., 2020. La démographie de l'Afrique subsaharienne au XXIe siècle. Bilan des changements de 2000 à 2020, perspectives et défis d'ici 2050. Population, 75 (2-3) : 169-295. https://doi.org/10.3917/popu.2002.0169

Tonneau J.-P., Dubiez E., Mallet B., Vermeulen C., Marien J.-N., 2013. L'aménagement du territoire : gestion de la ressource en bois-énergie. *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, Quæ, 205-215. https://agritrop.cirad.fr/569690/

Torquebiau E., Mary F., Sibelet N., 2002. Les associations agroforestières et leurs multiples enjeux. Bois et Forêts des Tropiques, 271 : 23-35. https://agritrop.cirad.fr/486448/1/document_486448.pdf

Trefon T., Hendriks T., Kabuyaya N., Ngoy B., 2010. L'économie politique de la filière du charbon de bois à Kinshasa et à Lubumbashi – Appui stratégique à la politique de reconstruction post-conflit en RDC. Anvers, Belgique, Institute of Development Policy and Management, University of Antwerp, Working paper No. 2010.03, 111 p. https://medialibrary.uantwerpen.be/oldcontent/container2143/files/Publications/WP/2010/03-Trefon-Hendriks-Kabuyaya-Ngoy.pdf

Tshibangu K., Malaisse F., 1995. L'approvisionnement en bois de feu de Kinshasa (Zaïre) : Note préliminaire. Geo-Eco-Trop, 19 (1-4) : 119-129. https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_191_08.pdf

Villeret G., 2022. Informations, cartes et statistiques sur les populations et les pays du monde. République démocratique du Congo. PopulationData.net. https://www.populationdata.net/pays/republique-democratique-du-congo/

Kasekete *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	D. K. Kasekete, N. Bourland, J.-P. Mate
Gestion des données	D. K. Kasekete
Acquisition du financement	D. K. Kasekete, N. Bourland, J.-P. Mate
Enquête et investigation	D. K. Kasekete, N. Bourland, D. Louppe, J. Schure, M. Gerkens, J.-P. Mate
Méthodologie	D. K. Kasekete, N. Bourland, D. Louppe, J. Schure, M. Gerkens
Gestion de projet	D. K. Kasekete, N. Bourland, J.-P. Mate
Supervision	N. Bourland, J.-P. Mate
Validation	N. Bourland, D. Louppe, J. Schure, M. Gerkens, J.-P. Mate
Visualisation	D. K. Kasekete
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	D. K. Kasekete
Écriture – Révision et édition	D. K. Kasekete, N. Bourland, D. Louppe, J. Schure, M. Gerkens, J.-P. Mate

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Cirad - Campus international de Baillarguet,
34398 Montpellier Cedex 5, France
Contact : bft@cirad.fr - ISSN : L-0006-579X

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN : L-0006-579X
Volume 357 – 3e trimestre – octobre 2023 – p. 29-42
TARIFS DE CUBAGE / RECHERCHE

Ajustements de tarifs de cubage du bois fort pour la gestion de peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Beni Imloul en Algérie

Khedidja Zeghichi[1, 2]
Dalila Kherchouche[1]
Abdallah Bentouati[1]
Tahar Sghaier[3]
Laid Belkhiri[1]

[1] Université Batna 1
Institut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques
Département des sciences agronomiques
Route de Biskra, 05000 Batna
Algérie

[2] Université Batna 1
Laboratoire d'amélioration des productions agricoles et protection des ressources en zones arides (LAPAPEZA)
Route de Biskra, 05000 Batna
Algérie

[3] Université de Carthage
Institut national de recherches en génie rural, eaux et forêts (INRGREF)
Laboratoire d'écologie forestière
Rue Hédi EL Karray EL Menzah IV
BP 10, 2080 Ariana
Tunisie

Auteur correspondant / Corresponding author:
Khedidja ZEGHICHI –
khedidja.zeghichi@univ-batna.dz

ORCID :
https://orcid.org/0009-0007-1122-2302

Photo 1.
Peuplement naturel de pin d'Alep faisant l'objet d'assiette de coupe dans la forêt de Beni Imloul.
Natural stand of Aleppo pine subject to cutting in the Beni Imloul forest.
Photo K. Zeghichi.

Doi : 10.19182/bft2023.357.a36958 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 22 juillet 2022 ; date d'acceptation : 14 avril 2022 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Zeghichi K., Kherchouche D., Bentouati A., Sghaier T., Belkhiri L., 2023. Ajustements de tarifs de cubage du bois fort pour la gestion de peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Beni Imloul en Algérie. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 29-42. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a36958

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

RÉSUMÉ

Ajustements de tarifs de cubage du bois fort pour la gestion de peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la forêt de Beni Imloul en Algérie

L'objectif du présent travail est d'établir des tarifs de cubage à une et deux entrées permettant d'estimer le volume bois fort de fûts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) de la forêt de Beni Imloul en Algérie. Les données récoltées proviennent des analyses de 209 tiges représentatives des différentes classes de diamètre et de hauteur choisies dans la même forêt. Différentes fonctions linéaires et non linéaires ont été ajustées sans et avec pondération sur les données collectées. Le choix des fonctions les mieux adaptées repose principalement sur leur précision et sur l'étude numérique et graphique des résidus obtenus. Les deux fonctions non linéaires pondérées à une et à deux entrées retenues ont respectivement des précisions de l'ordre de 88 % et 94 % et des écarts-types résiduels de l'ordre de 0,192 et 0,137 m^3. Des tables de cubage à une et à deux entrées ont été simulées à partir des fonctions retenues, avec des coefficients de variation de 22 % et de 16 % respectivement pour les tables à une et à deux entrées. Le tarif de cubage à deux entrées, plus précis, peut être utilisé pour des coupes finales, tandis que celui à une entrée peut l'être pour des interventions d'aménagements sylvicoles.

Mots-clés : *Pinus halepensis* Mill., tables de cubage, Beni Imloul, Aurès, Algérie.

ABSTRACT

Adjusting roundwood volume tables for the management of Aleppo Pine stands (*Pinus halepensis* Mill.) in the Beni Imloul forest in Algeria

This study aimed to establish single and double entry volume tables to estimate volumes of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Algeria's Beni Imloul forest. The data was collected from analyses of 209 stems selected as representative of the different diameter and height classes in the forest. Different linear and non-linear functions were adjusted to the data collected, without and with weighting. The most suitable functions were selected mainly on the basis of their accuracy and the numerical and graphic processing of the residuals obtained. Accuracies of the two weighted non-linear single and double entry functions selected were of the order of 88% and 94% respectively, with residual standard deviations of the order of 0.192 and 0.137 m^3. Single and double entry volume tables were simulated using the functions selected, with coefficients of variation of 22% and 16% for the single entry and double entry tables respectively. The more accurate double entry table can be used for final felling, while the single entry table is suitable for silvicultural management operations.

Keywords: *Pinus halepensis* Mill., Beni Imloul, volume tables, Aurès, Algeria.

RESUMEN

Ajustes de tarifas de cubicación de la madera resistente para la gestión de poblaciones de pino de Alepo (*Pinus halepensis* Mill.) En el bosque de Beni Imloul en Argelia

El objetivo del presente trabajo es establecer tarifas de cubicación en tablas de una y dos entradas que permitan estimar el volumen de madera resistente de troncos de pino de Alepo (*Pinus halepensis* Mill.) del bosque de Beni Imloul en Argelia. Los datos recogidos provienen del análisis de 209 tallos representativos de diferentes clases de diámetro y de altura elegidas en el mismo bosque. Varias funciones lineales y no lineales se ajustaron sin y con ponderación a partir de los datos recogidos. La elección de las funciones mejor adaptadas se basa principalmente en su precisión y en el estudio numérico y gráfico de los residuos obtenidos. Las dos funciones no lineales ponderadas a una y a dos entradas retenidas tienen respectivamente precisiones del orden del 88 % y 94 % y desviaciones estándar residuales del orden de 0,192 y 0,137 m^3. Se simularon tablas de cubicación de una y dos entradas a partir de las funciones retenidas con coeficientes de variación del 22 % y del 16 % respectivamente para las tablas de una y dos entradas. La tarifa de cubicación de dos entradas, más precisa, puede utilizarse para las talas finales, mientras que la de una entrada puede utilizarse para intervenciones de ordenación silvícola.

Palabras clave: *Pinus halepensis* Mill., Beni Imloul, tablas de cubicación, Aurès, Argelia.

Introduction

Le pin d'Alep est une essence robuste et connue pour sa plasticité écologique. En Algérie, cette espèce est considérée comme la plus abondante avec 800 000 ha disponibles, soit 40 % de la surface forestière totale (Daoui *et al.*, 2007). Depuis 1968, elle a été largement utilisée dans les reboisements avec un taux d'utilisation de l'ordre de 86 % par rapport aux autres espèces présentes dans les différents programmes de reboisement (Bensaid, 1995).

D'après Bentouati (2006), les massifs forestiers de pin d'Alep dans l'Aurès algérien sont constitués le plus souvent de futaies adultes et vieillissantes, dépassant parfois l'âge d'exploitabilité. Le massif des Beni Imloul a une superficie d'environ 72 000 ha, et produit un volume de 40 000 m^3 par an, ce qui reflète un potentiel productif important qui nécessite l'élaboration d'outils adéquats pour l'estimation de la production et la gestion durable de ce massif, tels que les tarifs de cubage. Outre l'estimation du volume, le tarif de cubage peut constituer un outil d'évaluation des quantités de carbone stockées par les arbres.

Par définition, les tarifs de cubage sont considérés comme des outils d'estimation indirecte du volume des arbres sur pied. Deux types de tarifs de cubage peuvent être utilisés : (1) les tarifs nécessitant une seule mesure par arbre (tarifs à une entrée), exprimant le volume (V) d'un arbre en fonction d'un seul critère qui est le diamètre de la tige à hauteur de poitrine (DBH, à 1,30 m de hauteur) et se présentant sous la forme V = f (DBH) ; (2) les tarifs nécessitant deux mesures par arbre (tarifs à deux entrées) qui font intervenir un facteur supplémentaire tel que la hauteur totale (H) de l'arbre et qui s'expriment sous la forme V = f (DBH, H). Les tarifs à deux entrées sont plus précis que ceux à une entrée (Rondeux, 1993).

Une bonne connaissance de la croissance et de la productivité des peuplements de pin d'Alep permet d'assurer une gestion efficace de cette ressource. Bien que de nombreuses études écologiques soient disponibles, les études sur la croissance et la productivité restent insuffisantes et ne couvrent qu'une partie des massifs. De ce fait, pour mieux évaluer le potentiel de production ligneuse de la pinède de Beni Imloul, nous avons mené cette étude qui a pour objectif d'établir des tarifs de cubage à une et à deux entrées, en testant plusieurs modèles cités dans la littérature afin d'identifier le mieux adapté pour le pin d'Alep dans ce massif forestier.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Les arbres échantillonnés proviennent de la forêt domaniale de Beni Imloul (figure 1), qui se situe au nord-ouest de la wilaya de Khenchela, entre 6°18' et 6°53' de longitude Est et entre 35°2' et 35°0' de latitude Nord. L'altitude varie entre 1 000 et 1 700 m, la pluviométrie annuelle moyenne est de 300 mm sur les piedmonts et 700 mm sur les sommets. Les versants exposés au nord sont plus arrosés que ceux exposés au sud (Kherchouche *et al.*, 2011). Le mois de janvier est le mois le plus froid, avec une température minimale moyenne de 3 °C, alors que la température moyenne du mois le plus chaud (août) est de 33 °C. Le climat varie du semi-aride froid au subhumide froid. Les sols les plus fréquents sont les rendzines et les sols bruns calcaires (Abdessemed, 1981 *in* Kherchouche *et al.*, 2011).

Le pin d'Alep est l'espèce dominante dans le massif de Beni Imloul avec une superficie de 72 000 ha (Bentouati, 2006). D'après Kadik (1987) et Goubi (2011), il est présent depuis le fond des vallées jusqu'aux plus hauts sommets,

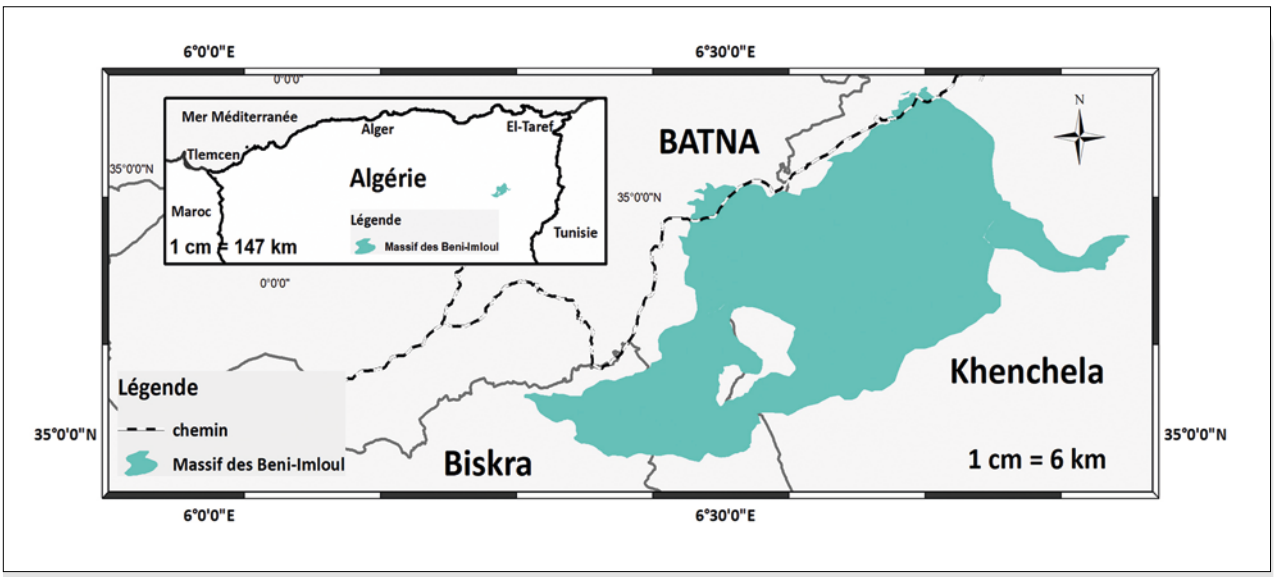


Figure 1.
Localisation géographique de la zone d'étude.
Geographical location of the study area.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

Tableau I.
Répartition des arbres échantillonnés en fonction de leur diamètre à 1,30 de hauteur (DBH, en cm) et de leur hauteur totale (H, en m).
Distribution of sampled trees according to their diameter at 1.30 m height (DBH, in cm) and their total height (H, in m).

DBH (cm)	Hauteur totale (m)							
	8-9,9	10-11,9	12-13,9	14-15,9	16-17,9	18	Total	%
15-24,9	1	3	11	2			**17**	8,13
25-34,9		9	32	21	6	2	**70**	33,49
35-44,9			13	28	17	11	**69**	33,01
45-54,9			3	5	9	20	**37**	17,7
+ 55				1	2	13	**16**	7,66
Total	**1**	**12**	**59**	**57**	**34**	**46**	**209**	**100**
%	0,48	5,74	28,23	27,27	16,27	22,01	**100**	

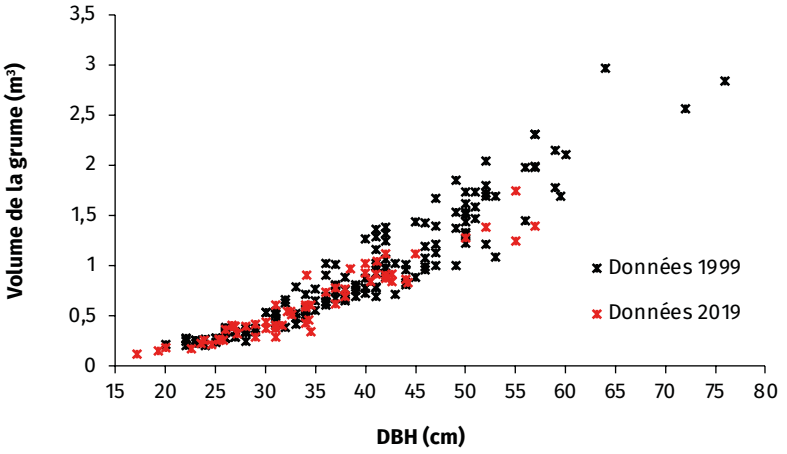


Figure 2.
Projection des volumes des grumes déterminés lors des deux phases d'échantillonnage de 1999 puis 2019 en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH).
Projected logs volumes determined during the two sampling phases in 1999 and 2019 as a function of diameter at 1.30 m (DBH).

mais colonise surtout les basses pentes. Le chêne vert est présent dans la strate basse, dans les stations les plus fraîches, alors que le genévrier oxycèdre et le genévrier de Phénicie sont situés dans les stations les plus sèches et les plus dégradées. Le cortège floristique est composé essentiellement des espèces suivantes : globulaire (*Globularia alysum*), filaire (*Phillyrea angustifolia*), diss (*Ampelodesma mauritanica*) et alfa (*Stipa tenacissima*). Le massif est constitué de pinède à chêne vert et de pinède à romarin, généralement sous forme de futaie régulière, avec un sous-bois plus ou moins développé.

Données collectées

Les données utilisées pour l'élaboration des tarifs de cubage à une et à deux entrées ont été collectées sur des pins d'Alep provenant de coupes d'exploitation définitive (coupe rase). La collecte s'est faite en deux phases : la première en 1999 sur 150 arbres (Belkhiri, 1999), et la seconde en 2019 sur 59 arbres. Au total, 209 arbres abattus représentatifs des différentes classes de diamètre et de hauteur (DBH, H) disponibles sur la pinède de Beni Imloul ont été sélectionnés. Le tableau I présente la répartition des arbres échantillonnés selon leur DBH et leur hauteur totale.

Ces deux paramètres ont été systématiquement mesurés. Après l'opération d'ébranchage, le diamètre à la base de la grume (à 0,3 m) a été mesuré, puis les mesures ont été réalisées par pas de 50 cm sur les deux premiers mètres, puis de mètre en mètre jusqu'à la découpe 7 cm. Le volume du bois fort (BF) de la grume a été calculé pour chaque arbre par la méthode des billons successifs (Rondeux, 1993). Le volume total BF de la grume d'un arbre résulte de l'addition des volumes des billons constituant cet arbre, estimés selon la formule de Newton/Simpson.

La figure 2 présente l'estimation des volumes des fûts déterminés lors des deux phases d'échantillonnage de 1999 et 2019 en fonction du DBH. Les deux nuages de points relatifs aux données collectées durant les deux phases d'échantillonnage se superposent. Il ressort de la figure 2 que l'échantillon de 2019 couvre en partie les diamètres de moins de 20 cm tandis que celui de 1999 couvre les classes de diamètre de plus de 50 cm. Ainsi, les données de l'inventaire de 2019 viennent compléter celles de 1999, surtout pour les petits arbres de DBH inférieur à 20 cm.

Fonctions candidates

De nombreux modèles utilisés pour l'ajustement des tarifs de cubage à une et à deux entrées sont disponibles dans la littérature (Palm, 1983 ; Rondeux, 1993 ; Fonweban et Houllier, 1997 ; Sghaier *et al.*, 2008, 2013). Les neuf fonctions suivantes ont été ajustées et comparées dans le cadre de cette étude :

$$v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + \varepsilon_i \quad \text{(F 1)}$$

$$v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + \varepsilon_i \quad \text{(F 2)}$$

$$v_i = b_0 d_i^{b_1} + \varepsilon_i \quad \text{(F 3)}$$

$$v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^2 h_i + \varepsilon_i \quad \text{(F 4)}$$

$$v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + b_4 d_i^2 h_i + \varepsilon_i \quad \text{(F 5)}$$

$$v_i = b_0 + b_1 d_i + b_2 d_i^2 + b_3 d_i^3 + b_4 h_i + b_5 d_i^2 h_i + \varepsilon_i \quad \text{(F 6)}$$

$$v_i = b_0 d_i^{b_1} h_i^{b_2} + \varepsilon_i \quad \text{(F 7)}$$

$$v_i = d_i^{(b_0 + b_1 h_i)} + \varepsilon_i \quad \text{(F 8)}$$

$$v_i = b_1 d_i^{b_2} e^{(b_3 h_i)} + \varepsilon_i \quad \text{(F 9)}$$

avec : v_i, volume bois fort (volume de la grume) en m³ ; d_i, diamètre à hauteur de poitrine (DBH) en cm de l'arbre i ; h_i, hauteur totale (H) en m de l'arbre i.

Méthode d'ajustement et tests d'hypothèses

Les fonctions de cubage étudiées ont été ajustées selon la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) à l'aide de la procédure REG de SAS/STAT (SAS, 2004a) pour les fonctions linéaires (F1, F2, F4, F5, F6) et la procédure MODEL de SAS/ETS (SAS, 2004b) pour les fonctions non linéaires (F3, F7, F8, F9).

Pour un échantillon d'arbres donné, la variance des volumes tend à augmenter avec les diamètres et habituellement de façon proportionnelle à la quantité $(d^2h)^2$, soit au carré du produit du carré du diamètre d par la hauteur h (Rondeux, 1993). Pour résoudre le problème d'inégalité des variances résiduelles observées dans les classes de diamètre et améliorer l'estimation des paramètres, différents auteurs ont eu recours à la méthode des moindres carrés pondérés. 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 minimalisant 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 (Sghaier *et al.*, 2008).

Pour déterminer la pondération requise, nous avons utilisé la méthode des variances conditionnelles où l'échantillon de données est réparti par classes de diamètre pour pouvoir calculer une variance du volume σ_i^2 pour chaque classe (Sghaier *et al.*, 2008). 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).

Critères d'appréciation de la qualité d'ajustement et choix des meilleurs modèles

Le choix du tarif de cubage adéquat est basé sur la comparaison des critères de mesure des capacités d'ajustement et de prédiction ainsi que sur la normalité de la distribution des résidus issus de chaque fonction testée.

Capacité d'ajustement

• Le coefficient de détermination ajusté R^2_{adj}

Le coefficient de détermination ajusté R^2_{adj} représente la part de variabilité de la variable dépendante qui est expliquée par la régression. Contrairement au coefficient de détermination ordinaire R^2, le coefficient de détermination ajusté tient compte du nombre de paramètres (p) dans le modèle, et il est utilisé pour comparer des modèles présentant un nombre différent de paramètres. Il est donné par la formule suivante (Palm, 1988 ; Sghaier *et al.*, 2008) :

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{(n-1)\sum_{i=1}^{n}(v_i - \hat{v}_i)^2}{(n-\mathrm{p})\sum_{i=1}^{n}(v_i - \overline{v})^2}$$

• Le biais

Le biais est la moyenne des résidus et se calcule comme suit :

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

Plus le biais est faible (proche de 0), meilleur est l'ajustement.

• La moyenne quadratique des résidus absolus (S_a)

La moyenne quadratique des résidus absolus (S_a) 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.

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

• La moyenne quadratique des résidus relatifs (S_r)

La moyenne quadratique des résidus relatifs (S_r) est liée davantage aux erreurs commises sur les petits arbres.

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\frac{v_i - \hat{v}_i}{\hat{v}_i}\right)^2}$$

L'ajustement est d'autant meilleur que les valeurs de ces deux paramètres sont faibles (Palm, 1981, 1986 ; Rondeux, 1993).

• La normalité de la distribution des résidus

La condition 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 principe de ce test repose sur le calcul du coefficient de corrélation (ρ_{obs}) entre les résidus ($e_i = v_i - \hat{v}_i$) classés par ordre décroissant et les scores normaux ou quantiles normaux (De Smith, 2015). 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 – α) 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 Gulledge, 1985).

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

• Le test d'indépendance des résidus

Le test d'indépendance des résidus teste l'hypothèse d'indépendance des résidus lorsque ceux-ci sont classés selon un ordre logique, par exemple en fonction des valeurs croissantes ou décroissantes de la grosseur des tiges (Palm, 1986). Cette vérification peut se faire par le test de Durbin-Watson. La méthode consiste à calculer la quantité suivante :

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^{n} (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}$$

avec : $e_i = v_i - \hat{v}_i$

Cette caractéristique est comprise entre 0 et 4. Une valeur très inférieure à 2 indique une corrélation positive entre les résidus successifs et une valeur très supérieure à 2 correspond à une corrélation négative entre ces résidus. En revanche, une valeur voisine de 2 ne permet pas de rejeter l'hypothèse d'indépendance des résidus. Des tables permettant de tester de façon rigoureuse l'hypothèse d'indépendance sont données notamment par Drapper et Smith (1981).

Un test approché a été proposé par Von Neumann (Morice et Chartier, 1954). Ce test repose sur le caractère asymptotiquement normal du quotient :

$$q = \frac{DW}{2}$$

Il consiste à comparer la valeur :

$$Z_{obs} = \frac{|q-1|}{\sqrt{\frac{n-2}{n^2-1}}}$$

à la valeur théorique $Z_{1-\alpha/2}$ (distribution normale réduite) et à rejeter l'hypothèse d'indépendance des résidus si la valeur Z_{obs} est supérieure ou égale à $Z_{1-\alpha/2}$ pour un degré de confiance de 95 %, $Z_{1-\alpha/2}$ = 1,96.

Capacité de prédiction

La capacité de prédiction des différentes fonctions étudiées repose sur le calcul des résidus *PRESS* (*Prediction Sum of Squares*) ou erreurs de prédiction (Sánchez-González *et al.*, 2005, 2007 ; Sghaier et *al.*, 2019, 2020). 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 :

$e_i = v_i - \hat{v}_{i,-i}$, ($i$ = 1, 2,..., 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 :

• Le biais de prédiction

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

• La moyenne quadratique des résidus absolus de prédiction

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

• La moyenne quadratique des résidus relatifs de prédiction

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

• Le coefficient de détermination de prédiction (press R-square)

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

Tableau II.
Volume de bois fort des troncs et écarts-types conditionnels du volume par classe de diamètre.
Volume of strong wood in trunks and conditional standard deviations of volume by diameter class.

Classes de DBH (cm)	Effectif	$\bar{d}$ (cm)	v (m³)	$\sigma_{v/d}$ (m³)
15-24,9	17	22,118	0,217	0,045
25-34,9	70	29,839	0,426	0,135
35-44,9	69	39,793	0,874	0,190
45-54,9	37	49,108	1,394	0,287
55 et +	16	59,781	2,027	0,49
Total	**209**	/	/	/
Moyenne	/	**40,13**	**0,99**	**0,229**

DBH : diamètre du tronc à 1,30 m de hauteur ; $\bar{d}$: diamètre moyen ; v : volume moyen ; $\hat{o}_{v/d}$: écart-type conditionnel.

Tableau III.
Valeurs estimées, test de signification des paramètres et précision des tarifs de cubage à une et à deux entrées des grumes de pin d'Alep.
Estimated values, significance test of parameters and accuracy of single-entry and double-entry cubing rates for Aleppo pine logs.

Type de tarif	Fonction	Par.	Esti.	p > |t|	Capacité d'ajustement						Capacité de prédiction					
					Biais	RMSE	S_a	S_r	Z_{obs}	R^2_{aj}	Biaisp	RMSEp	S_{ap}	S_{rp}	Zp_{obs}	R^2_{press}
Une entrée	$v = b_0 d^{b_1}$ Non pondéré	b_0	$3{,}81.10^{-4}$	< 0,0001	–0,008	0,1833	0,1824	0,1914	0,2026	0,8888	– 0,009	0,1891	0,1882	0,1932	0,4668	0,8823
		b_1	2,0961	< 0,0001												
	$v = b_0 d^{b_1}$ Pondéré	b_0	$1{,}79.10^{-4}$	< 0,0001	–0,003	0,1915	**0,1901**	**0,1852**	1,4193	0,8787	0,003	0,1949	**0,1935**	**0,1747**	1,2424	0,8798
		b_1	2,296	< 0,0001												
Deux entrées	$v = b_0 d_i^{b_1} h_i^{b_2}$ Non pondéré	b_0	$1{,}07.10^{-4}$	< 0,0001	–0,004	0,1316	0,1307	0,1442	0,7966	0,9426	– 0,005	0,1357	0,1347	0,1459	0,9666	0,9397
		b_1	1,6729	< 0,0001												
		b_2	1,0203	< 0,0001												
	$v = b_0 d_i^{b_1} h_i^{b_2}$ Pondéré	b_0	$6{,}10.10^{-5}$	< 0,0001	–0,003	0,1374	**0,1364**	**0,1377**	1,723	0,9375	0,003	0,1400	**0,1390**	**0,1287**	1,9854	0,9357
		b_1	1,8214	< 0,0001												
		b_2	1,023	< 0,0001												

Par. : paramètre ; *Esti.* : valeur estimée ; *Biais* : moyenne des résidus ; *RMSE* : écart quadratique moyen ; S_a : moyenne quadratique des résidus absolus ; S_r : moyenne quadratique des résidus relatifs ; Z_{obs} : valeur observée du test d'indépendense des résidus ; R^2_{aj} : cofficient de détermination ajusté.

Précision des tarifs de cubage obtenus

Pour apprécier la qualité des estimations des 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 s'écrit sous la forme suivante :

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

Ces écarts représentent les erreurs relatives en pour cent commises pour chacun des deux tarifs retenus.

Résultats

Pour déterminer le poids de pondération, nous avons regroupé les arbres en cinq 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 des arbres cubés ainsi que les écarts-types du volume.

Ces résultats montrent que l'écart-type des volumes augmente avec le diamètre des arbres. Ainsi, pour déterminer la pondération à utiliser pour homogénéiser les variances conditionnelles, la régression linéaire suivante exprimant les logarithmes des variances conditionnelles en fonction des logarithmes des carrés des diamètres moyens des cinq classes de diamètre établies a été ajustée :

$$\log(\hat{\sigma}^2_{v/d}) = -19{,}739 + 2{,}2366\, X \log(\bar{d}^2)$$

avec R^2 = 0,9666

Après retour aux variables initiales, cette fonction peut se mettre sous la forme :

$$\hat{\sigma}^2_{v/d} = 3E-09\, X\, (\bar{d}^2)^{2{,}2366}$$

D'après les valeurs des paramètres de cette équation, la valeur de la pondération doit être égale à 4,48. Toutefois, sachant que le volume est lié au carré du diamètre, le poids de pondération w_i à utiliser est le suivant :

$$(1/d_i^2)^{2{,}2366} \approx 1/d_i^4$$

Pour choisir les deux fonctions les mieux adaptées pour les tarifs à une et à deux entrées pour le pin d'Alep de la forêt de Beni Imloul, les trois fonctions à une entrée (F1 à F3) et les six fonctions à deux entrées (F4 à F9) relatives aux tarifs de cubage ont été ajustées sur les données issues des arbres cubés, sans et avec pondération en considérant $w = 1/d^4$ comme poids de pondération. Sur la base des résultats obtenus (valeurs et signification des paramètres) et des valeurs des différents critères de comparaison calculés, les deux fonctions F3 (une entrée) et F7 (deux entrées) sans et avec pondération ont été retenues (tableau III).

Les résultats du tableau III montrent que la pondération n'a pas amélioré la précision des estimations sauf pour l'estimation des erreurs sur les petits arbres, et ceci pour la capacité d'ajustement (S_r) comme pour la capacité de prédiction (S_{rp}), pour les deux tarifs à une et à deux entrées. L'indépendance des résidus est acceptée pour les deux modèles retenus sous leurs deux formes, pondérée et non pondérée.

Selon les figures 3 et 5, la pondération n'a pas amélioré globalement la précision des estimations ni la normalité de la distribution des résidus. Toutefois, d'après les graphiques de projection des résidus en fonction du DBH (cm)

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

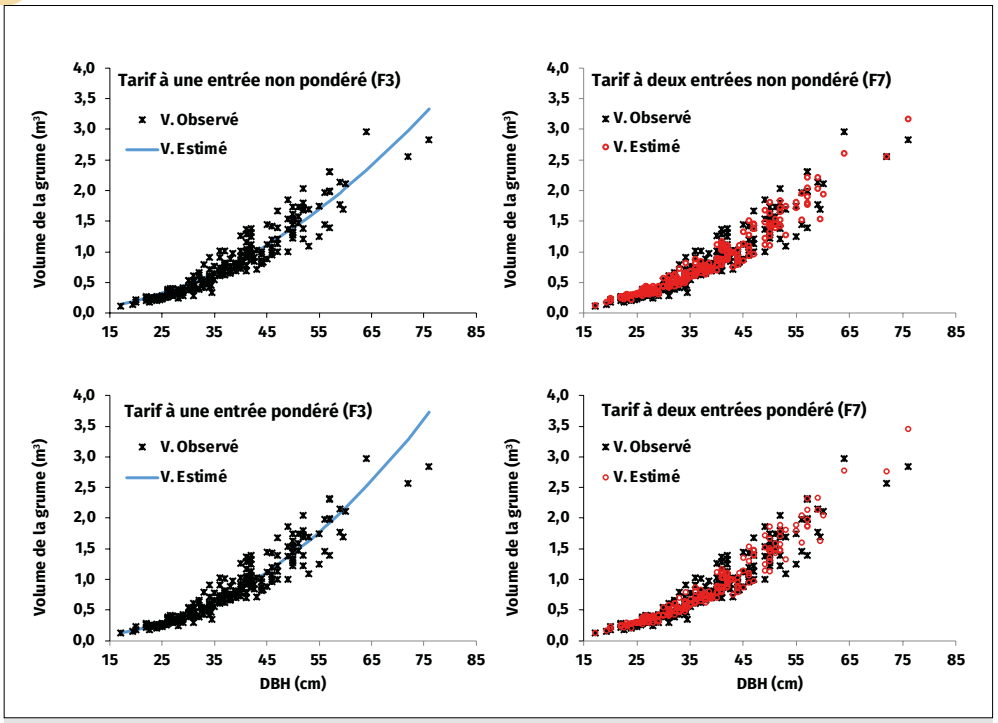


Figure 3.
Projection des volumes observés et des volumes estimés par les fonctions F3 et F7 en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH) sans et avec pondération.
Projection of observed volumes and volumes estimated by functions F3 and F7 as a function of diameter at 1.30 m (DBH) without and with weighting.

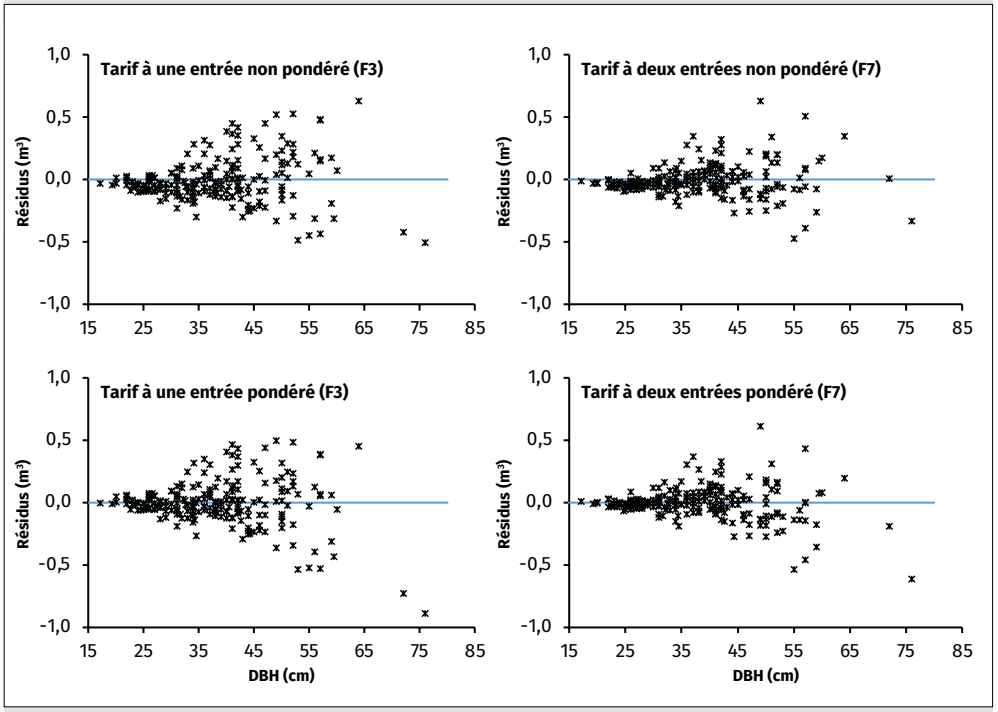


Figure 4.
Projection des résidus des volumes (m³) issus des fonctions F3 et F7 ajustées sans et avec pondération en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH).
Projection of residual volumes (m³) from functions F3 and F7 adjusted without and with weighting according to diameter at 1.30 m (DBH).

pour les fonctions pondérées et non pondérées (figure 4), on constate que les volumes estimés par les équations non pondérées sont systématiquement inférieurs aux volumes observés pour les arbres de petites dimensions dont le DBH est inférieur ou égal à 30 cm (sous-estimation), tandis que les tarifs pondérés permettent de corriger cette sous-estimation et donnent une répartition aléatoire des résidus autour de la valeur zéro sur toute l'étendue des dimensions des arbres cubés. Étant donné que la pondération a permis de corriger le caractère aléatoire de la distribution des résidus sans diminuer d'une façon significative la précision des estimations, nous avons retenu les deux tarifs pondérés à une et à deux entrées pour le cubage des arbres de pin d'Alep de la forêt de Beni Imloul.

Le tableau IV représente les tables de cubage pour les volumes (m³) par classes de diamètre (cm) et de hauteur (m), simulés à l'aide des équations pondérées à une et à deux entrées. Les équations où v est exprimé en m³, d en cm et h en m sont respectivement de la forme suivante :

$$v = 1{,}79 \times 10^{-4} d^{2{,}296}$$

avec $R^2_{aj} = 0{,}8787$

$$v = 6{,}10 \times 10^{-5} d^{1{,}8214} h^{1{,}023}$$

avec $R^2_{aj} = 0{,}9375$

Ces tables de cubage sont des outils de gestion qui peuvent être utilisés directement par les gestionnaires forestiers pour donner des volumes plus ou moins proches de la réalité (plus le nombre d'arbres augmente, meilleure est la précision). Toutefois, on peut calculer des volumes plus précis pour différentes dimensions d'arbres en appliquant directement les équations des tarifs retenus.

Discussion

Les études sur la production du pin d'Alep dans les pays du pourtour méditerranéen sont nombreuses : Montero *et al.* (2001), Sghaier *et al.* (2008), Alaoui *et al.* (2011) et Goubi *et al.* (2019). Pour situer et comparer les deux tarifs élaborés dans le cadre de cette étude par rapport à d'autres tarifs ajustés pour la même espèce dans les pays voisins, ces derniers ont été utilisés pour prédire le volume des arbres cubés de la forêt de Beni Imloul, objet de cette étude. Les comparaisons ont essentiellement reposé sur les valeurs prédites par ces tarifs et le calcul du biais et des moyennes quadratiques des résidus absolus et relatifs (tableau V). Pour l'Algérie, la comparaison a été faite avec la pinède de Ouled Yaâgoub (un peuplement naturel) où deux tarifs de cubage à une et à deux entrées ont été ajustés sur les données issues de 340 arbres cubés. Dans le cas de la Tunisie, nous avons considéré les équations polynomiales à une et à deux entrées pondérées qui ont été ajustées sur 348 arbres cubés de peuplements naturels et de plantations. Il faut préciser que, pour les tarifs de cubage tunisiens, les volumes estimés regroupent le volume de la

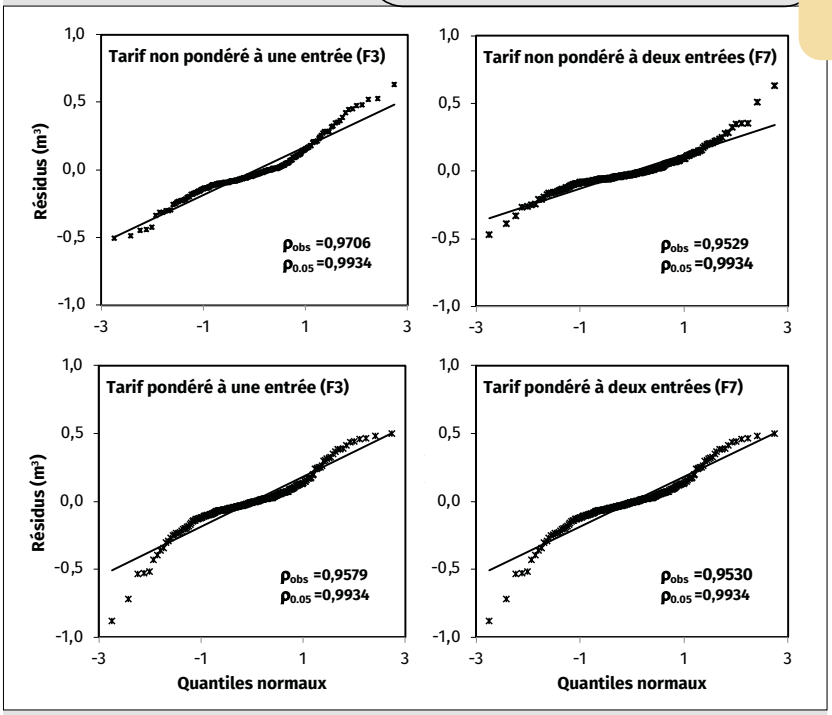


Figure 5.
Diagramme de QQ-probabilité des résidus en (m³) et test de normalité de Ryan-Joiner pour les tarifs de cubage à une et à deux entrées sans et avec pondération.
QQ-Probability plots of residuals in (m³) and Ryan-Joiner normality test for one- and two-input volume tables without and with weighting.

Tableau IV.
Tables de cubage à une (F3) et à deux entrées (F7) pondérées : volume du bois fort de la grume d'arbre en m³ en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH, en cm) et de la hauteur totale (en m) pour le tarif de cubage à deux entrées, et du bois fort de la grume d'arbre en m³ en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH, en cm) pour le tarif de cubage à une entrée.
Weighted one-entry (F3) and two-entry (F7) cubage tables: volume of heavy timber in the tree log in m³ as a function of diameter at 1.30 m (DBH, in cm) and total height (in m) for the two-entry cubage tariff, and heavy timber in the tree log in m³ as a function of diameter at 1.30 m (DBH, in cm) for the one-entry volume table.

Classes de DBH (cm)	DBH (cm)	Tarif à deux entrées CV% = 16,15 — Hauteur totale (m)										Tarif à une entrée CV% = 22,43
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
		<= 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	
10-20	15	0,035	0,053	0,071	0,089	0,108	0,126	0,144	0,163	0,181	0,2	0,09
20-30	25	0,089	0,134	0,18	0,226	0,273	0,319	0,366	0,413	0,46	0,507	0,29
30-40	35	0,164	0,248	0,332	0,418	0,503	0,589	0,675	0,762	0,848	0,935	0,628
40-50	45	0,258	0,391	0,525	0,66	0,795	0,931	1,067	1,204	1,341	1,478	1,118
50-60	55	0,373	0,564	0,757	0,951	1,146	1,342	1,538	1,735	1,933	2,131	1,773
60-70	65	0,505	0,765	1,026	1,289	1,554	1,819	2,085	2,352	2,62	2,888	2,602
70-80	75	0,655	0,992	1,332	1,673	2,016	2,361	2,706	3,053	3,4	3,749	3,614
80-90	85	0,823	1,246	1,673	2,102	2,533	2,965	3,399	3,835	4,271	4,708	4,817
90-100	95	1,008	1,526	2,048	2,574	3,101	3,631	4,163	4,696	5,23	5,766	6,219

CV% : coefficient de variation (rapport en pour cent entre l'écart-type résiduel et le volume moyen).

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

Tableau V.
Tarifs de cubage à une et à deux entrées établis pour le pin d'Alep dans cinq pays du pourtour méditerranéen, et analyse des résidus.
Single-entry and double-entry volume tables established for Aleppo pine in five countries around the Mediterranean, and analysis of residues.

N°	Équation	Pays	Région	*Biais*	S_a	S_r
1	$v=1,79\times10^{-4}d^{2,296}$	Algérie (F3)	Beni Imloul	– 0,003	0,19	0,185
2	$v=-47,820+3,287c+6,078.10^{-2}c^2+9,193.10^{-4}c^3$	Tunisie (Sghaier *et al.*, 2008)	/	– 0,522	0,98	0,329
3	$v=0,00334-7.10^{-4}c+4.10^{-5}c^2$	Maroc (Alaoui *et al.*, 2011)	Haut Atlas Zekren et Amezmiz	0,312	0,41	0,624
4	$v=-2,36.10^{-3}+3,134.10^{-5}c^2$	Maroc (Alaoui *et al.*, 2011)	Oriental Oujda	0,368	0,478	0,776
5	$v=0,0678+47,49.10^{-6}c^2$	Maroc (Alaoui *et al.*, 2011)	Haut Atlas (Tamga)	0,048	0,215	0,235
6	$v=6,10\times10^{-5}d^{1,8214}h^{1,023}$	Algérie (F7)	Beni Imloul	– 0,003	0,136	0,138
7	$v=0,496\frac{hc^2}{4\pi\left(1-\frac{1,30}{h}\right)^2}$	France (Deleuze *et al.*, 2014)	/	– 0,334	0,454	0,29
8	$v=0,077186\,d^{1,84818}h^{0,88012}$	Espagne (Martínez-Millán *et al.*, 1993)*	/	0,049	0,144	0,157
9	$v=0,011+3,07.10^{-6}c^2h$	Maroc (Alaoui *et al.*, 2011)	Oriental Oujda	0,059	0,152	0,184
10	$v=-36,220+2,663c-5,666.10^{-2}c^2+5,023.10^{-}\ c^3+3,000.10^{-3}c^2h$	Tunisie (Sghaier *et al.*, 2008)	/	– 0,393	0,697	0,275

Biais : moyenne des résidus ; S_a : moyenne quadratique des résidus absolus ; S_r : moyenne quadratique des résidus relatifs ;
* : *in* Montero *et al.*, 2001.

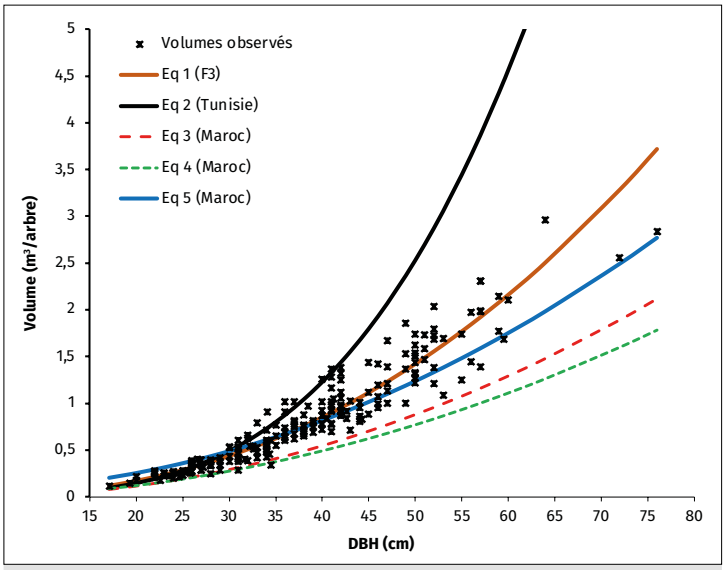


Figure 6.
Volumes observés pour les arbres échantillonnés dans la forêt de Beni Imloul en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH) et courbes simulées à l'aide des tarifs de cubage (Eq : équation) à une entrée établis pour le pin d'Alep de trois pays méditerranéens.
Observed volumes for trees sampled in the Beni Imloul forest as a function of diameter at 1.30 m (DBH) and curves simulated using single-entry volume tables (Eq: equation) established for Aleppo pine in three Mediterranean countries.

grume et celui des branches. Pour le Maroc, parmi plusieurs tarifs, à une et à deux entrées, élaborés pour des peuplements naturels et artificiels dans différentes zones cités par Alaoui *et al.* (2011), nous avons retenu des équations à une entrée établies pour les peuplements naturels du pin d'Alep au sein du Haut Atlas par Belghazi (1980), Assahnan (1993) (*in* Alaoui *et al.*, 2011) et le SAFBV du Haut Atlas à Marrakech (1998). Il s'agit des peuplements naturels de Zerkten et Amezmiz, situés dans l'étage semi-aride (Eq. 3), et de la forêt de Tamga qui se trouve dans le semi-aride supérieur (Eq. 5). Pour les reboisements, nous avons retenu les tarifs à une et à deux entrées établis au niveau de l'Oriental Oujda situé à l'étage bioclimatique semi-aride (Eq. 4 et Eq. 9). Pour la France, nous avons utilisé la formule approchée EMERGE par essence ; il s'agit d'un modèle simplifié à l'extrême, développé à partir des données de volume total pour 28 essences (feuillus et résineux) sur tout le territoire français (Deleuze *et al.*, 2014). Cette formule peut être utilisée pour calculer le volume d'un cylindre, où le facteur 0,496 est une constante pour toutes les espèces. La comparaison

avec l'Espagne a été faite avec un tarif à deux entrées, utilisé par Montero *et al.* (2001) et précédemment élaboré par Martínez-Millán *et al.* (1993).

Pour les tarifs à une entrée, le tableau V montre que le tarif tunisien (Eq. 2) et les trois tarifs marocains (Eq. 3, Eq. 4 et Eq. 5) donnent globalement les erreurs les plus élevées. Le tarif tunisien (Eq. 2) donne la valeur la plus élevée des erreurs commises sur les gros arbres (S_a) et celui du Maroc (Eq. 4) la plus élevée des erreurs commises sur les petits arbres (S_r).

Pour les tarifs à deux entrées, le tableau V montre que les deux tarifs français (Eq. 7) et tunisien (Eq. 10) donnent les erreurs les plus élevées. En effet, le tarif tunisien (Eq. 10) présente la valeur de S_a la plus élevée et le tarif français (Eq. 7) la valeur de S_r la plus élevée. Le tarif de l'Espagne (Eq. 8) présente les erreurs les plus faibles. D'après les valeurs des erreurs d'estimation par les différents tarifs présentés dans le tableau V, le tarif qui offre les erreurs les plus faibles est celui à deux entrées, développé par Martínez-Millán *et al.* (1993) et mentionné par Montero *et al.* (2001) en Espagne (Eq. 8).

Pour les tarifs à une entrée, la projection des volumes observés des arbres cubés dans les Beni Imloul avec les courbes simulées par les fonctions à une entrée du tableau V (figure 6) montre qu'à l'exception du tarif tunisien (Eq. 2), qui surestime les volumes, l'ensemble des tarifs marocains représentant les peuplements naturels du Haut Atlas (Zerkten, Amezmiz et Tamga) et le reboisement (Oriental Oujda) sous-estime ce paramètre (Eq. 3, Eq. 4 et Eq. 5).

La projection des résidus issus des différents tarifs à deux entrées (figure 7) montre que les tarifs de la Tunisie (Eq. 10) et de la France (Eq. 7) surestiment en général les volumes des arbres cubés de la forêt de Beni Imloul, objet de cette étude. Ces deux derniers tarifs présentent les mêmes estimations jusqu'à environ 45 cm de diamètre ; au-delà, le tarif tunisien donne des valeurs estimées plus élevées. Outre les caractéristiques dendrométriques qui dépendent des conditions édaphiques et climatiques et qui diffèrent d'un pays à l'autre, la surestimation des volumes peut être due aux tarifs utilisés. Les tarifs tunisien et français donnent les volumes totaux (grume plus les branches).

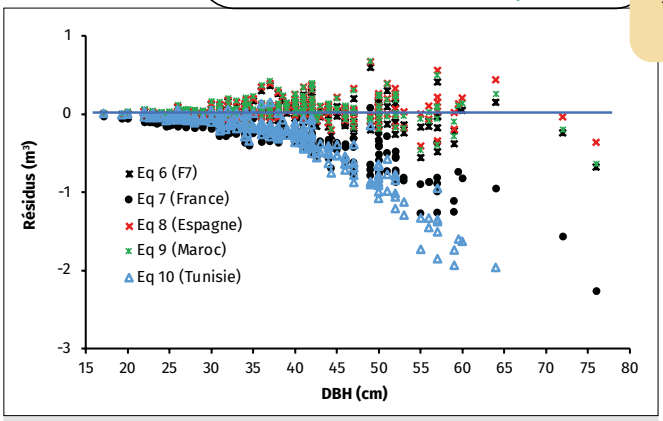


Figure 7.
Projection des résidus en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH) obtenus par les tarifs de cubage à deux entrées établis pour le pin d'Alep de cinq pays méditerranéens.
Projection of residues as a function of diameter at 1.30 m (DBH) obtained by two-entry volume tables established for Aleppo pine in five Mediterranean countries.

Les résidus issus du tarif établi en Espagne (Eq. 8) et de celui développé au Maroc (Eq. 9) se confondent avec ceux du tarif de Beni Imloul et peuvent être considérés comme les plus proches.

Pour les Aurès, et comme un cas spécifique, nous avons choisi de faire une comparaison entre nos tarifs, à une et à deux entrées, obtenus pour la pinède des Beni Imloul, avec ceux élaborés pour le peuplement de Ouled Yaâgoub dont les données de base nous ont été accessibles. Les statistiques descriptives des diamètres, des hauteurs et des volumes des arbres échantillonnés dans les peuplements de Beni Imloul et de Ouled Yaâgoub sont données dans le tableau VI. Ce tableau montre des écarts importants entre les caractéristiques dendrométriques des deux forêts surtout en ce qui concerne les valeurs minimales. La classe d'arbres de diamètre inférieur à 15 cm est absente dans la forêt de Beni Imloul. La pinède de Beni Imloul donne des volumes plus importants par rapport à celle de Ouled Yaâgoub (le volume moyen des arbres de Beni Imloul dépasse environ deux fois celui des arbres de

Tableau VI.
Caractéristiques dendrométriques et volumes des arbres cubés dans les massifs de Beni Imloul et Ouled Yaâgoub.
Dendrometric characteristics and volumes of trees cubed in the Beni Imloul and Ouled Yaâgoub massifs.

Station	Taille de l'échantillon	Variable	Moyenne	Minimum	Maximum	Coefficient de variation CV%
Beni Imloul	209	Diamètre (cm)	38,2	17,1	76	22,38
		Hauteur (m)	15,37	9,4	22,7	14,83
		Volume (m^3)	0,85	0,12	2,7	50,42
Ouled Yaâgoub (Goubi *et al.*, 2019)	340	Diamètre (cm)	29,08	7,4	68,9	39,04
		Hauteur (m)	11,52	4,9	18,69	24,31
		Volume (m^3)	0,46	0,015	2,3	78,22

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 29-42
RESEARCH / VOLUME TABLES

Ouled Yaâgoub). En comparant la répartition des arbres cubés en fonction du diamètre à 1,30 m de hauteur (cm) et de la hauteur totale (m) pour les deux peuplements, nous constatons que, pour la pinède de Beni Imloul, la majorité des arbres est située dans les classes de diamètre et de hauteur les plus élevées, tandis que la plupart des arbres de la pinède de Ouled Yaâgoub sont répartis dans les classes de diamètre de moins de 25 cm.

Par comparaison au peuplement de Ouled Yaâgoub, la classe des gros arbres pour le peuplement de Beni Imloul, avec un diamètre supérieur à 55 cm à hauteurs variables (de 15 à 20 m et plus), représente 7,66 % de la totalité des arbres échantillonnés, alors qu'à Ouled Yaâgoub la même classe de diamètre ne représente que 3,82 %. Cette différence de composition des échantillons peut être à l'origine des volumes élevés en faveur de la pinède des Beni Imloul.

Pour les deux peuplements de Beni Imloul et celui de Ouled Yaâgoub, la figure 8 présente les volumes observés et les courbes simulées à l'aide du tarif à une entrée pour les arbres ayant un diamètre compris entre 7 et 76 cm. Cette figure montre que les volumes observés des Beni Imloul sont supérieurs aux volumes de la pinède de Ouled Yaâgoub pour des caractéristiques dendrométriques similaires. La différence est peu marquée jusqu'à 25 cm de diamètre. Les arbres de la pinède des Beni Imloul, caractérisés par des hauteurs plus élevées, ont des volumes plus importants par rapport aux arbres ayant le même diamètre au sein de la pinède de Ouled Yaâgoub ; ceci reflète un potentiel de production dépassant celui de la pinède de Ouled Yaâgoub malgré sa situation dans l'étage bioclimatique subhumide.

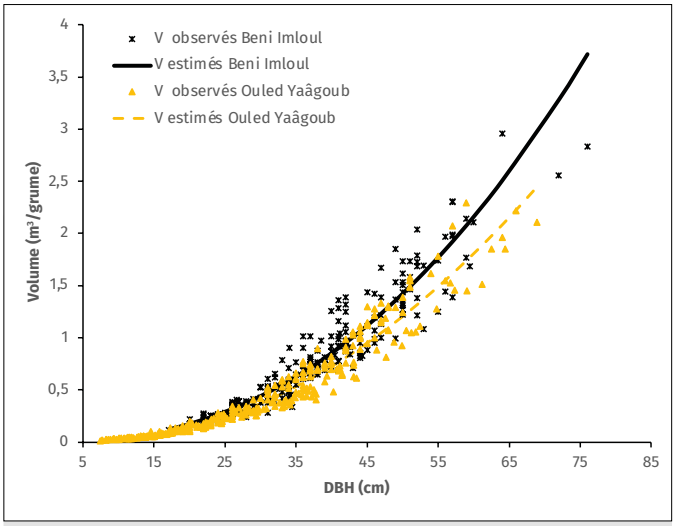


Figure 8.
Projection des volumes observés des grumes des arbres échantillonnés en fonction du diamètre à 1,30 m (DBH) et courbes simulées à l'aide du tarif de cubage à une entrée pour les pinèdes de Beni Imloul et Ouled Yaâgoub.
Projection of observed volumes of sampled tree logs as a function of diameter at 1.30 m (DBH) and curves simulated using the single-entry volume table for the Beni Imloul and Ouled Yaâgoub pine forests.

Conclusion

Le présent travail porte sur le test et l'ajustement de plusieurs équations linéaires et non linéaires pour prédire le volume bois fort des pins d'Alep de la forêt de Beni Imloul en Algérie. Le choix des meilleures équations repose principalement sur la précision des estimations et l'étude numérique et graphique des résidus. L'utilisation de la pondération a amélioré la précision des équations testées, surtout pour les gros arbres, et par conséquent a conduit à de meilleurs résultats.

Sur la base des résultats obtenus, les équations pondérées F3 (tarif de cubage à une entrée) et F7 (tarif de cubage à deux entrées) ont été retenues pour le cubage des pins d'Alep de la forêt de Beni Imloul en Algérie.

Le tarif de cubage à une entrée, bien qu'il soit plus facile à appliquer sur le terrain, présente le coefficient de variation le plus élevé (22,43 %). Ce tarif est souvent utilisé dans le cadre des aménagements. Le tarif de cubage à deux entrées qui est plus précis, avec un coefficient de variation de l'ordre de 16,15 %, peut être utilisé pour la vente du bois sur pied.

La comparaison des résultats obtenus dans le cadre de cette étude avec ceux issus d'autres études réalisées dans quelques pays du pourtour méditerranéen a montré des écarts importants quant aux volumes estimés. Ces écarts peuvent être expliqués par la variabilité entre les échantillons d'arbres qui ont servi aux ajustements des différents tarifs. Cette variabilité dans la forme et la dimension des pins d'Alep peut être liée aux conditions des milieux qui diffèrent entre les stations et les pays.

Les deux tarifs élaborés dans le cadre de cette étude peuvent être utilisés pour l'estimation du volume bois fort des grumes des arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (DBH, à une hauteur de 1,30 m) varie entre 15 et 80 cm, et la hauteur entre 9 et 23 m. En dehors de ces limites, ces tarifs doivent être utilisés avec prudence.

Financement
L'étude a été financée en grande partie par le premier auteur, Khedidja Zeghichi (40 %), ainsi que par une contribution de deux organismes : Université Batna 1 et Conservation des forêts de Khenchela.

Conditions d'accès aux données
Les données de cette étude sont disponibles gratuitement et accessibles à partir de ce lien : https://zenodo.org/records/8367806
Il est demandé de prévenir l'auteur et de citer cet article pour toute utilisation des données.

Références bibliographiques

Alaoui A., Laaribya 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. Kastamonu University, Journal of Forestry Faculty, 11 (1) : 68-84. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/159639

Belkhiri L., 1999. Influence de la formule de cubage et de la longueur du billon sur la détermination du volume des arbres abattus: élaboration d'un tarif de cubage par la formule de NEWTON-SIMPSON pour le pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) de la forêt de Beni-Imloul. Mémoire d'ingéniorat, Université El-Hadj Lakhdar – Batna – Faculté des sciences, Département d'agronomie, Algérie, 66 p.

Bensaid S., 1995. Bilan critique du barrage vert en Algérie. Sécheresse, 6 (3) : 247-255. https://www.researchgate.net/publication/277728694_Bilan_critique_du_barrage_vert_en_Algerie

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

Daoui A., Douet J., Marchel R., Zerizer A., 2007. Valorisation du bois de pin d'Alep par déroulage : optimisation de son étuvage. Bois et Forêts des tropiques, 294 (4) : 52-64. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20334

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 de l'ONF, 44 : 22-32. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143797/document

De Smith M. J., 2015. Statistical analysis handbook: A comprehensive handbook of statistical concepts, techniques and software tools. Free Tech Books, 99 p. https://www.statsref.com/StatsRefSample.pdf

Drapper N. R., Smith H., 1981. Applied regression analysis. New York, USA, Willey, 709 p.

Fonweban J. N., Houllier F., 1997. Tarifs de cubage et fonctions de défilement pour *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Annales des Sciences Forestières, 54 : 513-528. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883166/document

Goubi M., 2011. Croissance et productivité du pin d'Alep dans quelques stations du massif des Aurès. Thèse de magister, Université El-Hadj Lakhdar - Batna, Institut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques, Département d'agronomie, Algérie, 63 p. http://www.secheresse.info/spip.php?article14390

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 (1) : 45-59. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/31715

Photo 2.
Peuplement naturel du pin d'Alep dans la forêt de Beni Imloul.
Natural stand of Aleppo pine in the Beni Imloul forest.
Photo k. Zeghichi.

Kadik B., 1987. Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie : Écologie, dendrométrie, morphologie. Alger, Algérie, Office des publications universitaires, 585 p.

Kherchouche D., Bentouati A., Kaabeche M., 2011. Croissance et écologie du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif des Beni Imloul (Aurès, Algérie). Sécheresse, 22 (1) : 43-48. https://www.researchgate.net/publication/281450794_Croissance_et_ecologie_du_pin_d%27Alep_Pinus_halepensis_Mill_dans_le_massif_des_Beni-Imloul_Aures_Algerie

Looney S. W., Gulledge T. R., 1985. Use of the Correlation Coefficient with Normal Probability Plots. The American Statistician, 39 (1): 75-79. https://www.researchgate.net/publication/239799316_Use_of_the_Correlation_Coefficient_with_Normal_Probability_Plots

Martínez-Millán J., Ara Lázaro P., González-Doncel I., 1993. Ecuaciones alometricas de tres variables : estimacion del volumen, crecimiento y porcentaje de corteza de las principales especies maderables Españolas. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 2 (2): 211-218. https://

www.researchgate.net/publication/277191165_Ecuaciones_alometricas_de_tres_variables_estimacion_del_volumen_crecimiento_y_porcentaje_de_corteza_de_las_principales_especies_maderables_espanolas

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. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.918.9546&rep=rep1&type=pdf

Morice E., Chartier F., 1954. Méthode statistique (2e vol.). Paris, France, Imprimerie nationale, 555 p.

Palm R., 1981. Calcul et choix des équations de cubage d'arbres. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 16 (4) : 351-370.

Palm R., 1983. Précision des valeurs estimées à l'aide de tarif de cubage d'arbres. Annales des Sciences Forestières, 40 (3) : 199-308. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00882307/document

Palm R., 1986. Étude des résidus de régression : principes et application. Gembloux, Belgique, Faculté des sciences agronomiques, 13 p.

Palm R., 1988. Les critères de validation des équations de régression linéaire. Gembloux, Belgique, Faculté des sciences agronomiques, Notes de Statistique et d'Informatique, 88 (1), 27 p. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/113726/1/88-1-CritValidEqRégLin.pdf

Rondeux J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.

Ryan T. A., Joiner B. L., 1976. Normal probability plots and tests for normality. Pennsylvania State University, USA, 12 p. https://docplayer.net/21494161-Normal-probability-plots-and-tests-for-normality.html

SAS Institute Inc., 2004a. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA, SAS Institute Inc., 5121 p. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf

SAS Institute Inc., 2004b. SAS/ETS 9.1 User's Guide. Cary, NC, USA, SAS Institute Inc., 2416 p.

Sánchez-González M., Tomé M., Montero G., 2005. Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. Annals of Forest Science, 62: 633-643. https://hal.science/hal-00883925/document

Sánchez-González M., Cañellas I., Montero G., 2007. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 16 (1): 76-88. https://www.researchgate.net/publication/28251727_Generalized_height-diameter_and_crown_diameter_prediction_models_for_cork_oak_forests_in_Spain

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., 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/publication/275031477_Tables_de_cubage_pour_les_plantations_du_pin_pignon_Pinus_pinea_du_Nord-Ouest_de_la_Tunisie

Sghaier T., Claustriaux J. J., Ammari Y., Othmani H., 2019. Effect of the substrates used for forest seedlings production on the survival and growth of trees in a reforestation site in North-West of Tunisia. International Journal of Tropical Geology, Geography and Ecology, 43 (1): 145-160. https://www.researchgate.net/publication/333045242_Effect_of_the_substrates_used_for_forest_seedlings_production_on_the_survival_and_growth_of_trees_in_a_reforestation_site_in_North-West_of_Tunisia

Sghaier T., Garchi S., Azizi T., 2020. Modélisation de la croissance et de la production du liège en Tunisie. Bois et Forêts des Tropiques, 346 (4) : 3-20. https://www.researchgate.net/publication/348807288_Modelisation_de_la_croissance_et_de_la_production_du_liege_en_Tunisie

Zeghichi *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	K. Zeghichi, T. Sghaier, A. Bentouati
Gestion des données	K. Zeghichi
Analyse formelle	K. Zeghichi, T. Sghaier
Acquisition du financement	K. Zeghichi, D. Kherchouche, Conservateur des forêts de Khenchela
Enquête et investigation	K. Zeghichi, L. Belkhiri
Méthodologie	T. Sghaier, A. Bentouati, K. Zeghichi
Gestion de projet	K. Zeghichi, A. Bentouati, D. Kherchouche
Ressources	K. Zeghichi, D. Kherchouche, Conservateur des forêts de Khenchela
Logiciels	K. Zeghichi, T. Sghaier
Supervision	A. Bentouati ,T. Sghaier, D. Kherchouche
Validation	K. Zeghichi, D. Kherchouche
Visualisation	K. Zeghichi, T. Sghaier, A. Bentouati
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	K. Zeghichi, T. Sghaier, A. Bentouati, D. Kherchouche
Écriture – Révision et édition	K. Zeghichi, T. Sghaier, D. Kherchouche, A. Bentouati

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

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

Four multipurpose species of the genus *Vitex* (Lamiaceae) in the Democratic Republic of the Congo show different responses to propagation techniques for nursery production

Désiré Numbi Mujike[1, 2]
Pierre Meerts[2, 3, 4]
Boniface Mbinga Lokoto[1]
Mylor Ngoy Shutcha[1]

[1] University of Lubumbashi
Faculty of Agronomic Sciences
Ecology, Ecological Restoration
and Landscape Research Unit
Route Kasapa, Campus universitaire
BP 1825, Lubumbashi
Democratic Republic of the Congo

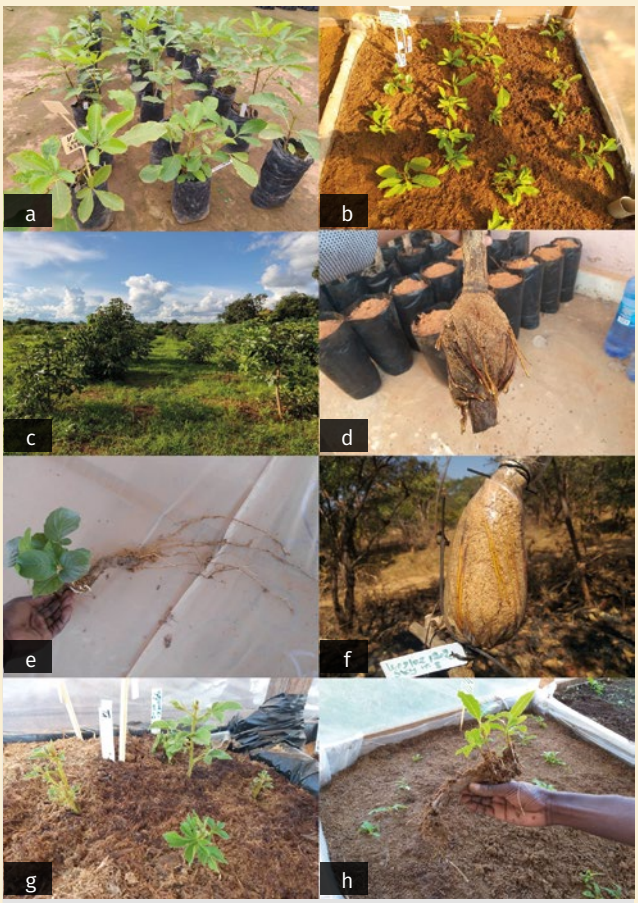
[2] Université libre de Bruxelles
Laboratory of Plant Ecology
and Biogeochemistry
Avenue F.D. Roosevelt 50
CP 244, Brussels
Belgium

[3] Meise Botanic Garden
Nieuwelaan 38, Meise
Belgium

[4] Service général de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche
scientifique
Fédération Wallonie-Bruxelles, Brussels
Belgium

Auteur correspondant / Corresponding author:
Désiré NUMBI MUJIKE –
desire.mujike@gmail.com
mujiken@unilu.ac.cd

ORCID :
https://orcid.org/0000-0001-8735-2153



Photos 1.
a. Young *Vitex doniana* plants in the shadehouse. b. Budding of *Vitex doniana* roots in a propagation frame. c. A plantation of species of the genus *Vitex* in the experimental garden of UNILU's Faculty of Agronomic Sciences. d. Rooted marcotte of *Vitex fischeri* in Lubumbashi. e. Rooted root cutting of *Vitex madiensis* in Lubumbashi. f. Rooted marcotte of *Vitex madiensis* in Lubumbashi. g. Cutting roots of *Vitex mombassae* in a propagation chassi in Lubumbashi. Fragment of a rooted root cutting of *Vitex doniana* in a propagation frame in Lubumbashi. h. Fragment of a rooted root cutting of *Vitex doniana* in a propagation frame in Lubumbashi.
Photos D. Numbi Mujike, 2019.

Doi : 10.19182/bft2023.357.a36943 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 8 avril 2022 ; date d'acceptation : 25 avril 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Numbi Mujike D., Meerts P., Mbinga Lokoto B., Ngoy Shutcha M., 2023. Four multipurpose species of the genus *Vitex* (Lamiaceae) in the Democratic Republic of the Congo show different responses to propagation techniques for nursery production. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 43-56. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a36943

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 43-56

RÉSUMÉ

Quatre espèces polyvalentes du genre *Vitex* (Lamiaceae) de la République démocratique du Congo réagissent différemment aux techniques de multiplication pour la production en pépinière

Les plantes médicinales ligneuses constituent l'un des principaux produits écosystémiques fournis par la forêt claire sèche du Haut-Katanga (République démocratique du Congo). La déforestation rapide, et la demande croissante en médicaments traditionnels mettent en péril la sécurité de l'approvisionnement. Dans ce contexte, la domestication et la production en culture peuvent représenter une solution durable. Les espèces du genre *Vitex* (Lamiaceae) sont bien connues pour leur utilisation en médecine traditionnelle. Cette étude vise à optimiser les techniques de propagation de quatre espèces du genre *Vitex* (*V. doniana, V. madiensis* subsp. *milanjiensis, V. fischeri, V. mombassae*) qui coexistent dans la forêt claire sèche du Haut-Katanga. Quatre techniques, à savoir le semis, le bouturage de racines, le bouturage de tiges et le marcottage aérien, ont été testées. Les quatre espèces montrent des réponses remarquablement contrastées. *Vitex* madiensis n'est pas apte à la multiplication générative (0 % de taux de germination), mais les graines mûres scarifiées ont enregistré des taux de levée plus élevés chez *V. doniana* (90 %), tout comme les graines scarifiées récoltées à l'état vert chez *V. mombassae* (75 %). Le bouturage de racines a été plus performant chez *V. doniana* (87 %), *V. madiensis* (80 %) et *V. mombassae* (77 %), mais pas pour *V. fischeri* (0 %). Le marcottage aérien convient bien à *V. fischeri* (83 %) et *V. madiensis* (77 %), mais pas pour *V. mombassae* (0 %) dans les conditions de notre étude. Les boutures de tiges n'ont été efficaces pour aucune des quatre espèces. Des protocoles spécifiques efficaces pour la propagation représentent un premier pas vers la domestication de ces espèces en République démocratique du Congo.

Mots-clés : marcottage, bouturage, semis, multiplication végétative, domestication, *Vitex*, plante médicinale, miombo, République démocratique du Congo.

ABSTRACT

Four multipurpose species of the genus *Vitex* (Lamiaceae) in the Democratic Republic of the Congo show different responses to propagation techniques for nursery production

Woody medicinal plants are one of the main ecosystem products found in the dry woodlands of the province of Haut-Katanga (Democratic Republic of the Congo), where rapid deforestation coupled with increasing demand for traditional medicine are jeopardising supplies. In this context, domestication and cultivation may be a sustainable solution. The species of the genus *Vitex* (Lamiaceae) are well known for their uses in traditional medicine. This study aims to optimise propagation techniques for four species of the genus *Vitex* (*V. doniana, V. madiensis* subsp. *milanjiensis*, *V. fischeri, V. mombassae*) that coexist in the dry woodlands of Haut-Katanga. Four techniques, i.e., sowing, root cuttings, stem cuttings and air layering, were tested experimentally. The four species show strikingly contrasting responses. Sowing was ill-suited to *V. madiensis* (0% germination rate), but scarified ripe seeds produced high germination rates in *V. doniana* (90%) as did scarified seeds harvested from unripe (green) seeds of *V. mombassae* (75%). Root cuttings were most suitable for *V. doniana* (87%), *V. madiensis* (80%) and *V. mombassae* (77%), but not for *V. fischeri* (0%). Air layering was well suited for *V. fischeri* (83%) and *V. madiensis* (77%), but not for *V. mombassae* (0%) in the conditions of our study. Stem cuttings were not efficient for any of the four species in the conditions of our study. Effective and specific propagation protocols would be a first step towards domestication of these species in the Democratic Republic of the Congo.

Keywords: sowing, root cuttings, stem cuttings, air layering, vegetative propagation, domestication, *Vitex*, medicinal plant, miombo, Democratic Republic of the Congo.

RESUMEN

Cuatro especies polivalentes del género *Vitex* (Lamiaceae) de la República Democrática del Congo reaccionan de forma diferente a las técnicas de multiplicación para la producción en vivero

Las plantas medicinales leñosas constituyen uno de los principales productos ecosistémicos proporcionados por el bosque abierto seco del Alto Katanga (República Democrática del Congo). La deforestación rápida, y la creciente demanda de medicamentos tradicionales ponen en peligro la seguridad del aprovisionamiento. En este contexto, la domesticación y la producción en cultivo pueden representar una solución sostenible. Las especies del género *Vitex* (Lamiaceae) son bien conocidas por su uso en medicina tradicional. Este estudio pretende optimizar las técnicas de propagación de cuatro especies del género *Vitex* (*V. doniana, V. madiensis* subsp. *milanjiensis, V. fischeri, V. mombassae*), que coexisten en el bosque abierto seco del Alto Katanga. Se ensayaron cuatro técnicas, es decir, el sembrado, los esquejes de raíz, los esquejes de tallos y el acodo aéreo. Las cuatro especies muestran respuestas claramente contrastadas. *Vitex* Madiensis no es apta para la multiplicación generativa (0 % de tasa de germinación), pero las semillas maduras escarificadas registraron tasas de crecimiento más elevadas en *V. doniana* (90 %), al igual que las semillas escarificadas recogidas siendo verdes en *V. mombassae* (75 %). El esqueje de raíces fue más efectivo en *V. doniana* (87 %), *V. madiensis* (80 %) y *V. mombassae* (77 %), aunque no para *V. fischeri* (0 %). La reproducción por esquejes aéreos es conveniente para *V. fischeri* (83 %) y *V. madiensis* (77 %), pero no para *V. mombassae* (0 %) en las condiciones de nuestro estudio. Los esquejes de tallos no fueron eficaces para ninguna de las cuatro especies. Los protocolos específicos eficaces para la propagación representan un primer paso hacia la domesticación de estas especies en la República Democrática del Congo.

Palabras clave: acodo, reproducción por esqueje, siembra, multiplicación vegetativa, domesticación, *Vitex*, planta medicinal, miombo, República Democrática del Congo.

Introduction

Medicinal plants are used in the treatment of many diseases in traditional African medicine. Although traditional medicine cannot be reduced to herbal medicine alone, the vast majority of traditional recipes and treatments are plant-based. In the Democratic Republic of the Congo (D.R. Congo), more than 80% of the population uses traditional medicine to treat themselves (Okombe *et al.*, 2014; Bakari *et al.*, 2017) with, in particular, a massive use of woody medicinal plants (Lejoly *et al.*, 1992; Vwakyanakazi and Petit, 2004; Muya *et al.*, 2014; Konda *et al.*, 2012; Mbayo *et al.*, 2016; Mongeke *et al.*, 2018; Rusaati *et al.*, 2021).

The dry tropical woodlands in the south of the country, also known as miombo woodlands, are being rapidly degraded by the unsustainable harvesting of wood for charcoal making, inappropriate wildfire practices and cleared for slash-and-burn agriculture, mining activities, and urbanization (Potapov *et al.*, 2012; Useni *et al.*, 2017). This represents a serious threat to woody medicinal plants. At the same time, the demand for medicinal plants is increasing due to population growth. Supply challenges could lead to substitution with other plants, which may be inactive or even toxic, thus threatening the health and livelihoods of the people depending on them (Yamani *et al.*, 2015).

In this context, strategies for conservation and sustainable use of medicinal plants need to be developed (Maghembe *et al.*, 1998; Akinnifesi *et al.*, 2007; Meunier *et al.*, 2008; Leakey and Van Damme, 2014; Mapongmetsem and Diksia, 2014). Cultivation of overexploited plants and exclusively harvested in the wild would be a sustainable alternative as it would not only reduce pressure on wild populations, but also secure supply and generate more income for households (Simons and Leakey, 2004; Amujoyegbe *et al.*, 2012). Cultivation also has the advantage of combating adulteration by providing reliable botanical identification. However, lack of knowledge on the most appropriate propagation techniques is one of the main constraints to cultivation (Gbenato *et al.*, 2014).

Research is currently being developed in different regions of tropical Africa to assess the domestication potential of overexploited or endangered medicinal plants. This is the case of, among others, *Irvingia gabonensis* (Atangana *et al.*, 2001), *Prunus africana* and *Pausinystalia johimbe* (Tchoundjeu *et al.*, 2002, 2004), *Spathodea campanulata* (Meunier *et al.*, 2006), *Warburgia salutaris* (Hannweg *et al.*, 2016), *Ximenia americana* (Fawa *et al.*, 2015), etc.

In the Katanga region, several species of the genus *Vitex* (*V. madiensis, V. mombassae, V. doniana* and *V. fischeri*) of the Lamiaceae family are well known by local communities for their medicinal and food (fruit) value. Ethnobotanical studies in this and neighboring regions have shown that these species are widely used in traditional medicine to treat various diseases including diabetes, diarrhea, asthma, gastrointestinal parasitosis, anemia, etc. (Augustino, 2011; Bruschi *et al.*, 2014; Bakari *et al.*, 2017; Mpasiwakomu, 2021; Rusaati *et al.*, 2021).

Vitex doniana, the species whose propagation has been most extensively studied in Central and West Africa, has been shown to have a stronger ability to propagate by root cuttings compared to stem cuttings (Sanoussi *et al.*, 2012; Mapongmetsem *et al.*, 2016a). Germination is enhanced by scarification (Ahoton *et al.*, 2011; Neya *et al.*, 2017b), because seeds are surrounded by a hard endocarp (physical dormancy). Available data on the propagation of *V. madiensis* show that the species is unsuitable for seeding (Mapongmetsem, 2006). The size (diameter at chest height) of the mother plant (parent) could influence the performance of the propagation material (Mapongmetsem *et al.*, 2016b). Further investigations on the propagation in ex-situ conditions of other species of the genus *Vitex* occurring in Katanga would make available to users' protocols for cultivation, a necessary step for domestication.

In this paper, we compare propagation protocols for seeds, root and stem cuttings, and aerial layering for these four *Vitex* species (*V. doniana, V. fischeri, V. madiensis, V. mombassae*). We test i) if the protocols developed for *V. doniana* in Central and West Africa can be applied to other species of the same genus, or whether, specific protocols should be used for each of these four species; ii) whether, at the intraspecific level, the success of the propagation methods is influenced by phenotypic characteristics of the material, especially the vigour of the cuttings (stem or root).

Material and methods

Study environment

The study area, called "Plaine de Lubumbashi" (Schmitz, 1971), is located in the south of the Haut-Katanga province, in D.R. Congo. The experiments were conducted *in-situ* and in the experimental field of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of Lubumbashi (UNILU) (E27°48'61", S11°61'55,3"; 1,257 m a.s.l.). The climate is characterized by a 5-month rainy season (November-March) and a 5-month dry season (May-September) separated by two transition months (October and April). The average annual rainfall is ca. 1,300 mm. The average annual temperature is 20 °C with the lowest temperatures in June-July (temperatures < 10 °C can be recorded at night) and the highest temperatures in October (maximum temperatures of 39 °C have been recorded in recent years). Ferralsols are the major soil type of the region. The most common vegetation formation, is miombo woodland, i.e. dry tropical woodland dominated by three legume genera of the Caesalpinioideae subfamily, i.e. *Brachystegia*, *Julbernardia*, and *Isoberlinia* (Campbell *et al.*, 2007). Industrial and artisanal mining and slash-and-burn agriculture are the main activities of the population of the area.

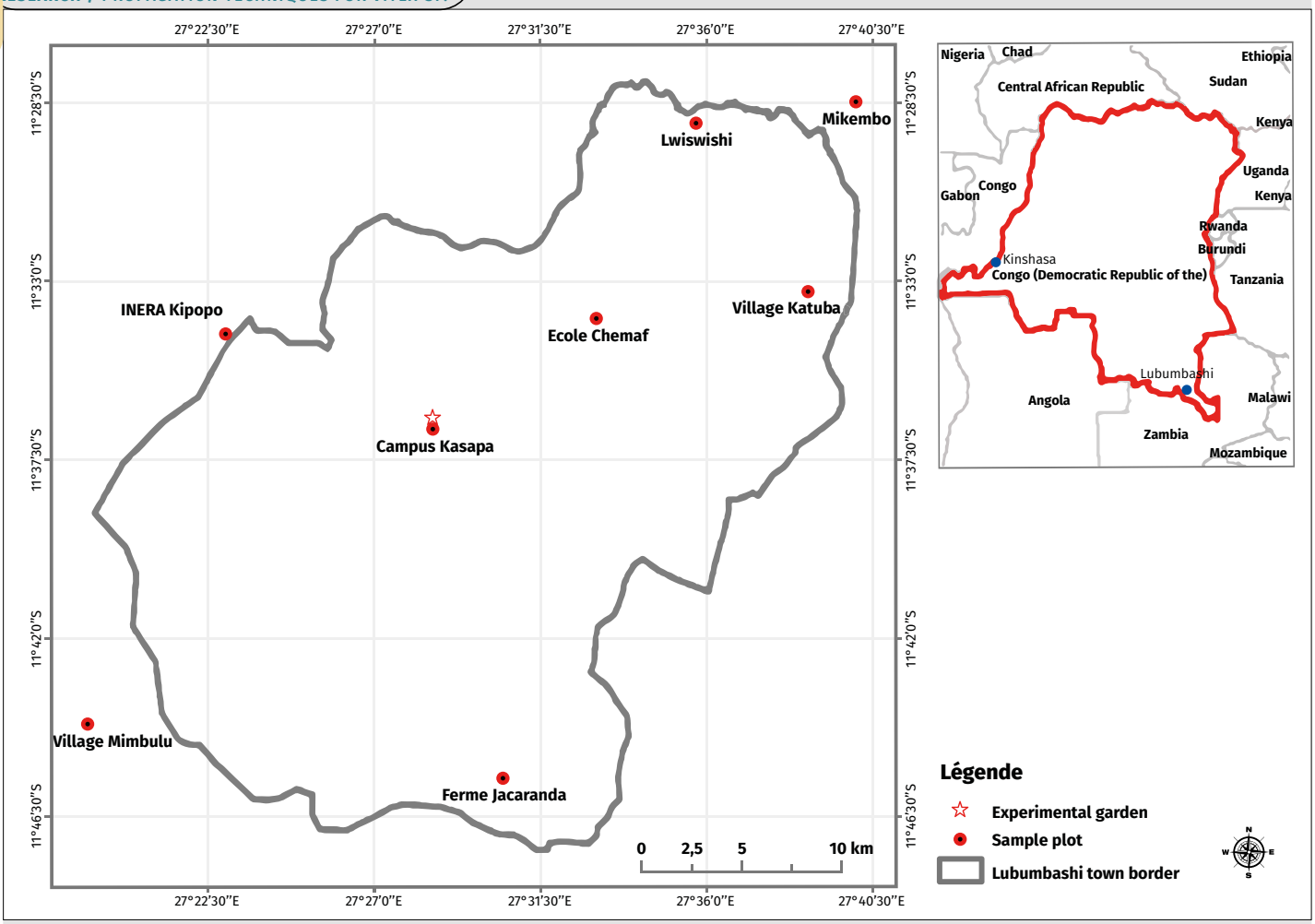


Figure 1.
Location of the sites of origin of propagation materials (Mujike, 2022).

Plant material

The genus *Vitex* comprises ca. 270 species of trees and shrubs, formerly included in the Verbenaceae family, but which phylogenetic classification now places in the Lamiaceae family (Harley *et al.*, 2004). They grow mostly in tropical regions and are easily recognized by their opposite, palmate compound leaves. The fruit is a drupe with a 4-celled pit, each cell containing a seed (Mabberley, 2017). *Vitex doniana* is widely distributed in tropical Africa; *V. fischeri* and *V. mombassae* are distributed in east and southern Africa, while *V. madiensis* subsp. *milanjiensis* is restricted to the Zambezian region. For more details on the morphological traits of the four-study species, see Meerts (2018) and Paton and Meerts (2020). Within the miombo woodland, the four species occupy slightly different niches, with *V. fischeri* occurring almost exclusively on termite mounds, on soil with high base cation contents (Nkulu *et al.*, 2022).

Germination trial

The seeds were collected from five sites: Mikembo (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), Lwiswishi (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), Kasapa (*V. doniana, V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), Village Katuba (*V. doniana*) and Kipopo (*V. doniana*). The sites of origin of propagation materials are presented in figure 1 and appendix I. These sites were chosen based on the availability of the material. In each site and for each species, an average of five vigorous individuals (parent), ca. 200 m from each other and in good health were selected. As *V. madiensis* and *V. mombassae* showed variation in the leaflet number in all sites, seeds were collected from individuals with five leaflets, individuals with 3 leaflets and individuals with 3 & 5 leaflets (in the same tree). Twelve fruits were harvested from each individual. Seeds were sown in a manner that allowed identification of the parent plant in the nursery. Parent plant characteristics are presented in appendix I.

A total of 160 fruits per species were harvested and sown in March 2019 (end of the rainy season). Fruits were manually pulped with a knife. The pits were divided into four dormancy-breaking pre-treatment batches (manual scarification, soaking in boiling water until cooled, soaking in tap water at room temperature for 24 h, untreated control) and two maturity levels (ripe fruit and green fruit). Ripe fruits

were identified by the blackish (*V. doniana, V. fischeri, V. madiensis*) or brownish (*V. mombassae*) color of the pericarp. The ripe fruits were collected on the ground, while the green fruits were collected from the tree. Scarification was done by breaking the pit with a hammer. The use of green fruits was chosen because *Vitex* seeds are known to be physically dormant (Belhadj *et al.*, 1998), and we thought that the endocarp of fruits harvested in the ripe state would be strongly lignified and could therefore prevent the contact of water and embryo necessary for any germination. The green fruits would have a less lignified (porous) endocarp. The black polyethylene bags of 12 cm x 20 cm containing the soil of the experimental garden (of the ferralsol type) were installed under a shade in a rectilinear way (in rows spaced of 10 cm, with a spacing of 15 cm).

The experiment was conducted in a randomized block design of eight treatments repeated twenty times with three factors: species, dormancy breaking pre-treatment and fruit maturity level. One pit per bag was sown at a depth of about 2 cm. Germination rate, lag time (period between sowing and first germination), number of leaves and plant height were observed. Approximately 22 cl of water was supplied daily to every bag for six months.

Root cuttings

This experiment was conducted in February 2019, near the end of the rainy season. Propagation materials were collected in four sites: Chemaf (*V. doniana*), Lwiswishi (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), Kasapa (*V. doniana, V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*) and Kipopo (*V. doniana*). In average ten trees per species and per site were selected for collection of one root (diameter 1.1–2.5 cm) within a radius of 1.5 m around the parent, following the protocol of Sanoussi *et al.* (2012) and Mapongmetsem *et al.* (2016a). The mother plants have on average a minimum diameter of 5 cm and a maximum of 15 cm at breast height. The leaf trait characteristics were the same as those of the seedlings.

A refrigerated box was used to transport the roots to the nursery. The roots were cut into 15 cm long fragments and placed horizontally in the propagator at a depth of about 2-3 cm. The experimental design was a randomized block repeated nine times with two factors: (i) the species and (ii) the rooting substrate (decomposed sawdust and potting soil). Five root cuttings were planted for each treatment (species x substrate). The propagators are installed in a shadehouse.

A total of 360 root cuttings, i.e. 90 per species, were grown. The propagator is a wooden box of 3 m length by 1 m width and 1 m height divided into three equal compartments, following the model of Leakey *et al.* (1990). Recovery rate, lag time, number of stems, leaves, roots, root length, rooting rate (proportion of cuttings with at least one root) and plant height were observed. A cutting was considered as rooted when it had at least one root of 1 cm in length (Mapongmetsem *et al.*, 2016b). Photos 1 illustrate some images of the results obtained in the propagator (a), aerial layering (b) and plants in black polyethylene bags (c).

Stem cuttings

This experiment was conducted in April 2019. The collection sites were the same as for the root cuttings and mother plants with the same characteristics. A total of 240 stem cuttings (60 per species) of about 30 cm in length and 2.5-4 cm in diameter (Sanoussi *et al.*, 2012; Gbenato *et al.*, 2014; Mapongmetsem *et al.*, 2016ab) were harvested and cultured in black polyethylene bags of 16 cm x 30 cm in a factorial design with three blocks. Soil rich in organic matter constituted the substrate of culture. Prior to plantation, cuttings were soaken for a few seconds in a solution of auxin (Rootone). The bags were arranged in a straight line and placed under a shade (with a shade net that covers the entire nursery). A quantity of 15 cl of water was given to the cutting in the morning and evening for six months. Budding rate, rooting rate, number of new stems, number of leaves and stem height were monitored for six months.

Aerial layering

Aerial layering was carried out between December 2019 and January 2020 (in the middle of the rainy season; trees are in fruiting state), in seven sites: Lwiswishi (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), INERA Kipopo (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*), Chemaf (*V. doniana*), Katuba (*V. doniana* and *V. mombassae*), Mimbulu 2 (*V. madiensis*) and Jacaranda farm (*V. fischeri* and *V. madiensis*). Marcottes were prepared from orthotropic branches of 3-7 cm in diameter, with a maximum of 2 marcottes per individual. The mother plants had a range dbh of 5-12 cm (*V. doniana*) and 4-10 cm (*V. fischeri, V. madiensis* and *V. mombassae*). A total of 360 marcottes were prepared, i.e. 30 marcottes per site for each species. The experimental design was a main factor design with species and sites as factors. It was not possible to evaluate the species x site interaction because the four species where not present in the same sites. Thus, the number of sites varied among the species.

Each marcotte was wrapped in translucent plastic film. The plastic sleeve was filled with decomposed sawdust as a rooting substrate. To avoid contamination, the knife was regularly washed and disinfected. The substrate was moistened every month with a syringe. Rooting rate and lag time were our observed parameters.

Influence of mother plants

The morphotype (i.e. 3 or 5 leaflets) and diameter at breast height (DBH) of all individuals or mother trees used for seed collection, stem and root cuttings and aerial layering were recorded in all sites in order to assess their influence on the seedling's performance (Momo *et al.*, 2017).

Statistical analysis

For the germination trial, ANOVA was not applied to test the effect of treatment on the germination rate as there

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 43-56

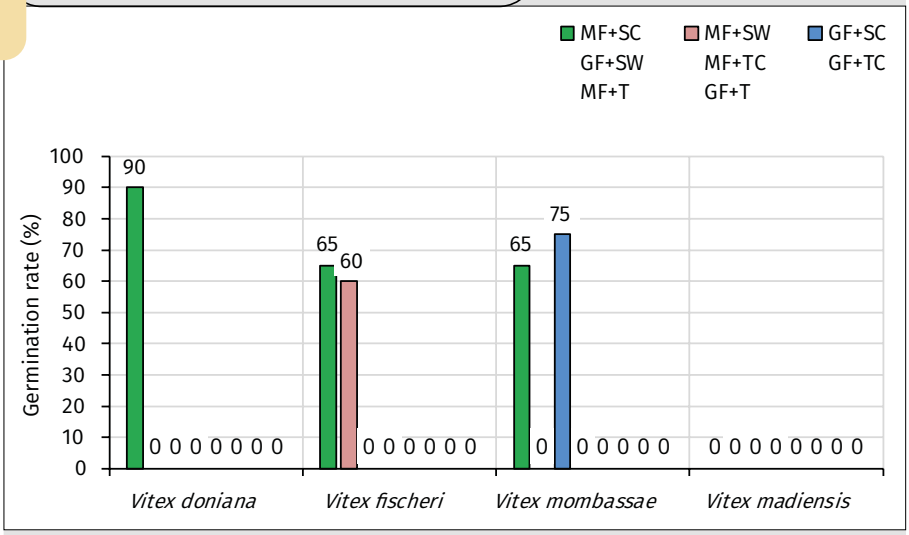


Figure 2.
Germination rate of four species of *Vitex*. 160 seeds per species. MF = mature fruit, GF = green fruit, SC = scarified fruit, SW = soaked in water at room temperature, TC = soaked in boiling water, T = control.

was only one seed per pot for each treatment. The number of germinations for each treatment was calculated based on the twenty pots in the experimental device.

Two-way ANOVA without replication was applied to the data from lag time, number of leaves and seedling height. For the lag time, species and blocks were the main factors. For *V. fischeri*, two-way ANOVA was applied to test the effect of dormancy breaking (scarification and soaking in cold water) and blocks. Fruit maturity and blocks were the main factors for *V. mombassae*. The effect of interactions (scarification x block, dormancy breaking x block and fruit maturity x block), were not calculated.

As for root cuttings, three-way ANOVA without replication was used to test the species effect, the rooting substrate effect, the block effect as well as the species x rooting substrate interactions.

For aerial layering, two one-way ANOVA was performed successively. First, one-way ANOVA was applied to test the influence of site for each species separately. As there was no significant effect of site, all the sites were pooled and a one-way ANOVA was applied to test the effect of species (all sites pooled).

A one-factor ANOVA was also performed to test the effect of the morphotype (i.e. number of leaflets) of the mother plant on the performance of the propagation material. To test the effect of mother plant diameter on the performance of the propagation material, multivariate analyses of variance (MANOVA) were performed between DBH and the different variables (emergence rate, recovery rate, number of leaves per plant, plant height, etc.).

In order to respect the normality and homogeneity of the variance of the residuals, the data of lag time, number of leaves, roots and plant height were transformed into Log 10 while those expressed in percentage were transformed into square root. The method used to compare mean values was the least significant difference at the 5% probability level (LSD) Tukey HSD test. All the statistical analyses were performed using R software 64.4.0.5.

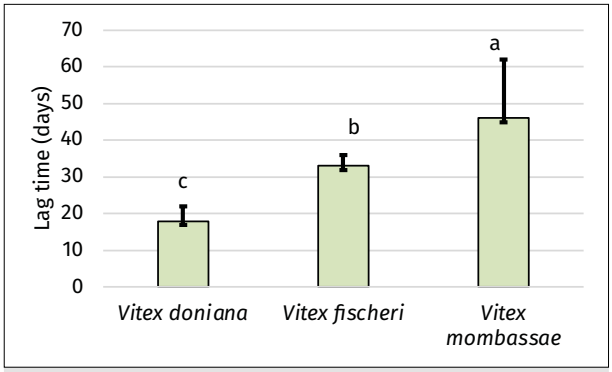


Figure 3.
Lag time of germination of mature, scarified fruits in three species of *Vitex*. 160 seeds per species. A, b, c: values sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability threshold (Tukey's test).

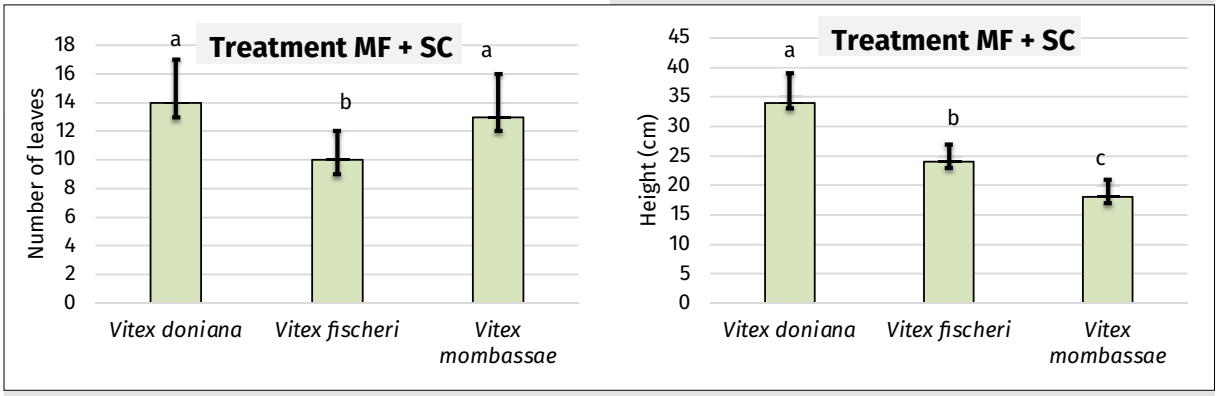


Figure 4.
Number of leaves per plant as well as plant height of *Vitex* in the nursery. Comparison of MF+SC treatment by species. 160 seeds per species. a, b, c: values sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability threshold (Tukey test). Legend: MF = mature fruit, SC = scarified fruit.

Results

Germination

After six months, no *V. madiensis* seeds germinated regardless of fruit maturity and pretreatment to break dormancy. Similarly, there was no germination with the untreated controls, with the combination of Green Fruit x Boiling Water Dip and Green Fruit x Room Temperature Water Dip regardless of species. The other three species showed different germination patterns (figure 2). For *V. doniana*, only seeds from ripe and manually scarified fruit germinated with a rate of 90% (18/20). For *V. fischeri*, germination was recorded only for seeds from ripe fruits scarified manually (13/20, 65%) or soaked in tap water (12/20, 60%). For *V. mombassae*, germination occurred only for manually scarified seeds from green fruits (15/20, 75%) or from ripe fruits (13/20, 65%).

ANOVA (appendices II) shows that the lag time, the number of leaves as well as plant height are significantly influenced by the species ($p = 0.000$). The shortest lag time was obtained with scarified ripe seeds of *V. doniana* (18 ± 4 days), followed by scarified ripe seeds of *V. fischeri* (33 ± 3 days) while scarified ripe fruits of *V. mombassae* recorded the longest lag time (45 ± 2 days) (figure 3). The effect of block was not significant for all observed parameters.

In *V. fischeri*, lag time, number of leaves per plant and plant height were not influenced by the dormancy breaking technique (manually scarified ripe fruits and cold water soaked ripe fruits) (figure 4). In *V. mombassae*, none of the parameters were influenced by the physiological maturity of the seed. ANOVA results are presented in the appendices II.

Root cuttings

After 6 months, the recovery rate ranged from 0% (*V. fischeri*) to 79 ± 7% for *V. mombassae*, 80 ± 4% for *V. madiensis* and 87 ± 3% for *V. doniana*. The lag time was about 75 days for *V. doniana* and *V. madiensis* and about 85 days for *V. mombassae*.

No parameter was significantly influenced by the block. The rooting substrate significantly influenced the recovery rate, root emission rate and plant height ($p < 0.05$). The species effect is very highly significant on all observed parameters ($p < 0.05$). The interaction of species with rooting substrate was significant on recovery rate, lag time, number of leaves and root emission rate ($p < 0.05$). Figure 5 shows the results obtained for budding rate, recovery rate, lag time and number of leaves per plant. The other parameters were not significant. The table summarizing the results of the ANOVAs is presented in appendix III.

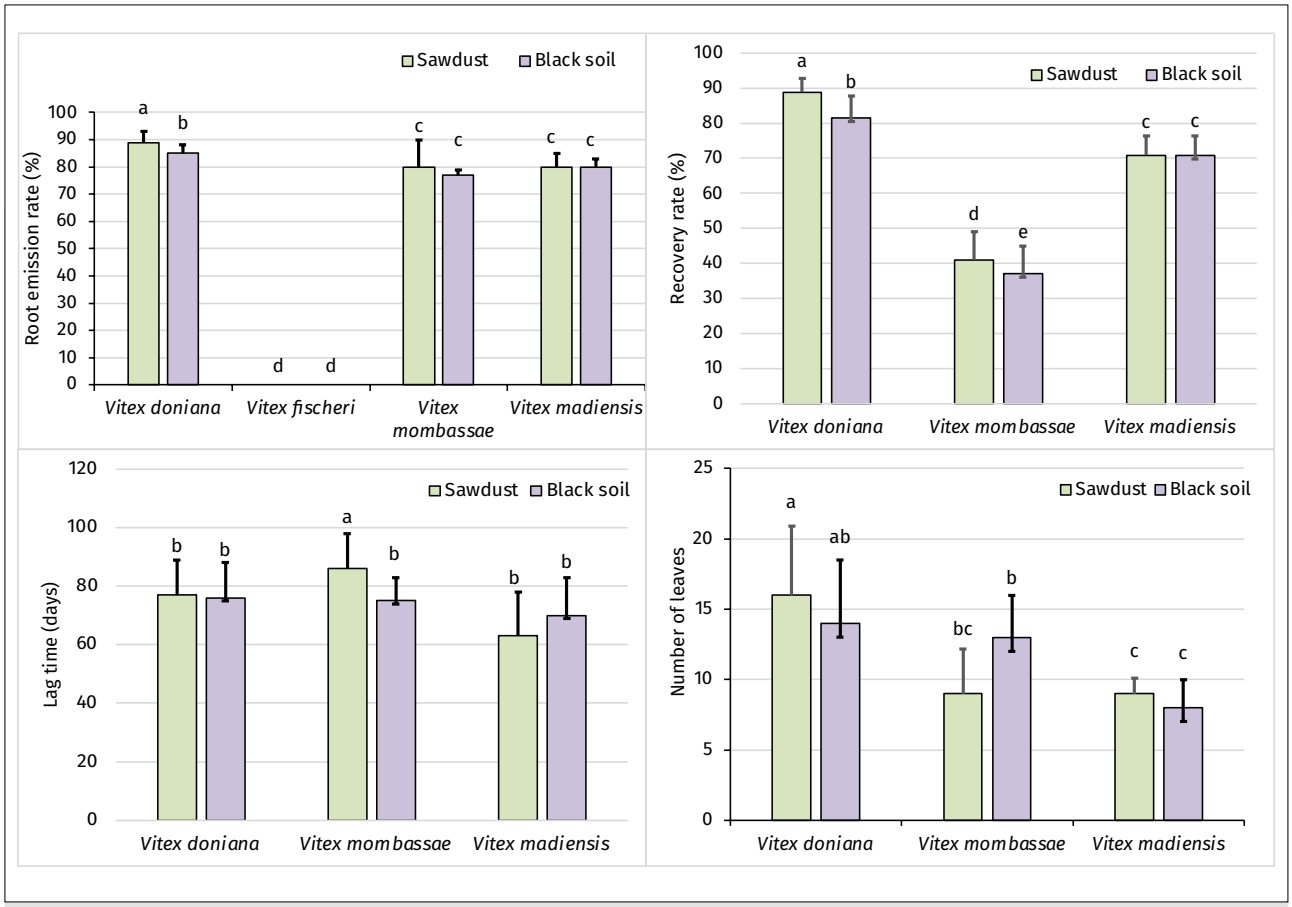


Figure 5.
Root cuttings of species of the genus *Vitex*. Budding rate, recovery rate, lag time and number of leaves per plant after six months. Mean ± Standard deviation. 360 root cuttings, 90 per species, 30 per treatment (5 x 9 replicates). a, b, c: values sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability threshold (Tukey's test).

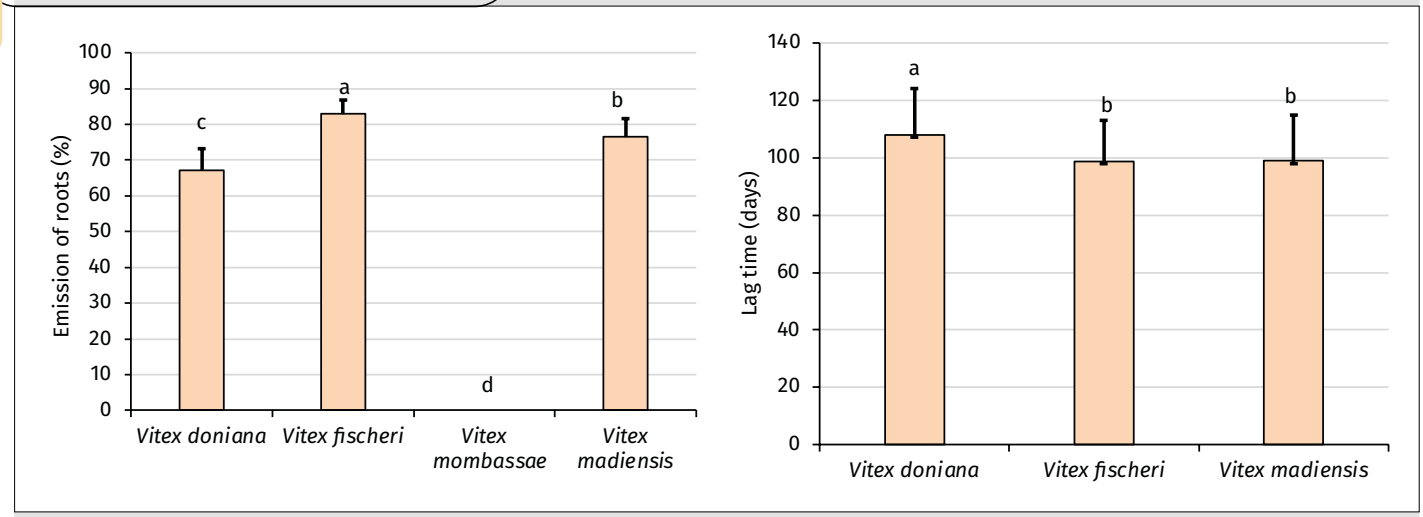


Figure 6.
Aerial potting of species of the genus *Vitex*. Root emission rate and lag time after 150 days of observations. Total number of marcottes was 360 or, 90 per species. a, b, c, d: Values sharing the same letter are not significantly different at the 5% probability threshold (Tukey's test).

Stem cuttings

The recovery rate of stem cuttings was 25 ± 9% (*V. madiensis*), 30 ± 10% (*V. fischeri*), 43 ± 10 (*V. doniana*) and 63 ± 15% (*V. mombassae*). The lag time was 22 ± 4 days (*V. mombassae*), 24 ± 4 days (*V. madiensis*), 29 ± 3 days (*V. doniana*) and 34 ± 3 days (*V. fischeri*). However, no roots were produced, regardless of species. A mortality rate of 100% was recorded for all cuttings four months after planting in pots. The figure illustrating the evolution of the survival rate of stem cuttings in the nursery is presented in appendix IV.

Aerial layering

Data were pooled after non-significant ANOVA test for site effect. The results obtained show that no rooting of marcottes could be obtained for *V. mombassae*. For the other three species, the rooting rate was high, ranging from 67 ± 5% (*V. doniana*), 77 ± 5% (*V. madiensis*) to 83 ± 4% (*V. fischeri*). The lag time was 99 ± 20 days (*V. madiensis*), 99 ± 14 days (*V. fischeri*) and 108 ± 16 days (*V. doniana*).

The influence of species was very highly significant on rooting rate ($F(3,8) = 5903.94$; $p = 0.000$) as well as on lag time ($F(2,201) = 6.55$, $p = 0.002$). Figure 6 shows schematically the results for root emission rate and the lag time. The results of the ANOVAs for the site effect are presented in appendix V.

Influence of the mother plant

The MANOVA results showed a positive significant influence of mother plant diameter on the recovery of root cuttings of *V. doniana* ($P = 0.000$) and *V. mombassae* ($p = 0.006$). The diameter of mother plants also had a positive significant influence on the number of roots of *V. doniana* ($p = 0.002$). The recovery and the number of roots increased with the diameter of the mother plants. For all the other propagation techniques and parameters there was no significant influence of mother plant diameter.

Discussion

Different responses of the four *Vitex* species tested

We have compared the suitability of different germination techniques in four congeneric species of *Vitex*, a genus of woody species occurring in tropical Africa. Apart from the negative results obtained for stem cuttings, and the lack of germination of unscarred seeds for all the species, there were striking differences in the responses of the four species to all the other techniques. The failure of stem cuttings under the conditions of our study is surprising because previous works used this technique successfully for *V. doniana* and *V. madiensis* (Mapongmetsem *et al.*, 2016a; Gbenato *et al.*, 2014; Sanoussi *et al.*, 2012). Future work should use cuttings from 1- or 2-y old shoots and/or test other growth conditions.

Concerning the germination of seeds, our results show that all the species have physical dormancy (lignified endocarp), and require dormancy breaking. This confirms previous results for *V. doniana* and *V. madiensis* (Belhadj *et al.*, 1998; Mapongmetsem, 2006; Gbenato *et al.*, 2014; N'Danikou *et al.*, 2014; Neya *et al.*, 2017ab). Interestingly, the species show contrasting response to the different dormancy breaking techniques, with *V. fischeri* seeds being able to germinate after soaking in water at room temperature while only mechanical scarification with a hammer was efficient for the other species. This is likely due to the smaller pit size and thinner endocarp of *V. fischeri*. *V. madiensis* subsp. *milanjiensis* was found to be unsuitable for propagation by seed. In Western Africa, difficult germination of the other subspecies of *V. madiensis* (subsp. *madiensis*) was reported by Mapongmetsem (2006). Seed viability should be assessed in *V. madiensis*. Nkulu (2022) found very high rates of selfing

in *V. madiensis*, therefore inbreeding depression could possibly affect seed viability.

For all the other techniques, the contrasting responses of the four species are surprising, because all our species co-occur in sympatry in the dry woodlands of Haut-Katanga. Interestingly, the four species occupy somewhat different niches. In particular, *V. fischeri* occurs only on high *Macrotermes* termite mounds, which have quite different soil conditions compared to the surrounding woodland (Mujinya *et al.*, 2010; Cuma Mushagalusa *et al.*, 2020). *V. madiensis* and *V. mombassae* are never found on termite mounds, and tend to occur in different plant communities (Nkulu *et al.*, 2022). It is possible that the regeneration niches of the four species are somewhat different.

Previous studies (Sanoussi *et al.*, 2012; Mapongmetsem, 2006; Mapongmetsem and Diksia, 2014; Mapongmetsem *et al.*, 2016a,b) suggested that *V. doniana* and *V. madiensis* were more suitable to multiplication by root cuttings than stem cuttings. This is confirmed by the results of this study. Interestingly, the high recovery rate of root cuttings of *V. doniana* can be related to the frequent observation of suckers in this shallow-rooted species in nature (Mujike, 2022). The complete failure of aerial layering in *V. mombassae,* in contrast to the other species, is intriguing and deserves further investigation.

Conclusion : Practical implications for seedling production and propagation of the four *Vitex* species

The objective of this study was to identify the most suitable propagation techniques for the four species of the genus *Vitex* from miombo in Haut-Katanga through a comparison of several propagation methods in a domestication perspective. This has made it possible to provide users with the first data on the propagation of *V. fischeri* and *V. mombassae*. The results show that the same protocol does not apply to all four species. Each of them presents one or two most appropriate modes of propagation. Stem cuttings were identified as the least appropriate mode of propagation for the four species under the conditions of this study. These results lead to the following practical recommendations for the propagation of *Vitex* species in Haut-Katanga (table I).

All the results, especially those from the root cuttings, showed a more significant effect of species compared to substrate (sawdust and potting soil). This suggests that the use of sawdust or potting soil in the production of propagating material of the four *Vitex* will depend on their availability.

Acknowledgments
We sincerely thank the authorities of ARES for having financed this study in the framework of the doctoral research through the PHYTOKAT project.

Funding
This research was made possible by funding from the Belgium Kingdom through ARES as part of the PHYTOKAT project.

Data access
The data collected in the field and used for the statistical analysis and writing of this article are freely available on the ZENODO platform. https://zenodo.org/deposit/8355009#

Table I.
Preferred propagation techniques for four *Vitex* species occurring in Haut-Katanga dry tropical woodlands.

Propagation technique	*Vitex doniana*	*Vitex fischeri*	*Vitex madiensis* subsp. *milanjiensis*	*Vitex mombassae*
Stem cuttings	-	-	-	-
Root cuttings	++	-	++	++
Aerial layering	+	++	++	-
Seed germination (soaking in water)	-	+	-	-
Seed germination (mechanical scarification)	++	+	-	++

- = poor, + = good, ++ = very good.

Appendix I.

Table II.
Parent plant characteristics. Characteristics of seedlings (mother plants) of 4 species of the genus *Vitex* used in the experiments.

Species	Vegetative propagation		Generative propagation	
	Sample (n)	DBH (cm)	Sample (n)	Fruit diameter (cm)
Vitex doniana	15	5-13	30	1.8 ± 0.1
Vitex fischeri	15	6-12	30	0.7 ± 0.06
Vitex madiensis	15	5-10	30	1.6 ± 0.1
Vitex mombassae	15	5-10	30	2.2 ± 0.2

DBH = diameter at breast height.

Appendices II: ANOVA germination.

Table III.
Effect of species for the scarified wall fruit treatment. 2-factor ANOVA without replication: ***: p < 0.01, **: p < 0.01, *: p < 0.05, NS: p > 0.05.

Observed parameters	Source of variation	F value	P value
Lag time	Block	(11,22) = 1.30	NS
	Species	(2,22) = 34.8	***
Number of leaves	Block	(11,22) = 1.243	NS
	Species	(2,22) = 13.2	***
Plant height	Block	(11,22) = 1.24	NS
	Species	(2,22) = 65.4	***

Table IV.
Effect of scarification vs. cold water soaking for *V. fischeri*, 2-factor ANOVA without replication: ***: p < 0.01, **: p < 0.01, *: p < 0.05, NS: p > 0.05.

Observed parameters	Source of variation	F value	P value
Lag time	Block	(11,11) = 2.17	NS
	Treatment	(1,11) = 2.92	NS
Number of leaves	Block	(11,11) = 0.36	NS
	Treatment	(1,11) = 12.69	**
Plant height	Block	(11,11) = 0.823	NS
	Treatment	(1,11) = 6.41	**

Table V.
Effect of fruit maturity vs. scarified seeds of *V. mombassae*. Two-factor ANOVA without replication: ***: p < 0.01, **: p < 0.01, *: p < 0.05, NS: p > 0.05.

Observed parameters	Source of variation	F value	P value
Lag time	Block	(12,12) = 0.558	NS
	Treatment	(1,12) = 2.630	NS
Number of leaves	Block	(12,12) = 1.281	NS
	Treatment	(1,12) = 0.357	NS
Plant height	Block	(12,12) = 2.910	NS
	Treatment	(1,12) = 0.178	NS

Appendix III: ANOVA root cuttings.

Table VI.
Effect of species, substrate and interaction (sub x sp) on performance of root cuttings. 3-factor ANOVA without replication: ***: p < 0.01, **: p < 0.01, *: p < 0.05, NS: p > 0.05.

Observed parameters	Source of variation	F value	P value
Budding rate	Block	(8,40) = 1.075	NS
	Substrate	(1,40) = 5.165	*
	Species	(2,40) = 41.636	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 6.701	**
Lag time	Block	(8,40) = 1.351	NS
	Substrate	(1,40) = 1.539	NS
	Species	(2,40) = 14.043	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 7.268	**
Number of leaves	Block	(8,40) = 1.110	NS
	Substrate	(1,40) = 0.069	NS
	Species	(2,40) = 24.626	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 8.512	***
Recovery rate	Block	(8,40) = 2.98	NS
	Substrate	(1,40) = 41.98	***
	Species	(2,40) = 4,095.97	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 27.60	***
Number of roots	Block	(8,40) = 1.817	NS
	Substrate	(1,40) = 0.772	NS
	Species	(2,40) = 25.714	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 1.097	NS
Plant height	Block	(8,40) = 0.719	NS
	Substrate	(1,40) = 19.006	***
	Species	(2,40) = 19.960	***
	Sub. x sp.	(2,40) = 1.231	NS

Appendix IV: Stem cuttings.

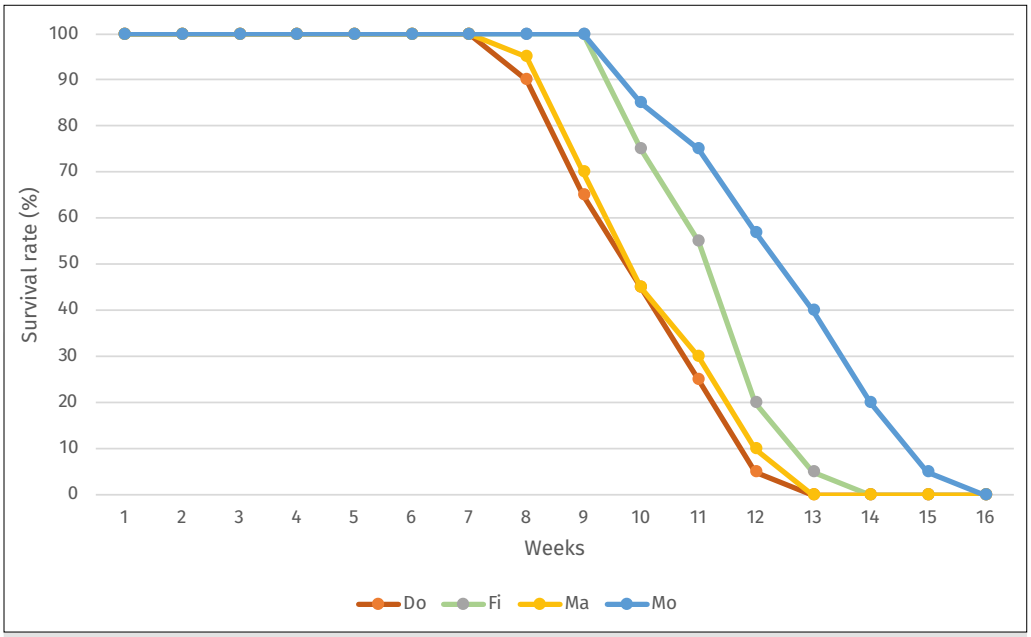


Figure 7.
Stem cuttings. Evolution of the survival rate of stem cuttings in the nursery. Do = *V. doniana*; Fi = *V. fischeri*; Ma = *V. madiensis*; Mo = *V. mombassae*.

Appendix V: ANOVA aerial layering.

Table VII.
One-factor ANOVA to test the layering site effect: ***: p < 0.01, **: p < 0.01, *: p < 0.05, NS: p > 0.05.

Species	Observed parameters	F value	P value
Vitex doniana	Lag time	(2,57) = 0.07	NS
	Recovery rate	(2,8) = 0.057	NS
Vitex fischeri	Lag time	(2,72) = 3.30	NS
	Recovery rate	(2,8) = 0.092	NS
Vitex mombassae	Lag time	(2,66) = 6.94	NS
	Recovery rate	(2,8) = 5.49	NS

References

Ahoton L. E., Adjakpa J. B., Gouda M., Daînou O., Akpo E., 2011. Effet des traitements de semences du prunier des savanes (*Vitex doniana* Sweet) sur la régénération et la croissance des plantules. Annales des Sciences Agronomiques, 15 : 21-35. https://doi.org/10.4314/asab.v15i1.67366

Akinnifesi F. K., Sileshi G., Ajayi O. C., Chirwa P. W., Mng'omba S., Chakeredza S., *et al.*, 2007. Domestication and conservation of indigenous Miombo fruit trees for improving rural livelihoods in southern Africa. Biodiversity, 9 (1-2): 72-74. http://dx.doi.org/10.1080/14888386.2008.9712888

Amujoyegbe B. J., Agbedahunsi J. M., Amujoyegbe O. O., 2012. Cultivation of medicinal plants in developing nations: means of conservation and poverty alleviation. International Journal of Medicinal and Aromatic Plant Studies, 2 (2): 345-353. https://www.academia.edu/60199335/Cultivation_of_medicinal_plants_in_developing_nations_means_of_conser_vation_and_poverty_alleviation

Atangana A. R., Tchoundjeu Z., Fondoun J. M., Asaah E., Ndoumbe M., Leakey R. R. B., 2001. Domestication of *Irvingia gabonensis*. Phenotypic variation in fruit traits in 52 trees from two populations in the humid lowlands of Cameroon. Agroforestry Systems, 53: 55-64. https://doi.org/10.1023/A:1012293700774

Augustino S., 2011. Medicinal Resources of the Miombo woodlands of Urumwa, Tanzania: Plants and its uses. Journal of Medicinal Plants Research, 5 (27): 6352-6372. https://www.scinapse.io/papers/2170744339

Bakari A., Mwamba M., Lumbu S., Okusa S., Duez P., Kahumba B. P., 2017. Hypoglycemic and antihyperglycemic activities of nine medicinal herbs used as antidiabetic in the Region of Lubumbashi (D.R. Congo). Phytotherapy Research, 17 (2): 1-5. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.5814

Belhadj S., Gerasopoulos D., Maloupa E., 1998. Improvement of germination of *Vitex agnus castus* L. seeds with seed pre-treatments. Third International symposium on new floricultural Crops. Acta Horticulturae, 454: 207-212. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.454.24

Bruschi P., Mancini M., Mattioli E., Morganti M., Signorini M. A., 2014. Traditional uses of plants in a rural community of Mozambique and possible links with Miombo degradation and harvesting sustainability. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 10: 59. https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-59

Campbell B. M., Angelsen A., Cunningham Y., Katerere A., Sitoe A., Wunder S., 2007. Miombo woodlands opportunities and barriers to sustainable forest management. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research, 43 p. https://www2.cifor.org/miombo/docs/Campbell_BarriersandOpportunities.pdf

Cuma Mushagalusa F., Bauman D., Ngoy Shutcha M., Meerts P.,

2020. Trait divergence of woody species in relation to affinity for termite mounds in Upper Katanga (DR Congo). Journal of Vegetation Science, 31: 162-172. https://doi.org/10.1111/jvs.12827

Fawa G., Mapongmetsem P. M., Noubissie-T. J. B., Bellefontaine R., 2015. Multiplication végétative d'une espèce locale d'intérêt socio-économique au Cameroun : *Ximenia americana* L. VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement. https://doi.org/10.4000/vertigo.15483

Gbenato A. D. E., N'Danikou S., Tchokponhoue D. A., Assogba K. F., Larwanou M., Vodouhe R. S., *et al.*, 2014. Sustainable use and conservation of *Vitex doniana* Sweet: unlocking the propagation ability using stem cuttings. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 108 (1): 43-62. https://doi.org/10.12895/jaeid.20141.195

Hannweg K., Sippe A., Hofmeyr M., Swemmer L., Froneman W., 2016. Strategies for the conservation of *Warburgia salutaris* (Canellaceae), a red data list species – development of propagation methods. International symposium on plants. Acta Horticulturae, 1125: 33-40 https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1125.4

Harley R. M., Atkins S., Budantsev A., Cantino P. D., Conn B., Grayer R. J., *et al.*, 2004. Labiatae. *In*: Kadereit J. W. (ed.). The families and genera of vascular plants. VII. Flowering plants – Dicotyledons (Lamiales). Berlin, Germany, Springer Verlag, 167-275. https://www.springer.com/series/1306

Konda K. M., Kabakura M., Mbembe B., Tufa Y. I., Mahuku K., Mafuta M., *et al.*, 2012. Plantes médicinales de traditions. Province de l'Équateur – R.D. Congo. Ministère de la Recherche scientifique et de la Technologie, Institut de recherche en sciences de la santé. Kinshasa/ Gombe, 421 p. http://www.nzenzeflowerspauwels.be/bikonda-ku-mbuta.pdf

Leakey R., Van Damme P., 2014. The role of tree domestication in green market product value chain development. Forests, Trees and Livelihoods, 23 (1-2): 116-126 http://dx.doi.org/10.1080/14728028.2014.887371

Leakey R. R. B., Mesen J. F., Tchoundjeu Z., Longman K. A., Dick P. J., Newton A., *et al.*, 1990. Low technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. Commonwealth Forest Review, 69 (3): 247-257. https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/low-technology-techniques-for-the-vegetative-propagation-of-tropical-trees

Lejoly J., Polygenis-Bigendako M. J., Maes F., 1992. Plantes médicinales. *In*: Janssens P. G., Kivits M., Vuylsteke J. (éds). Médecine et hygiène en Afrique centrale de 1885 à nos jours. Bruxelles, Belgique, Fondation Roi Baudouin, 459-486.

Mabberley D. J., 2017. Mabberley's Plant-book. 4th edition. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316335581

Maghembe J. A, Simons A. J, Kwesiga F., Rarieya M., 1998. Selecting indigenous trees for domestication in southern Africa: priority setting with farmers in Malawi, Tanzania, Zambia and Zimbabwe. Nairobi, Kenya, ICRAF. https://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B10564.pdf

Mapongmetsem P. M., 2006. Domestication of *Vitex madiensis* in the Adamawa highlands of Cameroon: phenology and propagation. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (2): 269-278. https://www.acarindex.com/pdfler/acarindex-a506a1aa-c252.pdf

Mapongmetsem P. M., Djomba E., Fawa G., Fawa G., Oumarou Z., Bellefontaine R., 2016a. Vegetative propagation of *Vitex doniana* Sweet (Verbenaceae) by root segments cuttings: effects of mother tree diameter and sampling distance of cuttings. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 110 (2): 293-306. https://doi.org/10.12895/jaeid.2016110.483

Mapongmetsem P. M., Fawa G., Noubissie-Tchiagam J. B., Nkongmeneck B. A., Biaou S. H., Bellefontaine R., 2016b. Vegetative propagation of *Vitex doniana* Sweet from root segment cuttings. Bois et Forêts des Tropiques, 327 (1): 29-37. https://doi.org/10.19182/bft2016.327.a31294

Mapongmetsem P. M., Diksia M., 2014. Vegetative propagation of local fruit trees by air layering in the Guinean Savannah Highlands (GSH). Journal of Sustainable Forestry, 33: 21-32. https://doi.org/10.1080/10549811.2013.804420

Mbayo K. M., Kalonda M. E., Tshisand T. P., Kisimba K. E., Mulamba M., Kalunga M. R., *et al.*, 2016. Contribution to ethnobotanical knowledge of some Euphorbiaceae used in traditional medicine in Lubumbashi and its surroundings (D.R. Congo). Journal of Advanced Botany and Zoology, 4: 1-17. https://scienceq.org/contribution-to-ethnobotanical-knowledge-of-some-euphorbiaceae-used-in-traditional-medicine-in-lubumbashi-and-its-surroundings-drc.php

Meerts P., 2018. Synopsis of the genus *Vitex* (Lamiaceae) in the Democratic Republic of the Congo. Plant Ecology and Evolution, 151: 380-392. https://doi.org/10.5091/plecevo.2018.1504

Meunier Q., Bellefontaine R., Monteuuis O., 2008. La multiplication végétative d'arbres et arbustes médicinaux au bénéfice des communautés rurales d'Ouganda. Bois et Forêts des Tropiques, 296 (2) : 71-82. http://agritrop.cirad.fr/543933/

Meunier Q., Bellefontaine R., Boffa J. M., 2006. Le drageonnage pour la régénération d'espèces médicinales en Afrique tropicale : cas du *Spathodea campanulata* en Ouganda. *VertigO* - la revue électronique en sciences de l'environnement, 7 (2). https://doi.org/10.4000/vertigo.2345

Momo S. M. C., Temgoua L. F., Assonne N. G., 2017. Germination and viability of *Pericopsis elata* (Harms) V. Meeuwen (Fabaceae) seedlings issues of different mother tree diameters in forests production (East - Cameroon). International Journal of Sciences, 6 (4): 100-105. http://dx.doi.org/10.18483/ijSci.1256

Mongeke M. M., Ngbolua K. N., Bakola R. D., Inkoto C. L., Elikandani P. N., Mouli C. Y., 2018. Enquête sur les plantes utilisées en médicine traditionnelle par les Bambenga : Pygmées du secteur de Dongo en République Démocratique du Congo. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 6 (4) : 469-475. https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/617

Mpasiwakomu R., 2021. The diversity and utilization of wild medicinal plant species found in the Miombo woodlands of Uvinza, Tanzania. Academia Letters, 3803. https://doi.org/10.20935/AL3803

Mujike D. N., 2022. Étude de possibilités de domestication des plantes médicinales des forêts claires du Haut-Katanga (Rép. Dém. Congo) : Cas du genre *Vitex* (Lamiaceae). PhD thesis, Université libre de Bruxelles et Université de Lubumbashi, 146 p. https://difusion.ulb.ac.be/vufind/Record/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/355537/Holdings

Mujinya B. B., Van Ranst E., Verdoodt A., Baert G., Ngongo L. M., 2010. Termite bioturbation effects on electro-chemical properties of Ferralsols in the Upper Katanga (D.R. Congo). Geoderma, 158:

233-241. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.033

Muya K., Tshoto K., Cioci C., Aseho M., Kalonji M., Byanga K., *et al.*, 2014. Survol ethnobotanique de quelques plantes utilisées contre la schistosomiase urogénitale à Lubumbashi et environs. Phytothérapie, 12 (4) : 213-228. https://link.springer.com/article/10.1007/s10298-014-0877-z

N'Danikou S., Achigan D., Tchokponhoué D., Komlan A., Gebauer J., Vodouhè, R. S., *et al.*, 2014. Enhancing germination and seedling growth in *Vitex doniana* Sweet for horticultural prospects and conservation of genetic resources. Fruits, 69 (4): 279-291. https://doi.org/10.1051/fruits/2014017

Neya T., Daboue E., Neya O., Ouedraogo I., 2017a. Germination characteristics of *Parinari curatellifolia* Planch. ex Benth, *Vitex doniana* Sweet and *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam) Watermann seeds. Annual Research and Review in Biology, 12 (3): 1-12. https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/32209

Neya T., Daboue E., Neya O., Ouedraogo I., Sena K. Y., 2017b. Tolérance à la dessiccation des semences de *Parinari curatellifolia* Planch. ex Benth, *Vitex doniana* Sweet et *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam) Watermann au Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11 (6): 2730-2744. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.14

Nkulu S. N., 2022. Écologie et conservation de trois espèces médicinales du genre *Vitex* (Lamiaceae) dans le Haut-Katanga. PhD thesis, Université libre de Bruxelles et Université de Lubumbashi, 139 p.

Nkulu S. N., Meerts P., Ilunga E., Shutcha M. N., Bauman D., 2022. Medicinal *Vitex* species (Lamiaceae) occupy different niches in Haut-Katanga tropical dry woodlands. Plant Ecology and Evolution, 155 (2): 236-247. https://doi.org/10.5091/plecevo.89394

Okombe E., Lumbu S., Stévigny C., Vandenput S., Pongombo S., Duez P., 2014. Traditional plant-based remedies to control gastrointestinal disorders in livestock in the regions of Kamina and Kaniama (Katanga province, Democratic Republic of Congo). Journal of Ethnopharmacology, 153 (3): 686-693. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.03.027

Paton A., Meerts P., 2020. Labiatae, introduction, sous-familles I. Viticoideae et II. Premnoideae. Flore d'Afrique centrale, nouvelle série. Jardin botanique de Meise, Belgique, 65 p.

Potapov P. V., Turubanova S. A., Hansen M. C., Adusei B., Broich M., Altstatt A., *et al.*, 2012. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM + data. Remote Sensing of Environment, 122 (2012): 106-116. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.027

Rusaati B. I., Gendusa A. P., Joo S., Park J. W., Masumbuko C. N., Kaboyi G. I., *et al.*, 2021. A systematic review of antimalarial medicinal plants in Democratic Republic of the Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 347 (1): 13-29. https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a31882

Sanoussi A., Ahoton L. E., Odjo T., 2012. Propagation of Black Plum (*Vitex donania* Sweet) using stem and root cuttings in the ecological conditions of South Benin. Tropicultura, 30 (2): 107-112. http://www.tropicultura.org/text/v30n2/107.pdf

Schmitz A., 1971. La végétation de la pleine de Lubumbashi (Haut-Katanga). Ministère belge de l'Éducation nationale et de la Culture, 388 p.

Simons A. J., Leakey R. R. B., 2004. Tree domestication in tropical agroforestry. Agroforestry Systems, 61: 167-181. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2424-1_12

Tchoundjeu Z., Ngo M., Asaah M. L., Amougou E. A., 2004. The role of vegetative propagation in the domestication of *Pausinystalia johimbe* (K. Schum), a highly threatened medicinal species of West and Central Africa. Forest Ecology and Management, 188: 175-183. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.010

Tchoundjeu Z., Avana M. L., Leakey R. R. B., Simons A. J., Asaah E., Duguma B., Bell J. M., 2002. Vegetative propagation of *Prunus Africana*: Effects of rooting medium, auxin concentrations and leaf area. Agroforestry Systems, 54: 183-192. https://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/ja02071.pdf

Useni S. Y., Malaisse F., Kaleba S. C., Kankumbi F. M., Bogaert J., 2017. Le rayon de déforestation autour de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, RD Congo) : Synthèse. Tropicultura, 35 (3) : 215-221. https://doi.org/10.25518/2295-8010.1277

Vwakyanakazi M., Petit P., 2004. Bunganga ya Mici : guérisseurs et plantes médicinales à Lubumbashi. Rapport des recherches effectuées durant la douzième session des travaux de l'Observatoire, octobre 2003-mars 2004. Université de Lubumbashi, Observatoire du changement urbain, 125 p.

Yamani A., Bunel V, Antoine M.-H., Husson C., Stévigny C., Duez P., *et al.*, 2015. Substitution between *Aristolochia* and *Bryonia* genus in North-Eastern Morocco: Toxicological implications. Journal of Ethnopharmacology, 166: 205-260. http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2015.03.036

Numbi Mujike *et al.* – Contribution des auteurs

Contributor role	Contributor names
Conceptualization	D. Numbi Mujike, M. Ngoy Shutcha, P. Meerts
Formal Analysis	D. Numbi Mujike, M. Ngoy Shutcha, P. Meerts
Funding Acquisition	P. Meerts
Investigation	D. Numbi Mujike, B. Mbinga Lokoto
Methodology	D. Numbi Mujike, M. Ngoy Shutcha, P. Meerts
Resources	B. Mbinga Lokoto
Validation	M. Ngoy Shutcha, P. Meerts
Visualization	M. Ngoy Shutcha, P. Meerts
Writing – Review & Editing	D. Numbi Mujike, M. Ngoy Shutcha, P. Meerts

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

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

Impacts des tabous et des cérémonies rituelles sur la structure des peuplements de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., un arbre sacré au Bénin

Gabin GANKA[1]
Adandé Belarmain FANDOHAN[1]
Kolawolé Valère SALAKO[2]

[1] Université nationale d'agriculture
Unité de recherche en foresterie et conservation des bioressources
Laboratoire des sciences végétale, horticole et forestière
École de foresterie tropicale
BP 43, Kétou
Bénin

[2] Université d'Abomey-Calavi
Laboratoire de biomathématiques et d'estimations forestières
Faculté des sciences agronomiques
04 BP 1525, Cotonou
Bénin

Auteur correspondant / Corresponding author:
Gabin GANKA – gabinganka@gmail.com

ORCID : https://orcid.org/0000-0002-2679-2750

Photos 1.
Triplochiton scleroxylon en forêt sacrée au Bénin.
Triplochiton scleroxylon in the sacred forest of Benin.

Doi : 10.19182/bft2023.357.a36900 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 26 mars 2022 ; date d'acceptation : 4 mai 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Ganka G., Fandohan A. B., Salako K. V., 2023. Impacts des tabous et des cérémonies rituelles sur la structure des peuplements de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., un arbre sacré au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 57-70. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a36900

RÉSUMÉ

Impacts des tabous et des cérémonies rituelles sur la structure des peuplements de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., un arbre sacré au Bénin

Triplochiton scleroxylon (samba ou ayous ou abachi ou obeche ou wawa) est une espèce culturelle clé du culte *Orisha Oro* au Bénin, dont les populations naturelles sont en déclin. Les informations sur les schémas spatiaux des arbres de cette espèce sont quasiment non documentées, ce qui limite la mise en œuvre d'une restauration écologique de ses populations. Cette étude vise à évaluer les modèles démographiques et spatiaux actuels de *T. scleroxylon* en fonction des tabous relatifs à l'espèce et de la fréquence des cérémonies rituelles du culte au Bénin. Des inventaires et une cartographie des pieds de l'espèce dans 12 placeaux de 100 m × 100 m ont été réalisés. L'étude a comparé la densité et la hauteur totale des arbres, leur distribution selon les classes de diamètre et les schémas spatiaux suivant les formations soumises à différentes proportions de tabous et fréquences de cérémonies rituelles. Les résultats ont montré, d'une part, que le nombre des tabous a un effet positif et, d'autre part, que la fréquence des cérémonies rituelles du culte a un effet négatif sur les peuplements à *T. scleroxylon*. Les densités de tiges juvéniles et adultes étaient respectivement trois et deux fois supérieures dans les forêts soumises à un plus grand nombre de tabous et un faible nombre de cérémonies rituelles. La distribution des arbres en classes de diamètre présente des tendances similaires. Cependant, l'analyse de la structure spatiale des arbres indique globalement une distribution aléatoire et une indépendance des juvéniles par rapport aux adultes. Compte tenu des rituels liés à *T. scleroxylon* en raison de sa position d'espèce centrale lors des cérémonies du culte *Orisha Oro*, sa sacralisation ne peut pas garantir sa conservation. L'utilisation durable et la conservation de *T. scleroxylon* nécessitent une sensibilisation des dignitaires des forêts sacrées à la réduction des fréquences des cérémonies rituelles, à la préservation stricte des grands semenciers, et à l'enrichissement des forêts sacrées et la promotion des plantations de l'espèce.

Mots-clés : samba, interdits, cultes, structure démographique, répartition spatiale, Bénin, Afrique de l'Ouest.

ABSTRACT

Impacts of taboos and ritual ceremonies on the population structure of a sacred tree in Benin, *Triplochiton scleroxylon* K. Schum.

In Benin, natural populations of *Triplochiton scleroxylon* African whitewood or ayous or obeche or wawa or samba), a key species of the *Orisha Oro* cult, are in decline. The spatial distribution of the species is virtually undocumented, which is limiting programmes for its ecological restoration. This study assessed the demographic and spatial patterns of *T. scleroxylon* in relation to the frequency of *Orisha Oro* cult rituals and taboos involving the species in Benin. Inventories and mapping of the species were conducted in 12 plots measuring 100 m × 100 m. The study compared the density and total height of the trees, their distribution by diameter classes and the stability and spatial distribution patterns of stands according to the different frequencies of ritual ceremonies and the proportion of taboos. Our results show that the number of taboos has a positive effect on *T. scleroxylon* stands and that the frequency of ritual ceremonies of the *Orisha Oro* cult has a negative effect. Juvenile and adult stem densities were respectively three times and twice as high in forests with a larger number of taboos and a lower frequency of ritual ceremonies. The distribution of samba trees in diameter classes showed similar patterns. However, analysis of the spatial distribution of the trees indicates a random overall pattern and independence of juveniles from adults. Given the rituals associated with *T. scleroxylon* as a central species in the ceremonies of *Orisha Oro* cult, the sacredness of the samba tree cannot guarantee its preservation, despite the rituals associated with the status that the species enjoys. Sustainable use and conservation of *T. scleroxylon* will require awareness raising among dignitaries of sacred forests of the need to reduce the frequency of ritual ceremonies and to ensure strict preservation of large seed trees, enrichment planting in sacred forests and promotion of plantations.

Keywords: samba, African whitewood, taboos, cults, demographic structure, spatial distribution, Benin, West Africa.

RESUMEN

Impacto de los tabús y de las ceremonias rituales en la estructura de las poblaciones de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., un árbol sagrado en Benín

Triplochiton scleroxylon (samba o abachi u obeche) es una especie clave del culto *Orisha Oro* en Benín, donde las poblaciones naturales se encuentran en declive. La información sobre los esquemas espaciales de los árboles de esta especie casi no está documentada, lo que limita la puesta en práctica de una restauración ecológica de sus poblaciones. Este estudio pretende evaluar los modelos demográficos y espaciales actuales de *T. scleroxylon* en función de los tabús relativos a la especie y a la frecuencia de las ceremonias rituales del culto en Benín. Se realizaron inventarios y una cartografía de los pies de la especie en 12 parcelas de 100 m x 100 m. El estudio comparó la densidad y la altura total de los árboles, su distribución según las clases de diámetro, y los esquemas espaciales según las formaciones sometidas a diferentes proporciones de tabús y frecuencias de ceremonias rituales. Los resultados mostraron por un lado que el número de tabús tiene un efecto positivo, y por otro lado que la frecuencia de las ceremonias rituales del culto tiene un efecto negativo en las poblaciones de *T. scleroxylon*. Las densidades de tallos de ejemplares jóvenes y adultos eran respectivamente tres y dos veces superiores en los bosques sometidos a un mayor número de tabús y a un número reducido de ceremonias rituales. La distribución de los árboles en clase de diámetro presenta tendencias similares. Sin embargo, el análisis de la estructura espacial de los árboles indica globalmente una distribución aleatoria y una independencia de los ejemplares jóvenes respecto a los adultos. Teniendo en cuenta los rituales relacionados con *T. scleroxylon* por su posición de especie central durante ceremonias del culto *Orisha Oro*, su sacralización no puede garantizar su conservación. La utilización sostenible y la conservación de *T. scleroxylon* requiere una sensibilización de los dignatarios de los bosques sagrados en la reducción de las frecuencias de las ceremonias rituales, en la preservación estricta de los grandes árboles semilleros, y en el enriquecimiento de los bosques sagrados y la promoción de las plantaciones de la especie.

Palabras clave: samba, prohibiciones, cultos, estructura demográfica, distribución espacial, Benín, África Occidental.

Introduction

Les aires protégées sont des écosystèmes essentiellement créés pour offrir un lieu sûr pour la conservation d'un échantillon viable de la biodiversité, en particulier les espèces menacées de disparition ou qui peuvent être menacées par les activités anthropiques (agriculture, exploitation forestière, feu de brousse, etc.). En Afrique de l'Ouest, les forêts sacrées constituent l'un de ces écosystèmes qui abritent une part impressionnante de la biodiversité locale. Elles contiennent au moins une espèce végétale ou animale sacralisée et vénérée en lien avec une divinité ou un culte. Le samba, *Triplochiton scleroxylon* (Malvaceae-Sterculioideae), fait partie des espèces végétales sacrées les plus vénérées au Bénin (Kokou et Sokpon, 2006). Toutefois, *T. scleroxylon* est toujours utilisée à plusieurs fins (Ganka *et al.*, 2022) et occupe une place unique et irremplaçable dans les manifestations du culte *Orisha Oro* (Ganka et Fandohan, 2021).

La sacralisation des espèces à grande valeur socioculturelle comme *T. scleroxylon* se manifeste généralement par la mise en œuvre d'un système de tabous visant à interdire ou limiter l'utilisation/l'accès des espèces cibles à certains usages/utilisateurs. Les tabous sont des interdictions imposées par les coutumes culturelles et religieuses et se traduisent dans ce cas-ci par la mise en place de mesures de protection. Plusieurs travaux ont mis en exergue le rôle des tabous dans les modèles traditionnels de conservation de la biodiversité (Meyer-Rochow, 2009). Ce rôle a été conceptualisé par Colding et Folke (1997) qui ont formulé l'hypothèse des tabous comme stratégie de conservation. Cette hypothèse stipule que certaines espèces végétales ou animales sont rendues taboues pour les protéger de la surexploitation et de l'extinction. Bien que les tabous soient généralement acceptés comme un outil traditionnel de conservation de la biodiversité, certains auteurs ont montré qu'ils ne résultent pas forcément d'une volonté manifeste de gérer durablement les ressources naturelles (Jones *et al.*, 2008). Par ailleurs, peu d'études ont explicitement mesuré l'impact des tabous sur le statut de conservation d'une ressource biologique donnée, notamment dans le contexte actuel de dégradation des pouvoirs traditionnels de gestion.

En dépit de sa sacralisation, des tabous y afférents, et de la délimitation de forêts destinées à sa conservation, l'intensité et la diversité des utilisations des différentes parties de l'arbre de samba lors des cérémonies rituelles du culte *Orisha Oro* pourraient impacter négativement la structure et la stabilité de ses populations (Ganka *et al.*, 2022). En effet, en plus des usages cultuels – qui se manifestent par l'émondage des feuilles des grands pieds de l'espèce, le prélèvement des racines et des pieds adultes pour les cérémonies de sortie, la fabrication des statuettes de protection spirituelle et des tambours sacrés et tablettes de l'art divinatoire *Ifa* de la divinité *Orisha Oro* –, des inventaires périodiques se réalisent pour identifier et commercialiser les grands pieds de l'espèce par les acteurs du culte. Les revenus obtenus sont utilisés pour couvrir les dépenses liées aux cérémonies rituelles et aux entretiens des habitats de la divinité (Ganka et Fandohan, 2021). Par exemple, la fréquence de prélèvement des individus matures et l'émondage régulier des pieds du samba lors des rituels du culte *Orisha Oro* peuvent exacerber la fragmentation de ses populations, empêcher sa régénération naturelle et conduire à terme à son extirpation des forêts vouées à sa préservation. L'effet de l'exploitation sur la structure et la stabilité des populations de plantes importantes a été mis en évidence (Gaoué et Ticktin, 2007 ; Assogba *et al.*, 2020 ; Ahononga *et al.*, 2020). La conséquence écologique la plus directe de l'extraction des organes d'une espèce est l'altération des taux de survie, de croissance et de reproduction des individus de l'espèce (Gaoué et Ticktin, 2007). Ces changements peuvent à leur tour affecter la structure et la dynamique des populations exploitées (Peres *et al.*, 2003 ; Gaoué et Ticktin, 2007).

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact des tabous et des cérémonies rituelles sur la structure démographique et spatiale des peuplements de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. au Bénin. Plus précisément, l'étude s'est proposée de comparer la structure démographique et les modèles spatiaux intraspécifiques de l'espèce dans les écosystèmes sacrés du culte *Orisha Oro* sous différents régimes de tabous et de cérémonies rituelles. Le but visé est de fournir un cadre scientifique de gestion durable des forêts sacrées de *T. scleroxylon*.

Matériel et méthode

Modèle biologique d'étude

Triplochiton scleroxylon K. Schum., samba (ou suivant les pays ayous, abachi, obeche, wawa), est un arbre forestier de grande taille, à grands contreforts et à feuilles caduques, qui peut dépasser 50 m de hauteur et 2 m de diamètre (Siepel *et al.*, 2004 ; Ganka *et al.*, 2021). Il est abondant dans les forêts humides semi-décidues et dans les zones de transition entre la forêt et la savane humide de nombreux pays d'Afrique subsaharienne (Fayolle *et al.*, 2012). Le tronc est relativement droit, cylindrique et clair, et a jusqu'à 24 m de hauteur. Le bois est exploité commercialement pour la construction, les panneaux, les sculptures, les moulures, les parpaings, les composants de meubles et les talons de chaussures (Ganka *et al.*, 2022). L'espèce s'établit facilement sur les sols ferrugineux et fertiles bien drainés.

Zone d'étude

L'étude a été menée au sud du Bénin, notamment dans les forêts sacrées du culte *Orisha Oro* des districts phytogéographiques de Pobè et du plateau de la région guinéo-congolaise (6°25'N à 7°30'N) (figure 1). Le climat qui y

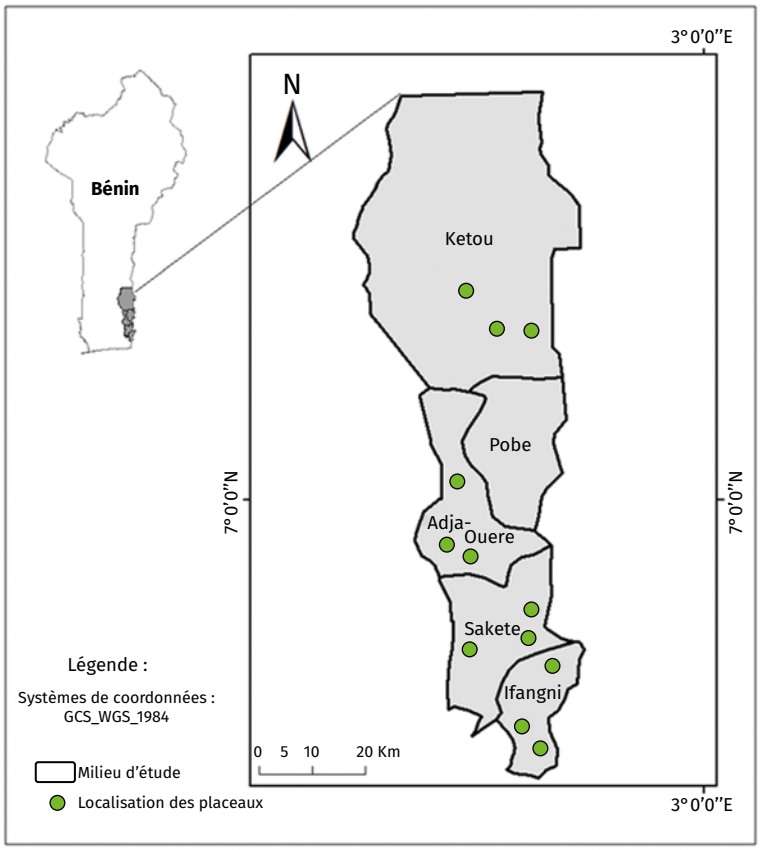


Figure 1.
Carte du milieu d'étude montrant la localisation des sites et des placeaux.
Map of the study area showing the location of sites and plots.

règne est de type subéquatorial avec un régime pluviométrique bimodal comprenant quatre saisons dont deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 900 et 1 300 mm (Adomou, 2005).

Échantillonnage et collecte de données

Enquête ethnobotanique

Une exploration a été menée au début des travaux pour identifier les forêts sacrées du culte *Orisha Oro* dans la zone d'étude ainsi que tous les couvents et membres de ce culte (photos 2).

À l'issue de l'étude exploratoire, une autorisation a été demandée au chef de village et au *Adjana* (chef dignitaire du *Orisha Oro*) de chaque site d'étude avant la réalisation des enquêtes, conformément au code d'éthique établi par la Société internationale d'ethnobiologie (International Society of Ethnobiology, 2006). Les répondants ont été identifiés et leur permission a également été obtenue avec l'aide des autorités locales avant l'administration du guide d'entretien conçu à cet effet.

Compte tenu de la répartition de *T. scleroxylon* et de son caractère sacré au Bénin, l'approche d'échantillonnage non probabiliste utilisant la technique de la boule de neige (Cochran, 1977) a été adoptée afin d'identifier les principaux informateurs parmi les adeptes et dignitaires des forêts sacrées du culte *Orisha Oro*. Le nombre d'informateurs était de 297 et l'enquête a ciblé les acteurs du culte *Orisha Oro*. Les données ont été recueillies au travers d'entretiens individuels semi-structurés et d'observations

Photos 2.
Quelques couvents de forêt sacrée du culte *Orisha Oro* au Bénin.
Some sacred forest convents of the Orisha Oro cult in Benin.

directes sur le terrain. Les informations recueillies comprenaient le nombre de tabous relatifs à *T. scleroxylon* et la fréquence annuelle des cérémonies rituelles du culte pendant les cinq dernières années.

Collecte de données

La collecte de données a été effectuée dans les forêts sacrées du culte *Orisha Oro* des communes de Adja-ouèrè, Ifangny, Kétou et Sakété. Ces localités ont été choisies du fait de l'importance de la tradition du culte *Orisha Oro* dans ces milieux et comme des points chauds des forêts sacrées du culte *Orisha Oro* au Bénin (Ganka et Fandohan, 2021). Compte tenu de la faible superficie des écosystèmes sacrés au Bénin, un placeau de 100 m × 100 m (1 ha) a été installé dans trois forêts sacrées par localité, soit au total 12 placeaux.

La position géographique de chaque placeau a été enregistrée par le système de positionnement global (GPS) avec 3 m de précision. Chaque placeau a été ensuite subdivisé en 4 bandes de 25 m × 100 m à l'aide d'un cordeau afin de faciliter la collecte des données. Tous les individus de *T. scleroxylon*, quelle que soit leur taille, et les autres espèces d'arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) est supérieur ou égal à 10 cm ont été considérés. Tous les individus de samba ont été reliés les uns aux autres à partir d'une référence R (photos 3) par la distance (avec un penta décamètre), la pente et l'azimut (avec un clinomètre) (Azihou, 2013 ; Salako *et al.*, 2018 ; Assogba *et al.*, 2020). Pour chaque individu, la circonférence du tronc et la hauteur totale de l'arbre ont été enregistrées. La circonférence a été convertie plus tard en DBH. Les juvéniles (0 cm < DBH < 10 cm) de *T. scleroxylon* ont également été dénombrés dans chaque bande.

Analyses statistiques

Structure démographique

La structure démographique a été évaluée à l'aide de la densité, des paramètres de croissance des arbres (diamètre et hauteur totale moyens) et leur distribution en classes de diamètre.

• Densité et caractéristiques dendrométriques

Les données de comptage ont été utilisées pour calculer la densité (arbres/ha) des arbres par stade de vie (adultes versus régénérations) pour chaque placeau et ensuite par localité en utilisant la formule :

$$N = \frac{n}{S}$$

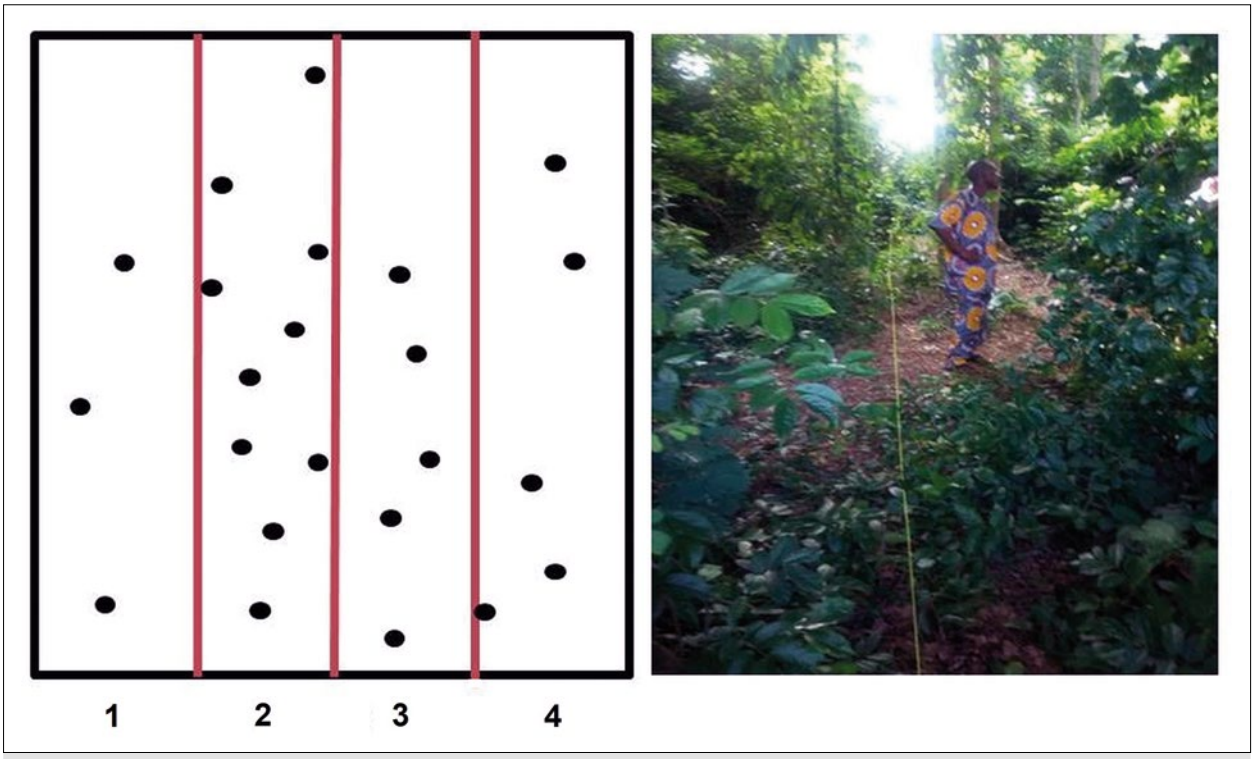
avec n le nombre total d'arbres du placeau et s la superficie unitaire du placeau.

Le diamètre moyen D (en cm) de l'arbre de surface terrière moyenne, qui n'est autre que la moyenne quadratique des diamètres des arbres, exprimée en cm, a été calculé comme suit :

$$D = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} di^2}$$

avec n le nombre d'arbres trouvés dans la placette et *di* le diamètre du $i^{ème}$ arbre (en cm).

La moyenne quadratique donne plus de poids aux grands arbres et est égale ou supérieure à la moyenne arithmétique. Dans les peuplements de petit diamètre et de gamme étroite de diamètres, les différences entre la moyenne quadratique et la moyenne arithmétique



Photos 3.
Installation de placettes et subdivision en bandes pour la collecte des données.
Installation of plots and subdivision into strips for data collection.

sont légères. En revanche, dans les peuplements avec de grands diamètres et une large gamme de diamètres présents ou avec des distributions de diamètres fortement asymétriques, les différences entre les diamètres moyens arithmétiques et quadratiques peuvent être importantes. La moyenne quadratique du diamètre des arbres est une convention en foresterie (Curtis et Marshall, 2000) qui valorise mieux les gros arbres. Elle est souvent utilisée pour estimer la grosseur moyenne des essences de bois d'œuvre ou de service ainsi que les tables de production (Curtis et Marshall, 2000 ; Glèlè Kakaï et Sinsin, 2009). La hauteur moyenne H (en m) de l'arbre a été déterminée par la formule :

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Hi$$

avec n le nombre d'arbres trouvés dans la placette et Hi la hauteur totale d'arbre i (en m).

L'analyse de variance (ANOVA) suivie du test de *Fisher's Least Significant Difference* (LSD) a été effectuée sur la densité (log-transformée) et le diamètre des arbres pour comparer les sites en fonction de la fréquence des cérémonies du culte *Orisha Oro* et de la proportion des tabous relatifs à l'espèce.

• Distributions en classes de diamètre

Les arbres mesurés ont été subdivisés en deux catégories : les juvéniles (0 < DBH < 10 cm) et les adultes (DBH ≥ 10 cm). Ainsi, sur la base des valeurs des diamètres, 10 classes de même amplitude ont été obtenues. Il s'agit des classes de : [0-10[, [10-20[, [20-30[, [30-40[, [40-50[, [50-60[, [60-70[, [70-80[, [80-90[, ≥ 90. Les densités par classe de diamètre ont été déterminées.

Structure spatiale de *Triplochiton scleroxylon*

Le logiciel Arpent 1.3.d (Lejeune, 2001) a été utilisé pour convertir les données de distance, d'azimut et de pente en coordonnées cartésiennes x, y de chaque arbre du placeau afin de produire une carte des individus de *T. scleroxylon* sur le terrain. La configuration spatiale obtenue a été supposée être le résultat d'un processus stochastique qui génère des ensembles de points sur un plan sous les hypothèses de stationnarité et d'isotropie, c'est-à-dire d'invariance par translation et de rotation (Penttinen *et al.*, 1992 ; Fandohan *et al.*, 2017). La fonction de corrélation par paires (Stoyan et Stoyan, 1994) a été utilisée pour tester (1) si les échantillons observés peuvent être considérés comme ayant un schéma aléatoire, agrégé ou régulier et (2) si la relation entre les adultes et les jeunes de l'espèce ou les individus de deux espèces différentes suggère une

Tableau I.
Liste et nombre de tabous relatifs à *Triplochiton scleroxylon* pendant les cinq dernières années et de cérémonies rituelles du culte *Orisha Oro* par an au Bénin.
List and number of taboos relating to Triplochiton scleroxylon over the last 5 years and ritual ceremonies of the Orisha Oro cult per year in Benin.

N°	Localités	Kétou	Ifangny	Adja-ouèrè	Sakété
	Tabous relatifs à *Triplochiton scleroxylon*				
1	Abattage par tous les hommes	x			
2	Abattage par les non-initiés au culte *Orisha Oro*	x	x		
3	Prélèvement d'organes en forêt par les non-initiés	x	x	x	x
4	Ramassage et/ou usage des feuilles au pied des arbres émondés	x	x	x	x
5	Prélèvement d'organes sur les arbres une fois émondés	x	x	x	x
6	Prélèvement d'organes par les femmes	x	x		
7	Émondage des pieds par les non-initiés	x	x	x	x
8	Mise en terre des plants par les femmes	x	x	x	x
9	Plantation dans les concessions sans autorisation	x	x	x	x
10	Vente des pieds pour d'autres évènements que ceux des cérémonies du culte *Orisha Oro*	x	x	x	x
11	Toucher des pieds d'arbre par les femmes	x	x		
12	Abattage par un seul homme	x		x	
13	Usage comme bois de feu	x	x	x	x
Fréquence absolue des tabous		13/13	11/13	9/3	8/13
Fréquence absolue des cérémonies par an		1	1 à 2	2 à 3	2 à 3

X : présence de tabous

association, une répulsion ou une indépendance spatiale. La fonction de corrélation par paires est une mesure normalisée de la façon dont, en moyenne, une plante perçoit la densité des autres individus lorsqu'elle « regarde vers l'extérieur » sur une distance r croissante dans la communauté dans laquelle elle vit (Law *et al.*, 2009). La fonction de corrélation par paires d'un processus ponctuel stationnaire est :

$$gi,j(r)=\frac{K^{'}(r)}{2\pi r}$$

où K'(r) est la dérivée de la fonction K de Ripley à la distance r (Ripley, 1991).

Cette analyse est univariée lorsqu'un seul point (i = j) est analysé et bivariée lorsque les analyses portent sur deux points différents (i ≠ j). Ainsi, un total de 48 modèles de distribution spatiale a été réalisé et analysé pour les 12 placeaux installés. La fonction indique aussi le niveau spatial r auquel les tendances se sont produites pour les analyses bivariées (Stoyan et Stoyan, 1994 ; Djossa *et al.*, 2008 ; Azihou, 2013 ; Fandohan *et al.*, 2017 ; Salako *et al.*, 2018 ; Assogba *et al.*, 2020). L'importance de tout schéma d'observation qui s'écarte de la distribution prévue par le modèle nul (distribution aléatoire ou indépendance spatiale, selon le cas) a été évaluée en comparant la fonction de distribution observée à l'enveloppe de confiance générée par 500 simulations de Monte-Carlo du modèle nul (Diggle *et al.*, 2003). Pour une échelle donnée r, si g(r) est en dehors des enveloppes de simulation (g(r) ±1), l'hypothèse nulle d'une distribution aléatoire complète (univariée) ou d'une indépendance (bivariée) a été rejetée à cette échelle. Pour un schéma ponctuel univarié, g(r) = 1 indique une distribution aléatoire, alors que g(r) > 1 et g(r) < 1 indiquent respectivement une distribution spatiale agrégative ou régulière. Pour un modèle ponctuel bivarié, $g_{i,j}(r)$ = 1 montre une indépendance spatiale tandis que $g_{i,j}(r)$ > 1 et $g_{i,j}(r)$ < 1 indiquent respectivement une association positive (attraction) et une association négative (répulsion). Les analyses spatiales ont été produites dans le package « Spatstat » (Diggle *et al.*, 2003) du logiciel statistique R version 3.5.0 (R Core Team, 2021).

Résultats

Tabous et cérémonies rituelles relatifs à *Triplochiton scleroxylon*

L'enquête ethnobotanique conduite auprès des adeptes du culte *Orisha Oro* a permis de dénombrer au total treize tabous (tableau I). Les tabous relatifs à *T. scleroxylon* et la fréquence annuelle des cérémonies rituelles du culte pendant les cinq dernières années varient suivant les sites d'étude (tableau I).

Structure démographique

Caractéristiques dendrométriques

Les densités de la population des arbres à l'état juvénile et adulte du samba ont varié de manière

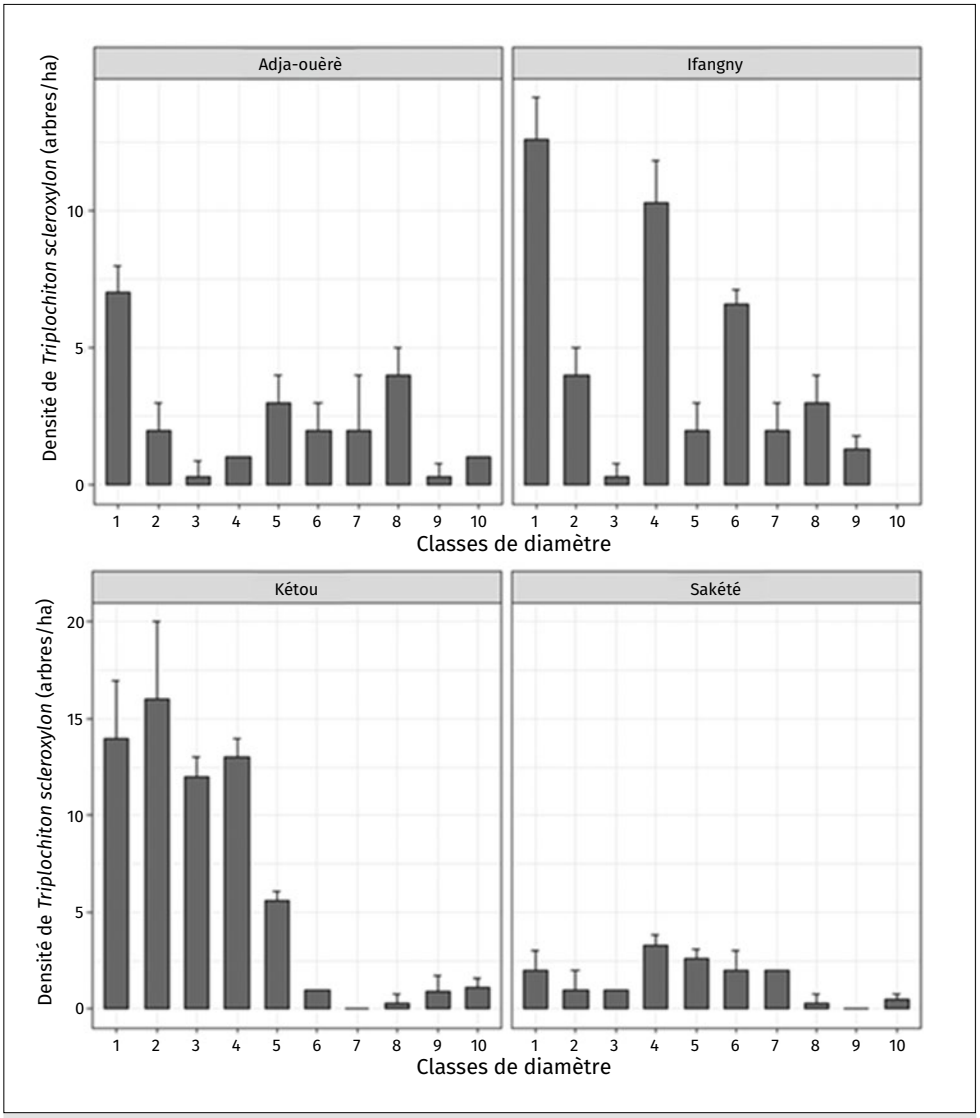


Figure 2.
Distribution des classes de diamètre (moyenne ± erreur-type) suivant les forêts sacrées soumises à différentes fréquences de cérémonies rituelles et de nombres de tabous.
Distribution of diameter classes (mean ± standard error) in sacred forests subjected to different frequencies of ritual ceremony and number of taboos.

Tableau II.
Variation de la densité des pieds juvéniles et adultes de *Triplochiton scleroxylon* suivant les sites soumis à différentes fréquences de cérémonies rituelles et de tabous.
Variation in the density of juvenile and adult Triplochiton scleroxylon plants at sites subjected to different frequencies of ritual and taboo ceremonies.

Sites d'étude	Densité (nombre de pieds par ha)	
	Juvénile	Adulte
Kétou	$14^{a} \pm 3,00$	$32^{a} \pm 5,8$
Ifangny	$13^{a} \pm 1,52$	$29,66^{a} \pm 3,1$
Adja-ouèrè	$6^{b} \pm 1,00$	$16,66^{b} \pm 1,4$
Sakété	$3^{c} \pm 1,00$	$14^{b} \pm 1,1$
p-value	< 0,001	< 0,001

Tableau III.
Variation du diamètre et de la hauteur des pieds juvéniles et adultes de *Triplochiton scleroxylon* suivant les sites soumis à différentes fréquences de cérémonies rituelles et de tabous.
Variation in the diameter and height of juvenile and adult Triplochiton scleroxylon plants at sites subjected to different frequencies of ritual and taboo ceremonies.

Sites d'étude	Diamètre (cm)	Hauteur (m)
	Adulte	Adulte
Kétou	$37,75^{b} \pm 5,1$	$22,8^{b} \pm 0,4$
Ifangny	$44,5^{b} \pm 0,7$	$23,7^{b} \pm 0,3$
Adja-ouèrè	$63,8^{a} \pm 1,9$	$34,3^{a} \pm 0,3$
Sakété	$57,0^{a} \pm 0,3$	$24,2^{b} \pm 0,2$
p-value	< 0,001	< 0,001

significative en fonction du nombre de tabous relatifs à l'espèce et de la fréquence des cérémonies rituelles ($p < 0,001$; figure 2). Les densités étaient environ trois fois plus élevées dans les forêts sacrées avec une faible fréquence de cérémonies rituelles et un nombre plus élevé de tabous (tableau II). La différence entre les densités de population des arbres adultes et juvéniles était de deux fois dans les forêts sacrées à faible fréquence de cérémonies rituelles et à un nombre plus élevé de tabous. Cette différence de densité est de trois fois dans les écosystèmes à tendance inverse (tableau II).

En revanche, les diamètres et hauteurs moyens des arbres adultes de *T. scleroxylon* étaient plus grands dans les forêts sacrées du culte *Orisha Oro* au Bénin où la fréquence des cérémonies rituelles est élevée et le nombre de tabous faible ($p < 0,001$; tableau III).

Répartition en classes de diamètre

L'analyse de la répartition par classe de diamètre des arbres présente en général des structures irrégulières. Toutefois, on observe des différences relativement marquées en fonction du nombre de tabous et de la fréquence des cérémonies rituelles (figure 2). Dans les forêts à nombre de tabous élevé et à plus faible fréquence des cérémonies rituelles, la proportion d'individus de diamètre inférieur à 30,52 cm est neuf fois plus élevée que celle des forêts à plus faible nombre de tabous et plus forte fréquence des cérémonies. Les diamètres médians étaient de 21,66 cm à 34,58 cm, d'une part, et 43,84 cm à 41,53 cm, d'autre part, au Bénin. Les individus de faible diamètre (inférieur ou égal à 10 cm) avaient une densité de 13 à 14 pieds/ha dans les forêts à nombre de tabous élevé et plus faible fréquence des cérémonies, contre 3 à 6 pieds/ha pour les autres forêts. Cependant, indépendamment des forêts, les individus de grand diamètre (supérieur à 90 cm) étaient très peu représentés (0 à environ 1 pied à l'hectare).

Tableau IV.
Résultats des analyses spatiales univariées et bivariées intraspécifiques.
Results of univariate and bivariate intraspecific spatial analyses.

Sites d'étude	Stade de développement	*Triplochiton scleroxylon*		
		P1	P2	P3
Kétou	Juvéniles	Aléatoire	Aléatoire	Agrégative (0 < r < 3)
	Adultes	Aléatoire	Aléatoire	Aléatoire
	Juvéniles × adulte	Indépendance	Indépendance	Indépendance
	Adulte – juvéniles	Indépendance	Indépendance	Indépendance
Ifangny	Juvéniles	Aléatoire	-	-
	Adultes	Aléatoire	Aléatoire	Aléatoire
	Juvéniles × adulte	Indépendance	Indépendance	Indépendance
	Adulte – juvéniles	Indépendance	Indépendance	Indépendance
Adja-ouèrè	Juvéniles	-	-	Aléatoire
	Adultes	-	-	Aléatoire
	Juvéniles × adulte	Indépendance	Indépendance	Indépendance
	Adulte – juvéniles	Indépendance	Indépendance	Indépendance
Sakété	Juvéniles	-	Aléatoire	-
	Adultes	Aléatoire	Aléatoire	Aléatoire
	Juvéniles × adulte	Indépendance	Indépendance	-
	Adulte – juvéniles	Indépendance	Indépendance	Indépendance

Structure spatiale de *Triplochiton scleroxylon*

Configuration spatiale et relations spatiales intraspécifiques univariées et bivariées

L'examen visuel des différentes cartes montre en général une distribution aléatoire des individus (figure 3).

Au total, 48 modèles spatiaux ont été réalisés et analysés. Comme les 48 représentations graphiques correspondantes n'ont pas toutes pu être rapportées, les résultats de ces représentations ont été présentés dans le tableau IV. Cependant, des exemples de courbe de modèle apparaissent dans la figure 4 pour illustration. La modélisation de la configuration spatiale des individus jeunes et adultes de *T. scleroxylon* à l'aide de la fonction de corrélation par paire n'a pas montré de différence importante entre les forêts sacrées. Indépendamment du nombre de tabous et de la fréquence des cérémonies rituelles, et quel que soit le stade de vie, la valeur de g(r) est égale à 1, ce qui indique une distribution aléatoire des individus (tableau IV et figure 4). Pour les analyses bivariées intraspécifiques, les résultats ont montré une indépendance entre la distribution spatiale des juvéniles et celle des adules du samba et vice versa.

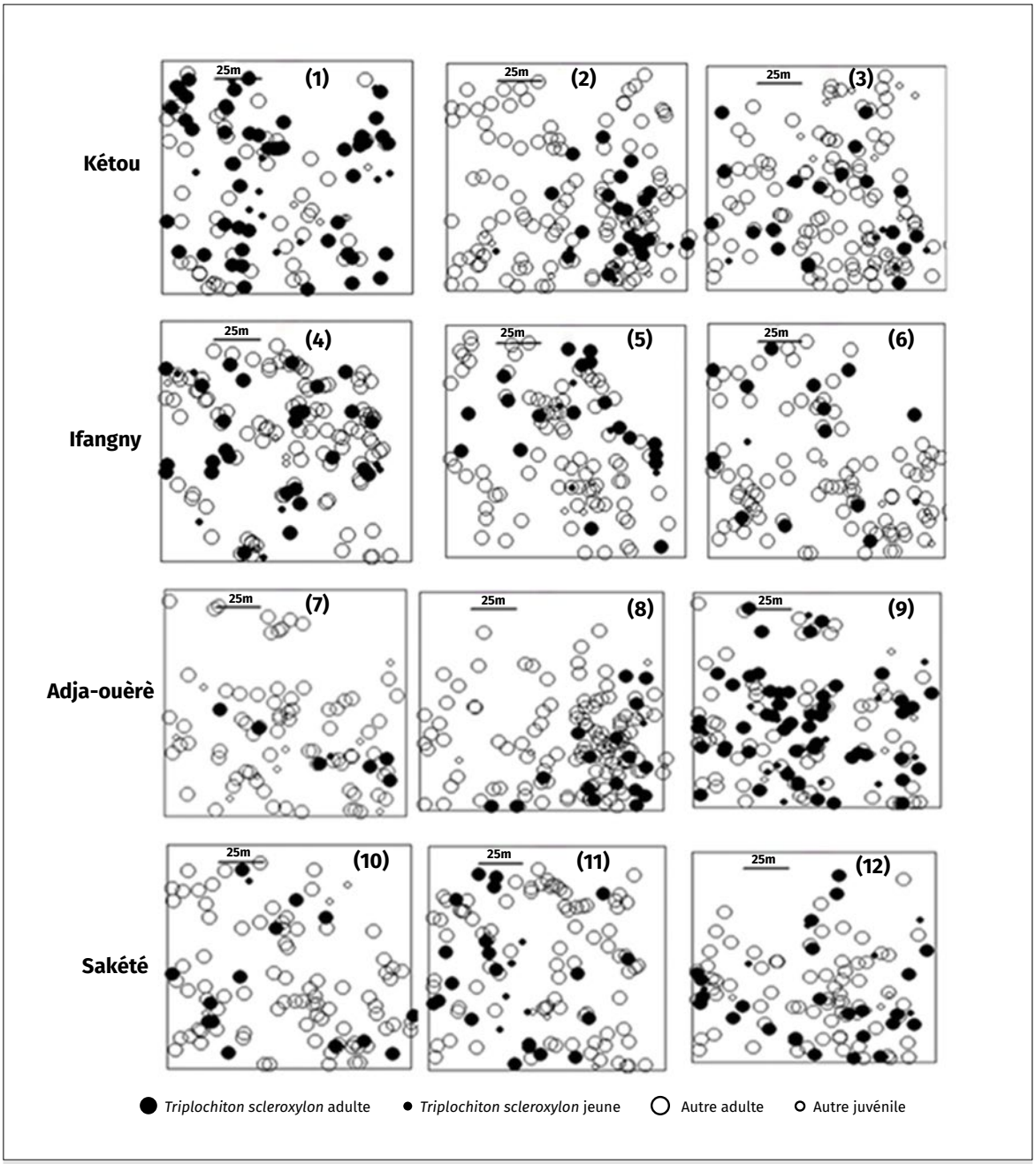


Figure 3.
Carte de distribution de *Triplochiton scleroxylon* et des autres espèces d'arbre dans les forêts sacrées de *Orisha Oro* au Bénin.
Distribution map of Triplochiton scleroxylon and other tree species in the Orisha Oro sacred forests in Benin.

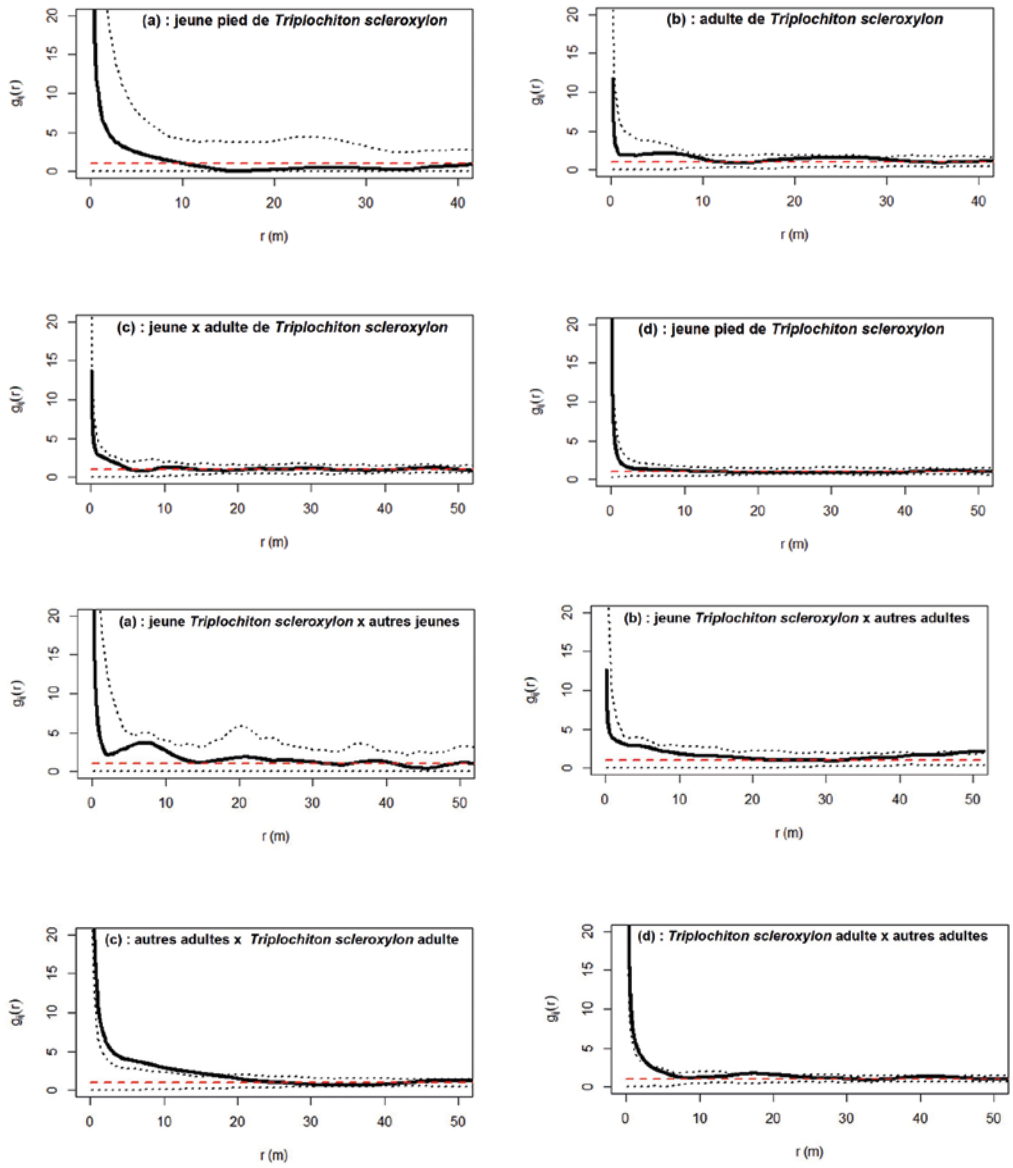


Figure 4.
Représentation graphique de la fonction de corrélation des paires des analyses spatiales univariées et bivariées intraspécifiques et interspécifiques (jeunes arbres et adultes) de *Triplochiton scleroxylon* dans quelques parcelles prises comme exemple pour illustrer une distribution aléatoire et une indépendance spatiale. g_{obs} représente la statistique calculée à partir des données ; g_{theo} montre la fonction de corrélation des paires attendue d'un processus stochastique de Poisson ; g_{hi} et g_{lo} représentent 95 % des limites de confiance pour l'hypothèse nulle du modèle complet d'aléa spatial obtenu à partir des 500 simulations indépendantes ; r : rayon de perception. La ligne épaisse continue montre la statistique calculée à partir des données. La ligne horizontale rouge en tiret représente la fonction de corrélation des paires attendue d'un processus de Poisson complètement aléatoire/indépendant. Les lignes en pointillés représentent les enveloppes de confiance d'environ 95 % pour l'hypothèse nulle (motif spatial aléatoire/indépendant), obtenues à partir de 500 simulations indépendantes.
Graphical representation of the pair correlation function of univariate and bivariate intraspecific and interspecific spatial analyses (young trees and adults) of Triplochiton scleroxylon from a few plots used as an example to illustrate a random distribution and spatial independence. g_{obs} represents the statistic calculated from the data; g_{theo} shows the pair correlation function expected from a stochastic Poisson process; g_{hi} and g_{lo} represent 95% confidence limits for the null hypothesis of the complete spatial randomness model obtained from 500 independent simulations. r: radius of perception. The thick solid line shows the statistic calculated from the data. The dashed red horizontal line represents the pairwise correlation function expected from a completely random/independent Poisson process. The dashed lines represent the approximately 95% confidence envelopes for the null hypothesis (random/independent spatial pattern), obtained from 500 independent simulations.

Tableau V.
Résultats des analyses spatiales univariées et bivariées intraspécifiques.
Results of univariate and bivariate intraspecific spatial analyses.

Site d'étude	Kétou	Ifangny	Adja-ouèrè	Sakété
Juvéniles	$36,14^{a} \pm 6,05$	$49,91^{a} \pm 5,15$	$30,79^{b} \pm 2,98$	$38,96^{c} \pm 3,91$
Adultes	$12,16^{a} \pm 0,49$	$11,51^{a} \pm 0,49$	$12,42^{a} \pm 0,61$	$13,70^{a} \pm 0,65$
Juvéniles-adultes	$17,54^{a} \pm 3,01$	$12,48^{a} \pm 2,2$	$13,31^{a} \pm 1,23$	$12,58^{a} \pm 1,05$
Adultes-juvéniles	$34,58^{b} \pm 1,26$	$67,18^{d} \pm 3,38$	$24,93^{a} \pm 2,02$	$42,27^{c} \pm 2,31$

Photo 4.
Pied de *Triplochiton scleroxylon* émondé par *Orisha Oro* au Bénin.
Triplochiton scleroxylon pruned by Orisha Oro in Benin.

Distance par rapport au plus proche voisin

Les distances par rapport au plus proche voisin des pieds adultes du samba sont similaires, indépendamment de la fréquence des cérémonies rituelles et du nombre de tabous (tableau V). Par contre, des différences ont été observées s'agissant des distances au plus proche voisin des juvéniles et des adultes aux juvéniles. Toutefois, les données n'ont présenté aucune structuration en fonction de la fréquence des cérémonies et du nombre des tabous. Il en est de même pour la distance des juvéniles à l'adulte le plus proche.

Discussion

Cette étude a évalué la densité, les caractéristiques dendrométriques, la distribution des classes de diamètre et la structure spatiale de *T. scleroxylon* dans les forêts sacrées sujettes à différents nombres de tabous et fréquences de cérémonies rituelles. L'étude a montré que le nombre de tabous a un effet positif sur la densité des juvéniles et adultes du samba alors que l'effet inverse a été observé pour la fréquence des cérémonies rituelles. Les mêmes tendances ont été notées au niveau des structures diamétriques, avec des forêts où le nombre moyen de jeunes pieds est nettement plus élevé lorsque le nombre de tabous est plus élevé et la fréquence des cérémonies rituelles plus faible.

Ces résultats indiquent un effet positif des tabous sur le statut de conservation des forêts à samba mais un effet négatif de la fréquence des cérémonies rituelles. En effet, le nombre de tabous autour de l'espèce limite son exploitation de telle sorte que plus le nombre de tabous est important, plus les pressions exercées sur elle sont faibles. En revanche, les cérémonies rituelles du culte *Orisha Oro* nécessitent l'usage de plusieurs parties de la plante, notamment les feuilles, les racines, les branches et le tronc (Ganka et Fandohan, 2021 ; Ganka *et al.*, 2022). Ces prélèvements conduisent souvent à des émondages plus ou moins sévères de plusieurs individus parmi les grands semenciers,

notamment lors de la sortie du *Orisha Oro* (Ganka et Fandohan, 2021).

Bien que les densités et les structures diamétriques suggèrent que les peuplements des forêts des localités à plus grand nombre de tabous et faible fréquence des cérémonies rituelles sont mieux conservés et plus viables, les densités des jeunes arbres sont en général faibles (en moyenne 9 tiges à l'hectare contre 23 pour les adultes). Par ailleurs, le faible niveau de régénération et la rareté des individus de grand diamètre pourraient être dus à l'exploitation incontrôlée des grands sujets de l'espèce dans les forêts étudiées. Compte tenu de la valeur commerciale de son bois, les grands sujets de l'espèce sont souvent exploités par les dignitaires du culte pour l'acquisition de ressources financières nécessaires à l'organisation des cérémonies rituelles annuelles (Ganka et Fandohan, 2021). Ceci couplé à l'émondage régulier (photo 4) peut empêcher durablement la fructification des arbres matures et la régénération du samba qui a déjà une fructification irrégulière (Ganka *et al.*, 2021). D'autres facteurs non mesurés dans le cadre de cette étude pourraient également avoir influencé les résultats observés : les taux de production, de germination et de survie des graines, les attaques parasitaires par les ennemis naturels, les performances de croissance des jeunes plants de l'espèce, la concurrence intra- et interspécifique (Hutchings, 1997 ; Martins et Shackleton, 2017). En effet, un faible pouvoir germinatif et de survie des graines de l'espèce peut entraver la production des graines et donc le recrutement dans les populations de l'espèce.

Les résultats de cette étude ont également montré, globalement, une distribution aléatoire des arbres et une indépendance entre les schémas de répartition des adultes et des juvéniles, quels que soient le nombre de tabous et la fréquence des cérémonies rituelles du culte *Orisha Oro*. Ce type de répartition caractérise plusieurs espèces sous les tropiques (Condit *et al.*, 2000). La distribution aléatoire chez le samba peut s'expliquer par le mode de dissémination des graines (espèce anémochore). Cette distribution peut être accentuée par l'irrégularité de la fructification chez les arbres de samba, les émondages excessifs qui inhibent la reproduction, et les abattages des grands semenciers. Les associations faiblement positives observées par endroits entre les arbres de samba et les individus d'autres espèces suggèrent que le samba tolère d'autres espèces dans son proche voisinage. D'autre part, ces associations positives pourraient aussi indiquer que les autres espèces dans le voisinage proche du samba sont également sujettes à l'exploitation, notamment dans la plupart des placeaux où une indépendance interspécifique a été observée.

Les résultats de cette étude soutiennent en partie l'hypothèse faisant des tabous une stratégie de conservation. Cependant, ils montrent également que, dans ce cas-ci, les formes d'exploitation non interdites constituent en soi des menaces fondamentales pour la survie des peuplements de samba. Il a également été montré que, dans le contexte actuel de la dégradation des pouvoirs traditionnels, les tabous sont de moins en moins respectés et susceptibles de garantir l'utilisation durable des ressources (Jones *et al.*, 2008). La conservation du samba nécessitera alors des interventions actives multipartites incluant les institutions traditionnelles, les chercheurs et l'administration forestière.

Les distances entre les adultes de *T. scleroxylon* ne varient pas d'un site à un autre. Cependant, elles varient au sein des jeunes plants de l'espèce et sans aucune structuration autour des facteurs testés. En admettant que la non-augmentation de la distance entre les plants adultes de l'espèce pourrait limiter l'isolement des plants reproducteurs et favoriser les services de pollinisation et donc la régularité des pieds juvéniles (Salako *et al.*, 2018), cette variation ne pourrait être attribuée qu'à l'anémochorie de l'espèce.

Les distances des plus proches voisins des pieds adultes par rapport aux juvéniles varient d'un site à un autre et indépendamment du nombre de tabous et de la fréquence des cérémonies rituelles. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'émondage et le piétinement des graines lors des fréquentes pratiques cultuelles. La chance de survie des juvéniles sera donc fonction de leur isolement des pieds adultes. Ce résultat justifie aussi le modèle de Janzen-Connell qui prédit que la probabilité de survie des plantules jusqu'à l'âge adulte devrait augmenter avec la distance de la plante mère (Janzen, 1970 ; Connell, 1971 ; Fandohan *et al.*, 2017).

Conclusion

Cette étude a montré, d'une part, l'effet positif du nombre de tabous et, d'autre part, l'effet négatif de la fréquence des cérémonies rituelles du culte *Orisha Oro* sur les peuplements de *Triplochiton scleroxylon*. Alors que les tabous contribuent à réduire les pressions anthropiques sur l'espèce, les cérémonies rituelles compromettent sévèrement sa régénération naturelle. Pour garantir la conservation durable de *T. scleroxylon* et sa conservation dans les forêts sacrées, un certain nombre de mesures pourraient être prises : organisation de campagnes d'information des dignitaires du culte *Orisha Oro* et des gardiens de la tradition sur le risque d'extirpation de l'espèce des forêts ; sensibilisation pour une réduction des cérémonies rituelles à une seule fois par an ; incitation à la préservation des grands semenciers lors des cérémonies rituelles ; restauration des peuplements de *T. scleroxylon* par enrichissement des forêts sacrées.

Financement
L'étude a été financée grâce à une bourse doctorale octroyée à G. Ganka par le Gouvernement du Bénin et un soutien additionnel du troisième auteur, A. B. Fandohan.

Conditions d'accès aux données
Les données ont été obtenues par des inventaires et la cartographie des pieds de *Triplochiton scleroxylon* dans des placeaux de 100 m × 100 m à la suite des enquêtes ethnobotaniques auprès des adeptes du culte *Orisha Oro* au Bénin, dans le respect du code d'éthique établi par la Société internationale d'ethnobiologie. Lien Internet du dépôt numérique : https://www.scidb.cn/anonymous/ZXFxQWJ5

Références bibliographiques

Adomou C. A., 2005. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 136 p. https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/121707

Adomou C. A., Agbani O. P., Sinsin B. 2011. Plants. *In*: Neuenschwander P., Sinsin B., Goergen G. (eds). Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin. Ibadan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture, 21-46. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/114202Nature Conservation for Benin/1/IUCN%20Red%20List%20Benin%20Ch19.pdf

Ahononga F. C., Gouwakinnou G. N., Biaou S. S. H., Biaou S., 2020. Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015. Bois et Forêts des Tropiques, 346 : 35-50. https://doi.org/10.19182/bft2020.346.a36295

Assogba O. D. I., Salako K. V., Fantodji B., Assedé E. P. S., Assogbadjo A. E., Chirwa P. W., 2020. Does land use type impact the demographic and spatial structures of *Adansonia digitata* L. in the Pendjari Biosphere Reserve in Northern Benin? Bois et Forêt des Tropiques, 344 : 59-72. https://doi.org/10.19182/bft2019.344.a31908

Azihou A. F., 2013. Ecology of isolated trees in tropical savannas: modelling of plant species distribution and colonization of new habitats through long-distance dispersal and facilitation. PhD thesis, University of Abomey-Calavi, Benin, 162 p. https://www.leabenin-fsauac.net/en/ecology-isolated-trees-tropical-savannas-modelling-plant-species-distribution-colonization-new-habitats-long-distance-dispersal-facilitation/

Cochran W. G., 1977. Sampling techniques. 3rd edition. Wiley, 440 p. https://fsapps.nwcg.gov/gtac/CourseDownloads/IP/Cambodia/FlashDrive/Supporting_Documentation/Cochran_1977_Sampling%20Techniques.pdf

Colding J., Folke C., 1997. The relations among threatened species, their protection, and taboos. Conservation Ecology, 1 (1): 6. http://www.consecol.org/vol1/iss1/art6/

Condit R., Ashton P. S., Baker P., Bunyavejchewin S., Gunatilleke S., Gunatilleke N., 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. Science, 288: 1414-1418. https://doi.org/10.1126/science.288.5470.1414

Connell J. H., 1971. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and rain forest trees. *In*: Den Boer P. J., Gradwell P. R. (eds). Dynamics of populations. Wageningen, The Netherlands, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 289-312. https://archive.org/details/connell-1971

Curtis R. O., Marshall D. D., 2000. Why quadratic mean diameter? Western Journal of Applied Forestry, 15 (3): 137-139. https://www.fs.usda.gov/pnw/olympia/silv/publications/opt/436_CurtisMarshall2000.pdf

Diggle P. J., Ribeiro P. J., Christensen O. F., 2003. An introduction to model-based geostatistics. *In*: Moller J. (ed.). Spatial Statistics and Computational Methods. Springer, 43-86. https://doi.org/10.1007/978-0-387-21811-3_2

Djossa B. A., Fahr J., Wiegand T., Ayihouénou B. E., Kalko E. K., Sinsin B. A., 2008. Land use impact on *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaerten. stand structure and distribution patterns: a comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora district in Benin. Agroforestry Systems, 72 (3): 205-220. https://doi.org/10.1007/s10457-007-9097-y

Fandohan A. B., Azihou A. F., Assogbadjo A. E., Fonton N. H., van Damme P., Sinsin A. B., 2017. Environment-driven spatial pattern of tamarind trees in riparian forests. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 111 (1): 23-37. https://doi.org/10.12895/jaeid.20171.499

Fayolle A., Engelbrecht B., Freycon V., Mortier F., Swaine M., Réjou-Méchain M., *et al.*, 2012. Geological substrates shape tree species and trait distributions in African moist forests. PLoS One, 7: 42381. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042381

Ganka G., Fandohan A. B., Lougbegnon O. T., 2021. *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. (Sterculioideae-Malvaceae) : Synthèse des connaissances et perspectives de recherche. Annales des Sciences Agronomiques, 24 (2) : 135-146. https://www.researchgate.net/publication/359861283_Triplochiton_scleroxylon_K_Shum_Sterculioideae-Malvaceae_Synthese_des_connaissances_et_perspectives_de_recherche

Ganka G., Fandohan A. B., 2021. *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. (Malvaceae Sterculioideae): a key species of the Orisha Oro worship in Benin. Ethnobotany Research and Applications, 22: 22-43. http://dx.doi.org/10.32859/era.22.43.1-14

Ganka G., Salako K. V., Fandohan A. B., 2022. Importance des cultes dans la préservation des espèces d'arbre, le cas du samba (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum.) au Bénin. Bois et Forêts des Tropiques, 351 : 53-65. https://doi.org/10.19182/bft2022.351.a36866

Gaoué O. G., Ticktin T., 2007. Patterns of harvesting foliage and bark from the multipurpose tree *Khaya senegalensis* in Benin: Variation across ecological regions and its impacts on population structure. Biological Conservation, 137: 424-436. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.02.020

Gaoué O. G., Coe M. A., Bond M., Hart G., Seyler B. C., McMillen H., 2017. Theories and major hypotheses in ethnobotany. Economic Botany, 71 (3): 269-287. https://doi.org/10.1007/s12231-017-9389-8

Glèlè Kakaï R., Sinsin B., 2009. Structural description of two *Isoberlinia* dominated vegetation types in the Wari-Maro Forest Reserve (Benin). South African Journal of Botany, 75 (1): 43-51. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.07.003

Hutchings M. J., 1997. The structure of plant populations. *In*: Crawley M. J. (ed.). Plant Ecologgy. 2nd ed. Oxford, UK, Blackwell Science, 325-358.

International Society of Ethnobiology, 2006. ISE Code of Ethics (With 2008 additions). ISE, 12 p. https://www.ethnobiology.net/what-we-do/core-programs/ise-ethics-program/%20code-of-ethics/

Janzen D. H., 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. American Naturalist, 104: 501-528. https://www.jstor.org/stable/2459010

Jones J. P. G., Andriamarovololona M. M., Hockey N., 2008. The Importance of taboos and social norms to conservation in Madagascar. Conservation Biology, 22 (4): 976-986. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00970.x

Kokou K., Sokpon N., 2006. Les forêts sacrées du couloir du Dahomey. Bois et Forêts des Tropiques, 288 (2) : 15-23. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20312

Law R., Illian J., Burslem D. F., Gratzer G., Gunatilleke C., Gunatilleke I., 2009. Ecological information from spatial patterns of plants: insights from point process theory. Journal of Ecology, 97(4): 616-628. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01510.x

Lejeune P., 2001. Arpent 2.0, logiciel de saisie de données d'arpentage – Guide d'utilisation [Arpent 2.0, surveying data aquisition software]. Note Technique Forestière de Gembloux, 5 : 1-12. https://www.gembloux.ulg.ac.be/gestion-des-ressources-forestieres/upload/Notes%20techniques/ntfg_05.pdf

Martins A. R., Shackleton C. M., 2017. Abundance, population structure and harvesting selection of two palm species (*Hyphaene coriacea* and *Phoenix reclinata*) in Zitundo area, southern Mozambique. Forest Ecology and Management, 398: 64-74. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.005

Meyer-Rochow V. M., 2009. Food taboos: their origins and purposes. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 5: 18. https://doi.org/10.1186/1746-4269-5-18

Penttinen A., Stoyan D., Henttonen H. M., 1992. Marked point processes in forest statistics. Forest Science, 38: 806-824. https://doi.org/10.1093/forestscience/38.4.806

Peres C. A., Baider C., Zuidema P. A., Wadt L. H. O., Kainer K. A., Gomes-Silva D. A., 2003. Demographic threat to the sustainability of Brazil nut exploitation. Science, 302: 2112-2114. https://doi.org/10.1126/science.1091698

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ripley B. D., 1991. Statistical Inference for Spatial Processes. Cambridge University Press, 148 p. https://www.cambridge.org/core/books/statistical-inference-for-spatial-processes/E9C72949CAD9B3E8F662F67562FCF06D

Salako K. V., Kénou C., Dainou K., Assogbadjo A. E., Glèlè Kakaï R., 2018. Impacts of land use types on spatial patterns and neighbourhood distance of the agroforestry palm *Borassus aethiopum* Mart. in two climatic regions in Benin, West Africa. Agroforestry Systems, 93: 1057-1071. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0205-y

Siepel A., Poorter L., Hawthorne W., 2004. Ecological profiles of large timber species. *In*: Poorter L., Bongers F., Kouamé F. N'., Hawthorne W. (eds). Biodiversity of West African forests: An ecological atlas of woody plant species. CABI, 391-445. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851997346.0000

Stoyan D., Stoyan H., 1994. Fractals, Random Shapes, and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics. John Wiley, 389 p. https://www.wiley.com/en-ca/Fractals,+Random+Shapes+and+Point+Fields:+Methods+of+Geometrical+Statistics-p-9780471937579

Ganka *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	G. Ganka, A. B. Fandohan
Gestion des données	G. Ganka, A. B. Fandohan
Analyse formelle	G. Ganka, A. B. Fandohan, K. V. Salako
Acquisition des financements	G. Ganka, A. B. Fandohan
Enquête et investigation	G. Ganka
Méthodologie	G. Ganka, A. B. Fandohan, K. V. Salako
Gestion du projet	G. Ganka, A. B. Fandohan
Ressources	G. Ganka, A. B. Fandohan
Logiciels	G. Ganka, A. B. Fandohan, K. V. Salako
Supervision	A. B. Fandohan
Visualisation	G. Ganka
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	G. Ganka, A. B. Fandohan
Écriture – Révision et édition	G. Ganka, K. V. Salako, A. B. Fandohan

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Cirad - Campus international de Baillarguet,
34398 Montpellier Cedex 5, France
Contact : bft@cirad.fr - ISSN : L-0006-579X

Effet du type d'utilisation des terres sur l'état des populations de *Vitex doniana* Sweet en zone soudanienne du Burkina Faso

Hamadé Tidjani GUINDÉ[1]
Prospère SABO[1]
Bassiaka OUATTARA[2]
Amadé OUÉDRAOGO[1]

[1] Université Joseph Ki-Zerbo
Laboratoire de biologie et écologie végétales
03 BP 7021, Ouagadougou 03
Burkina Faso

[2] Université de Fada N'Gourma
Institut supérieur du développement durable
BP 54, Fada N'Gourma
Burkina Faso

Auteur correspondant / Corresponding author:
Hamadé Tidjani GUINDÉ – hamadeguinde@gmail.com

ORCID : https://orcid.org/0009-0003-1205-214X

Photo 1.
Individu adulte de *Vitex doniana*.
Adult Vitex doniana.

Doi : 10.19182/bft2023.357.a37026 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 31 octobre 2022 ; date d'acceptation : 12 mai 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Guindé H. T., Sabo P., Ouattara B., Ouédraogo A., 2023. Effet du type d'utilisation des terres sur l'état des populations de *Vitex doniana* Sweet en zone soudanienne du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 71-84. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a37026

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 71-84
RESEARCH / EFFECTS OF LAND USE TYPES

RÉSUMÉ

Effet du type d'utilisation des terres sur l'état des populations de *Vitex doniana* Sweet en zone soudanienne du Burkina Faso

Vitex doniana Sweet est une espèce forestière connue pour son importance socio-économique en raison de ses utilisations alimentaires, thérapeutiques et culturelles. Elle est actuellement menacée de disparition du fait des fortes pressions anthropiques qui nécessitent des mesures afin d'assurer sa gestion durable. La présente étude visait à évaluer l'état des populations de l'espèce dans trois types d'utilisation des terres correspondant à différentes intensités de perturbations anthropiques, à savoir les aires protégées, les zones pastorales et les zones de culture. À base d'un échantillonnage stratifié et orienté, 82 placettes de différentes tailles ont été installées en fonction de l'habitat considéré. Les données collectées ont concerné la hauteur totale et le diamètre du tronc à 1,30 m du sol des arbres de l'espèce. Les juvéniles ont été dénombrés, leur hauteur mesurée. Le mécanisme de régénération a été déterminé par excavation des juvéniles. L'état sanitaire des arbres a été évalué sur la base de la présence/absence d'infestation et de trace d'exploitation. Les résultats montrent une influence significative (p < 0,05) du type d'utilisation des terres sur la densité des individus, le diamètre moyen du tronc et l'état sanitaire des arbres. La densité des adultes était 3,35 et 2,49 fois respectivement plus élevée dans les zones pastorales et les aires protégées que dans les zones de culture (5,44 ± 2,80 arbres/ha). La régénération dans les aires protégées (43,83 ± 7,65 ind./ha) était 1,27 et 2,61 fois supérieure à celle de la zone pastorale et les zones de culture, respectivement. Les distributions en classe de diamètre présentent une allure en cloche pour les zones pastorales, en structure erratique pour les zones de cultures et en asymétrie positive dans les aires protégées. Le rejet de souche et le drageonnage sont les modes préférentiels de reproduction végétative de l'espèce. Plus de 90 % des individus rencontrés sont affectés par l'exploitation humaine, à savoir le prélèvement des feuilles par élagage des branches et la récolte de l'écorce et des racines. Nos résultats suggèrent un renforcement des mesures de protection de l'espèce et une meilleure valorisation de ses produits afin d'assurer sa conservation.

Mots-clés : espèce menacée, état sanitaire, pression anthropique, structure démographique, *Vitex doniana*.

ABSTRACT

Effects of land use types on the health status of *Vitex doniana* Sweet populations in Burkina Faso's Sudanian zone

Vitex doniana Sweet is a forest tree species of known socio-economic importance for its food, medicinal and cultural uses. It is currently threatened with extinction due to severe human pressure, so that measures need to be taken to ensure that its management is sustainable. The aim of this study was to assess the status of its populations in three types of land use situations corresponding to different intensities of human disturbance, namely protected areas, pastoral zones and cultivated areas. Based on stratified and oriented sampling, 82 plots of different sizes were set up according to the habitat under consideration. Data were collected for total tree height and trunk diameter at 1.30 m from the ground. Juveniles were counted and their heights measured. The regeneration mechanism was determined from excavation of the juveniles. The health of the trees was assessed on the basis of the presence/absence of infestation and traces left by their exploitation. The results show a significant influence (p < 0.05) of the type of land use on the density of individuals, the average diameter of the trunk and the health status of the trees. Adult tree density was 3.35 and 2.49 times higher in pastoral zones and protected areas respectively than in cultivated zones (5.44 ± 2.80 trees/ha). Regeneration in protected areas (43.83 ± 7.65 ind/ha) was 1.27 and 2.61 times higher than in pastoral and cultivated areas respectively. The diameter class distributions were bell-shaped in the pastoral zones, erratic in the cultivated zones and positively asymmetrical in the protected areas. Stump shoots and suckering are the main mechanisms of vegetative reproduction. More than 90% of the individuals found were affected by human uses: cut branches resulting in leaf removal and harvesting of bark and roots. Our results suggest that to ensure conservation of the species, protection measures need to be strengthened and use of its products better managed.

Keywords: endangered species, health status, human pressure, demographic structure, *Vitex doniana*.

RESUMEN

Efecto del tipo de uso de las tierras en el estado de las poblaciones de *Vitex doniana* Sweet en la zona sudanesa de Burkina Faso

Vitex doniana Sweet es una especie forestal conocida por su importancia socioeconómica debida a los usos alimenticios, terapéuticos y culturales. Actualmente está amenazada de desaparición a causa de las fuertes presiones antrópicas que hacen necesario tomar medidas para garantizar una gestión sostenible. Este estudio pretende evaluar el estado de las poblaciones de la especie en tres tipos de uso de las tierras que corresponden a diferentes intensidades de perturbaciones antrópicas: las zonas protegidas, las zonas pastorales y las zonas de cultivo. Mediante un muestreo estratificado y orientado, se establecieron 82 parcelas de diferentes tamaños en función del hábitat considerado. Los datos recogidos afectan a la altura total y el diámetro del tronco a 1,30 m del suelo de los árboles de la especie. Se contabilizaron los ejemplares jóvenes y se midió su altura. El mecanismo de regeneración se determinó con la excavación de ejemplares jóvenes. El estado fitosanitario de los árboles fue evaluado en función de la presencia/ausencia de infestación y de trazas de explotación. Los resultados muestran una influencia significativa (p < 0,05) del tipo de uso de las tierras en la densidad de individuos, el diámetro medio del tronco y el estado fitosanitario de los árboles. La densidad de adultos era 3,35 y 2,49 veces respectivamente más elevada en las zonas pastorales y las zonas protegidas que en las zonas de cultivo (5,44 ± 2,80 árboles/ha). La regeneración en las zonas protegidas (43,83 ± 7,65 individuos/ha) era 1,27 y 2,61 veces superior a la de la zona pastoral y a las zonas de cultivo, respectivamente. Las distribuciones en clase de diámetro presentan un porte en campana para las zonas pastorales, en estructura errática para las zonas de cultivo y en asimetría positiva en las zonas protegidas. El retoño y la propagación por estacas de raíz son los modos preferentes de reproducción vegetativa de la especie. Más del 90 % de individuos encontrados son afectados por la explotación humana debida a la extracción de hojas por la poda de las ramas y la recolección de la corteza y de las raíces. Nuestros resultados recomiendan un refuerzo de las medidas de protección de la especie y una mejor valorización de sus productos para garantizar su conservación.

Palabras clave: especie amenazada, estado fitosanitario, presión antrópica, estructura demográfica, *Vitex doniana*.

Introduction

Dans le contexte actuel des changements globaux, les pratiques d'occupation et d'utilisation des terres contribuent fortement à la dégradation de l'environnement (Muhoko *et al.*, 2020 ; Sabo *et al.*, 2021). La principale cause de dégradation des terres est l'expansion agricole qui concerne plus d'un tiers de la superficie terrestre (IPBES, 2019). Plusieurs études aux niveaux régional et local confirment cette situation qui induit la fragmentation du paysage forestier (Soulama *et al.*, 2016 ; Kaboré *et al.*, 2019 ; Ouattara *et al.*, 2021). Les perturbations anthropiques modifient de façon significative et irréversible la structure naturelle des peuplements forestiers avec pour conséquence la régression et la disparition de nombreuses espèces ligneuses utiles. La dégradation des populations végétales est caractérisée par la raréfaction ou l'absence de régénération (Traoré *et al.*, 2020 ; Balima *et al.*, 2020). Pour de nombreuses espèces locales à importance socio-économique, la volonté d'entreprendre des actions pour leur préservation et conservation est confrontée à la quasi-inexistence de données scientifiques.

C'est le cas de *Vitex doniana* Sweet (Lamiaceae) au Burkina Faso, espèce d'importance socio-économique reconnue (Ky, 2008 ; N'Danikou *et al.*, 2015 ; Vinceti *et al.*, 2022) mais disposant de peu de documentation sur ses ressources. Les quelques données disponibles sur l'espèce au niveau local concernent ses usages (Ky, 2008). *V. doniana* est une importante espèce agroforestière appréciée par les communautés locales. Les fruits et les feuilles de *V. doniana* sont les parties les plus utilisées, notamment dans l'alimentation. Les jeunes feuilles qui apparaissent durant la période de soudure (mai-septembre) sont employées comme condiment dans la préparation des sauces (Vinceti *et al.*, 2022). Le fruit constitue la partie la plus valorisée de l'espèce. Il est consommé cru et commercialisé sur les marchés ruraux et urbains. Très riche en vitamines A et B, en glucides et en micronutriments, la pulpe entre dans la préparation de boissons fraîches ou alcoolisées (Dadjo *et al.*, 2012). Les graines sont également transformées en thé (Ky, 2008). Les feuilles, les racines et les écorces sont utilisées en médecine traditionnelle et moderne pour le traitement d'une grande variété de maladies telles que les avitaminoses, les dermatoses, l'épilepsie (Ajiboye, 2015). Le bois de *V. doniana* entre dans la construction des maisons et dans la confection des manches de daba, des crosses de fusil, des tambours, etc. Il est également valorisé sous forme de bois-énergie (Ky, 2008 ; N'Danikou *et al.*, 2015). Des études ethnobotaniques révèlent qu'au Bénin *V. doniana* figure parmi les espèces les plus fréquemment utilisées comme source de fourrage (Sèwadé *et al.*, 2016). La grande diversité des usages des organes de l'espèce et les méthodes de collecte telles que l'émondage, l'abattage des arbres et l'écorçage combinées à une faible régénération naturelle conduisent à la régression de ses populations (Hounkpevi *et al.*, 2018). Des études ont identifié *V. doniana* comme une espèce menacée en raison de la surexploitation et de la péjoration climatique (Oumorou *et al.*, 2010 ; Hounkpevi *et al.*, 2016). *V. doniana* figure sur une liste de 60 espèces menacées au Burkina Faso (Thiombiano et Kampmann, 2010).

La pression anthropique sur les terres est reconnue comme un des facteurs influençant la structure des peuplements forestiers et leur état de conservation (Abdourhamane *et al.*, 2017 ; Sabo *et al.*, 2021). Plusieurs études ont évalué son impact sur les caractéristiques dendrométriques des espèces pourvoyeuses de produits forestiers non ligneux (PFNL) en Afrique de l'Ouest (Djossa *et al.*, 2008 ; Bonde *et al.*, 2013 ; Assogba *et al.*, 2020). Elle entraîne la destruction de leurs habitats naturels avec pour conséquence un confinement de ces espèces dans les zones protégées. Dans leur approche de comparaison des types d'utilisation des terres, ces études ne distinguent souvent pas les différents niveaux d'anthropisation. En effet, les zones anthropisées peuvent présenter différents niveaux d'intensité de pression qui permettent de distinguer, par exemple, les champs des jachères et des aires pastorales exclusivement destinées à l'élevage transhumant. Dans le contexte actuel de régression des formations naturelles au profit des superficies cultivées, l'étude des caractéristiques dendro-démographiques des espèces végétales pourvoyeuses de PFNL suivant un gradient de type d'utilisation des terres peut aider à mieux évaluer les effets des actions anthropiques sur leur état de conservation, en vue d'orienter les stratégies de leur gestion durable. Une telle démarche est d'autant pertinente pour *V. doniana* qu'elle pousse dans divers habitats sous emprise humaine. Pour les espèces ligneuses, notamment les arbres, l'étude des paramètres dendrométriques et de la structure démographique fournit des outils fiables d'appréciation de la dynamique du peuplement forestier et de ses potentialités en ressources (Rondeux,1999 ; Theau *et al.*, 2010). Les structures démographiques horizontales et verticales des arbres sont révélatrices des évènements liés à la vie de ces peuplements (Theau *et al.*, 2010) et permettent de faire des projections sur leur développement en vue d'un aménagement efficient et durable. La présente étude vise à évaluer l'état des populations de *V. doniana* suivant trois types d'utilisation des terres, les aires protégées, les zones pastorales et les zones de culture, correspondant à différents niveaux de perturbations anthropiques.

Les objectifs spécifiques de l'étude étaient de déterminer les caractéristiques dendrométriques des individus de *V. doniana* dans les populations naturelles, de décrire les structures démographiques horizontale et verticale de l'espèce et enfin d'évaluer l'état sanitaire des arbres dans les populations naturelles de l'espèce. L'hypothèse de recherche qui sous-tendait cette étude est que les paramètres démographiques de *V. doniana* révèlent des populations connaissant une tendance de dégradation aggravée par la pression anthropique.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 71-84
RESEARCH / EFFECTS OF LAND USE TYPES

Méthodes

Zone d'étude

L'étude a été menée dans la commune de Boni, située dans la zone soudanienne du Burkina Faso, entre 3°29' et 3°16' de longitude Ouest et entre 11°21' et 11°39' de latitude Nord (figure 1). Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie annuelle de 900 à 1 100 mm (Dipama, 2010). Les pluies sont distribuées de façon unimodale avec un pic généralement observé en août. Les données climatiques de la zone d'étude montrent une diminution de la pluviosité de 70 mm par année par rapport à la décennie 2001-2010 (Bonde *et al.*, 2013). La végétation est caractérisée par un fond floristique soudanien dont les espèces ligneuses remarquables sont *Isoberlinia doka* Craib & Stapf, *Terminalia avicennioides* Guill. & Perr., *Terminalia laxiflora* Engl. & Diels, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel, *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (Boussim, 2010). Dans les formations anthropisées, la végétation est dominée par les espèces ligneuses pourvoyeuses de PFNL épargnées lors des travaux de défrichage, notamment celles à fruits comestibles comme *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, *Tamarindus indica* L., *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause. La couverture pédologique est constituée de sols peu évolués, de sols ferrugineux tropicaux lessivés et de sols hydromorphes (BUNASOLS, 2002). La commune de Boni compte différentes zones écologiques réparties en forêts classées, en agro-systèmes, en zones de culture et en zones non cultivables (collines, buttes et plateaux cuirassés). La commune offre ainsi les possibilités d'observer différents types d'utilisation des terres et d'apprécier les influences anthropiques sur l'espèce. Les principales activités socio-économiques des populations de la commune sont l'agriculture, l'élevage (INSD, 2020) et la collecte des produits forestiers non ligneux, principalement pratiquée par les femmes.

Description de l'espèce étudiée

Vitex doniana Sweet (photo 1), encore appelée prunier noir, est une espèce locale d'arbre à feuilles caduques de la famille des Lamiaceae (ex-Verbenaceae). Les arbres ont une hauteur moyenne comprise entre 8 et 18 m, mais peuvent atteindre 25 m (Arbonnier, 2019). Le tronc brun pâle à blanc grisâtre est finement et longitudinalement fissuré (Arbonnier, 2019 ; Hounkpevi *et al.*, 2016). Les feuilles sont opposées, composées, digitées, à cinq folioles pubescentes devenant glabres (photo 2A). La fleur hermaphrodite est formée de cinq pétales de couleur violette avec une pièce plus grande par rapport aux autres (photo 2B). Le fruit est une drupe, ellipsoïde et glabre, d'environ 3 cm de long, entourée à la base du calice persistant en cupule (photos 2CD) (Agbani *et al.*, 2017). La maturation des fruits s'étend de mai à septembre, pouvant aller jusqu'en

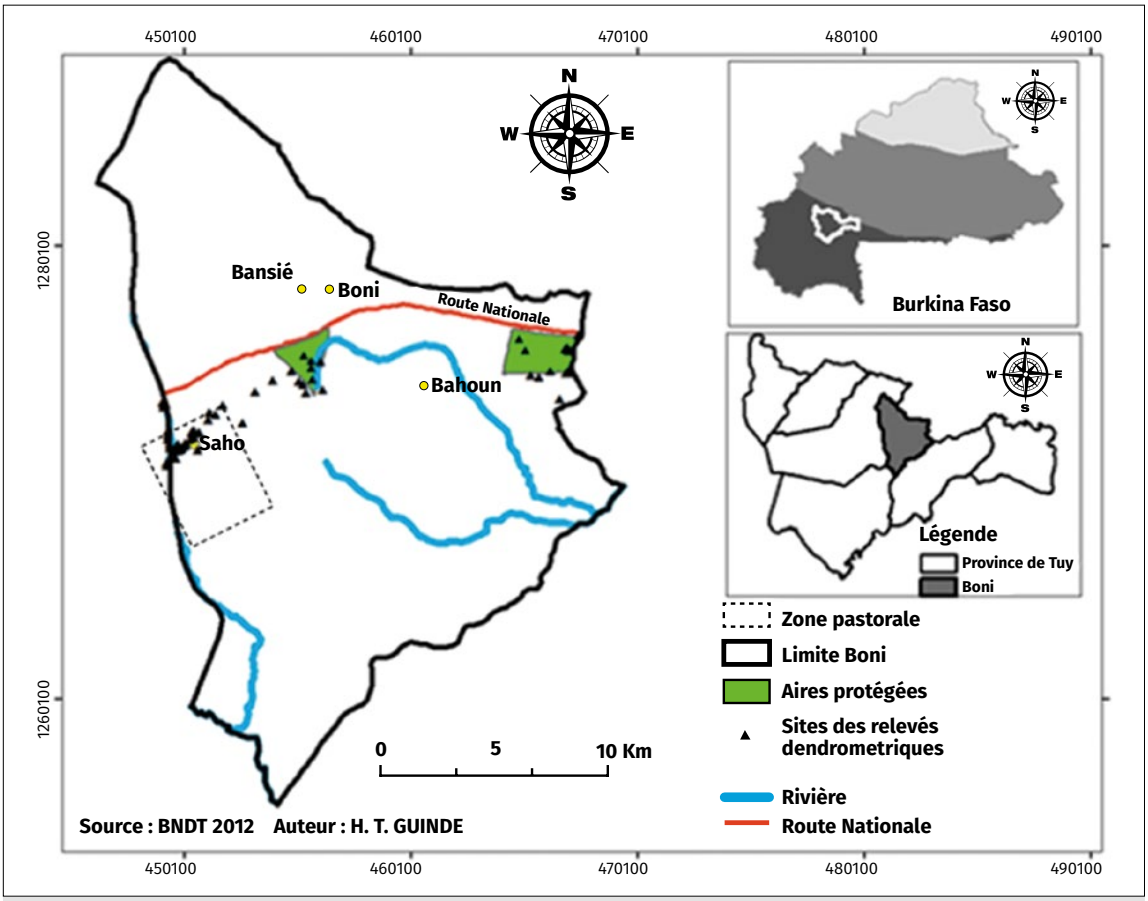


Figure 1.
Localisation de la zone d'étude.
Location of the study area.

Photos 2.
Quelques organes de *Vitex doniana* : (A) feuilles composées et digitées, (B) fleurs, (C) fruits immatures, (D) fruits matures.
Some organs of Vitex doniana: (A) compound and digitate leaves, (B) flowers, (C) immature fruits, (D) mature fruits.

décembre dans les conditions climatiques du Burkina Faso (Vinceti *et al.*, 2022). C'est une espèce ligneuse dont l'aire de distribution recouvre toute l'Afrique tropicale, depuis le Sénégal jusqu'en Somalie et en Afrique du Sud (Arbonnier, 2019). On la trouve dans divers habitats, des forêts aux savanes, de préférence dans les milieux humides le long des rivières (Sambaré *et al.*, 2020). Elle est fréquente dans les mosaïques de terres cultivées et en jachère ainsi que dans les zones environnantes des cours d'eau sur des distances de moins de 500 m (Hounkpevi *et al.*, 2018). Elle pousse sur une variété de sols, mais le plus souvent sur les sols alluviaux (Arbonnier, 2019).

Échantillonnage et collecte des données

Les données ont été collectées dans trois types d'utilisation des terres, à savoir les aires protégées, les zones pastorales et les zones de culture. Pour ce qui est des aires protégées, deux forêts classées sont retenues : la forêt classée de Bahoun (1 600 ha) et la forêt classée de Bansié (300 ha). Une zone pastorale a été concernée, celle de Saho, qui est consacrée uniquement au pâturage, d'une superficie de 2 500 ha. Les zones de culture regroupent les champs en culture et les jachères.

Un échantillonnage stratifié (selon les types d'utilisation des terres) et orienté (présence de *V. doniana*) a été adopté pour la collecte de données. Dans les aires protégées et les zones pastorales, des placettes carrées de 900 m² (30 m x 30 m) ont été installées. Quant aux zones de culture, les unités d'échantillonnage étaient des placettes carrées de 2 500 m² (50 m x 50 m). La taille des placettes était celle recommandée pour les études d'analyse structurale des populations d'espèces végétales dans les écosystèmes soudaniens (Thiombiano *et al.*, 2016). Au total, 82 placettes ont été installées, à raison de 32 dans les aires protégées, 25 dans les zones pastorales et 25 dans les zones de culture. Les données collectées ont concerné le diamètre du tronc à 1,30 m du sol (dbh) et la hauteur totale de tous les arbres (dbh ≥ 5 cm) de *V. doniana*. Concernant la régénération, les juvéniles (dbh < 5 cm) ont été dénombrés et leur hauteur a été mesurée. Le processus de régénération a également été déterminé par excavation. L'état sanitaire des arbres a été évalué. Ainsi, les traces d'exploitation humaine (émondages, écorçages, prélèvements de racines, etc.) et d'infestation ont été appréciées de manière qualitative. Une codification à deux niveaux a été retenue : présence de traces d'exploitation ou d'infestation (1), absence (0).

Traitement et analyse des données

Caractéristiques dendrométriques

Les valeurs moyennes des différents paramètres dendrométriques de *V. doniana* ont été calculées suivant les types d'utilisation des terres (tableau I). La densité des arbres et celle des individus de la régénération ont été comparées suivant le type d'utilisation des terres en utilisant des modèles linéaires généralisés (GLM) ou régressions de Poisson. Le test non paramétrique de Kruskall-Wallis a été retenu pour comparer la surface terrière, la hauteur moyenne et le diamètre moyen en fonction des types d'utilisation des terres. Le test *ad hoc* de Tukey a été adopté pour la structuration des médianes.

Structures démographiques

Les structures en classe de diamètre et de hauteur des populations de *V. doniana* ont été établies pour les trois types d'utilisation des terres. Les données de mesure de diamètre du tronc des arbres ont été regroupées en 13 classes selon une amplitude de 5 cm. La structure démographique de la régénération a été établie sur la base

Tableau I.
Description des paramètres dendrométriques.
Description of dendrometric parameters.

Paramètres	Formules	Interprétations
Densité (arbres/ha)	$N=\frac{n}{S}$	Nombre moyen d'arbres par hectare ; n étant le nombre total d'individus adultes et S la surface de la placette (en ha) (Philip, 2002)
Diamètre moyen (cm)	$Dg=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} di^2}$	Diamètre moyen du tronc (Dg en cm) ; n étant le nombre total d'individus adultes (dhp ≥ 5 cm) de la placette et di le dhp de l'individu i
Surface terrière (m^2 /ha)	$G=\frac{\pi}{40000\,S}\sum_{i=1}^{n} di^2$	Somme des sections transversales des individus adultes (dhp ≥ 5 cm) ; di est le dhp de l'individu i (Philip, 2002)
Hauteur moyenne (m)	$H=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} hi$	Hauteur moyenne des individus adultes ; hi est la hauteur totale de l'individu i
Densité moyenne de régénération (plantules/ha)	$Nr=\frac{1}{S}\sum_{i=1}^{s} dri$ avec $dri=\frac{ni}{Sq}$	Nombre moyen d'individus juvéniles (dbh < 5 cm) par hectare (Poupon, 1970)

Tableau II.
Interprétation de la distribution de Weibull suivant les valeurs du paramètre de forme « c ».
Interpretation of the Weibull distribution according to the values of the shape parameter "c".

Valeur du paramètre « c »	Interprétation
c < 1	Distribution en J-renversé, caractéristique des peuplements multispécifiques à fort potentiel de régénération.
c = 1	Distribution exponentiellement décroissante, caractéristique de populations à fort potentiel de régénération mais confrontées à un problème de survie dans la succession des stades de développement.
1 < c < 3,6	Distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, caractéristique des peuplements monospécifiques avec principalement des individus jeunes (petites classes de diamètre). Elle peut également être caractéristique de populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes, surtout sur les individus jeunes (petites classes de diamètre).
c = 3,6	Distribution symétrique (structure normale), caractéristique des populations d'espèces à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes.
c >3,6	Distribution asymétrique négative ou asymétrie gauche, caractéristique des peuplements monospécifiques avec principalement des individus âgés (grandes classes de diamètre).

de neuf classes de hauteur d'amplitude 25 cm. Les structures observées ont été ajustées par une surimposition de la distribution théorique de Weibull à trois paramètres (a, b et c) et deux paramètres (le paramètre de position « a » étant alors nul), respectivement pour les strates des adultes et de la régénération (Glèlè Kakaï *et al.*, 2016). Cette distribution se caractérise par une fonction de densité de probabilité f(x), définie selon l'équation suivante (Johnson et Kotz, 1970) :

$$f(x)=\frac{c}{b}\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1}\exp\left\{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c}\right\} \qquad \text{(équation 1)}$$

où x est le diamètre du tronc de l'arbre à 1,30 m du sol ou la hauteur des juvéniles, a est le paramètre de position ou seuil, b est le paramètre d'échelle ou de taille, et c est le paramètre de forme lié à la structure observée.

La distribution de Weibull peut prendre plusieurs formes selon la valeur du paramètre de forme (tableau II) (Husch *et al.*, 2003). Une analyse log-linéaire a été effectuée pour vérifier la concordance entre la structure observée et celle de la distribution théorique de Weibull.

Des distributions de fréquence sous forme d'histogrammes en barres empilées ont été réalisées pour apprécier l'état sanitaire des arbres dans les populations de *V. doniana* suivant les types d'utilisation des terres. Un test d'indépendance de khi-2 a été effectué pour tester la dépendance ou non entre l'état sanitaire des individus et le type d'utilisation des terres. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.0.0 (R Core Team, 2020).

Tableau III.
Paramètres dendrométriques (moyenne ± écart-type) des populations de *V. doniana* en fonction des types d'utilisation des terres.
Dendrometric parameters (mean ± standard deviation) of V. doniana populations as a function of land use type.

Paramètres dendrométriques	Types d'utilisation des terres			p
	Zones pastorales	Aires protégées	Zones de culture	
N (arbres/ha)	18,22 ± 10,57[a]	13,54 ± 4,66[a]	5,44± 2,80[b]	< 0,001
G (m²/ha)	1,45 ± 1,33[a]	1,14 ± 1,44[a]	0,72 ± 0,46[a]	0,144
Dg (cm)	27,06 ± 9,22[a]	29,62 ± 16,81[ab]	37,04 ± 16,99[b]	0,04
H (m)	8,78 ± 4,26[a]	8,38 ± 3,06[a]	9,25 ± 6,60[a]	0,845

Les valeurs moyennes des paramètres dans une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
p = probabilité du test statistique.

Tableau IV.
Densité (individus/ha) et pourcentage des différents mécanismes de régénération de *V. doniana* suivant les types d'utilisation des terres.
Density (individuals/ha) and percentage of different V. doniana regeneration mechanisms according to land use type.

Mécanisme de régénération	Types d'utilisation des terres			p
	Zones pastorales	Aires protégées	Zones de culture	
Densité globale	34,44 ± 9,72[a] (100 %)	43,83 ± 7,65[b] (100 %)	16,80 ± 3,36[c] (100 %)	0,037
Drageonnage	11,11 ± 7,77[a] (23 %)	6,17 ± 2,24[b] (10 %)	8,40 ± 2,83[ab] (37 %)	< 0,001
Rejet de souche	22,22 ± 4,74[a] (45 %)	22,22 ± 3,65[a] (38 %)	6,50 ± 1,58[b] (28 %)	< 0,001
Semis naturel	15,55 ± 6,08[a] (32 %)	30,76 ± 22,29[b] (52 %)	8,00 ± 6,08[c] (35 %)	< 0,001

Les valeurs moyennes des paramètres dans une même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
p = probabilité du test statistique.

Résultats

Densité des populations et caractéristiques dendrométriques des arbres de *V. doniana* suivant les types d'utilisation des terres

La densité moyenne globale des populations de *V. doniana* est de 12,49 arbres à l'hectare. Elle varie significativement en fonction des types d'utilisation des terres (p < 0,001), la densité la plus faible étant observée dans les zones de culture (5,44 ± 2,80 arbres/ha). La densité est 3,35 et 2,49 fois respectivement plus élevée dans les zones pastorales (18,22 ± 10,57 arbres/ha) et les aires protégées (13,54 ± 4,66 arbres/ha) que dans les zones de culture (tableau III). Le diamètre moyen du tronc des arbres de *V. doniana* varie significativement (p < 0,05) suivant les types d'utilisation des terres, avec les valeurs les plus élevées dans les zones de culture et les plus faibles dans les aires protégées (tableau III). Cependant, le type d'utilisation des terres n'a pas d'influence significative sur la surface terrière et la hauteur moyenne des arbres de *V. doniana*.

En ce qui concerne la régénération de *V. doniana*, la densité moyenne globale est de 34,24 individus à l'hectare. La variation suivant les types d'utilisation des terres révèle une densité significativement (p = 0,037) plus élevée dans les aires protégées (43,83 ± 7,65 ind./ha) (tableau IV). Les processus de reproduction naturelle de *V. doniana* sont les semis, les rejets de souche et le drageonnage. Les semis naturels représentent la stratégie de multiplication la plus observée avec des valeurs statistiquement différentes d'un type d'utilisation des terres à un autre (p < 0,001). Elles sont 1,98 et 3,85 fois plus élevées dans les aires protégées que respectivement dans les zones pastorales et les zones de culture (tableau IV). Les rejets de souche, qui constituent la seconde voie de régénération de l'espèce, présentent des valeurs significativement différentes (p < 0,01) suivant le

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 71-84
RESEARCH / EFFECTS OF LAND USE TYPES

type d'utilisation des terres. Les plus grandes valeurs sont observées dans les aires protégées et les zones pastorales (tableau IV). Le drageonnage constitue la principale voie de multiplication de l'espèce dans les zones de culture où les activités humaines sont intenses.

Structure des populations de *V. doniana* suivant les types d'utilisation des terres

Dans les zones pastorales, la structure de la distribution en classes de diamètre des arbres de *V. doniana* présente une forme en « cloche » (figure 2) traduisant une dominance des arbres de diamètres intermédiaires (15 à 40 cm) par rapport à ceux des classes extrêmes. La structure démographique pour les zones de culture présente une forme en « dent de scie ou structure erratique » (figure 2), reflétant une répartition très irrégulière des effectifs dans les classes de diamètre. Toutefois, les arbres à gros diamètre sont bien représentés (dhp > 35 cm ; 53,3 %). Les valeurs du paramètre de forme « c » de la distribution de Weibull dans les zones pastorales et les

Tableau V.
Ajustement des distributions en classes de diamètre et en hauteur aux distributions de Weibull : résultats d'analyse log-linéaire.
Fitting diameter class and height distributions to Weibull distributions: results of log-linear analysis.

Types d'utilisation des terres	Strate adulte		Strate juvénile	
	χ^2	p	χ^2	p
Zones pastorales	2,39	0,98	8,81	0,11
Zones de culture	1,01	0,99	1,22	0,99
Aires protégées	1,75	0,99	4,35	0,82

p = probabilité du test statistique.

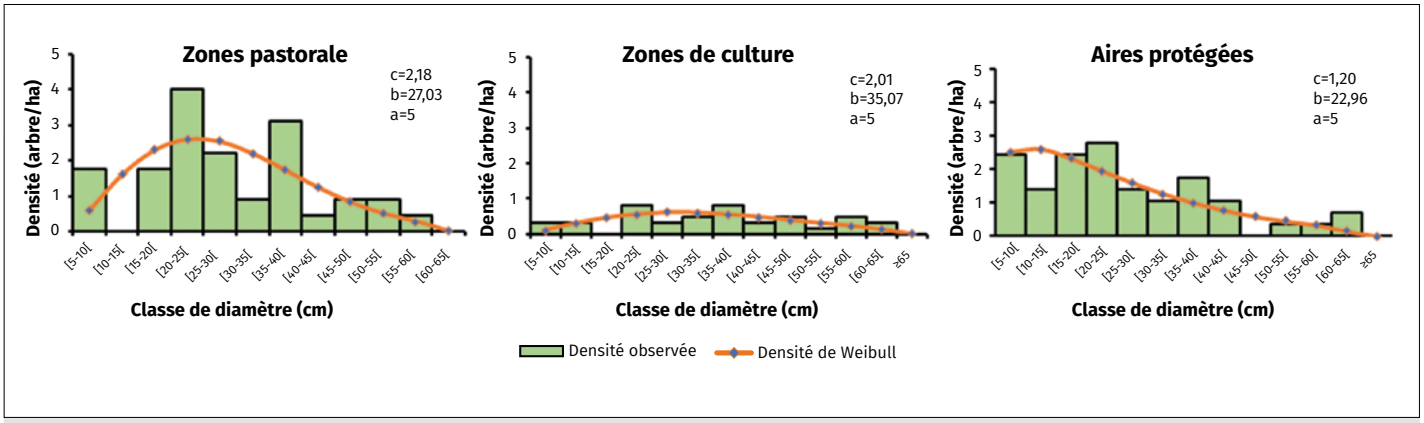


Figure 2.
Structure en diamètre des individus adultes de *Vitex doniana* dans chaque type d'utilisation des terres avec imposition de leurs distributions théoriques de Weibull à trois paramètres (de position a, d'échelle b et de forme c).
Diameter structure of adult Vitex doniana individuals in each land use type with imposition of their theoretical three-parameter Weibull distributions (of position a, scale b and shape c).

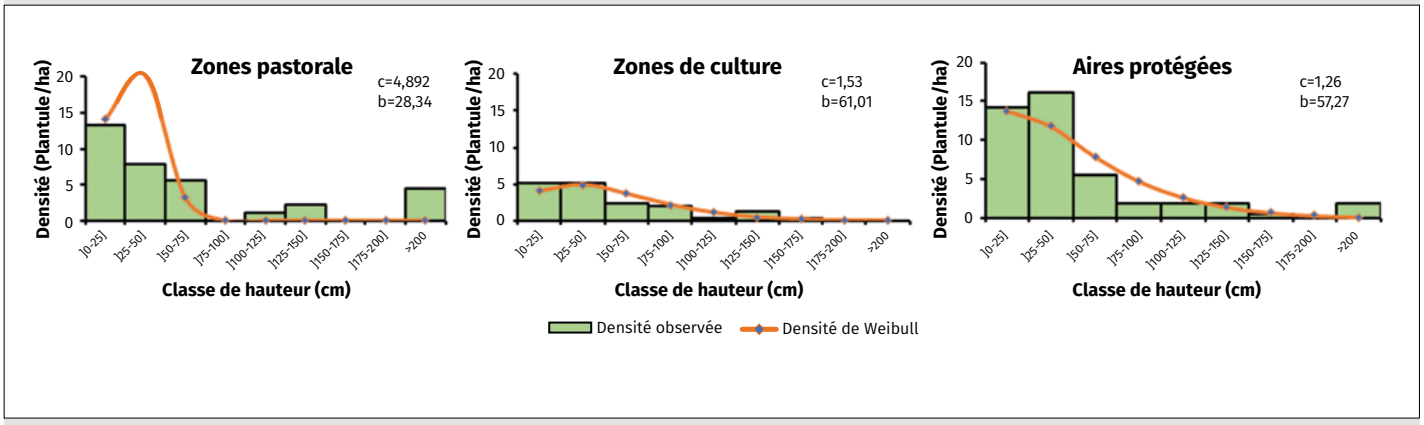


Figure 3.
Structure en hauteur des individus de la régénération de *Vitex doniana* dans chaque type d'utilisation des terres avec imposition de leurs distributions théoriques de Weibull à deux paramètres (d'échelle b et de forme c).
Height structure of Vitex doniana regeneration individuals in each land use type with imposition of their theoretical two-parameter Weibull distributions (scale b and shape c).

zones de culture, respectivement égales à 2,18 et 2,01, sont caractéristiques des populations à faible potentiel de régénération. La structure démographique dans les aires protégées présente une distribution asymétrique positive (figure 2), traduisant une dominance des individus de petit diamètre. Les analyses log-linéaires montrent que les distributions observées s'ajustent bien aux distributions théoriques de Weibull (tableau V).

La distribution en classes de hauteur de la strate de régénération présente une allure en forme de « J » renversé, traduisant une prédominance des individus de petite taille (figure 3). Cette allure est caractéristique d'un bon potentiel de renouvellement des populations. Cependant, la baisse des effectifs dans les classes de plus 50 cm de hauteur révèle des difficultés de survie des juvéniles. L'analyse log-linéaire montre que les structures observées pour les types d'utilisation des terres s'ajustent bien aux distributions théoriques de Weibull à deux paramètres (tableau V).

État sanitaire des arbres dans les populations de *V. doniana*

Le test de khi-2 a montré que la présence de traces d'exploitation humaine (χ^2 = 13,614 ; ddl = 2 ; p = 0,001) et d'infestation (χ^2 = 10,779 ; ddl = 2 ; p = 0,004) sur les individus de *V. doniana* est dépendante du type d'utilisation des terres. Les types d'utilisation des terres les plus impactés par les exploitations humaines sont les zones de culture, suivies des zones pastorales (figure 4). Dans ces zones, les arbres de *V. doniana* subissent fréquemment l'écorçage, les coupes complètes, les feux de végétation, l'émondage et les prélèvements de racines (photos 3). Par contre, les individus de *V. doniana* sont plus infestés (44,4 %) dans les aires protégées. Les principales menaces parasitaires sur les sujets de *V. doniana* sont les attaques d'insectes nuisibles, foreurs du tronc (photo 4A), et le parasitisme des Loranthaceae (photo 4B). Dans les zones pastorales et les aires protégées, on observe des individus sains ne présentant des traces ni d'exploitation humaine, ni de parasitisme (respectivement 10,8 % et 17,8 %).

Photos 3.
Facteurs de perturbations humaines sur *Vitex doniana* : (A) écorçage, (B) coupe complète, (C) action du feu sur les juvéniles, (D) individus émondés.
Human disturbance factors on Vitex doniana: (A) debarking, (B) complete felling, (C) fire action on juveniles, (D) pruned individuals.

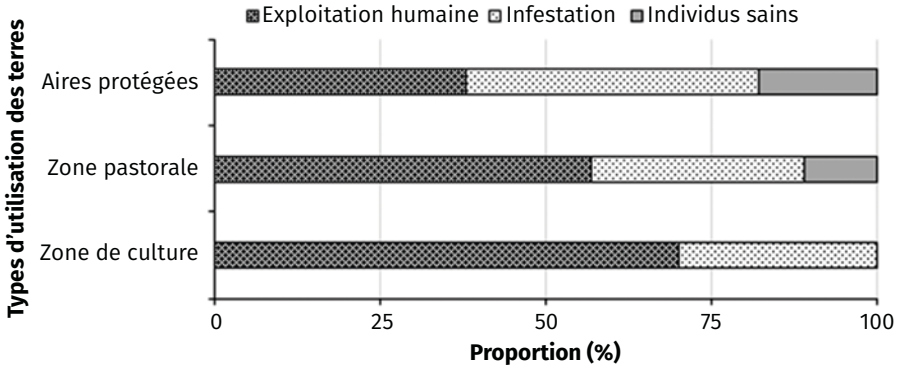


Figure 4.
Distribution des fréquences des traces de perturbations anthropiques et parasitaires sur les individus de *Vitex doniana*.
Frequency distribution of traces of anthropogenic and parasitic disturbance on Vitex doniana individuals.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 71-84
RESEARCH / EFFECTS OF LAND USE TYPES

Discussion

Effets des types d'utilisation des terres sur les densités des populations et les caractéristiques dendrométriques de *V. doniana*

La densité des arbres dans les populations a varié significativement suivant les types d'utilisation des terres. Les aires protégées et les zones pastorales ont présenté des densités comparables et significativement plus élevées par rapport à celle des zones de culture. Cette situation résulte de l'impact négatif des pratiques agricoles, notamment les défrichements intensifs et répétés, la sélection des espèces utilitaires par les agriculteurs et la culture sur brûlis. Ces résultats corroborent ceux de nombreux travaux (Abdourhamane *et al.*, 2017 ; Balima *et al.*, 2020 ; Sabo *et al.*, 2021) qui ont aussi montré l'impact négatif de ces pratiques agricoles sur la densité des espèces ligneuses. La densité des arbres de *V. doniana* dans la zone de culture obtenue dans la présente étude est nettement inférieure à celle trouvée par Hounkpevi *et al.* (2018) dans les mosaïques de champs et jachères de la zone soudanienne du Bénin, qui est de 17,30 ± 10,71 arbres/ha. En revanche, elle est largement supérieure à celle rapportée par Oumorou *et al.* (2010), d'une valeur de 0,8 ± 0,2 arbre/ha. Les aires protégées, relativement soustraites à ces perturbations anthropiques, bénéficient de conditions favorables à l'installation et au développement de l'espèce, ce qui explique sa densité qui y est significativement plus élevée. Cette explication est en accord avec les résultats de Traore *et al.* (2020) et Bondé *et al.* (2013), qui ont montré que les exploitations anthropiques à l'intérieur des espaces protégés de la zone soudanienne du Burkina Faso n'affectent pas la diversité floristique des ligneux. Les plus gros arbres de *V. doniana* se rencontrent dans les zones de culture, ce qui peut s'expliquer par la faible compétition pour les nutriments et la lumière dans ce type d'utilisation des terres. En effet, les individus épargnés dans les champs bénéficient de plus de ressources nutritives et suffisantes à cause de la faible densité des arbres. Par ailleurs, les agriculteurs ne conserveraient dans les champs que des individus ayant des caractères intéressants (gros fruits juteux, pulpe épaisse, etc.). Des résultats similaires sont rapportés sur le karité, *Vitellaria paradoxa,* dans le département de l'Atacora au Bénin (Aleza *et al.*, 2015), où l'espèce bénéficie d'autant d'attention que les cultures. Cependant, la surface terrière, dépendante du diamètre moyen du tronc, devrait également varier suivant le type d'utilisation des terres (Bonou *et al.*, 2009), ce qui n'a pas été le cas. Cela s'explique par la quasi-absence de compétition, notamment pour la lumière, dans ces formations ouvertes représentées par des savanes, étant donné que la surface terrière est une grandeur indicatrice de la concurrence entre les arbres d'un même peuplement forestier. Cela pourrait justifier également la non-variation de la hauteur moyenne des arbres entre les types d'utilisation des terres.

Effets des types d'utilisation des terres sur la régénération naturelle de *V. doniana*

Les résultats ont montré que la densité de la régénération naturelle de *V. doniana* diminue avec l'augmentation de la pression anthropique. Dans les zones de culture, la densité de la régénération naturelle est faible à nulle. Cette situation s'explique, d'une part, par la destruction des plantules lors des défrichages des champs et, d'autre part, par la collecte intensive des fruits qui réduit considérablement le potentiel de régénération naturelle. Du fait de la rareté des arbres de l'espèce, dans certains agrosystèmes, tous les fruits des semenciers sont récoltés pour des usages domestiques. Par ailleurs, les plus fortes densités de régénération de *V. doniana* dans les aires protégées confirment l'importance de ces zones dans la protection et le renouvellement des populations ligneuses des espèces menacées, comme le soutiennent Haarmeyer *et al.* (2013) à propos de *Lannea microcarpum* Engl. & K. Krause qui pousse dans le même environnement. Bien qu'elle soit plus élevée que celle des arbres, la densité globale de la régénération de *V. doniana* reste faible comparativement à d'autres espèces ligneuses pourvoyeuses de PFNL des savanes africaines, comme *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn, *Bombax costatum* Pellegr. & Vuill., *Boswelia dalzielii* Hutch, etc. (Kagambèga *et al.*, 2019 ; Traore *et al.*, 2020 ; Sabo *et al.*, 2021). Cette situation est révélatrice d'un niveau préoccupant de vulnérabilité de l'espèce.

Photos 4.
Principales menaces parasitaires sur les individus de *Vitex doniana* : (A) attaques d'insectes nuisibles foreurs du tronc, (B) parasitisme par des Loranthaceae.
Main parasitic threats to Vitex doniana individuals: (A) attacks by trunk-boring insect pests, (B) parasitism by Loranthaceae.

Photos 5.
Mécanismes de régénération de *Vitex doniana* : (A) drageonnage, (B) rejet de souche.
Vitex doniana regeneration mechanisms: (A) suckering, (B) stump rejection.

Les structures de la distribution en classes de hauteur de la régénération révèlent un confinement dans les petites classes, traduisant des difficultés pour les recrues de s'affranchir. La croissance assez lente des plantules de *V. doniana* (N'Danikou *et al.*, 2014) les rendrait vulnérables aux piétinements des animaux, aux feux de végétation et à la sécheresse, comme cela a été rapporté pour d'autres espèces ligneuses en zones semi-arides (Ouédraogo *et al.*, 2006).

V. doniana se régénère par semis naturel, rejets de souche et drageonnage (photos 5). Le rejet de souche et le drageonnage représentent les modes préférentiels de reproduction végétative de l'espèce. Les rejets sont issus des jeunes plants détruits par les feux de végétation et les grands arbres abattus. Le drageonnage est favorisé par les stress que subissent les racines lors des défriches et labours. Belem *et al.* (2008) ont également envisagé le drageonnage comme une réponse aux multiples blessures des racines lors des travaux de labour chez *B. costatum*. La faculté de l'espèce à se régénérer de façon végétative constitue une stratégie de survie face au « surpassement » de ses capacités de reproduction sexuée face aux perturbations du milieu (Hoffmann, 1998).

Effets des types d'utilisation des terres sur les structures démographiques de *V. doniana*

Les structures démographiques révèlent que les populations de *V. doniana* dans les aires protégées sont plus stables comparativement aux zones pastorales et de culture. Ces dernières ont présenté une structure de distribution en classes de diamètre caractéristique des peuplements perturbés à faible potentiel de régénération. Dans les zones pastorales, le pâturage et les prélèvements d'organes à usage médicinal et alimentaire sont les causes de la dégradation des populations de l'espèce (Sèwadé *et al.*, 2016 ; Hien *et al.*, 2021). L'effet de l'exploitation anarchique des arbres se manifeste par des dégâts de diverses formes dus à l'étêtage, l'émondage intensif, aux coupes et à l'écorçage qui conduisent à la mort des arbres (photos 3). Dans les zones de culture, l'irrégularité de la succession des effectifs dans les classes de diamètre résulte de l'effet des multiples perturbations dues aux défrichements, au brûlis et au labour. Plusieurs études ont semblablement montré les impacts négatifs de l'expansion agricole sur la régénération des espèces ligneuses dans les savanes soudaniennes (Oumorou *et al.*, 2010 ; Abdourhamane *et al.*, 2017 ; Kabré *et al.*, 2020). Dans les aires protégées, les structures démographiques reflètent une relative stabilité caractérisée par une régénération régulière. Cependant, la conservation des espèces menacées dans les agrosystèmes n'est pas garantie dans les aires protégées au regard de la pression anthropique croissante sur ces dernières (Devineau, 2010 ; Bondé *et al.*, 2013).

État sanitaire de *V. doniana*

Dans les populations de *V. doniana*, on observe des taux supérieurs à 90 % d'individus affectés par l'exploitation humaine. Cette situation est due au prélèvement des feuilles par l'élagage des branches et à la récolte de l'écorce et des racines. L'intensité des prélèvements combinée à l'abattage des arbres aboutira à la disparition de

l'espèce (Oumorou *et al.*, 2010 ; Hien *et al.*, 2021) si la tendance de pression actuelle se maintient. Les prélèvements anarchiques et excessifs ont pour conséquence l'affaiblissement des individus, ce qui les rend plus vulnérables aux attaques parasitaires (Ouédraogo *et al.*, 2006). Les taux d'infestation relativement plus faibles dans les zones anthropisées, notamment les zones de culture, pourraient s'expliquer par le fait que les plantes parasitées sont immédiatement détruites par l'exploitant lorsqu'il les observe dans le champ.

Implications pour la conservation

La présente étude a évalué les impacts des perturbations humaines sur la population de *V. doniana* dans trois types d'utilisation des terres. Bien que *V. doniana* bénéficie de mesures de protection par le code forestier burkinabè, les résultats ont montré que les populations de l'espèce sont globalement menacées. Paradoxalement, le constat est que c'est la pression anthropique qui est la principale cause de menace pour l'espèce, révélant l'inefficacité du code forestier à inverser la tendance régressive des populations de l'espèce dans la zone d'étude. La gestion participative des aires protégées prévoyant l'inclusion des populations locales, de même que des actions de sensibilisation, permettront de sauvegarder cette espèce à haute valeur socio-économique. Nous suggérons, par exemple, la prise en compte des éleveurs dans la gestion et la protection de cet arbre de bonne valeur fourragère. Le rejet de souche et le drageonnage représentent les modes préférentiels de reproduction de *V. doniana*. Ils ouvrent une bonne perspective de valorisation de l'espèce. Ces techniques de multiplication végétative permettront aux populations locales de multiplier les arbres ayant des caractères recherchés et surtout à faible coût. Ces individus clonés peuvent être introduits dans les systèmes de culture existants (jardins de case, vergers, champs et jachères), où ils bénéficieront des mêmes avantages que les autres cultures. La restructuration des différentes chaînes de valeur existantes des principaux produits issus de l'espèce permettra non seulement aux paysans d'améliorer leurs revenus mais aussi de créer un engouement pour sa conservation.

Conclusion

Les résultats de la présente étude ont montré l'influence significative des types d'utilisation des terres sur les caractéristiques dendrométriques, démographiques et l'état sanitaires des individus de *V. doniana*. Les populations sont relativement stables dans les aires protégées contrairement à celles dans la zone pastorale et les zones de culture. L'hypothèse de l'impact négatif de l'anthropisation sur les caractéristiques dendrométriques et démographiques de l'espèce est ainsi confirmée. La sensibilisation des populations locales à la sauvegarde et la préservation de l'espèce, accompagnée du renforcement des stratégies de valorisation de ses produits, est un impératif pour sa conservation et sa gestion durable. Dans cette perspective, les investigations doivent se poursuivre pour évaluer la dynamique de la régénération naturelle de l'espèce et ses aptitudes sylvicoles. Aussi, les capacités de production fructifère et foliaire des arbres doivent être évaluées afin de situer le seuil d'exploitation par rapport à la production en milieu naturel.

Remerciements
Les auteurs remercient la mairie et la population de la commune de Boni, les agents municipaux et les guides, pour leur aimable accueil et l'assistance dans la collecte des données. Ils expriment leur reconnaissance au Projet d'appui à l'enseignement supérieur (PAES) pour le financement de leurs travaux.

Références bibliographiques

Abdourhamane H., Rabiou H., Diouf A., Morou B., Mahamane A., Bellefontaine R., 2017. Structure démographique et répartition spatiale des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. du secteur sahélien du Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 333 (3) : 55-66. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/ID-BFT-161121

Agbani P. O., Gandji K., Tovissodé F., Karen H., Sinsin B., 2017. Production fruitière de quatre essences ligneuses dans la forêt de Nassou en zone soudanienne du Bénin. European Scientific Journal, 13 (36) : 1857-7881. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p352

Ajiboye T. O., 2015. Standardized extract of *Vitex doniana* Sweet stalls protein oxidation, lipid peroxidation and DNA fragmentation in acetaminophen-induced hepatotoxicity. Journal of Ethnopharmacology, 22 (164): 273-282. https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.01.026

Aleza K., Wala K., Bayala J., Villamor V. B., Dourma M., Atakpama W., *et al.*, 2015. Population structure and regeneration status of *Vitellaria paradoxa* (C. F. Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin. Agroforestry Systems, 89 (3): 511-513. https://doi.org/10.1007/s10457-015-9787-9

Arbonnier M., 2019, Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 4e édition. Versailles, France, Éditions Quæ, 775 p.

Assogba O. D. I., Salako K. V., Fantodji B., Assédé E. P. S., Assogbadjo A. E., Chirwa P. W., 2020. Does land use impact the demographic and spatial structures of *Adansonia digitata* L. in the Pendjari Biosphere Reserve in Northern Benin? Bois et Forêts des Tropiques, 344 : 59-72. https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31908

Balima L. H., Nacoulma B. M. I., Bayen P., Kouamé F. N., 2020. Agricultural land use reduces plant biodiversity and carbon storage in tropical West African savanna ecosystems: Implications for sustainability. Global Ecology and Conservation, 21: 1-16. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00875

Belem B., Boussim J. I., Bellefontaine R., Guinko S., 2008. Stimulation du drageonnage de *Bombax costatum* par blessure

des racines au Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 295 : 71-79. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20394

Bondé L., Ouédraogo O., Kagambega W. F., Boussim I. J., 2013. Impact des gradients topographique et anthropique sur la diversité des formations ligneuses soudaniennes. Bois et Forêts des Tropiques, 318 (4) : 15-25. https://doi.org/10.19182/bft2013.318.a20514

Bonou W., Glèlè Kakaï R., Assogbadjo A. E., Fonton H. N., Sinsin B., 2009. Characterisation of *Afzelia africana* Sm. habitat in the Lama Forest reserve of Benin. Forest Ecology and Management, 258 (7): 1084-1092. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.032

Boussim I. J., 2010. Les territoires phytogéographiques du Burkina. *In* : Thiombiano A., Kampmann D. (éds). Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome II. Goethe Universität, 152-155. https://www.goethe-university-frankfurt.de/50800888/Generic_50800888.pdf

BUNASOLS (Bureau national des sols), 2002. Caractéristiques pédo-morphologiques de la province du Tuy. Ouagadougou, Burkina Faso.

Dadjo C., Assogbadjo A. E., Fandohan B., Glèlè Kakaï R., Chakeredza S., Houéhanou T. D., Van Damme P., Sinsin B., 2012. Uses and management of black plum (*Vitex doniana* Sweet) in Southern Benin. Fruits, 67 (4): 239-248. https://doi.org/10.1051/fruits/2012017

Devineau J.-L., 2010. To what extent does land-use affect relationships between the distribution of woody species and climatic change? A case study along an aridity gradient in western Burkina Faso. Plant Ecology, 212 (6): 959-973. https://doi.org/10.1007/s11258-010-9877-8

Dipama J. M., 2010. Climate. *In*: Thiombiano A., Kampmann D. (éds). Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome II. Goethe Universität,122-149. https://www.goethe-university-frankfurt.de/50800888/Generic_50800888.pdf

Djossa B. A., Fahr J., Wiegand T., Ayihouénou B., Kalko E., Sinsin B., 2008. Land use impact on *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaerten. stand structure and distribution patterns: a comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora district in Benin. Agroforestry Systems, 72 (3): 205-220. https://doi.org/10.1007/s10457-007-9097-y

Glèlè Kakaï R., Bonou W., Lykke A. M., 2016. Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres. Annales des Sciences Agronomiques, 20 : 99-112. https://pdfcookie.com/download/approche-methodologique-de-construction-et-dinterpretation-des-structures-en-diametre-des-arbres-wrvrdnp5dz2o

Haarmeyer D. H., Schumann K., Bernhardt-Romermann M., Wittig R., Thiombiano A., Hahn K., 2013. Human impact on population structure and fruit production of the socio-economically important tree *Lannea microcarpa* in Burkina Faso. Agroforestry Systems, 87 (6): 1363-1375. https://doi.org/10.1007/s10457-013-9644-7

Hien B. S., Bonde L., Da S. S., Bognounou F., Boussim I. J., Ouédraogo O., 2021. Assessing human pressure on wild food and forage tree species for designing effective conservation actions in West Africa Sahel region. Ethnobotany Research and Applications, 21 (30): 1-14. http://dx.doi.org/10.32859/era.21.30.1-14

Hoffmann W. A., 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. Journal of Applied Ecology, 35 (3): 422-433. https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.00321.x

Hounkpevi A., Azihou A. F., Kouassi E. K., Porembski S., Glele Kakaï R., 2016. Climate-induced morphological variation of black plum (*Vitex doniana* Sw.) in Benin, West Africa. Genetic Resources and Crop Evolution, 63 (6): 1073-1084. https://doi.org/10.1007/s10722-016-0409-9

Hounkpevi A., Azihou A. F., Kouassi E., K., Glele Kakaï R., 2018. Effects of climatic variability and local environment patterns on the ecology and population structure of the multipurpose plant species. *Vitex doniana* Sweet (Lamiaceae) in Benin. Tropical Ecology, 59 (1): 129-143. http://197.159.135.214/jspui/handle/123456789/411

Husch B., Beers T. W., Kershaw J. A. Jr., 2003. Forest Mensuration. 4th edition. John Wiley & Sons, 343 p.

INSD, 2020. Annuaire statistique 2019 du Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, Ministère de la Fonction publique, du Travail et de la Protection sociale, 366 p. http://cns.bf/IMG/pdf/annuaire_statistique_2019_du_mfptps.pdf

IPBES, 2019. Rapport de la Plénière de la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques sur les travaux de sa septième session. Paris, France, Nations unies, 53 p. https://ipbes.net/sites/default/files/ipbes_7_10_add.1_fr.pdf

Johnson N. L., Kotz S., 1970. Distributions in Statistics: Continuous Univariate Distributions. John Wiley & Sons, 756 p.

Kaboré O., Ouédraogo B., Sawadogo I., 2019. Facteurs de fragmentation et stratégies de gestion des massifs forestiers au Burkina Faso. Journal of Applied Biosciences, 133 (1) : 13516-13531. https://doi.org/10.4314/jab.v133i1.4

Kabré B., Belem/Ouédraogo M., Lankoandé B., Ouédraogo A., 2020. Variabilité démographique de *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon suivant le gradient climatique au Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 345 : 73-83. https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31930

Kagambèga F. W., Zampaligre N., Zida D., Sawadogo L., 2019. Impact des activités anthropiques sur la diversité ligneuse et la structure de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. C.F. dans le chantier d'aménagement forestier de Cassou (Burkina Faso). Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica, 22 : 3-15. https://ojs.ub.uni-frankfurt.de/fvss/index.php/fvss/article/view/62

Ky K. J. M., 2008. *Vitex doniana* Sweet. [Internet] Record from PROTA4U. Louppe D., Oteng-Amoako A. A., Brink M. (eds). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale). Wageningen, Netherlands. https://www.prota4u.org/

Muhoko E., de Wasseige C., De Cauwer V., 2020. Assessing land cover change in Namibia's Kavango East region: a multi-date object approach. Bois et Forêts des Tropiques, 344: 17-32. https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31897

N'Danikou S., Achigan-Dako E. G., Tchokponhoue D. A., Agossou C., Houdegbe C. A., Vodouhe R. S., *et al.*, 2015. Modelling socioeconomic determinants for cultivation and *in-situ* conservation of *Vitex doniana* Sweet (Black plum), a wild harvested economic plant in Benin. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 11 (28): 1-16. https://doi.org/10.1186/s13002-015-0017-3

N'Danikou S., Achigan-Dako E. G., Tchokponhoué D. A., Assogba K. F., Gebauer J., Vodouhè S., *et al.*, 2014. Enhancing germination and seedling growth in *Vitex doniana* Sweet for horticultural prospects and conservation of genetic resources. Fruits, 69 (4): 279-291. https://doi.org/10.1051/fruits/2014017

Ouattara T. A., Kouamé K. F., Zo-Bi I. C., Vaudry R., Grinand C., 2021. Changements d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : impact des cultures de rente sur la forêt. Bois et Forêts des Tropiques, 347 : 89-104. https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a31868

Ouédraogo A., Thiombiano A., Hahn-Hadjali K., Guinko S., 2006. Diagnostic de l'état de dégradation des peuplements de quatre espèces ligneuses en zone soudanienne du Burkina Faso. Science et changements planétaires/Sécheresse, 17 (4) : 485-491. https://www.jle.com/en/revues/sec/e-docs/diagnostic_de_letat_de_degradation_des_peuplements_de_quatre_especes_ligneuses_en_zone_soudanienne_du_burkina_faso_272388/article.phtml?tab=texte

Oumorou M., Sinandouwirou T., Kiki M., Glèlè Kakaï R., Mensah G., Sinsin B., 2010. Disturbance and population structure of *Vitex doniana* Sw. in northern Benin, West Africa. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4 (3): 624–632. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i3.60467

Philip S. M., 2002. Measuring Trees and Forests. 2nd ed. London, UK, CABI Publishing, 310 p.

Poupon H., 1970. Sur la croissance de quelques espèces de pin dans ses rapports avec le climat du Nord de la Tunisie. Thèse de doctorat, Université de Paris, Faculté des sciences d'Orsay, France, 131 p. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleinstextes/divers20-09/07380.pdf

R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rondeux J., 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. 2e édition. Gembloux, Belgique, Les Presses Agronomiques de Gembloux, 521 p. https://hdl.handle.net/2268/108388

Sabo P., Ouédraogo A., Gbemavo D. S. J. C., Salako K. V., Glèlè Kakaï R., 2021. Land use impacts on *Boswellia dalzielii* Hutch., an African frankincense tree in Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 349: 51- 63. https://doi.org/10.19182/bft2021.349.a31960

Sambaré O., Savadogo S., Traore L., Ouédraogo I., Thiombiano A., 2020. Structure et dynamique des espèces ligneuses des forêts-galeries des rivières et ruisseaux du secteur sud-soudanien du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 345 : 27-44. https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31928

Sèwadé C., Azihou A. F., Fandohan A. B., Houéhanou T. D., Houinato M., 2016. Diversité, priorité pastorale et de conservation des ligneux fourragers des terres de parcours en zone soudano-guinéenne du Bénin. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 20 (2): 1-17. https://doi.org/10.25518/1780-4507.12823

Soulama S., Kadeba A., Nacoulma B. M. I., Traore S., Bachmann Y., Thiombiano A., 2016. Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. Journal of Applied Biosciences, 87 (1) : 8047-8064. http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.6

Theau J. P., Cruz P., Fallour D., Jouany C., Lecloux E., Duru M., 2010. Une méthode simplifiée de relevé botanique pour une caractérisation agronomique des prairies permanentes. Fourrages, 201 : 19-25. https://hal.inrae.fr/hal-02665360

Thiombiano A., Glèlè Kakaï R., Bayen P., Boussim J. I., Mahamane A., 2016. Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'Ouest : État des lieux et propositions pour une harmonisation. Annales des Sciences Agronomiques, 20 : 15-31. https://docplayer.fr/72524826-Annales-des-sciences-agronomiques-20-special-projet-undesert-ue-2016-issn.html

Thiombiano A., Kampmann D. (éds), 2010. Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome II. Goethe Universität, 760 p. https://www.goethe-university-frankfurt.de/50800888/Generic_50800888.pdf

Traore L., Sambare O., Savadogo S., Ouédraogo A., Thiombiano A., 2020. Effets combinés des facteurs anthropiques et climatiques sur l'état des populations de trois espèces ligneuses vulnérables. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 14 (5) : 1763-1785. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.21

Vinceti B., Fremout T., Termote C., Fallas Conejo D., Thomas E., Lachat C., *et al.*, 2022. Food tree species selection for nutrition-sensitive forest landscape restoration in Burkina Faso. Plants, People, Planet, 4: 667-684. https://doi.org/10.1002/ppp3.10304

Guindé *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	H. T. Guindé, A. Ouédraogo
Gestion des données	H. T. Guindé, P. Sabo
Analyse formelle	H. T. Guindé, P. Sabo, B. Ouattara
Acquisition du financement	H. T. Guindé
Enquête et investigation	H. T. Guindé
Méthodologie	H. T. Guindé, P. Sabo, B. Ouattara
Gestion de projet	H. T. Guindé, A. Ouédraogo
Supervision	A. Ouédraogo, B. Ouattara
Validation	A. Ouédraogo
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	H. T. Guindé
Écriture – Révision et édition	H. T. Guindé, P. Sabo, B. Ouattara, A. Ouédraogo

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

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

Regard critique sur les impacts socio-économiques et écologiques des peuplements d'eucalyptus au Burundi

André Nduwimana[1]
Richard Habonayo[1]
Bernadette Habonimana[1]
Vénérand Ndorere[1, 2]
Salvator Kaboneka[1]
Jan Bogaert[3]

[1] Université du Burundi
Faculté d'agronomie et de bioIngénierie (FABI)
Centre de recherche en sciences des productions animales, végétales et environnementales (CRAVE)
BP 2940, Bujumbura
Burundi

[2] Université du Burundi
Institut supérieur de formation agricole (ISFA)
Département Génie rural, eaux et forêts
BP 241, Gitega
Burundi

[3] Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech
Unité Biodiversité et paysage
Passage des Déportés 2
5030 Gembloux
Belgique

Auteur correspondant / Corresponding author:
André NDUWIMANA –
andnduwi@yahoo.fr / andre.nduwimana1@ub.edu.bi

ORCID :
https://orcid.org/0000-0002-0150-5022

Photo 1.
Boisement d'eucalyptus dans une zone arrosée du Burundi et sur un sol profond.
Eucalyptus afforestation in a well-watered area of Burundi on deep soil.

Doi : 10.19182/bft2023.357.a37103 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 20 janvier 2023 ; date d'acceptation : 17 avril 2023 ; date de publication : 1er octobre 2023.

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

Citer l'article / To cite the article
Nduwimana A., Habonayo R., Habonimana B., Ndorere V., Kaboneka S., Bogaert J., 2023. Regard critique sur les impacts socio-économiques et écologiques des peuplements d'eucalyptus au Burundi. Bois et Forêts des Tropiques, 357 : 85-96. Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a37103

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 85-96
RESEARCH / SOCIO-ECONOMIC AND ECOLOGICAL IMPACTS

RÉSUMÉ

Regard critique sur les impacts socio-économiques et écologiques des peuplements d'eucalyptus au Burundi

La forte adoption de l'eucalyptus dans le reboisement et son expansion rapide dans des parcelles villageoises au Burundi font l'objet de fortes critiques et les décisions politiques, bien que contestées, risquent de saper les efforts de reboisement pour un pays dont le paysage naturel ne subsiste qu'au sein des aires protégées. L'objectif de l'étude est de démontrer que le genre *Eucalyptus* est fortement apprécié par les populations burundaises comme essence de production de bois et que son succès socio-économique est un élément à ne pas sous-estimer dans les programmes de reboisement et de gestion de l'environnement. La méthodologie a consisté en une collecte de données de terrain sur l'importance de l'eucalyptus au Burundi, ceci en estimant la fréquence de ses produits dans les principaux points de vente des produits ligneux à Bujumbura et des plants produits par les projets et programmes ayant le volet reboisement dans leurs attributions. Les résultats montrent que, malgré de potentiels effets environnementaux, l'eucalyptus est de loin l'essence préférée et adoptée au Burundi comme essence de reboisement. Il domine en effet les plants produits pour le reboisement et les produits vendus. Il est prisé par les populations locales pour son apport en termes de revenu et pour ses multiples utilisations, de sorte que l'image négative qu'on a tendance à lui attacher relève alors de fausses attentes et de mauvaises pratiques (conduite des peuplements et traitements du sol, durée de rotation, etc.). Les données de cette étude clarifient des informations relevant de polémiques, et contribuent à une meilleure compréhension des plantations d'eucalyptus et d'espèces exotiques, ceci au service d'une meilleure gestion.

Mots-clés : eucalyptus, impacts, inventaire, plantations, proportions, Burundi.

ABSTRACT

A critical appraisal of the socio-economic and ecological impacts of eucalyptus stands in Burundi

The widespread adoption of eucalyptus for reforestation schemes and its rapid spread into village plots in Burundi are attracting severe criticism. Policy decisions, although contested, are at risk of undermining reforestation efforts in a country whose natural landscape only survives in protected areas. The aim of this study is to demonstrate that the Eucalyptus genus is highly valued among Burundians as a wood-producing species, and that its socio-economic success should not be underestimated in reforestation and environmental management programmes. Our methodology involved collecting field data on the importance of eucalyptus in Burundi by estimating the frequency of its products at the main timber sales points in Bujumbura, and of eucalyptus seedlings produced by projects and programmes having reforestation as part of their remit. Our results show that despite its potential environmental impacts, eucalyptus is by far the preferred and most widely adopted species for reforestation in Burundi. It is the predominant species in the production of seedlings for reforestation as well as for wood products sold. Eucalyptus is prized by local populations for its contribution to livelihoods and for its many uses. The negative image that tends to be attached to it may therefore stem from misconceived expectations and poor practices (stand management and soil treatments, duration of rotations, etc.). The data in this study clarifies controversial information and contributes to a better understanding of plantations of eucalyptus and exotic species, with a view to improving their management.

Keywords: eucalyptus, impacts, inventory, plantations, proportions, Burundi.

RESUMEN

Mirada crítica de los impactos socioeconómicos y ecológicos de las poblaciones de eucalipto en Burundi

La fuerte adopción del eucalipto en la reforestación y su rápida expansión en parcelas de pueblos de Burundi son objeto de fuertes críticas y las decisiones políticas, aunque cuestionadas, corren el riesgo de minar los esfuerzos de reforestación para un país cuyo paisaje natural solo subsiste en las áreas protegidas. El objetivo del estudio es demostrar la fuerte apreciación por las poblaciones burundesas del género *Eucalyptus* como especie de producción de madera y que su éxito socioeconómico también es un elemento que no hay que subestimar en los programas de reforestación y de gestión del medio ambiente. La metodología ha consistido en una recopilación de datos de campo sobre la importancia del eucalipto en Burundi, estimando la frecuencia de sus productos en los principales puntos de venta de productos leñosos en Buyumbura y la implantación mediante proyectos y programas que tienen la reforestación dentro de sus objetivos. Los resultados muestran que, a pesar de sus potenciales efectos medioambientales, el eucalipto es de lejos la especie preferida adoptada en Burundi como especie de reforestación. Domina, en efecto, las plantas producidas por la reforestación y los productos vendidos. Es apreciado por las poblaciones locales por su aporte en términos de ingresos y por sus múltiples usos, de forma que la imagen negativa que tenemos tendencia a asociarle responde a falsas expectativas y malas prácticas (conducta de las poblaciones y tratamientos del suelo, duración de la rotación, etc.). Los datos de este estudio clarifican las informaciones provenientes de polémicas, y contribuyen a una mejor comprensión del eucalipto y de las plantaciones exóticas, ello al servicio de una mejor gestión.

Palabras clave: eucalipto, impactos, inventario, plantaciones, proporciones, Burundi.

Introduction

Bien que l'introduction des espèces exotiques soit décriée depuis très longtemps par des écologistes (Kurdila, 1988), les eucalyptus, majoritairement originaires de l'Australie et de l'Indonésie (Stanturf *et al.,* 2013), ont été volontairement introduits dans le monde tropical et méditerranéen dans le cadre de programmes d'amélioration génétique et de diversification des essences forestières.

Les eucalyptus occupent ainsi une part de plus en plus importante dans les boisements à l'échelle mondiale comme source de bois de chauffage, de charbon de bois, de pâtes à papier, de bois de sciage et d'huiles essentielles (Stape *et al.,* 2010 ; Melun *et al.,* 2012).

Diverses motivations sont à la base de la forte expansion de cette essence. Au Nord, le principal débouché est la pâte à papier, et dans les pays du Sud ce sont l'énergie et la transformation en bois d'œuvre qui représentent les principales utilisations. Au Nord comme au Sud, la production et la transformation du bois de cette essence génèrent beaucoup d'emplois et de revenus (Gérard et Baillères, 1999).

En Afrique de l'Est, l'introduction et l'expansion des plantations d'eucalyptus sont venues compenser la perte de forêts naturelles et le déficit de bois qui en résulte, et satisfaire les besoins croissants en matériaux de construction consécutifs à l'urbanisation grandissante (FAO, 2011).

Ce développement rapide et à grande échelle des plantations d'eucalyptus a engendré une polémique un peu partout dans le monde, certains allant jusqu'à proposer l'interdiction des plantations d'eucalyptus pour des raisons environnementales, alors que d'autres mettent en avant les bénéfices socio-économiques que cet arbre apporte aux ruraux (Soumare *et al.,* 2017).

L'eucalyptus est accusé d'avoir des impacts négatifs sur la qualité du sol, sur la ressource en eau et sur la biodiversité. Il est présumé entraîner la compaction des sols, la diminution de la teneur en matière organique, l'acidification et une moindre disponibilité d'éléments minéraux dans le sol (Aweto et Moleele, 2005 ; Cao *et al.,* 2010 ; Castro-Diez *et al.,* 2012). On lui reproche en outre de réduire les réserves d'eau du sol, des sources et même des cours d'eau (Feller, 1981 ; Cohen *et al.,* 1997 ; Shi *et al.,* 2012 ; Albaugh *et al.,* 2013). S'agissant de la biodiversité, ce sont le remplacement des forêts naturelles, les effets allélopathiques et la raréfaction d'autres végétaux et d'éléments de la faune qui constitueraient une menace (Allolli et Narayanareddy, 2000 ; Bassou, 2003 ; FAO, 2011 ; Goudiaby *et al.,* 2017).

Bien que ces effets ne soient pas contestés, des éléments concrets invitent à nuancer les inquiétudes relatives aux impacts environnementaux négatifs :

- les plantations d'eucalyptus ne sont pas des forêts naturelles et ne devraient pas être accusées d'une grande consommation d'eau et de nutriments puisqu'elles sont mises en place pour produire rapidement davantage de produits ligneux (Melun *et al.,* 2002 ; Hou, 2006 ; Pandey et Bhattacharya, 2007 ; Leite *et al.,* 2010 ; Stanturf *et al.,* 2013 ; Mengistu *et al.,* 2022) ;
- le rendement de la biomasse microbienne ou l'indice d'activité enzymatique est en faveur de l'eucalyptus si l'on se réfère aux friches et aux cultures (Melun *et al.,* 2012) ;
- l'efficience d'utilisation de l'eau (quantité de biomasse produite par unité d'eau consommée) de l'eucalyptus est supérieure à celle de la plupart des autres ligneux (Stanturf *et al.,* 2013) ;
- les arbres et particulièrement les eucalyptus consomment plus d'eau si celle-ci est disponible, mais les effets négatifs sur les ressources en eau ne se manifestent que si leur disponibilité n'est pas suffisante (Dvorak, 2012) ;
- les effets allélopathiques ne s'expriment eux-mêmes que dans des milieux à faible pluviosité (Zhang et Fu, 2010) ;
- la biodiversité est moins élevée dans les peuplements d'eucalyptus que dans d'autres milieux moins artificialisés (forêts, friches anciennes), mais elle l'est davantage que dans des cultures agricoles, même si elle est faible dans des boisements d'eucalyptus plantés densément ;
- le reboisement des zones dénudées peut rétablir des abris pour la faune ;
- l'eucalyptus possède une capacité adaptative supérieure à celle d'autres essences, ceci dans la mesure où il recouvre plusieurs espèces issues de diverses provenances, lui permettant de répondre à un panel de conditions écologiques (Bouvet, 2013) ;
- les eucalyptus présentent des effets environnementaux positifs induits par le reboisement des zones marginales, celui des bassins versants, avec pour incidence de réduire l'évaporation excessive et le ruissellement et de favoriser l'infiltration (FAO, 1982), mais aussi de stabiliser les ravines et d'assurer la conservation des sols et le renforcement des talus routiers (Nduwamungu, 2011).

Au Burundi, les premières plantations d'eucalyptus apparurent en 1931, avec des semences provenant du Tanganyika (devenu la Tanzanie), de Rhodésie (devenue le Zimbabwe) et d'Afrique du Sud (Reynders,1963, in FAO, 1982). Le Burundi disposait de peu de forêts naturelles (figure 1) et la majorité de ces forêts étaient menacées par la demande croissante en produits ligneux et l'expansion de l'agriculture. Les plantations d'eucalyptus ont été mises en place pour produire des perches de construction et du bois de feu, mais elles n'étaient pas initialement destinées à la production de sciages (Bégué, 1963) car elles présentaient des défauts les rendant inaptes à cette valorisation (Gérard, 1994).

Un vaste programme de reboisement a été ensuite lancé dans les années 1970 et 1980 par le Gouvernement du Burundi, avec l'appui de divers bailleurs de fonds internationaux, en recourant à des espèces à croissance rapide ayant démontré leur productivité dans d'autres pays d'écologie comparable. Les résineux (pins, callitris, cyprès) étaient prépondérants dans les boisements domaniaux et le grevillea était promu en agroforesterie avec une orientation vers l'industrie (papier et sciage), alors que l'eucalyptus restait destiné au bois de chauffe

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 85-96
RESEARCH / SOCIO-ECONOMIC AND ECOLOGICAL IMPACTS

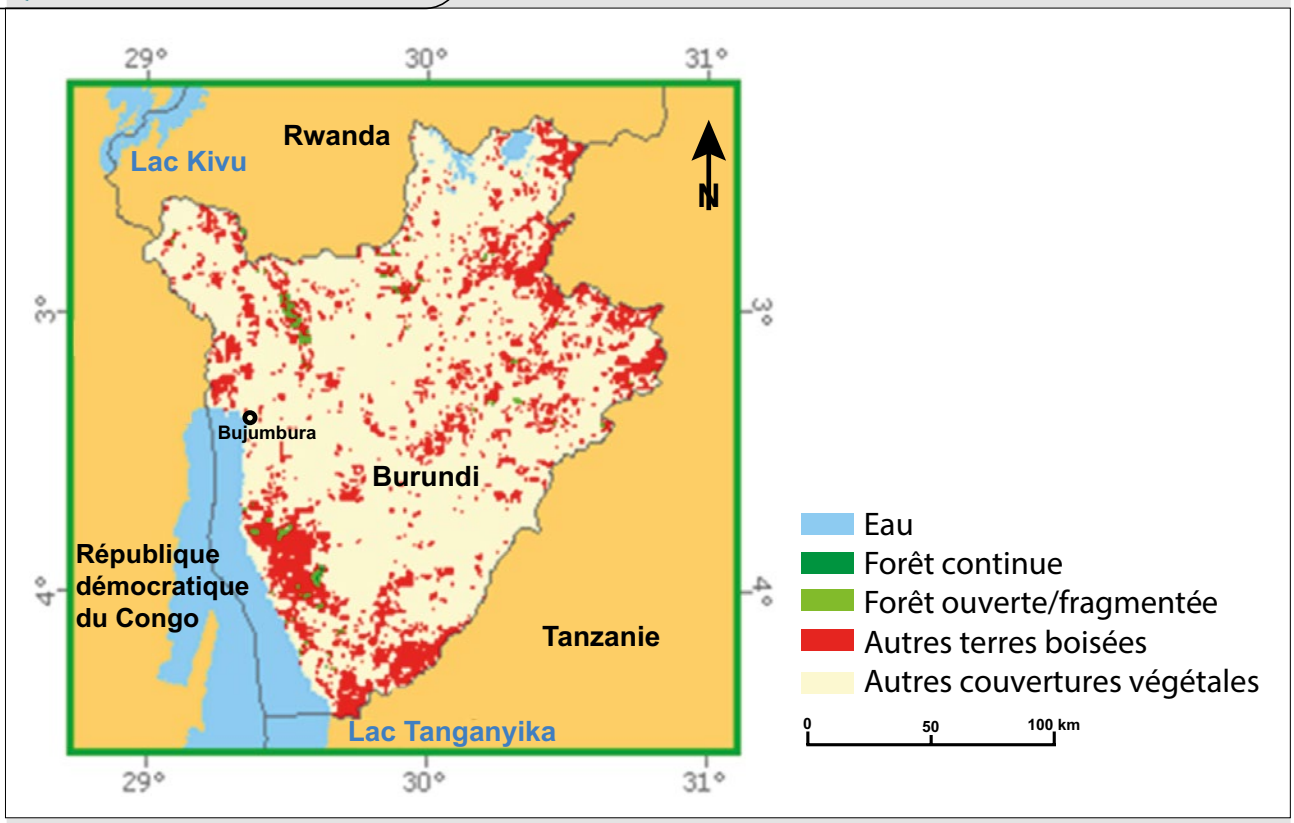


Figure 1.
Carte des forêts du Burundi (FAO, 2010).
Map of Burundi's forests (FAO, 2010).

Photo 2.
Eucalyptus en agroforesterie, sur des terres pauvres et surexploitées et aux abords des habitations.
Eucalyptus in agroforestry, on poor and overexploited land and near dwellings.

(Nduwamungu, 2011). Cette orientation s'est infléchie avec la vulgarisation d'espèces présentant d'excellentes qualités morphologiques et dendrométriques pour être valorisées en bois de sciage, comme par exemple *Eucalyptus grandis* (Bouvet, 1999). Par la suite, il y a eu expansion des plantations privées avec la distribution gratuite de plantules, surtout d'espèces agroforestières et d'eucalyptus pour des boisements satellites (FAO, 2002).

Les performances de l'eucalyptus ont favorisé une forte adoption de cette essence par les populations locales qui n'ont pas hésité à la planter dans des zones non propices comme les champs (photo 2) ou les espaces proches des cours d'eau.

Des effets négatifs des eucalyptus, comme le tarissement des sources ou la perte de la biodiversité, n'ont pas tardé à être rapportés par les défenseurs de l'environnement, souvent sans fondement scientifique solide, ce qui a néanmoins suscité des inquiétudes auprès des services de vulgarisation, à tel point que certains politiciens ont recommandé de les déraciner et de les remplacer par des essences autochtones (Nduwamungu *et al.*, 2007).

L'objectif de cette étude est de confirmer l'importance du genre *Eucalyptus* au Burundi et de montrer pourquoi il bénéficie d'une forte adoption par les ruraux et les programmes de reboisement, malgré les allégations portées contre lui. Ces informations contribueront à une meilleure compréhension de l'eucalyptus et des plantations d'espèces exotiques, au service de leur meilleure gestion.

Matériel et méthodes

Milieu

Le Burundi est un petit pays couvrant une superficie de 27 834 km² dont 25 200 km² sont terrestres, entre la République du Rwanda au nord, la République démocratique du Congo à l'ouest et la République-Unie de Tanzanie à l'est et au sud. Situé entre 29°00' et 30°54' de longitude Est et 2°20' et 4°28' de latitude Sud, il s'étend sur cinq zones climatiques et écologiques, la plaine de l'Imbo, la zone des escarpements montagneux de Mumirwa, la zone montagneuse formant la ligne de partage des bassins du fleuve Congo et du fleuve Nil, les plateaux centraux et les dépressions de Kumoso à l'est et du Bugesera au nord (figure 2).

Le Burundi est l'un des pays les plus densément peuplés d'Afrique et le bois y représente la principale source d'énergie domestique (Bangirinama *et al.*, 2016). Le milieu naturel a été surexploité et les formations forestières naturelles ne subsistent qu'en aires protégées (Nsabiyumva *et al.*, 2015). Les formations forestières artificielles sont constituées de boisements domaniaux d'eucalyptus, de callitris et de pins, de micro-boisements privés d'eucalyptus et enfin d'aménagements ruraux d'essences agroforestières et fourragères de calliandra, acacia et grevillea (Ndabirorere, 1999). Ce sont les boisements privés et les plantations agroforestières qui fournissent l'essentiel du bois autoconsommé en milieu rural et commercialisé en milieu urbain sous forme de bois de feu, de charbon de bois, de bois de service et d'œuvre. Mais il subsiste un déficit car l'augmentation annuelle de la couverture forestière du pays ne suit pas le rythme de l'accroissement démographique (Bararwandika, 1999).

Malgré les différences écologiques entre les régions du Burundi, le paysage est partout marqué, bien que de

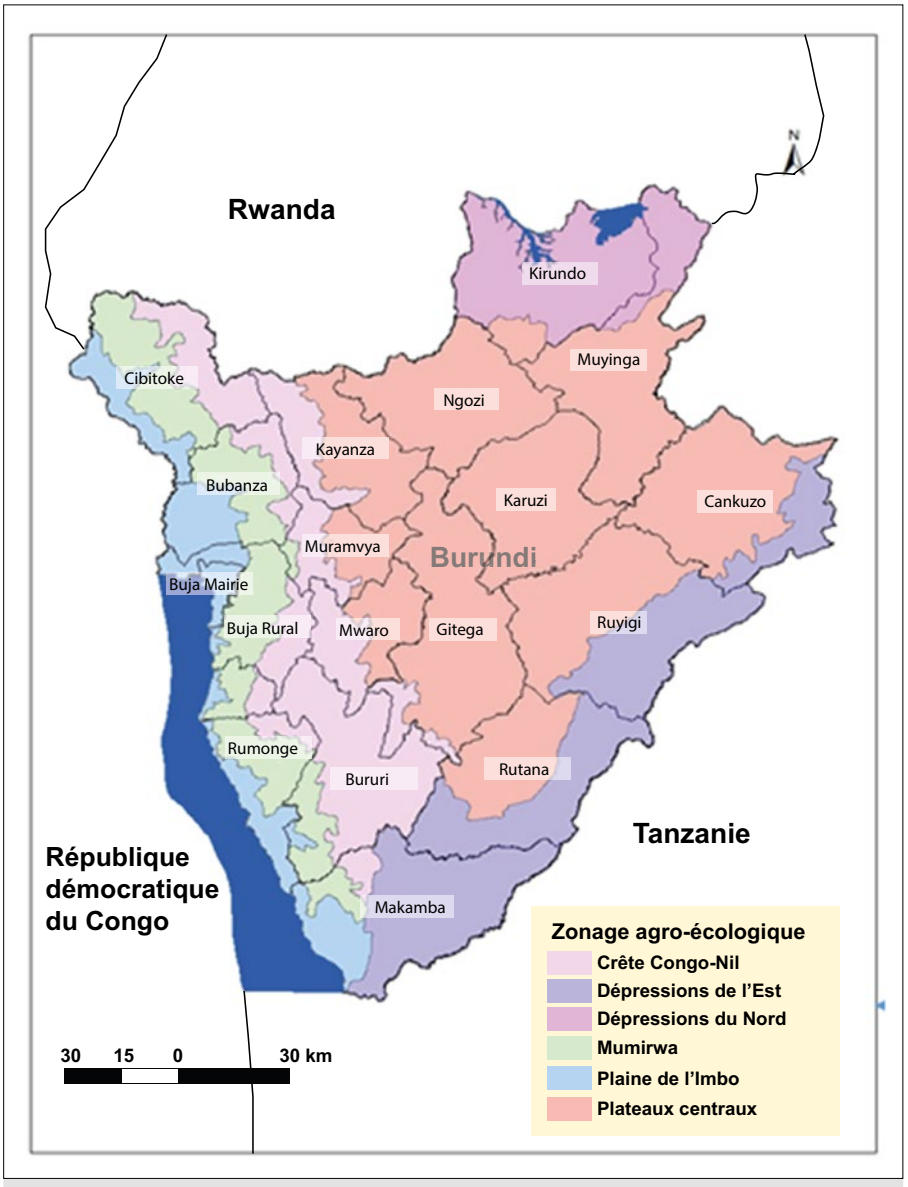


Figure 2.
Zones éco-géomorphologiques du Burundi.
Ecomorphological zones in Burundi.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 85-96
RESEARCH / SOCIO-ECONOMIC AND ECOLOGICAL IMPACTS

façon diverse à cause de la contrainte des termites dans les régions chaudes du pays, par la présence des eucalyptus. Sur les plateaux centraux, les eucalyptus sont omniprésents, du sommet de la colline jusqu'au pied des versants (Cochet, 2003).

Méthodologie

La méthodologie utilisée repose sur deux points.

D'une part, une collecte de données a été entreprise sur les plants produits dans le cadre des projets et programmes comprenant le reboisement dans leurs activités (Programme national EWE BURUNDI URAMBAYE, Programme de développement des filières – PRODEFI – et Projet de restauration et résilience des paysages du Burundi – PRRPB) afin d'analyser l'importance relative des différentes espèces d'arbres utilisées dans le reboisement. Ces programmes et projets produisent des plants avec une participation active des populations locales bénéficiaires et consignent les données dans des registres dont les gestionnaires ont permis la consultation.

D'autre part, une enquête de terrain a été réalisée pour évaluer l'importance du bois et des produits dérivés de l'eucalyptus par rapport aux autres espèces d'arbres. Cette enquête, réalisée durant les mois de mai et juin 2022, a ciblé la ville de Bujumbura, capitale économique du Burundi, milieu urbain le plus peuplé et le plus consommateur de bois du pays (ISTEEBU, 2015 ; Bangirinama *et al.*, 2016). Les inventaires ont concerné tous les principaux points de vente en gros de charbon de bois (photo 3a), de perches (photo 3b), de planches et de madriers (photo 3c), de même que les produits artisanaux (photo 3d) disséminés dans les quartiers de la ville. Les enquêteurs ont interviewé les vendeurs et ont eu accès aux documents d'enregistrement des stocks et des ventes. Cette importance a été mise en évidence par le spectre brut, qui exprime la proportion des sites où chaque espèce d'arbre est vendue, et par le spectre pondéré, qui associe la présence et la quantité vendue.

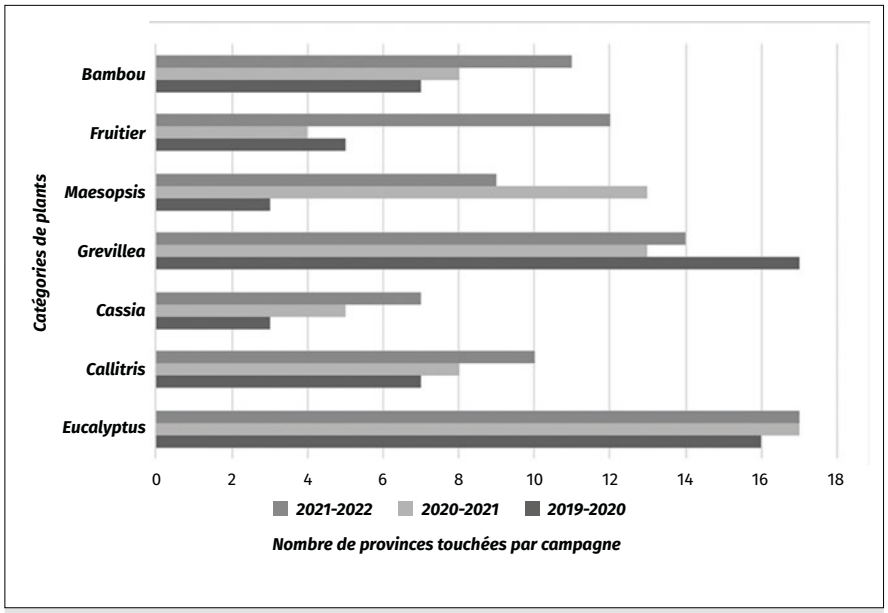


Figure 3.
Nombre de provinces du Burundi touchées par le reboisement par campagne sylvicole du programme « EWE BURUNDI URAMBAYE » et par chaque essence de plantation.
Number of provinces in Burundi affected by reforestation by forestry campaign of the «EWE BURUNDI URAMBAYE» programme and by each plantation species.

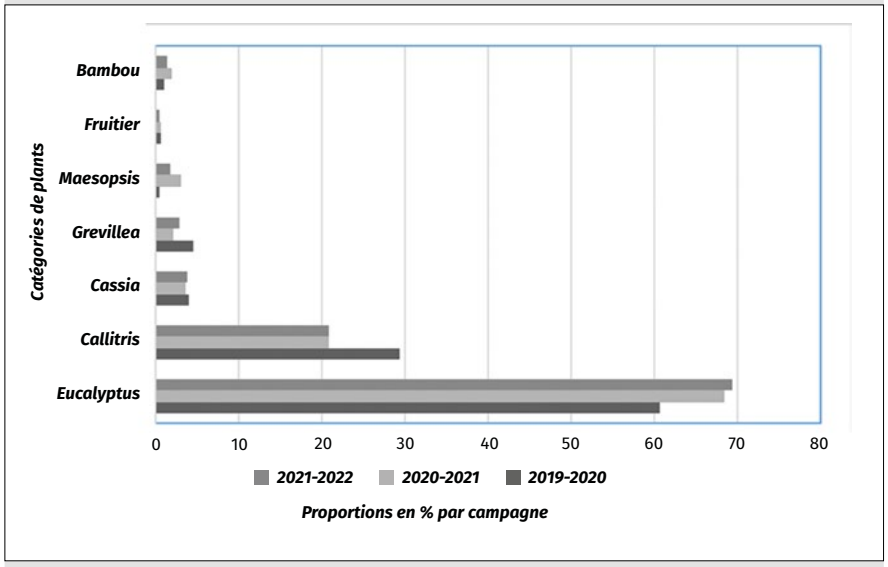


Figure 4.
Proportions pour chaque catégorie de plants produits à chaque campagne sylvicole du programme « EWE BURUNDI URAMBAYE ».
Proportions for each category of seedlings produced during each forestry season of the «EWE BURUNDI URAMBAYE» programme.

Résultats

Importance de l'eucalyptus dans les plants produits au Burundi

Les proportions de l'eucalyptus dans les plants produits dans le cadre des programmes et projets de reboisement du Burundi sont très élevées. La figure 3 montre que le reboisement à partir de plants d'eucalyptus dans le cadre du programme national de reboisement « EWE BURUNDI URAMBAYE » touchait les 17 provinces rurales du Burundi pour les trois campagnes sylvicoles analysées (2019-2020 ; 2020-2021 ; 2021-2022).

La figure 4 montre des proportions de plus de 60 % des plants produits pour l'eucalyptus en comparaison des autres catégories de plants produits. Des résultats similaires apparaissent avec l'analyse de l'importance des plants d'eucalyptus produits par le Projet de restauration et résilience des paysages du Burundi (PRRPB) où les proportions des plants d'eucalyptus

Photos 3.
a) Véhicule transportant des sacs de charbon de bois juste avant le déchargement. b) Site de déchargement et de vente des perches dans la zone de Kamenge. c) Site de vente de planches et de madriers dans la zone de Bwiza-Jabe. d) Magasin de vente d'objets d'art dans la zone de Rohero, ville de Bujumbura.
a) Vehicle transporting bags of charcoal just before unloading. b) Site for unloading and selling poles in the Kamenge area. c) Site for selling planks and planks in the Bwiza-Jabe area. d) Shop selling objets d'art in the Rohero area, town of Bujumbura.

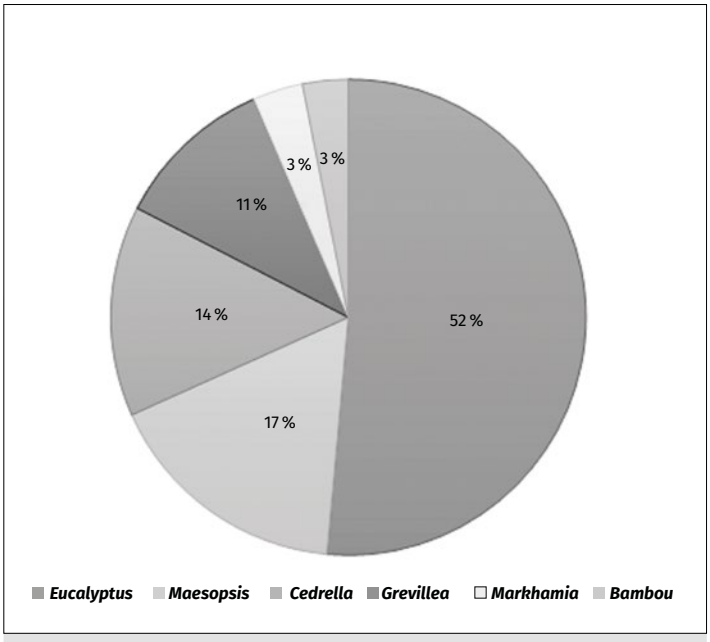


Figure 5.
Pourcentages des plants produits par le projet PRRPB pour la campagne sylvicole 2021-2022.
Percentages of seedlings produced by the PRRPB project for the 2021-2022 silvicultural season.

produits pour la campagne sylvicole 2021-2022 dépassent les 50 % (figure 5). Même pour les projets à vocation agricole comme le Programme de développement des filières (PRODEFI), les proportions des plants d'eucalyptus sont élevées à côté des essences agroforestières, le *Calliandra* apparaissant néanmoins en tête des proportions (figure 6).

Importance de l'eucalyptus dans le bois et les produits dérivés vendus à Bujumbura

Un total de 52 principaux sites de vente de charbon a été visité dans la ville de Bujumbura, donnant une estimation de 2 748 sacs de charbon vendus chaque semaine, un sac de charbon pesant en moyenne 82 kg (Bangirinama *et al.*, 2016). Un ensemble de 34 sites principaux de vente de planches et madriers ont été visités, dans lesquels 62 580 pièces sont vendues chaque semaine. Enfin, 17 sites principaux de vente de perches ont été enquêtés, avec 161 000 perches vendues chaque semaine, et 16 sites de vente d'objets artisanaux l'ont été également.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 85-96
RESEARCH / SOCIO-ECONOMIC AND ECOLOGICAL IMPACTS

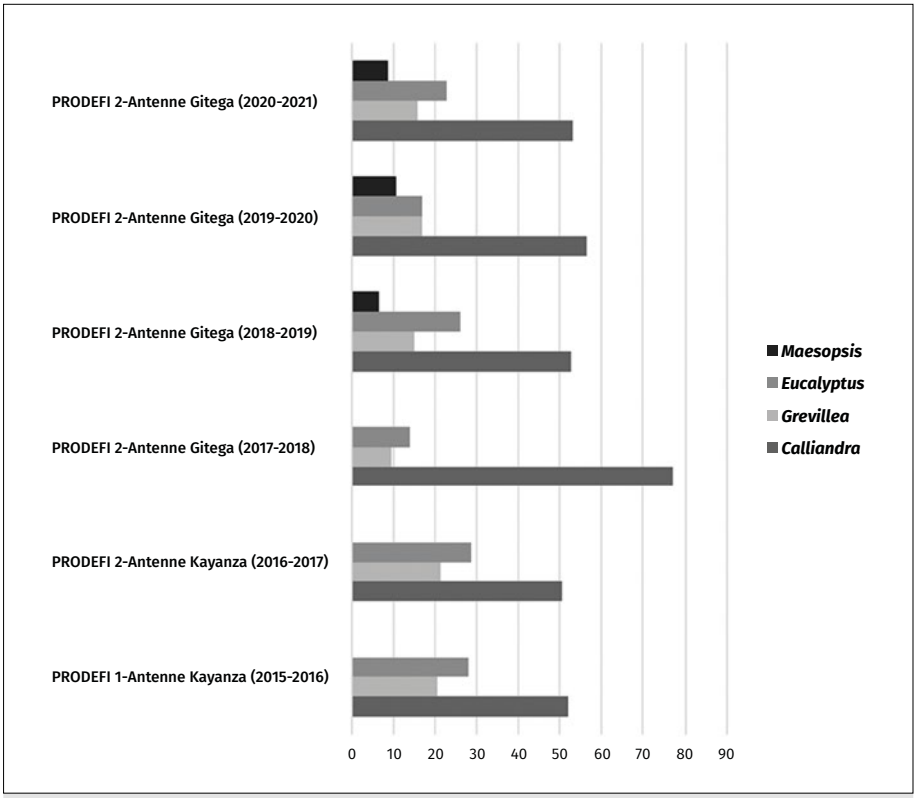


Figure 6.
Pourcentages des plants produits pour chaque essence par les antennes régionales du Programme de développement des filières (PRODEFI) et par année sylvicole.
Percentages of seedlings produced for each species by the regional branches of the Sector Development Programme (PRODEFI) and by silvicultural year.

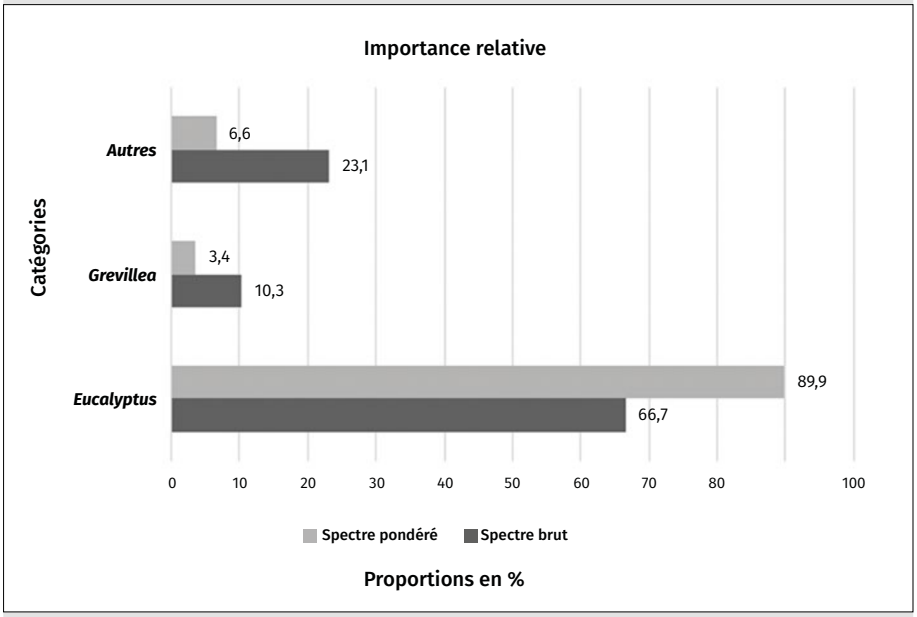


Figure 7.
Importance relative des catégories d'espèces d'arbres dans les sites de vente recensés et quantité de charbon de bois vendue.
Relative importance of tree species categories in the sales sites surveyed and quantity of charcoal sold.

La figure 7 montre que, pour le charbon de bois, l'eucalyptus domine les autres essences et représente environ 70 % de la ressource si l'on s'en tient uniquement à la présence dans le site de vente, mais environ 90 % si l'on pondère avec la quantité vendue. La figure 8 montre que, pour les planches et madriers vendus, l'eucalyptus domine les autres espèces en présence dans les sites de vente, soit plus de 70 %, mais de manière plus marquée si l'on pondère avec la quantité vendue, soit environ 90 %. La totalité des perches vendues dans les sites visités sont des eucalyptus et la figure 9 montre que l'eucalyptus est prépondérant s'agissant de la quantité d'objets d'art vendus. C'est toutefois *Polyscias fulva* qui est le plus fréquemment rencontré dans les objets d'art.

Discussion

Les proportions des plants d'eucalyptus produits par les programmes de reboisement et de développement agricole au Burundi sont particulièrement élevées. Elles mettent à mal les discours accusateurs relatifs à l'eucalyptus. Le constat est que, dans la pratique, le reboisement en eucalyptus s'intensifie. Sunder (1995) observe que la propagation des messages hâtivement bâtis sur des éléments non vérifiés ne saurait occulter les bienfaits de l'expansion de l'eucalyptus. De semblables observations sur l'expansion controversée de l'eucalyptus sont rapportées dans plusieurs régions du monde, comme en péninsule Ibérique (Tomé *et al.*, 2021), au Bangladesh (Hossain et Hoque, 2015), en Éthiopie (Ayerbe, 2014 ; Bayle, 2019) et au Brésil (Ferraz *et al.*, 2019).

Dans les pays en développement en général et au Burundi en particulier, les ruraux recourent à de fortes densités de plantation d'eucalyptus et de courtes rotations d'exploitation en raison d'une large gamme de produits fournis par cette essence, tels que du bois de chauffage, des poteaux, des bois de charpente, des matériaux de construction, du bois d'œuvre, de l'huile, des médicaments

ou du miel. Les populations rurales en tirent des bénéfices très tangibles concernant l'élévation de leur niveau de vie en fournissant des produits de base, l'augmentation des embauches au sein des plantations, la récolte, la commercialisation et l'industrie de transformation, ainsi que l'accroissement de leurs revenus par la vente du bois ou de produits ligneux manufacturés (Soumare *et al.*, 2017 ; Nduwamungu, 2011). Ce comportement peut toutefois concurrencer les autres utilisations de l'espace mais aussi étendre les effets néfastes de l'eucalyptus sur l'environnement (Desta *et al.*, 2023).

Les données sur la vente des produits dérivés du bois montrent que l'eucalyptus domine le marché du bois au Burundi. Le même constat est fait par Bangirinama *et al* (2016) qui observent que l'eucalyptus est l'essence la plus utilisée pour la carbonisation et qu'elle provient des exploitations privées pour l'ensemble, avec un taux de 98 %. Cela est dû au fait que l'eucalyptus est un arbre dont la culture n'est pas exigeante, à croissance rapide, et fournissant un bois de qualité (Poore et Fries, 1985 ; Vauron, 1992 ; Ndabirorere, 1999 ; Cirad, 2011). L'eucalyptus s'hybride et se régénère facilement, est une essence à usages multiples, aisément commercialisable et à bon prix. Il permet aux populations rurales de répondre, plus que toute autre essence, à leurs besoins (Trouvilliez, 1987 ; Bouvet, 1999). Probablement est-ce aussi dû au fait que des espèces comme *E. grandis* présentent d'excellentes qualités pour être valorisées par le sciage (Beck *et al.*, 2010), alors qu'à l'inverse les résultats des recherches sur les impacts environnementaux ne permettent pas de tirer des conclusions précises si on compare la monoculture d'eucalyptus à celle d'autres essences forestières, même indigènes (Tassin *et al.*, 2011 ; Bouvet, 2013). Moyennant de telles performances, l'eucalyptus restera l'essence préférée par les populations burundaises et les autres acteurs du secteur artisanal pour combler les déficits criants en énergie domestique et en bois d'œuvre (IFDC, 2011 ; Manirakiza, 2014 ; Sabuhungu, 2016).

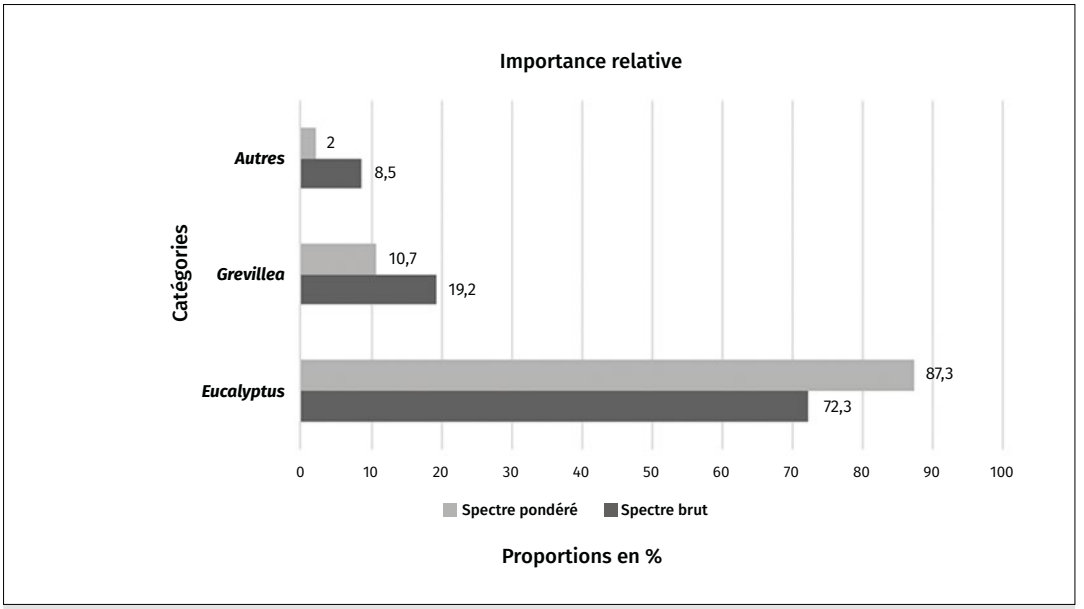


Figure 8.
Importance relative des catégories d'essences dans les sites de vente recensés, et quantité de planches et de madriers vendue.
Relative importance of species categories in the sales sites surveyed, and quantity of planks and logs sold.

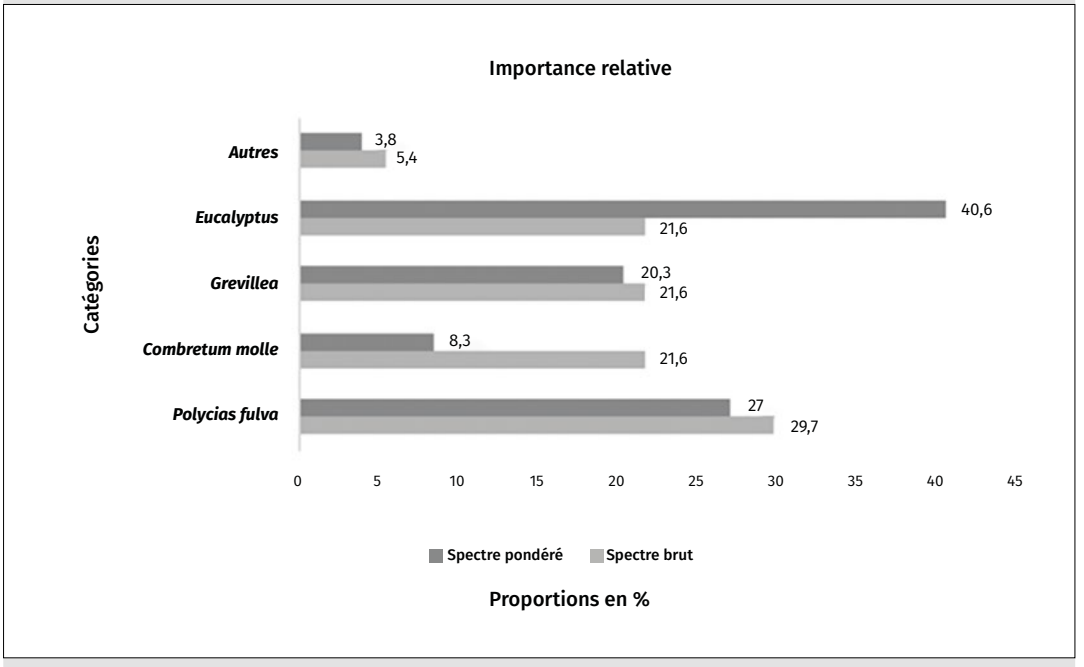


Figure 9.
Importance relative des catégories d'essences dans les sites de vente recensés et quantité d'objets d'art vendue.
Relative importance of species categories in the sales sites surveyed and quantity of art objects sold.

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 85-96
RESEARCH / SOCIO-ECONOMIC AND ECOLOGICAL IMPACTS

Conclusion

L'eucalyptus est une essence qui s'impose dans le reboisement et dans le commerce du bois et de ses dérivés au Burundi. Malgré ses potentiels impacts environnementaux, il demeure pour le moment difficile d'envisager de réduire son expansion, encore moins d'interdire sa plantation, tant il jouit d'une grande popularité.

Cette étude a montré que l'eucalyptus est une essence de grand intérêt socio-économique pour le Burundi. Cela constitue un facteur déterminant pour les populations dans le choix des arbres plantés. Les politiques, les administrations et les ONG ont donc intérêt à mettre en balance l'intérêt socio-économique des populations, en particulier les plus pauvres, avec les intérêts écologiques locaux et internationaux et à chercher plutôt des compromis.

Il s'agirait ainsi de réduire les impacts négatifs des eucalyptus en interdisant par exemple leur plantation dans les zones humides et le long des cours d'eau, afin d'éviter les dessèchements et tarissements, en mettant en place des plantations en mélange pour augmenter la diversité spécifique, et en plantant les eucalyptus sur des terrains dégradés et rocailleux où d'autres essences rencontrent des difficultés à survivre, ceci pour éviter que les eucalyptus ne concurrencent les cultures vivrières sur des terres plus productives.

Il s'agirait aussi d'améliorer la gestion des plantations via un bon aménagement du territoire et de bonnes pratiques de gestion. Cela reviendrait notamment à cartographier les zones à boiser, garantir des modes de plantation et d'entretien opportuns, plafonner la densité de plantation, rallonger le délai de rotation, encourager la pratique de plantations mixtes, éviter les coupes rases sur de grandes surfaces, préférer la gestion en futaie jardinée qui permet de sauvegarder les sols et la biodiversité, mais aussi créer et gérer des aires protégées de végétation naturelle. Enfin, il faudrait assurer la réduction de la dépendance au bois pour la satisfaction de certains besoins comme l'énergie de cuisson et le matériel de construction. L'option du gaz méthane pourrait ainsi être explorée, de même que le recours à des supports métalliques pour les échafaudages.

En somme, il s'agit de composer du mieux possible avec l'ensemble des réalités écologiques et des besoins socio-écologiques, plutôt que céder à une forme d'idéologie conduisant à faire passer l'eucalyptus pour ce qu'il n'est pas.

Remerciements
Les auteurs remercient l'Université du Burundi qui, à la faveur du projet « Domestication des essences autochtones », a assuré les frais de terrain pour la collecte des données sur les produits ligneux vendus dans la ville de Bujumbura.

Financement
La collecte des données a été financée par l'Université du Burundi à travers un projet « Domestication des essences autochtones » exécuté par le centre de recherche en sciences des productions animales, végétales et environnementales (CRAVE) où sont affiliés quatre des six auteurs de l'article.

Accès aux données
Les données qui ont servi à l'élaboration des graphiques sont dans un fichier Excel déposé dans l'entrepôt numérique Zenodo en accès libre : Nduwimana A., Habonayo R., 2023. Données sur Eucalyptus-Burundi [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.8351547
https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.8351547.svg

Références bibliographiques

Albaugh J. M., Dye J. P., King J. S., 2013. Eucalyptus and Water Use in South Africa. International Journal of Forestry Research, vol. 2013, ID 852540, 11 p. http://dx.doi.org/10.1155/2013/852540

Allolli T. B., Narayanareddy P., 2000. Allelopathic effect of eucalyptus plant extract on germination and seedling growth of cucumber. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 13 (4): 947-951. http://14.139.155.167/test5/index.php/kjas/article/view/4007/4241

Aweto A. O., Moleele N. M., 2005. Impact of *Eucalyptus camaldulensis* plantation on an alluvial soil in south eastern Botswana. International Journal of Environmental Studies, 62 (2): 163-170. https://doi.org/10.1080/0020723042000275141

Ayerbe D., 2014. Encadrement des plantations d'eucalyptus à Addis Abeba : vers une confrontation des discours environnementaux et des pratiques populaires. ÉchoGéo, 29/2014. https://doi.org/10.4000/echogeo.13936

Bangirinama F., Nzitwanayo B., Hakizimana P., 2016. Utilisation du charbon de bois comme principale source d'énergie de la population urbaine : un sérieux problème pour la conservation du couvert forestier au Burundi. Bois et Forêts des Tropiques, 328 (2) : 45-53. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/ID-BFT-151127

Bararwandika A., 1999. Ressources forestières et produits forestiers au Burundi. Programme de partenariat CE-FAO (1998-2002), Projet GCP/INT/679/EC. https://www.fao.org/3/X6804F/X6804F00.htm

Bassou D., 2003. Impact des plantations d'eucalyptus sur la diversité floristique : Étude de cas dans le Lauragais. Rapport pour AFOCEL, 34 p.

Bayle G. K., 2019. Ecological and social impacts of *Eucalyptus* tree plantation on the environment. Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management, 5 (1): 93-104. https://doi.org/10.3329/jbcbm.v5i1.42189.

Beck J., Citegetse G., Ko J., Seber S., 2010. Burundi Environmental Threats and Opportunities Assessment (ETOA). USDA Forest Service International Programs, United States Agency for International Development (USAID), 98 p. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaeb430.pdf

Bégué L., 1963. Les Eucalyptus au Sud du Sahara. Bois et Forêts des Tropiques, 91 : 11-22. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/18877/0

Bouvet J.-M., 1999. Les plantations d'eucalyptus : évolutions récentes et perspectives. Le Flamboyant, 49 : 4-14. https://agritrop.cirad.fr/391880/

Bouvet J-M., 2013. Les eucalyptus dans le monde. Conférence : « L'eucalyptus une essence majeure pour le reboisement à Madagascar ». Antananarivo-Madagascar, les 18-19 juin 2013, Ankatso, Université d'Antananarivo, Madagascar, 30 p. https://www.forets-biodiv.org/content/download/4326/32221/ version/1/file/12.+Eucalyptus+dans+le+monde.pdf

Cao Y., Fu S., Zou X., Cao H., Shao Y., Zhou L., 2010. Soil microbial community composition under Eucalyptus plantations of different age in subtropical China. European Journal of Soil Biology, 46 (2): 128-135. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.006

Castro-Díez P., Fierro-Brunnenmeister N., González-Muñoz N., Gallardo A., 2012. Effects of exotic and native tree leaf litter on soil properties of two contrasting sites in the Iberian Peninsula. Plant and Soil, 350: 179-191. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0893-9

Cirad, 2011. Plantations d'eucalyptus : combiner sylviculture et génétique pour une hausse raisonnée des rendements. Cirad. https://bresil.cirad.fr/actualites/plantations-d-eucalyptus

Cochet H., 2003. Crises et révolutions agricoles au Burundi. INAPG, Karthala, 472 p.

Cohen Y., Adar E., Dody A., Schiller G., 1997. Underground water use by *Eucalyptus* trees in an arid climate. Trees, 11: 356-362. https://doi.org/10.1007/PL00009679

Desta T. T., Teklemarian H., Mulugeta T., 2023. Insights of smallholder farmers on the trade-offs of eucalyptus plantation. Environnemental Challenges, 10: 100663. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100663

Dvorak W., 2012. Water use in plantations of eucalypts and pines: a discussion paper from a tree breeding perspective. International Forestry Review, 14 (1): 110-119.

FAO, 1982. Les eucalyptus dans les reboisements. Rome, Italie, FAO, coll. FAO : Forêts, 11, 783 p.

FAO, 2002. Biodrainage – Principles, experiences and applications. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage. Rome, Italy, FAO, Knowledge Synthesis Report 6, https://www.fao.org/3/y3796e/y3796e00.htm

FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010: Main Report. Rome, Italy, FAO, Forestry Papers, 163, 376 p. https://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf

FAO, 2011. Eucalyptus in East Africa. Socioeconomic and environmental issues, by Gessesse Dessie and Teklu Erkossa. Rome, Italy, FAO, Planted Forests and Trees Working Paper 46/E, 42 p. https://www.fao.org/3/am332e/am332e00.pdf

Feller M. C., 1981. Water balances in *Eucalyptus regnans*, *E. obliqua* and *Pinus radiata* forests in Victoria. Australian Forestry, 44: 153-161. https://doi.org/10.1080/00049158.1981.10674308

Ferraz B. S. F., Rodrigues C. B., Garcia L. G., Alvares C. A., Paula L. W., 2019. Effects of *Eucalyptus* plantations on streamflow in Brazil: Moving beyond the water use debate. Forest Ecology and Management, 453: 117571. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117571

Gérard J., 1994. Contraintes de croissance, variations internes de densité et de module d'élasticité longitudinal et déformations de sciage chez les Eucalyptus de plantation. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, France, 160 p.

Gérard J., Baillères H., 1999. Utilisation des eucalyptus en bois d'œuvre : facteurs limitants, itinéraires techniques et potentialités de développement. Le Flamboyant, 49 : 33-38. https://agritrop.cirad.fr/391883/

Goudiaby K. A. O., Sall S. D., Coly I., Djiba S., Ndour N., Ndoye I., 2017. Influence du couvert de *Eucalyptus camaldulensis* (dehn) sur la diversité spécifique des herbacées dans la zone de Diembéring (Basse Casamance, Sénégal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11 (4) : 1471-1483. http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.6

Hossain M. K., Hoque A. T. M. R., 2015. Eucalyptus Dilemma in Bangladesh. *In*: Akhter S., Akhter K., Mohiuddin M., Hossain M. K., Haider M. R., Mazumder A. A. M. (eds). Proceedings on the workshop on impact of Eucalyptus plantation in Bangladesh, held in 18 April, 2015 at Bangladesh Forest Research Institute, Bangladesh, 1-22.

Hou Y. Z., 2006. Benefit and harm of eucalyptus plantation. Outlook Weekly, 19: 59.

IFDC, 2011. Enquête sur le flux d'approvisionnement en bois énergie de Bujumbura, avril 2011. Francheville, France, Innovation, Énergie, Développement.

ISTEEBU, 2015. Estimations de la population urbaine des villes des chefs-lieux des provinces du Burundi. Document non publié.

Kurdila J., 1988. The introduction of exotic species into the United States: there goes the neighborhood! Boston College Environmental Affairs Law Review, 16: 95-118.

Leite P. F., Silva R. I., Novais F. R., Barros F. N., Neves L. C. J., 2010. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 821-831. https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bC6Cb89PnDnMM63NftB5dmG/?lang=en

Manirakiza D., 2014. Effets de la consommation du charbon de bois sur la dégradation de l'environnement : cas de la ville de Bujumbura. Université du Burundi, Cahiers du CURDES, 14 : 411-429. https://www.beep.ird.fr/collect/curdes/index/assoc/14-411-4.dir/14-411-429.pdf

Melun F., Nguyen The N., Grulois S., 2002. TCR d'Eucalyptus : faut-il dépresser en deuxième rotation ? Informations -Forêt, fiche n° 651, série 2, 6 p.

Melun F., Nguyen The N., 2012. L'Eucalyptus en France : une espèce remarquable pour la production de biomasse. Revue Forestière Française, 64 (1) : 7-26.

Mengistu B., Amayu F., Bekele W., Dibaba Z., 2022. Effects of Eucalyptus species plantations and crop land on selected soil properties, Geology, Ecology, and Landscapes, 6 (4): 277-285. https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1833627

Ndabirorere S., 1999. La Revue et l'amélioration des données relatives aux produits forestiers au Burundi. Programme de partenariat CE-FAO (1998-2002), Projet GCP/INT/679/EC. https://www.fao.org/3/X6746F/X6746F00.htm

Nduwamungu J., Munyanziza E., Nduwamungu J. D., Ntirugulirwa B., Gapusi R. J., Bambe J. C., *et al.*, 2007. Eucalyptus in Rwanda: are the blames true or false? Kigali, Rwanda, Institut des sciences agronomiques du Rwanda (ISAR).

Nduwamungu J., 2011. Plantations forestières et îlots boisés au Burundi. African Forest Forum, Working Paper Series, 1 (11), 76 p.

Nsabiyumva J. M. V., Rivuzimana J. C., Doumenge C., Larzillière A., 2015. État des aires protégées 2015, République du Burundi. *In* : Doumenge C., Palla F., Scholte P., Hiol Hiol F., Larzillière A. (éds). Aires protégées d'Afrique centrale – État 2015. Kinshasa, République démocratique du Congo et Yaoundé, Cameroun, OFAC-COMIFAC, 17-39.

Pandey V. B., Bhattacharya S. K., 2007. Scientific appraisal of rudraksha (*E. camaldulensis*) chemical and pharmacological studies. The Journal of Research and Education in Indian Medicine, 4: 47-50.

Poore M. E. D., Fries C., 1985. Les effets écologiques des eucalyptus. Rome, Italie, FAO, Étude Forêts, 59, 118 p.

Sabuhungu E. G., 2016. Analyse de la demande en charbon de bois par les ménages urbains de Bujumbura au Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 212 p. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/200912/1/Emery%20Gaspard%20Sabuhungu_Finale.pdf

Shi Z., Xu D., Yang X., Jia Z., Guo H., Zhang N., 2012. Ecohydrological impacts of eucalypt plantations: A review. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10 (3-4): 1419-1426. https://www.wflpublisher.com/Abstract/3701

Soumare A., Diedhiou A. G., Kane A., 2017. Les plantations d'Eucalyptus au Sahel : distribution, importance socio-économique et inquiétude écologique. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11 (6) : 3005-3017. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.36

Stanturf J. A., Vance E. D., Fox T. R., Kirst M., 2013. Eucalyptus beyond Its Native Range: Environmental Issues in Exotic Bioenergy Plantations. International Journal of Forestry Research, ID 463030. https://doi.org/10.1155/2013/463030

Stape J. L., Binkley D., Ryan M. G., Fonseca S., Loos R. A., Takahashi E. N., *et al.*, 2010. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management, 259: 1684-1694. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012

Sunder S. S., 1995. The ecological, economic and social effects of eucalyptus. *In*: White K., Ball J., Kashio M. (eds). Proceedings of the Regional Expert Consultation on Eucalyptus, 4-8 October, 1993. Rapa Publication 1995/6. FAO Regional Office for Asia Pacific. https://www.fao.org/3/ac777e/ac777e08.htm#bm08

Tassin J., Missamba-Lola A. P., Marien J.-N., 2011. Biodiversité des plantations d'eucalyptus. Bois et Forêts des Tropiques, 309 : 27-35. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20463

Tomé M., Almeida M. H., Barreiro S., Branco M. R., Deus E., Pinto G., *et al.*, 2021. Opportunities and challenges of *Eucalyptus* plantations in Europe: the Iberian Peninsula experience. European Journal of Forest Research, 140: 489-510. https://doi.org/10.1007/s10342-021-01358-z

Trouvilliez J., Bouhot L., Guizol P., 1987. Croissance des Eucalyptus au Burundi. Synthèse des essais 1977-1986. Bujumbura, Burundi, ISABU, 66 p. https://agritrop.cirad.fr/597793/

Vauron P., 1992. Dossier Burundi : des projets forestiers. Bois et Forêts des Tropiques, 233 : 21-34. https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/19731

Zhang C., Fu S., 2010. Allelopathic effects of leaf litter and live roots exudates of Eucalyptus species on crops. Allelopathy Journal, 26 (1): 91-100.

Nduwimana *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	A. Nduwimana, R. Habonayo, B. Habonimana, V. Ndorere, S. Kaboneka, J. Bogaert
Enquête et investigation	A. Nduwimana, R. Habonayo, B. Habonimana, V. Ndorere, S. Kaboneka
Analyse formelle	R. Habonayo
Validation	J. Bogaert
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	A. Nduwimana
Écriture – Révision et édition	A. Nduwimana

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

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

PROCEEDINGS

Climate resilient and sustainable forest management

IBFRA Conference 28-31 August 2023

Book of Abstracts Natural Resources Institute Finland 2023

Raisa Mäkipää and Kati Berninger (eds.)

The 20th IBFRA (The International Boreal Forest Research Association) conference held in Helsinki Finland 28-31 August 2023 brings together researchers, companies, policy makers and members of the civil society. The conference main theme is Climate resilient and sustainable forest management. The abstracts of the conference are in this publication.

To download: https://www.iufro.org/fileadmin/material/publications/proceedings-archive/80106-helsiniki23-ibfra-abstracts.pdf

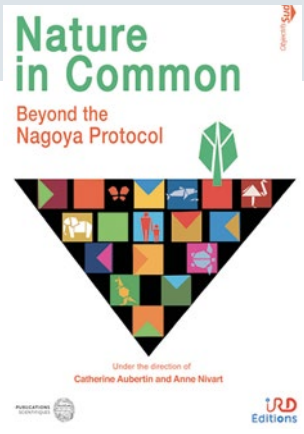
KATI-COULIBALY S. (DIR.), BEKRO Y.-A. (COORD.), BOISVERT V. (COORD.), WITABOUNA KONÉ M. (COORD.), PABST J.-Y. (COORD.), 2022. **LES SUBSTANCES D'ORIGINE VÉGÉTALE EN CÔTE D'IVOIRE : POTENTIEL ET DÉVELOPPEMENT DURABLE.** FRANCE, IRD ÉDITIONS, 208 P.

L'abondance, l'originalité et la diversité des espèces végétales en Côte d'Ivoire ont permis aux populations ivoiriennes de développer une grande variété de savoirs autour des substances d'origine végétale, incluant notamment des usages médicaux, cosmétiques, aromatiques et alimentaires. Or, la biodiversité ivoirienne connaît depuis plusieurs décennies une constante dégradation avec un couvert forestier de plus en plus menacé. L'exploitation durable des ressources naturelles ivoiriennes et les bénéfices pour les populations sont ainsi compromis. Dans une situation où les défis écologiques, sanitaires, économiques et culturels deviennent de plus en plus pressants, cet ouvrage vise, d'une part, à faire un état des lieux des savoirs, des usages, des pratiques et des écosystèmes en matière de substances végétales ivoiriennes et, d'autre part, à fournir des pistes de réflexion et des recommandations concrètes pour répondre à l'ensemble des enjeux sociétaux contemporains que sont la préservation de l'environnement et de la biodiversité tout en assurant la santé des populations et le développement économique du pays.

Adapté du résumé de l'éditeur.

IRD Éditions, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.

www.editions.ird.fr



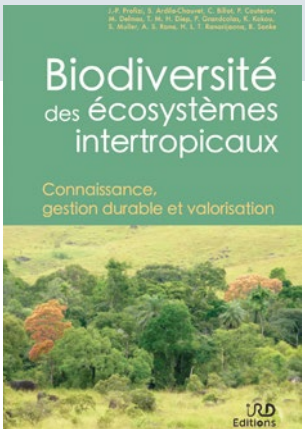
AUBERTIN C., NIVART A. (DIRS), 2021. **NATURE IN COMMON – BEYOND THE NAGOYA PROTOCOL.** FRANCE, IRD ÉDITIONS/MNHN, 320 P.

A landmark text in global biodiversity governance, the Nagoya Protocol was intended to put an end to the uncompensated exploitation of natural resources and knowledge originating in the Global South. Its stated objectives were to establish greater justice and equity between providers and users of genetic resources, to foreground the contributions and knowledge of indigenous peoples and local communities, and to decolonise research, all while promoting the conservation of biodiversity. Thirty years on from the Convention on Biological Diversity from which it originated, the authors examine the legal and practical outcomes of this virtuous framework, which came into force in 2014. Although it has certainly fostered greater recognition of the plurality of knowledge and advanced the traceability of resources, the Protocol has also helped to impose a narrowly marketoriented understanding of nature and knowledge, exacerbating demands for recognition and ownership in the Global South, and effectively restricting access to biodiversity in an era of globalised research. This book presents an interdisciplinary dialogue informed by the experiences of researchers and conservation stakeholders (local communities, managers of collections and natural parks). Looking beyond the Nagoya Protocol, it invites us to question the relationships between societies and nature in light of the ecological emergency. It is intended for anyone with an interest in the economics of biodiversity and environmental justice.

Adapté du résumé de l'éditeur.

IRD Éditions, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.

www.editions.ird.fr



PROFIZI J.-P., ARDILA-CHAUVET S., BILLOT C., COUTERON P., DELMAS M., HANH DIEP T. M., GRANDCOLAS P., KOKOU K., MULLER S., SINGH RANA A., RANARIJAONA H. L. T., SONKE B. (DIRS), 2022. **BIODIVERSITÉ DES ÉCOSYSTÈMES INTERTROPICAUX.** FRANCE, IRD ÉDITIONS, 784 P.

Dans un monde confronté aux changements climatiques et à des pandémies en lien avec la destruction des milieux naturels, les enjeux liés à la préservation de la biodiversité sont dorénavant bien connus et ont donné lieu à des accords internationaux majeurs, comme le protocole de Nagoya. Dans ce contexte mondial, les recherches menées au Sud sont primordiales. Les contributions rédigées ici par des chercheurs d'Afrique, de l'Océan indien, d'Asie du Sud-Est et d'Europe traduisent la vigueur de la recherche sur la biodiversité dans les pays intertropicaux francophones. Documenter la diversité des écosystèmes végétaux locaux, mieux connaître les savoirs traditionnels et les utilisations populaires des plantes ou des champignons, valoriser le rôle des collections botaniques, mais aussi identifier des chaînes de valorisation économique responsables, gérer durablement les écosystèmes et leurs ressources, élaborer des outils stratégiques pour une gouvernance environnementale basée sur la science et, enfin, montrer la nécessité de l'implication citoyenne et de l'ensemble des acteurs concernés, tels sont les grands thèmes déclinés ici. Cet ouvrage collectif intéressera tous ceux qui travaillent sur la biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Il souligne la nécessité d'une science de l'action au service du développement durable.

Adapté du résumé de l'éditeur.

IRD Éditions, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.

www.editions.ird.fr

Sipo – *Entandrophragma utile* Sprague

Extrait de l'*Atlas des bois tropicaux – Caractéristiques technologiques et utilisations*
J. Gérard (coord.), D. Guibal (au.), J.-C. Cerre (au.), S. Paradis (au.), et 40 auteurs, 2016.
Éditions Quæ, 1 000 p.
https://www.quae.com/produit/1408/9782759225521/atlas-des-bois-tropicaux
Accès à la notice d'information générale :
https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a36353

Dosse.
Photo D. Guibal, Cirad.

Quartier.
Photo D. Guibal, Cirad.

Famille. Meliaceae.
Noms botaniques. *Entandrophragma utile* Sprague.
Continent. Afrique.
CITES (Convention de Washington, 2016). Pas de restriction commerciale.

Description de la grume

Diamètre. De 60 à 120 cm.
Épaisseur de l'aubier. De 2 à 6 cm.
Flottabilité. Flottable.
Conservation en forêt. Moyenne (traitement recommandé).

Description du bois

Couleur référence. Brun rouge.
Aubier. Bien distinct.
Grain. Moyen.
Fil. Contrefil.
Contrefil. Léger.
Notes. Bois brun rosâtre à brun rouge légèrement violacé, nuancé de reflets moirés. Aspect rubané sur quartier. Fil irrégulier.

Propriétés physiques et mécaniques

Propriété	Valeur moyenne
Densité[1]	0,629
Dureté Monnin[1]	3,0
Coefficient de retrait volumique	0,42 % par %
Retrait tangentiel total (Rt)	6,4 %
Retrait radial total (Rr)	4,6 %
Ratio Rt/Rr	1,4
Point de saturation des fibres	30 %
Conductivité thermique (λ)	0,21 W/(m.K)
Pouvoir calorifique inférieur	18 290 kJ/kg
Contrainte de rupture en compression[1]	56 MPa
Contrainte de rupture en flexion statique[1]	91 MPa
Module d'élasticité longitudinal[1]	13 240 MPa

[1] À 12 % d'humidité, avec 1 MPa = 1 N/mm².

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 99-104

Durabilité naturelle et imprégnabilité du bois
Résistance aux champignons. Classe 2-3 – durable à moyennement durable.
Résistance aux insectes de bois sec. Classe D – durable (aubier distinct, risque limité à l'aubier).
Résistance aux termites. Classe M – moyennement durable.
Imprégnabilité. Classe 4 – non imprégnable.
Classe d'emploi couverte par la durabilité naturelle. Classe 3 - hors contact du sol, à l'extérieur.
Notes. Cette essence est mentionnée dans la norme NF EN 350. La norme NF P 23-305 (décembre 2014) mentionne que cette essence couvre la classe d'emploi 3.2 pour des bois sans traitement et purgés d'aubier.

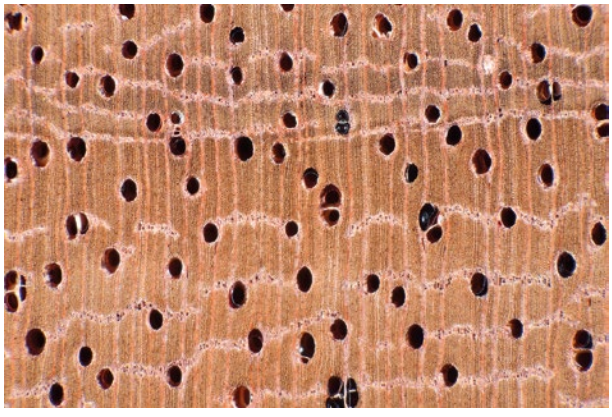
Traitement de préservation
Contre les attaques d'insectes de bois sec. Ce bois ne nécessite pas de traitement de préservation.
En cas d'humidification temporaire. Ce bois nécessite un traitement de préservation adapté.
En cas d'humidification permanente. L'utilisation de ce bois n'est pas conseillée.

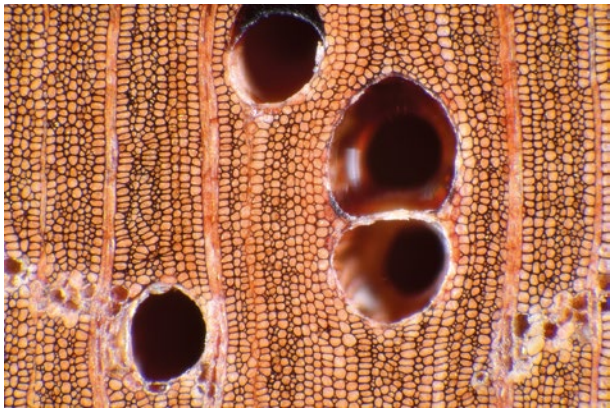
Séchage
Vitesse de séchage. Normale.
Risque de déformation. Peu élevé.
Risque de cémentation. Pas de risque particulier connu.
Risque de fentes. Peu élevé.
Risque de collapse. Pas de risque particulier connu.
Notes. Les risques de déformation du bois augmentent en présence de contrefil accusé, surtout durant le séchage artificiel.
Programme de séchage proposé. Programme n°4 (voir note explicative).

Sciage et usinage
Effet désaffûtant. Normal.
Denture pour le sciage. Acier ordinaire ou allié.
Outils d'usinage. Ordinaire.
Aptitude au déroulage. Bonne.
Aptitude au tranchage. Bonne.
Notes. Tendance à l'arrachement due au contrefil.

Assemblage
Clouage/vissage. Bonne tenue.
Notes. Bois légèrement acide : risque de tache lors du collage.

Sections transversales *Entandrophragma utile*.
Photo J.-C. Cerre.





Classements commerciaux

Classement d'aspect des produits sciés

Selon les règles de classement SATA (1996).

Pour le « Marché général »

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

Pour les « Marchés particuliers »

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

Réaction au feu

Classement conventionnel français

Épaisseur > 14 mm : M3 (moyennement inflammable).
Épaisseur < 14 mm : M4 (facilement inflammable).

Classement selon euroclasses. D-s2, d0.

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

Principales utilisations

Charpente.
Ébénisterie (meuble de luxe).
Embarcation légère.
Escalier d'intérieur.
Face ou contreface de contreplaqué.
Lambris.
Lamellé-collé.
Menuiserie extérieure.
Menuiserie intérieure.
Meuble courant ou élément meublant.
Moulure.
Parquet.
Placage tranché.
Volet roulant.

Notes. Un bouche-porage est recommandé afin d'obtenir une meilleure finition.

Principales appellations vernaculaires

Pays	Appellation
Allemagne	Sipo-mahogany
Angola	Kalungi
Cameroun	Asseng-assié
Congo	Kalungi
Côte d'Ivoire	Sipo
Gabon	Assi
Ghana	Utile
Guinée équatoriale	Abebay
Nigéria	Utile
Ouganda	Mufumbi
République centrafricaine	Bokoi
République démocratique du Congo	Kalungi, Liboyo
Royaume-Uni	Utile

Escalier suspendu demi-tournant, Argelès-sur-Mer (France).

Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a37355
Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad © Quæ
Date de publication : 1er octobre 2023

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 99-104
TECHNICAL DESCRIPTION OF TROPICAL SPECIES

Sipo/Utile* – *Entandrophragma utile* Sprague

From Tropical timber atlas – Technological characteristics and uses.
J. Gérard (coord.), D. Guibal (au.), J.-C. Cerre (au.), S. Paradis (au.), and 40 authors, 2016.
Publisher Éditions Quæ, 1000 p.
https://www.quae.com/produit/1477/9782759227716/tropical-timber-atlas
Access to the general information leaflet:
https://doi.org/10.19182/bft2021.347.a36353

* Common commercial name

Flat sawn.
Photo D. Guibal, Cirad.

Quarter sawn.
Photo D. Guibal, Cirad.

Family. Meliaceae.
Botanical name. *Entandrophragma utile* Sprague.
Continent. Africa.
CITES (Washington Convention of 2017). No trade restrictions.

Log description

Diameter. 60 to 120 cm.
Thickness of sapwood. 2 to 6 cm.
Buoyancy. Floats.
Log conservation. Moderate (treatment recommended).

Wood description

Reference colour. Red brown.
Sapwood. Clearly demarcated.
Texture. Medium.
Grain. Interlocked grain.
Interlocked grain. Slight.
Notes. Wood pinkish brown to red brown slightly purplish with moiré shades. Ribbon-like aspect on quartersawn. Irregular grain.

Physical and mechanical properties

Property	Mean value
Density[1]	0.629
Monnin hardness[1]	3.0
Coefficient of volumetric shrinkage	0.42% per %
Total tangential shrinkage (Ts)	6.4%
Total radial shrinkage (Rs)	4.6%
T/R anisotropy ratio	1.4
Fibre saturation point	30%
Thermal conductivity (λ)	0.21 W/(m.K)
Lower heating value	18,290 kJ/kg
Crushing strength[1]	56 MPa
Static bending strength[1]	91 MPa
Longitudinal modulus of elasticity[1]	13,240 MPa

[1] At 12% moisture content, with 1 MPa = 1 N/mm².

Notes. Hardness varies from soft to fairly hard.

Natural durability and treatability
Resistance to decay. Class 2-3 – durable to moderately durable.
Resistance to dry wood borers. Class D – durable (sapwood demarcated, risk limited to sapwood).
Resistance to termites. Class M – moderately durable.
Treatability. Class 4 – non-treatable.
Use class covered by natural durability. Class 3 - not in ground contact, outside.
Notes. This species is listed in the NF EN 350 standard. The French standard NF P 23-305 (December 2014) indicates that this species covers the use class 3.2 for untreated. heartwood.

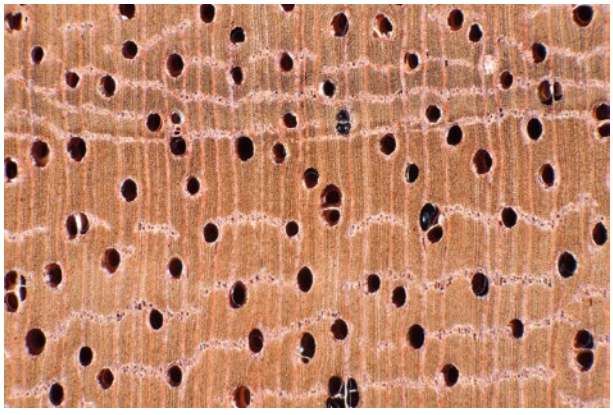
Preservation treatment
Against dry wood borer attacks. This wood does not require any preservation treatment.
In case of temporary humidification. This wood requires appropriate preservation treatment.
In case of permanent humidification. Use of this wood is not recommended.

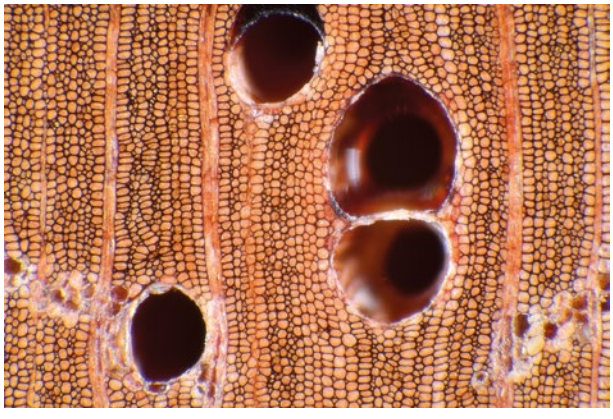
Drying
Drying rate. Normal.
Risk of distortion. Slight risk.
Risk of case hardening. No known specific risk.
Risk of checking. Slight risk.
Risk of collapse. No known specific risk.
Notes. Risk of distortion increases with highly interlocked grain, particularly during kiln drying.
Suggested drying schedule. Schedule #4 (see explanatory note).

Sawing and machining
Blunting effect. Normal.
Tooth for sawing. Ordinary or alloy steel.
Machining tools. Ordinary.
Suitability for peeling. Good.
Suitability for slicing. Good.
Notes. Prone to tearing due to interlocked grain.

Assembling
Nailing/screwing. Good.
Notes. Wood fairly acidic: tendency to stain with gluing.

Cross sections of *Entandrophragma utile*.
Photo J.-C. Cerre.





Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 99-104

Commercial grading

Sawn timber appearance grading

According to SATA grading rules (1996).

For the "General Purpose Market"

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

For the "Special Market"

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

Fire safety

Conventional French grading

Thickness > 14 mm: M3 (moderately flammable).
Thickness < 14 mm: M4 (readily flammable).

Euroclass grading. D-s2, d0.

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

Main end uses

Framing.
Open boats.
Stairs (inside).
Veneer for back or face of plywood.
Panelling.
Glued Laminated.
Exterior joinery.
Cabinetry (high-end furniture).
Interior joinery.
Built-in furniture or mobile item.
Moulding.
Flooring.
Sliced veneer.
Rolling shutters.

Notes. Filling is recommended to obtain a better finish.

Common names

Country	Local name
Germany	Sipo-mahogany
Angola	Kalungi
Cameroun	Asseng-assié
Congo	Kalungi
Côte d'Ivoire	Sipo/Utile
Gabon	Assi
Ghana	Utile
Equatorial Guinea	Sipo/Utile
Nigeria	Utile
Uganda	Mufumbi
Central African Republic	Bokoi
Democratic Republic of the Congo	Kalungi, Liboyo
United Kingdom	Utile

Semi-spiral, suspended staircase, Argelès-sur-Mer (France).

Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.357.a37355
Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad © Quæ

Date de publication : 1er octobre 2023

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

Dynamiques des paysages forestiers au Mozambique : étude de l'écologie du Miombo pour contribuer aux stratégies de restauration des terres dégradées

Frédérique MONTFORT

RÉSUMÉ

La dégradation des terres constitue un enjeu écologique, sociologique et économique majeur à l'échelle mondiale. Le Mozambique, qui dispose encore d'une importante ressource forestière dominée par les forêts de Miombo, est particulièrement touché par ce phénomène, avec près d'un quart de ses terres qui seraient déjà dégradées. Ce pays s'est fixé l'objectif ambitieux de restaurer 1 million d'hectares de terres dégradées d'ici 2030. Cependant, il existe très peu de données quantitatives et spatialisées sur l'état des terres et sur la capacité de résilience du Miombo. L'objectif de cette thèse est d'analyser les dynamiques, les caractéristiques et les déterminants de l'évolution des paysages forestiers afin d'alimenter les stratégies de restauration des terres dégradées au Mozambique. Cette étude s'est particulièrement intéressée à comprendre les facteurs de dégradation des terres à l'échelle nationale, à évaluer la résilience de l'écosystème du Miombo dans les systèmes d'agriculture sur brûlis dans la région centrale du pays (Zambézie), et enfin à proposer une approche pour identifier les zones et stratégies potentielles de restauration des paysages forestiers. Dans un premier temps, les analyses de séries temporelles satellitaires (indices de végétation et variables climatiques) ont permis de documenter l'état des terres à l'échelle nationale et de quantifier les facteurs de dégradation et régénération des terres. Des inventaires floristiques, pédologiques et des enquêtes de terrain ont été menés en périphérie du Parc national de Gilé, afin d'analyser les dynamiques de régénération forestière après défriche-brûlis et l'impact des cycles répétés de culture-jachère. Ces connaissances issues des études par télédétection et d'inventaires de terrain ont été combinées dans une approche innovante permettant d'identifier les zones prioritaires de restauration et les options de gestion (restauration passive ou active), afin d'améliorer des fonctions du paysage (accumulation de carbone, connectivité des habitats) et de renforcer la biodiversité. Cette approche s'appuie sur une analyse multicritère et le développement d'indicateurs spatialisés environnementaux et sur les trajectoires des agrosystèmes. Cette thèse contribue à une meilleure compréhension des processus et des facteurs de dégradation des terres ainsi que de l'écologie du Miombo. Elle propose une approche innovante pour contribuer à l'élaboration de projets ou programmes de restauration des paysages forestiers au Mozambique.

Mots-clés : dégradation des terres, restauration des paysages forestiers, régénération forestière, télédétection, inventaires floristiques et de sol, Miombo, Mozambique.

Forest landscape dynamics in Mozambique: a study of Miombo ecology to contribute to restoration strategies for degraded lands

ABSTRACT

Land degradation is a major ecological, sociological and economic issue across the world. Mozambique still has significant forest resources, dominated by Miombo forest, but the country is being severely affected by this phenomenon, with almost a quarter of its lands already reported as degraded. Mozambique has set ambitious targets for the restoration of one million hectares of degraded land over the next ten years. However, the Miombo ecosystem is still under-researched, with very few quantitative and spatialised data on the condition of these forest lands and insufficient knowledge about their resilience. The aim of this PhD thesis is to analyse the dynamics, characteristics and determinants of changes in forest landscapes in order to inform strategies for the restoration of degraded lands in Mozambique. This study focuses in particular on i) understanding the drivers of land degradation on the national scale, ii) assessing the resilience of the Miombo ecosystem in slash-and-burn agriculture systems in the central region (Zambezia) and iii) putting forward an approach for identifying potential areas and strategies for forest landscape restoration. First, we analysed satellite time-series (vegetation indices and climatic variables) to document land conditions on the national scale and to quantify the drivers of land degradation and regeneration. We conducted flora and soil inventories as well as field surveys in the outskirts of the Gilé National Park, in order to analyse the dynamics of forest regeneration after slash-and-burn agriculture, and the impact of repeated crop-fallow cycles. The knowledge gained from an innovative approach combining remote-sensing studies and field inventories was used to identify priority areas for potential restoration as well as management options (passive or active restoration) to improve landscape functions (carbon sequestration, habitat connectivity) and enhance biodiversity. This method is based on a multi-criteria analysis, on the development of spatialised environmental indicators and on agrosystem trajectories on the regional scale. This thesis contributes to a better understanding of land degradation drivers and processes and of Miombo ecology. It puts forward an innovative approach to contribute to the development of projects or programmes for forest landscape restoration in Mozambique.

Keywords: land degradation, forest landscape restoration, forest regeneration, remote sensing, flora and soil inventories, Miombo, Mozambique.

Dinámicas de los paisajes forestales en Mozambique: Estudio de la ecología del miombo para contribuir a las estrategias de restauración de las tierras degradadas

RESUMEN

La degradación de las tierras constituye un gran reto ecológico, sociológico y económico a escala mundial. Mozambique, que todavía dispone de un importante recurso forestal dominado por los bosques de miombo, está especialmente afectado por este fenómeno: casi un cuarto de sus tierras ya estaría degradado. Este país se fijó el ambicioso objetivo de restaurar un millón de hectáreas de tierras degradadas de aquí a 2030. Sin embargo, hay muy pocos datos cuantitativos y espacializados sobre el estado de las tierras y sobre la resiliencia del miombo. El objetivo de esta tesis es analizar las dinámicas, las características y los determinantes de la evolución de los paisajes forestales para contribuir a las estrategias de restauración de las tierras degradadas en Mozambique. Este estudio ha hecho hincapié en i) comprender los factores de degradación de las tierras a escala nacional, ii) evaluar la resiliencia del ecosistema de miombo en los sistemas de agricultura de roza y quema en la región central del país (Zambezia) y iii) proponer un enfoque para identificar las zonas y estrategias potenciales de restauración de los paisajes forestales. En un primer momento, los análisis de series temporales proporcionadas por los satélites (índices de vegetación y variables climáticas) permitieron documentar el estado de las tierras a escala nacional, y cuantificar los factores de degradación y regeneración de las tierras. Se llevaron a cabo inventarios florísticos y edafológicos e investigaciones de campo en la periferia del Parque Nacional de Gilé, para analizar las dinámicas de regeneración forestal tras la agricultura de roza y quema y el impacto de los ciclos repetidos de cultivo-barbecho. Estos conocimientos, provenientes de estudios realizados mediante teledetección e inventarios de terreno, se combinaron con un planteamiento innovador que permite identificar las zonas prioritarias de restauración y las opciones de gestión (restauración pasiva o activa), para mejorar las funciones del paisaje (acumulación de carbono, conectividad de los hábitats) y reforzar la biodiversidad. El planteamiento se basa en un análisis multicriterio, el desarrollo de indicadores medioambientales espacializados y las trayectorias de los agrosistemas. Esta tesis contribuye a una mejor comprensión de los procesos y de los factores de degradación de las tierras y de la ecología del miombo. Propone un enfoque innovador para contribuir a la elaboración de proyectos o programas de restauración de los paisajes forestales en Mozambique.

Palabras clave: degradación de las tierras, restauración de los paisajes forestales, regeneración forestal, teledetección, inventarios florísticos y de suelo, Miombo, Mozambique.

Doi : https://doi.org/10.19182/bft2023.a37281
Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques © Cirad
Date de publication : 1er octobre 2023
Licence Creative Commons :
Attribution - Pas de Modification 4.0 International.
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

Bois et Forêts des Tropiques – ISSN: L-0006-579X
Volume 357 – 3rd quarter – October 2023 – p. 105-106

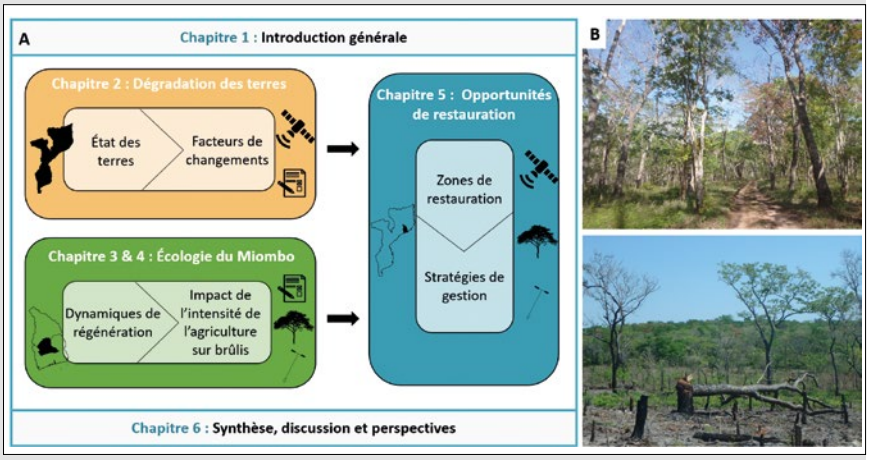


Figure 1. A) Organisation générale de la thèse. Le chapitre 1 présente les enjeux, les objectifs et les sites d'étude. Le chapitre 2 porte sur l'estimation et la localisation des changements passés d'état des terres et l'analyse des facteurs sous-jacents à l'échelle nationale, afin d'établir une estimation de la dégradation des terres au Mozambique. Le chapitre 3 s'intéresse aux dynamiques de régénération forestière du Miombo après agriculture sur brûlis en périphérie du Parc national de Gilé dans la province de Zambézie, au centre du pays. Le chapitre 4 fournit des informations sur l'impact de l'intensification de l'agriculture sur la biodiversité des espèces ligneuses, la structure de la végétation et les propriétés du sol. Le chapitre 5 présente l'approche développée pour identifier les zones prioritaires et les stratégies pour la restauration des paysages forestiers au Mozambique à l'échelle de deux districts. Enfin, le chapitre 6 est consacré à la synthèse et à la discussion de l'ensemble des résultats de ce travail de thèse. B) Composantes du paysage en périphérie du Parc national de Gilé : forêt de Miombo à l'intérieur du Parc et champ défriché récemment. Photos : Montfort, 2018.

Figure 1. A) Overall structure of the thesis. Chapter 1 presents the issues, objectives and study sites. Chapter 2 focuses on estimating and locating past changes in the condition of the land and analysing the underlying factors on the national scale, in order to establish an estimate of land degradation in Mozambique. Chapter 3 investigates the dynamics of Miombo forest regeneration after slash-and-burn agriculture in the outskirts of the Gilé National Park in Zambezia province in the centre of the country. Chapter 4 provides information on the impact of agricultural intensification on the biodiversity of woody species, the structure of the vegetation and soil properties. Chapter 5 presents the approach developed to identify priority areas and strategies for forest landscape restoration in Mozambique on the scale of two districts. Finally, chapter 6 provides a synthesis and discussion of all the results of this thesis work. B) Landscape components in the outskirts of Gilé National Park: Miombo forest inside the Park and recently cleared cropland. Photos: Montfort, 2018.

Figura 1. A) Organización general de la tesis. El capítulo 1 presenta los retos, los objetivos y los lugares de estudio. El capítulo 2 trata de la estimación y la localización de los cambios de estado de las tierras pasados y el análisis de los factores subyacentes a escala nacional, para establecer una estimación de la degradación de las tierras en Mozambique. El capítulo 3 se interesa en las dinámicas de regeneración forestal del miombo después de agricultura de roza y quema en la periferia del Parque Nacional de Gilé, en la provincia de Zambezia, en el centro del país. El capítulo 4 proporciona información sobre el impacto de la intensificación de la agricultura en la biodiversidad de las especies leñosas, la estructura de la vegetación y las propiedades del suelo. El capítulo 5 presenta el planteamiento desarrollado para identificar las zonas prioritarias y las estrategias para la restauración de los paisajes forestales en Mozambique a escala de dos distritos. Finalmente, el capítulo 6 se centra en la síntesis y la discusión del conjunto de resultados de este trabajo de tesis. B) Componentes del paisaje en la periferia del Parque Nacional de Gilé: bosque de Miombo en el interior del Parque y campo desbrozado recientemente. Fotos: Montfort, 2018.

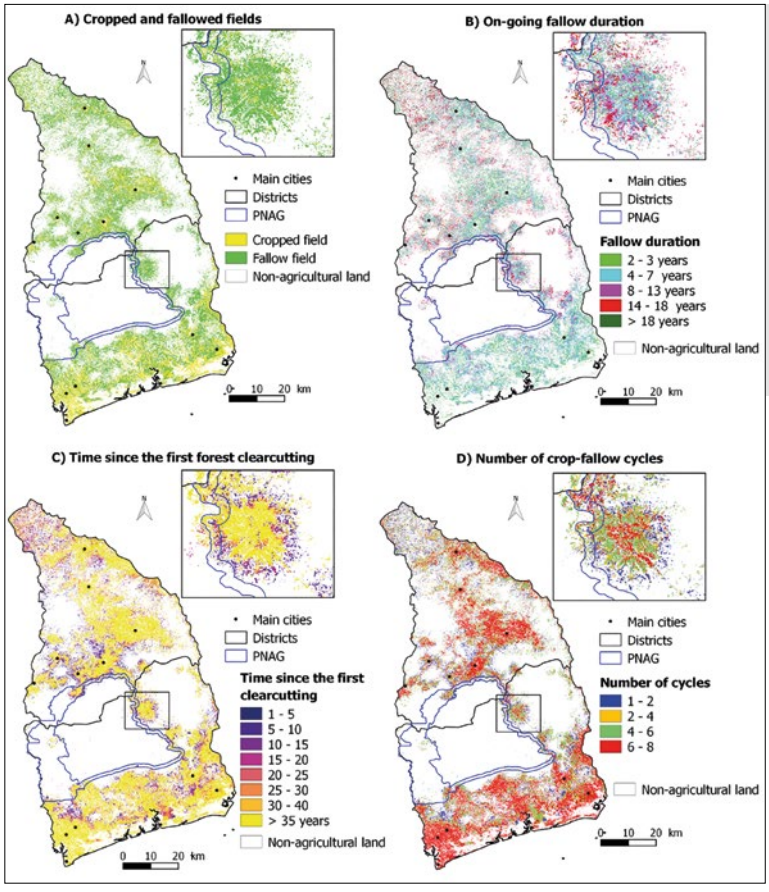


Figure 2. Carte de l'historique de l'utilisation des terres des districts de Gilé et Pebane (province de Zambézie, Mozambique) : A) Carte des champs cultivés et en jachère en 2019 ; B) Carte de la durée de la jachère en cours (en années) en 2019 ; C) Carte du temps écoulé depuis la première coupe forestière (en années) ; D) Carte du nombre de cycles culture-jachère.

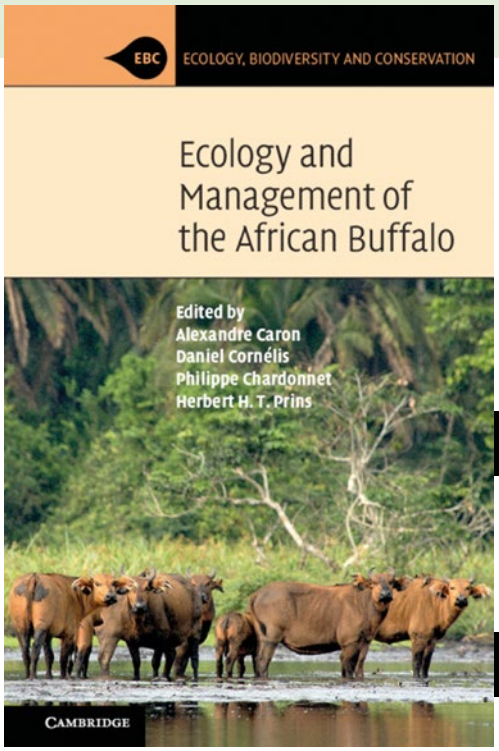
Figure 2. Map of the land-use history of Gilé and Pebane districts (Zambezia province, Mozambique): A) Map of cropped and fallow fields in 2019; B) Map of on-going fallow duration (in years) in 2019; C) Map showing time since the first forest clearcutting (in years); D) Map of the number of crop-fallow cycles.

Figura 2. Mapa del historial de utilización de las tierras de los distritos de Gilé y Pebane (provincia de Zambezia, Mozambique): A) Mapa de los campos cultivados y en barbecho en 2019; B) Mapa de la duración del barbecho en curso (en años) en 2019; C) Mapa del tiempo transcurrido desde la primera tala forestal (en años); D) Mapa del número de ciclos cultivo-barbecho.

Grade et diplôme : Docteure en science de l'environnement.
Université : AgroParisTech, France.
Date de soutenance : 19 novembre 2021.
Composition du jury
Direction : Lilian Blanc (Directeur, CIRAD, UR Forêts et Sociétés), Valéry Gond (Co-encadrant, CIRAD, UR Forêts et Sociétés), Agnès Bégué (Co-Encadrante, CIRAD, UMR TETIS), Clovis Grinand (Co-encadrant, Nitidæ, N'lab).
Membres :
Philippe Lejeune (Président, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique). Stéphanie Carrière (Rapporteure & Examinatrice, IRD, UMR SENS, France). Kamel Soudani (Rapporteur & examinateur, Université Paris-Saclay, France). Adeline Fayolle (Examinatrice, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique).
Langue de rédaction : Français avec des chapitres en anglais.
Financement : Cette recherche a été financée par Nitidæ, l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).
Accès au manuscrit : https://hal.science/tel-03524870
Contact : adresse e-mail : f.montfort@nitidae.org, adresse postale : Maison de la télédétection, 500 rue Jean-François Breton, 34090 Montpellier

Liste des articles publiés

Montfort F., Bégué A., Leroux L., Grinand C., 2019. Sensitivity Analysis of Land Productivity Change Calculation in Mozambique. IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Japan, 1633-1636. https://10.1109/IGARSS.2019.8900043
Montfort F., Bégué A., Leroux L., Blanc L., Gond V., Cambule A. H., Remane I. A. D., Grinand C., 2020. From land productivity trends to land degradation assessment in Mozambique: Effects of climate, human activities and stakeholder definitions. Land Degradation & Development, 32: 49-65. https://doi.org/10.1002/ldr.3704
Montfort F., Nourtier M., Grinand C., Maneau S., Mercier C., Roelens J.-B., Blanc L., 2021. Regeneration capacities of woody species biodiversity and soil properties in Miombo woodland after slash-and-burn agriculture in Mozambique. Forest Ecology and Management, 488: 119039. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119039



CARON A., CORNÉLIS D., CHARDONNET P., PRINS H. H. T., 2023.

Ecology and Management of the African Buffalo

UNITED KINGDOM, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 588 P.

One of iconic Africa's Big Five, the African buffalo is the largest African bovine or antelope that occurs throughout most of sub-Sahara and in a wide range of ecosystems from savanna to rainforest. The African buffalo is also one of the most successful large African mammals in terms of abundance and biomass. This species thus represents a powerful model to enhance our understanding of African biogeography and wildlife conservation, ecology and management. Edited by four researchers experienced in different aspects of the African buffalo's biology, this volume provides an exhaustive compilation of knowledge on an emblematic species that stands out as an important component of African natural and human ecosystems. It delivers a global view of the African buffalo and all known aspects of its ecology and management. This book will appeal to students, scholars, scientists and wildlife managers as well as those enthusiastic about the charismatic species. This title is also available as Open Access on Cambridge Core.

Adapted from the publisher's abstract.

Cambridge University Press, University Printing House, Shaftesbury Road, Cambridge, CB2 8BS, United Kingdom.

Free online: https://doi.org/10.1017/9781009006828

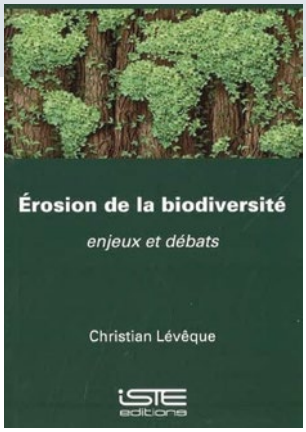
AMOROSO M., CABRAL DE OLIVEIRA J., MARRAS S., MORIM DE LIMA A. G., SHIRATORI K., EMPERAIRE L., 2022. **VOZES VEGETAIS – DIVERSIDADE, RESISTENCIAS E HISTORIAS DE FLORESTA.** FRANCE, IRD ÉDITIONS, 384 P.

De repente, começou se a falar desabridamente de vegetais. Capacitação do nosso olhar, diria Tânia Lima, que de invisíveis torna as plantas visíveis, de insignificantes as torna significativas, de mudas as faz falantes, e até exigentes de diálogo.
Aprendemos que há uma coevolução de plantas e animais, incluindo os humanos; um co-desenvolvimento de histórias de gente e de histórias de cuias; que grãos se prestam à emergência de estados opressores, o que não deixa de estar ligado à domesticação recíproca entre populações e plantas cultivadas.
Há aí um paradoxo. Os povos indígenas da Ama¬zônia domesticaram há milênios plantas da maior importância, mas parecem nunca se ter completamente sedentarizado. Por mais que tenham enriquecido a floresta, não a subjugaram; tampouco abandonaram seu gosto e conhecimento pelo que é silvestre. Praticam uma agricultura que não é só um modo de abrir roças mas também de restaurar florestas. Continuidade entre floresta e roçados, princípio de precaução, sugerese neste livro. Sim, mas também valor essencial da mobilidade, da alternância de modos de vida e da repartição de direitos entre os viventes.
A hierarquia do vivente está em causa. A humanização do vegetal é companheira do reconhecimento da vegetalidade no humano. Não somos apenas animais. Com isso, os direitos humanos que já se estenderam aos direitos dos animais e dos rios passam a poder se estender – em qualquer ordem – a cipós, paisagens, castanheiras, um pé de coentro, gravatás, florestas, milho branco, ervas daninhas... São direitos de existência, digna, de bem viver: direitos dos vegetais (todos diversos), coisa muito distinta dos direitos sobre os vegetais (todos iguais entre si) disputados pelas empresas.

Soudain, on s'est mis à parler sans arrêt de végétaux. C´est l´effet d´un entraînement de notre regard, dirait Tânia Lima, un regard qui, à présent, fait passer les plantes de l'invisible au visible, d'insignifiantes elles deviennent signifiantes, de simples plants on fait des êtres loquaces et qui exigent le dialogue. Nous avons appris qu'il y a une coévolution des plantes et des animaux, y compris des humains, qu'il y a un co-développement où les histoires de personnes et les histoires de calebasses sont entremêlées, que des céréales se prêtent à l'émergence d'États oppresseurs, ce qui va de pair avec une co-domestication entre populations et plantes cultivées. Il y a là un paradoxe. Les peuples indigènes d'Amazonie domestiquent depuis des millénaires des plantes de la plus haute importance mais il apparaît qu'ils ne se sont jamais totalement sédentarisés, domestiqués eux-mêmes. Ils ont certes enrichi la forêt mais sans la soumettre pour autant ; ils n'ont pas délaissé leur goût et leur connaissance de ce qui est sauvage. Ils pratiquent une agriculture qui ne se réduit pas à l'ouverture d'un abattis mais qui, tout autant, reconstitue la forêt. Ce livre suggère une continuité entre une parcelle cultivée et cette forêt : un principe de précaution en somme. Oui, mais aussi d'autres valeurs essentielles y sont, la mobilité, une alternance de modes de vie et la distribution de droits entre les vivants. La hiérarchie du vivant est en jeu. L'humanisation du végétal s´accompagne d´une prise de conscience de la végétalité dans l'humain. Nous ne sommes pas que des animaux. Avec cela, les droits de l'homme, déjà étendus aux droits des animaux et des fleuves, peuvent maintenant s'étendre aux lianes, aux paysages, aux noyers-d'Amazonie, à un pied de coriandre, à des broméliacées, aux forêts, au maïs blanc, aux mauvaises herbes... Ce sont des droits à l'existence, à la dignité, au bien vivre : les droits des végétaux (tous différents), fort éloignés des droits sur les végétaux (tous identiques) quand ils deviennent enjeu économique. C'est un livre précieux. Ce que l'ethnographie permet d'entrevoir, ce sont d'autres façons de penser et de vivre avec les végétaux. Ce sont des régimes dans lesquels on reconnaît leur agencement, leur sociabilité, leur volonté, leurs plaisirs, leurs appétits, leurs amitiés. Dans lequel les plantes ne sont pas « pauvres de monde », comme cela a déjà été dit. Il y a, en somme, des possibilités de rapports avec elles autres que les seuls contrôle, travail, usage et prédation : des relations de soins, de partenariat, de dialogue, de chants, de substance, de parenté, la liste est longue.

IRD Éditions, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.

www.editions.ird.fr



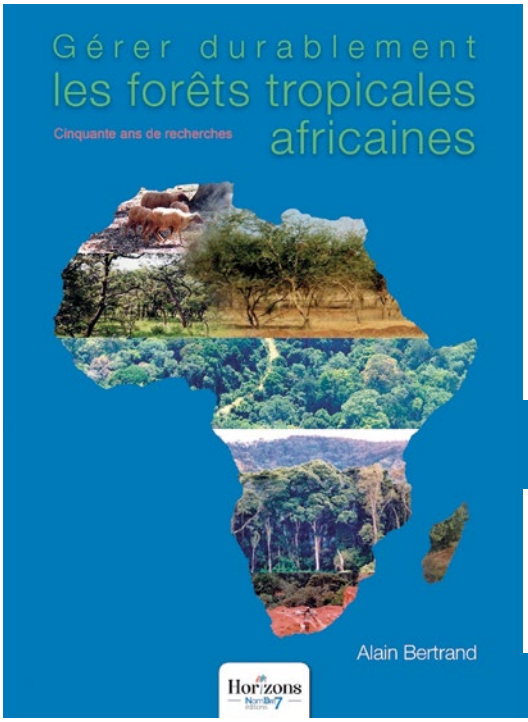
LEVÊQUE C., 2022. **ÉROSION DE LA BIODIVIERSITÉ : ENJEUX ET DÉBATS.** ROYAUME-UNI, ISTE ÉDITIONS, 272 P. [FICHIER NUMÉRIQUE]

L'érosion de la biodiversité est actuellement très médiatisée. Les mouvements militants accusent les hommes de détruire la nature et d'être responsables d'une sixième extinction de masse. Or, cette communication est parfois basée sur des amalgames, des idées trop partisanes, ainsi que sur des relais médiatiques qui privilégient et amplifient les informations alarmistes. Si la situation de certaines populations est préoccupante, ce n'est pas un phénomène général car d'autres sont en expansion. Il s'agit donc de recontextualiser et de relativiser le débat pour mieux définir les actions nécessaires. *Érosion de la biodiversité* analyse de nombreuses publications scientifiques ainsi que les discours anxiogènes, mettant l'accent sur les multiples biais dans le traitement de l'information. Cet ouvrage s'interroge sur la pertinence de la notion d'espèce et sur l'ambition de dresser l'inventaire du vivant. Il plaide pour une approche moins manichéenne de nos rapports à la nature.

Adapté du résumé de l'éditeur.

ISTE Éditions Ltd, 27-37 St George's Road, London, SW19 4EU, Royaume-Uni.

https://www.istegroup.com/fr/



Présentation de l'ouvrage rédigée par Bernard Mallet,
membre du comité éditorial de la revue *Bois et Forêts des Tropiques*.

Gérer durablement les forêts tropicales africaines

Alain Bertrand, Nombre 7 Éditions, Collection Horizons, 2023, 238 p.

L'ouvrage d'Alain Bertrand, *Gérer durablement les forêts tropicales africaines*, est bien plus qu'une autobiographie d'un ingénieur de recherche du monde des forêts et des bois tropicaux.

Cet ouvrage nous fait vivre « de l'intérieur » et via les projets auxquels a pris part l'auteur (ingénieur du CTFT, du Cirad, puis du bureau d'études Edenia après sa retraite), cinquante années d'évolution des concepts et actions relatifs à la gestion des forêts tropicales.

Il nous montre l'importance cruciale des relations humaines et des partenariats, entre chercheurs du Cirad et autres organismes français publics et privés, avec les collègues des pays du Sud, avec les administrations et les bailleurs de fonds, pour pouvoir concevoir et mener à bien les projets engagés.

De la longue expérience africaine de l'auteur – dans près d'une trentaine de pays, en particulier Gabon, Côte d'Ivoire, Niger, Madagascar, Mali, Maroc… et couvrant les évolutions de ces pays depuis la période des indépendances jusqu'en 2018 – on peut plus particulièrement souligner trois composantes auxquelles il a contribué, et qui ont fait sensiblement évoluer les réflexions et politiques relatives à la « foresterie tropicale » :

- L'importance d'assurer un approvisionnement durable en « bois énergie » (bois, charbon de bois), enjeu toujours d'actualité pour une grande part des populations africaines, rurales et urbaines, dans un contexte de forte démographie et de raréfaction de la ressource ligneuse.
- La nécessité d'impliquer – réellement – les populations dans la gestion locale des ressources naturelles (en particulier le bois), afin que celle-ci contribue à leur développement social et économique, au-delà des intérêts propres des autres acteurs (administrations, commerçants…) des filières concernées.
- Le besoin de politiques affirmées et transcrites en lois et décrets, puis de leur mise en œuvre par des administrations et acteurs efficaces et motivés, afin que ces stratégies de gestion durable des ressources naturelles soient effectivement appliquées et menées au service des pays et de leurs populations.

Comme cela ressort de l'ouvrage, Alain Bertrand, chercheur impliqué et engagé, a également eu à cœur la production d'un nombre important d'ouvrages collectifs, communicant et valorisant ainsi les résultats des projets auxquels il a participé.

Au-delà de cinquante années d'évolutions des stratégies forestières africaines, c'est aussi de l'évolution scientifique et partenariale de la recherche française, CTFT et Cirad, à laquelle l'auteur a pris part dans ses fonctions de syndicaliste, mais aussi de l'IRD et des universités, que traite cet ouvrage.

Nombre7 Éditions, 866 avenue du Maréchal Juin, 30900 Nîmes, France.
librairie.nombre7.fr

26th IUFRO World Congress
Forests and Society Towards 2050
Sweden, Stockholm | 23-29 June 2024

Rationale

Demands of forest ecosystem services grow up due to the climate crisis and the need to reinforce the bioeconomy sector, the social services of healthy forests as established by the UN sustainable development goals, and forest resilience to disturbances and anthropogenic pressures.

By 2050, drastic changes are expected in population growth, climate change, biodiversity loss, globalization and a growing world economy, putting tremendous pressure on forests and the societies who depend on them. 2050 is a landmark year to achieve the vision of Living in Harmony with Nature of the Convention on Biological Diversity as well as the target of net zero emissions. With a focus on forest contribution to the UN 2030 Agenda and its sustainable development goals (SDG), the IUFRO World Congress in Stockholm 2024 will help streamline forest research agendas, furthering dialogues and cross-sector cooperation, and promote the multi-functionality of forests and their services.

THEME 1: Strengthening forest resilience and adaptation to stress

Biotic and abiotic stressors of forest have been studied for many years and recent developments indicate that the effects of climate change are already threatening forest health globally with increasing fire frequency and damage by forest pests and pathogens, especially in hemiboreal and boreal zones. The climatic consequences on the forest-soil-water nexus fuel the necessity to understand and predict the magnitude and impact of such disturbances. Maintaining and improving forest health depends on our capacity to understand forest vulnerability and adaptation mechanisms, and to reduce and manage risks, so that we can improve adaptation, mitigation and restoration measures in forest management.

THEME 2: Towards a responsible forest bioeconomy

Sustainability is the goal, a goal which can only be achieved by people taking responsibility together to achieve it. Economic sustainability means that the viability, productivity and profitability of forests are preserved in the long term. All sustainability issues, ecological, economic, cultural and social sustainability need to be considered in order to secure a responsible use of any forest resource. Climate change mitigation increases demand for renewable raw material based solutions and forest biomass plays a key role in the future bioeconomy. New products and cascade use of biomass challenges research and innovation actions. End-user and consumer acceptance is important in order to advance sustainable and resource efficient solutions.

THEME 3: Forest biodiversity and its ecosystem services

Forest biodiversity is the foundation of many ecosystem services, and the effect of biodiversity on ecosystem functioning and processes is a central issue. Biodiversity is under unprecedented threat driven largely by habitat loss. Rapid changes in biodiversity put ecosystem functioning at risk and jeopardize the essential services that we rely on. Research on biodiversity, ecosystem functions and services will play substantial roles in the development of sustainable forest management practices and contribute to the Sustainable Development Goals. This research will help forest science to contribute to the sustainability of our future.

THEME 4: Forests for sustainable societies

Changes in values, demographics, production and consumption patterns, together with environmental threats, are major challenges to society. These challenges demand transformative innovations, with novel, synergistic collaborations occurring across sectors, new business and governance models, policymaking, and stronger institutions. A just transition to low-carbon, nature-based and resilient economies is a prerequisite for sustainable societies. Healthy forests and trees are a key factor to drive this transition to enhanced well-being and quality of life for both urban and rural populations. Governance for sustainable societies must consider individuals and communities, values, gender, social equality, health and income, as well as the institutional arrangements supporting people's livelihoods and quality of life.

THEME 5: Forests for the future

Actions to protect and support the sustainable use of forests require updated methodologies and innovative approaches, to allow local-to-global programming and improve capacity building and knowledge development, communication and outreach. Filling in knowledge gaps and raising a generation of young forest experts will improve the accuracy of forest accounting and predictions, a crucial part of the strategy to meet climate mitigation targets, protect forests and consolidate the role of the forest sector in the global environmental context.

ISBN: 978-2-87614-834-5 (PDF)
ISBN: 978-2-87614-833-8 (relié)

More information
https://iufro2024.com/iufro-world-congress-2024/forests-and-society-towards-2050/