

Etudes dendrométriques et dendrochronologiques de neuf espèces de *Commiphora* Jacq. (Burseraceae) dans les forêts sèches de l'Ouest de Madagascar

Fenonirina Rakotoarison¹, Harisoa Ravaomanalina¹, Edmond Roger¹ & Bakolimalala Rakouth¹

¹Département de Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar
E-mail : fenorakotoarison@yahoo.fr, harisoa.ravaomanalina1@gmail.com, rogeredmond1@yahoo.fr, ba.rakouth@yahoo.fr

Résumé

Le genre *Commiphora*, appartenant à la famille des Burseraceae, est un genre caractéristique de la forêt dense sèche de basse altitude de l'Ouest de Madagascar. La plupart des espèces de ce genre sont endémiques et très utilisées mais leur rythme de croissance reste encore imparfaitement connu. Des enquêtes sur leur utilisation, des études dendrométriques (biovolume) et dendrochronologiques ont été réalisées. Aux alentours du Parc National d'Ankarafantsika (Tsaramandroso) et de la Réserve Spéciale d'Andranomena (Morondava), neuf espèces, toutes endémiques, ont été recensées : *C. grandifolia*, *C. orbicularis*, *C. simplicifolia*, *C. tetramera*, *C. guillauminii*, *C. mafaïdoha*, *C. marchandii*, *C. pervilleana* et *C. stellulata*. Les cinq dernières espèces fournissent du bois d'œuvre, avec un potentiel en bois assez élevé de 3 à 11 m³/ha chacune. L'étude dendrochronologique a montré que toutes les espèces présentent des cernes de croissance distincts, annuels, assez réguliers et continus. La croissance annuelle en diamètre de ces neuf espèces de *Commiphora* varie entre 1,76 à 4,12 mm. Les espèces récoltées à Tsaramandroso ont une croissance plus rapide (> 2,3 mm/year) que celles rencontrées à Morondava (< 2,2 mm/year).

Mots clés : *Commiphora*, Burseraceae, dendrométrie, anatomie du bois, cerne, croissance, dendrochronologie

Extended abstract

The genus *Commiphora* (Burseraceae) is characteristic of the dry forests of lowland western Madagascar. Most Malagasy species are endemic

and widely used for different purposes by humans. However, they are still poorly understood in terms of growth rate. Therefore, a survey was conducted of their ethnobotanical uses, as well as studies on their biovolume and on their growth in diameter by dendrochronological methods. Two sites were chosen: the forest of Tsaramandroso (at the west periphery of Ankarafantsika National Park) and the forest of Andranomena (near Andranomena Special Reserve, Morondava). Nine species were inventoried at the two sites, of which one was used for medicinal purposes (*C. simplicifolia*), three used as fences for houses and fields (*C. tetramera*, *C. grandifolia*, and *C. orbicularis*) and five for timber (*C. guillauminii*, *C. mafaïdoha*, *C. marchandii*, *C. pervilleana*, and *C. stellulata*). These latter five species produce excellent wood with a relatively high biovolume potential (3 to 11 m³/ha per species). Their height, the shape of the trunk, and the lack of low branches provide excellent planks for construction. The dendrochronological studies showed that all species present distinct growth rings, which are fairly regular and continuous. Each growth ring is characterized macroscopically by a clear and developed layer (early wood) and a dark and reduced layer (later wood). This later wood is limited by a continuous line that, microscopically, is constituted by continuous rows (1-6) of cell fibers to reduced radial diameter. The growth rings are annual. These results permitted to evaluate the annual growth in diameter of the nine species of *Commiphora*, which varies from 2 to 3 mm except for *C. grandifolia* that has a relatively fast growth (4.12 mm) and *C. guillauminii* that has the slow growth (1.76 mm). However, the species harvested in Tsaramandroso present a faster growth (> 2.3 mm/an) than those found in Morondava (< 2.2 mm/an). The age-diameter report varies depending on the species. To reach 10 cm diameter (excluding bark): *C. grandifolia* would take 24 years; *C. stellulata*, *C. pervilleana*, and *C. tetramera* 33 to 41 years; and *C. guillauminii*, *C. mafaïdoha*, *C. marchandii*, *C. orbicularis*, and *C. simplicifolia* 47 to 56 years.

Key words: *Commiphora*, Burseraceae, dendrometry, wood anatomy, growth rings, dendrochronology

Introduction

A Madagascar, les espèces ligneuses présentent un taux d'endémisme proche de 96% (Schatz, 2001). La forêt dense sèche caducifoliée de l'Ouest est un exemple typique de cette richesse. Plusieurs espèces de ces arbres sont à la fois endémiques et très utiles pour l'homme. Pourtant, on constate que les données concernant l'écologie et la croissance en épaisseur de la plupart des espèces sont encore insuffisantes alors qu'elles sont fortement exploitées. Parmi ces espèces figurent celles du genre *Commiphora*, de la famille des Burseraceae, appelé localement « *matambelona* » ou « *boy* » ou « *arofy* ». C'est un genre caractéristique de la forêt dense sèche de basse altitude de l'Ouest de Madagascar avec les genres *Dalbergia* et *Hildegardia* (Humbert, 1965). Ce genre est classé parmi les bois tendres et très légers (densité < 0,65), à élasticité moyenne et dans la catégorie inférieure. Il est facile à travailler (Gueneau, 1971).

La connaissance des espèces avec toutes leurs caractéristiques, en particulier le bois, constitue des informations de base pour la prise de décisions aussi bien en vue de la conservation que de la production. Jusqu'ici les études faites à Madagascar sur ce genre se sont surtout focalisées sur la germination, la phénologie, les propriétés médicinales et la systématique. Très peu de travaux traitent de la dendrochronologie pour connaître le rythme de croissance de ce genre à Madagascar. En fait, la dendrochronologie est une science qui repose sur la mesure des largeurs des cernes de croissance et sur leur datation précise (Lebourgeois, 2010). Le présent travail a ainsi pour but de déterminer la croissance annuelle en diamètre et l'âge d'exploitabilité des neuf espèces de *Commiphora* les plus utilisées par les populations locales.

Milieu d'étude

L'étude a été effectuée dans le domaine de l'Ouest de Madagascar. Elle comprend deux zones (Figure 1) :

- 1) *Zone A* : dans la région de Boeny (Nord-ouest de Madagascar), à Tsaramandroso (périphérie Est du Parc National d'Ankarafantsika), localisé entre 15°36'S et 16°22'S et 46°22'E et 47°03'E.
- 2) *Zone B* : dans la région de Menabe, à Morondava (à coté de la Réserve Spéciale d'Andranomena) ;

elle se trouve entre 20°09'S et 20°12'S et 44°25'E et 44° 30'E.

Les sols sont classés parmi les sols ferrugineux tropicaux qui sont peu lessivés à Morondava (Chaperon *et al.*, 1993), caractéristique d'un sol tropical ayant une saison sèche bien marquée.

Le climat des deux zones d'étude appartient au type tropical sec (Morat, 1973 ; Cornet, 1974), caractérisé par deux saisons nettement contrastées (Dufournet, 1972) : une saison sèche et une saison pluvieuse.

Les précipitations diminuent du Nord au Sud de Madagascar. La moyenne annuelle est de 1540 mm à Tsaramandroso contre 750 mm à Morondava. La température reste élevée pendant la saison pluvieuse (> 27°C). Elle diminue pendant la saison sèche (< 25°C). La moyenne annuelle est de 27°C à Tsaramandroso et 26°C à Morondava.

Les courbes ombrothermiques des deux sites (Figures 2, 3) permettent de mettre en évidence deux saisons : 1) une saison chaude et pluvieuse de cinq mois à Tsaramandroso et quatre mois à Morondava ; 2) une saison sèche de sept mois (avril-octobre) à Tsaramandroso et huit mois (avril-novembre) à Morondava.

Matériels et méthodes

Matériels d'étude

Toutes les espèces de *Commiphora* présentes sur les sites d'étude ont été étudiées. Pour chaque espèce, en plus des spécimens d'herbiers, trois rondelles de bois de 10 cm de diamètre, venant de trois individus distincts ont été récoltés. Les rondelles de bois ont été directement fixées dans du FAA, une solution composée 5 cc de formaldéhyde, 5 cc d'acide acétique glacial et 90 cc d'alcool 70°.

Etudes sur terrain

Sur terrain, des enquêtes ont été menées auprès des villageois, des guides forestiers et des agents de conservation pour avoir le maximum d'informations concernant l'utilisation des espèces de *Commiphora* présentes dans les zones d'étude. Les résultats de ces enquêtes ont permis, d'une part, de localiser les sites de collecte des échantillons et, d'autre part, de calculer le pourcentage d'utilisation de chaque espèce selon la formule de Lance *et al.* (1994) suivant les catégories d'utilisations (bois de construction, plante médicinale, clôture d'habitation et/ou des champs).

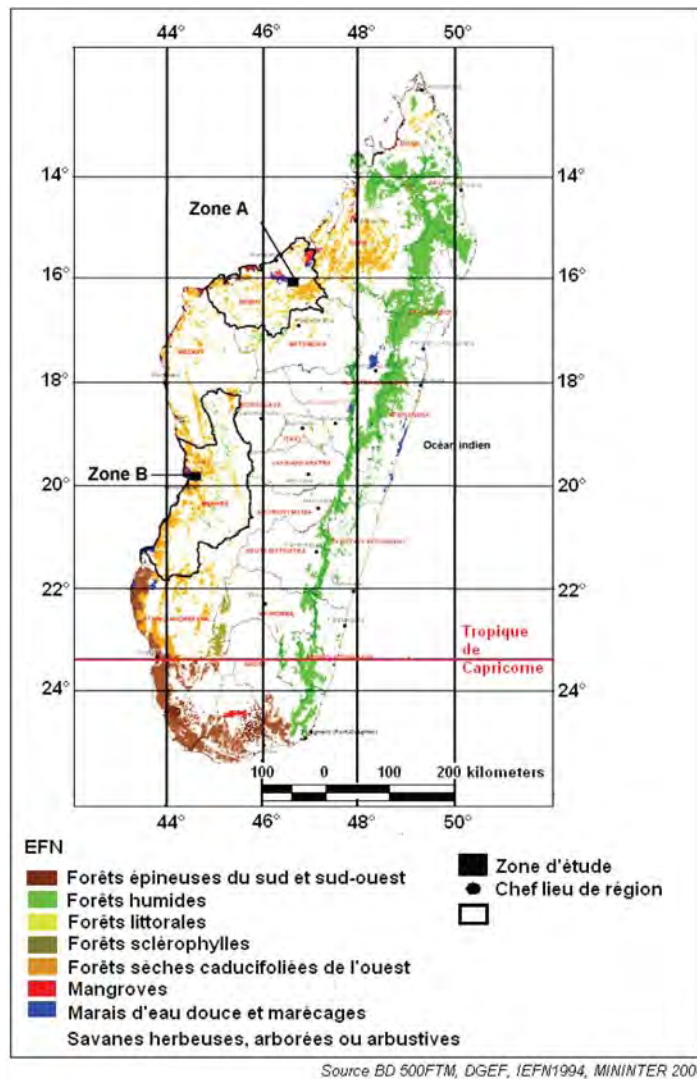


Figure 1. Localisation des zones d'étude : A) Tsaramandroso et B) Morondava.

$$I (\%) = (n/N) \times 100$$

I : indice d'utilisation

n : nombre de personnes utilisant l'espèce

N : nombre total de personnes enquêtées

I > 60% : l'espèce est très connue et très utilisée

60% > I > 30% : l'espèce est moyennement connue et utilisée

I < 30% : l'espèce est peu connue et peu utilisée

Pour la récolte d'échantillons, vu les caractéristiques des cernes de bois des pays tropicaux (dimension irrégulière), on a choisi de prendre des rondelles de bois au lieu de carottes (échantillons de bois prélevés à l'aide d'une tarière) pour diminuer les risques d'erreurs pendant les comptages des cernes. Pendant cette collecte, des inventaires des espèces cibles ont été effectués dans chaque zone d'étude. Dans un plateau de 20 x 50 m, divisé en 10 placettes de 10 x 10 m, tous les individus des espèces de *Commiphora* présents dans chaque placette ont été recensés et mesurés (hauteur du fût, diamètre à hauteur de poitrine et hauteur totale). Les

paramètres utilisés sont la hauteur du fût, le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et la hauteur maximale. Pour les analyses des données, le potentiel en bois V_i , pour les bois d'œuvre à dhp ≥ 10 cm a été calculé selon la formule de Dawkins (1959) :

$$V_i = 0,53 \times \sum g_i \times h_i$$

$$G_i = \pi / 4 \times d_i^2$$

V_i : potentiel en bois ou biovolume de l'espèce i (m^3/ha)

g_i : surface terrière de chaque individu de l'espèce i (m^2/ha)

h_i : hauteur du fût d'un individu de l'espèce i (m)

d_i : diamètre de chaque individu de l'espèce i (m)

Etudes au laboratoire

Les spécimens d'herbiers de chaque espèce ont été identifiés et vérifiés dans les deux herbiers nationaux : Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT) et Direction de Recherches Forestières et Piscicoles de FOFIFA (Foibe Fikarohana ho Fampandrosoana ny any Ambanivohitra d'Ambatobe) en utilisant les

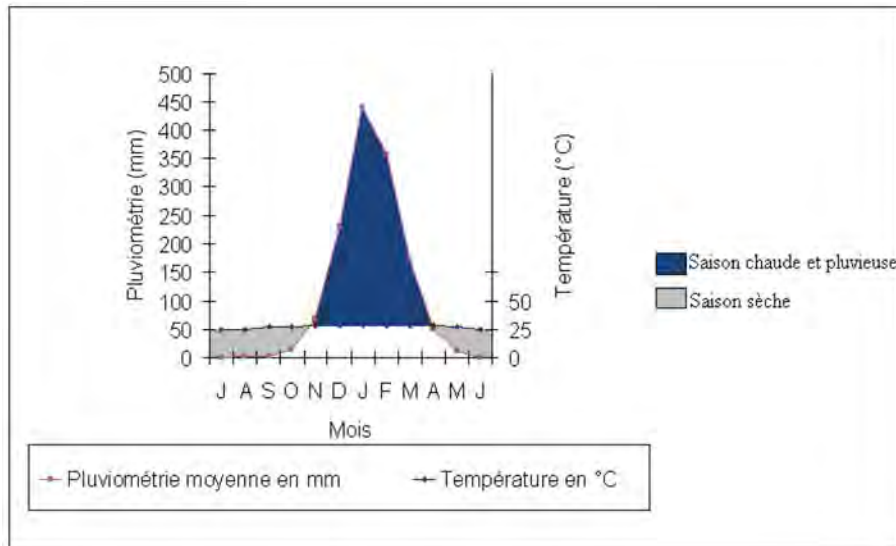


Figure 2. Diagramme ombrothermique de Tsaramandroso (1970 - 2008).

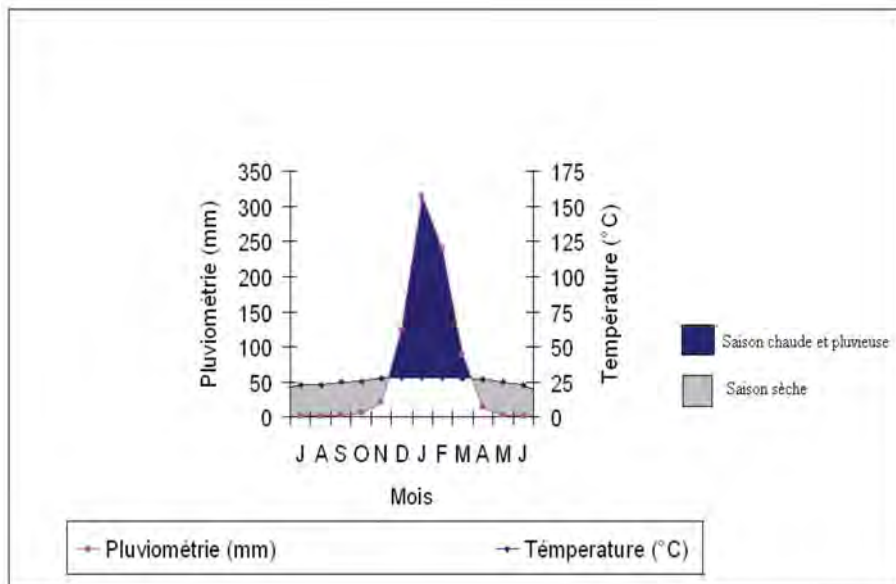


Figure 3. Diagramme ombrothermique de Morondava (1970 - 2009).

collections d'herbiers existant et des publications comme la Flore de Madagascar et des Comores (Perrier de la Bâthie, 1946), la Flore générique des arbres de Madagascar (Schatz, 2001). Les échantillons de bois collectés ont été déposés au Département de Biologie et Ecologie Végétales de l'Université d'Antananarivo, Madagascar.

Pour atteindre l'objectif global de cette présente étude, des coupes anatomiques du bois et des analyses des cernes de croissance ont été effectuées.

Anatomie du bois

Afin de vérifier si les espèces étudiées possèdent ou non des cernes de croissance, des coupes transversales variant de 8-16 μm d'épaisseur à

l'aide du microtome à glissière type REICHERT ont été faites à partir d'un cube de bois prélevé dans l'aubier des rondelles. Les coupes obtenues ont été traitées selon la méthode standard de Johansen (1940), à l'exception du montage des coupes entre lames et lamelles qui a été fait dans de l'Euparal. Les coupes ont été séchées, puis les observations ont été faites au microscope optique doté d'un micromètre oculaire. L'interprétation et la description anatomique ont été faites selon la nomenclature de l'IAWA Committee (1989) (« International Association of Wood Anatomists »).

Etudes dendrochronologiques

En dendrochronologie, la connaissance sur l'annualité des cernes constitue le point de départ.

Le régime des précipitations a une grande influence sur la croissance des arbres. La formation d'un cerne commence au début de la saison de pluie et se termine à la fin de la saison sèche. Or, dans les deux zones d'étude, on a deux saisons bien marquées. Ainsi, pour déterminer l'annualité des cernes, deux méthodes complémentaires ont été appliquées.

1) La comparaison de la courbe de précipitations (1955 - 2009) de chaque zone d'étude avec la courbe de variations de l'épaisseur des cernes de chaque individu d'une espèce depuis la première année de sa croissance a été faite. Pour vérifier s'il y a une corrélation ou non entre la pluviométrie et la croissance des cernes, le test de corrélation de PEARSON a été appliqué :

$$r = \frac{\sum [(x - m_x) \times (y - m_y)]}{\sqrt{\sum (x - m_x)^2 \times \sum (y - m_y)^2}}$$

x : variable précipitation

y : variable épaisseur des cernes

mx : moyenne observée des précipitations

my : moyenne observée des épaisseurs des cernes

La valeur du coefficient de corrélation r varie de -1 à 1. La corrélation entre la précipitation et l'épaisseur des cernes est d'autant plus grande que la valeur de r s'approche de 1. A partir de la table de coefficient de corrélation, la signification de la corrélation entre ces deux variables a été déterminée. Ainsi, pour un degré de liberté ou ddl donnée (ddl = n-2, avec n le nombre des cernes dans une rondelle), si la valeur de r calculée dépasse la valeur de r donnée dans la table du coefficient de corrélation, pour un risque inférieur ou égal à 10% ($\alpha \leq 0,1$), la corrélation entre la précipitation et l'épaisseur des cernes est significative.

Pour la réalisation de la courbe de précipitations, la moyenne annuelle des précipitations à partir du début de la saison de pluie a été calculée :

- a) à Tsaramandroso, de novembre (année précédente ou année n) jusqu'à octobre (année suivante ou année n+1) ;
- b) à Morondava, de novembre (année précédente ou année n) jusqu'à novembre (année suivante ou année n+1).

Pour obtenir les courbes montrant les variations de l'épaisseur des cernes de croissance de chaque espèce, les rondelles ont été analysées selon la méthode de Lopez (2004) : le diamètre du bois et l'épaisseur de l'écorce des rondelles conservées dans du FAA ont été mesurés puisque des rétrécissements radiaux peuvent se produire quand le bois devient

sec. Une fois le bois séché, un polissage sur l'une des faces de rondelles de bois a été fait avec les disques de ponçage de grains différents (36, 60, 80, 100 et 120). Les cernes ont été ensuite comptés le long de quatre rayons (formant un angle de 90°) de chaque rondelle. Pour cela, on fait le marquage au crayon à l'aide d'une loupe binoculaire, puis le comptage et les mesures à partir du dernier cerne formé sous l'écorce. Cette dernière se fait à l'aide d'un microscope doté d'un micromètre oculaire est déterminée avec une précision de l'ordre de 0,01 mm.

La courbe montrant la relation entre épaisseur des cernes et précipitations de chaque espèce a été obtenue en utilisant la moyenne des quatre rayons (sans l'écorce).

2) L'interdatation qui est, une technique permettant de vérifier et de corriger la datation des cernes par comparaison des rondelles entre elles. Cette méthode consiste à détecter sur les courbes de variation de l'épaisseur des cernes de tous les individus récoltés dans le même site les années présentant des cernes caractéristiques (cernes larges ou cernes minces). Ces années sont ensuite étudiées séparément afin de connaître les causes de ces variations brusques et d'attribuer à chaque cerne l'année exacte de sa formation. Ainsi si, d'une part, le nombre d'années et le nombre de cernes entre deux années caractéristiques sont égaux et si d'autre part, les précipitations annuelles influent sur l'épaisseur de chacun des cernes, ils sont à croissance annuelle.

Le facteur « précipitation » a été choisi par le fait qu'il puisse avoir une influence sur la croissance en diamètre des espèces. Il renferme des données chiffrées (ayant une valeur scientifique) récoltées de longue date (depuis 1955 jusqu' à 2009 avec une manque entre 1994 et 1998 pour Tsaramandroso) comparables à la croissance des individus étudiés.

Lorsque l'annualité des cernes a été déterminée, on peut évaluer la croissance moyenne annuelle en diamètre de chaque espèce. Pour le calcul de la moyenne générale de l'épaisseur des cernes de chaque individu d'une espèce, les faux cernes ou double cerne (deux bandes de bois final formées la même année) et les cernes absents (aucune formation de bande de bois final dans une année quelconque) détectés lors de l'interdatation ont été pris en compte. Les faux cernes ont été éliminés et les cernes manquants ont été complétés. Les moyennes obtenues sur les trois individus d'une espèce ont été analysées par le logiciel XLSTAT 6.0 afin de savoir s'il y a une différence significative ou

Tableau 1. Liste des espèces cibles récoltées et leurs utilisations.

Zone d'étude	Espèce	Port	Utilisation	Indice d'utilisation (%)
TSARAMANDROSO	<i>Commiphora tetramera</i> Engler	Arbuste-petit arbre	Clôture de maison et de champ	32,65
	<i>Commiphora stellulata</i> H. Perr	Arbre		46,93
	<i>Commiphora pervilleana</i> Engler	Arbuste-petit arbre		53,06
	* <i>Commiphora grandifolia</i> Engler	Arbuste-petit arbre		79,59
	<i>Commiphora stellulata</i>	Arbre	Bois de construction	40,81
	<i>Commiphora pervilleana</i>	Arbuste-petit arbre		51,02
MORONDAVA	<i>Commiphora orbicularis</i> Engler	Arbuste tortueux	Clôture de maison et de champ	40,00
	<i>Commiphora pervilleana</i>	Arbuste-petit arbre		53,06
	* <i>Commiphora grandifolia</i>	Arbuste-petit arbre		47,12
	<i>Commiphora marchandii</i> Engler	Arbuste		54,54
	<i>Commiphora simplicifolia</i> H. Perr	Arbuste		78,18
	<i>Commiphora marchandii</i>	Arbuste	Bois de construction	43,63
	<i>Commiphora guillauminii</i> H. Perr	Arbre		85,45
	<i>Commiphora mafaidoha</i> H. Perr	Arbre		90,90
<i>Commiphora simplicifolia</i>	Arbuste	Plante médicinale	72,72	

*aucune rondelle pour les études anatomique et dendrochronologique, diamètre < 4 cm (jeune).

non (probabilité égale à 95%). Si la différence n'est pas significative, la croissance moyenne annuelle en diamètre est égale à la moyenne de l'épaisseur générale des cernes des trois individus multipliée par deux. Une fois la croissance moyenne annuelle est déterminée, l'âge d'exploitabilité de chaque espèce est connu.

Résultats

Enquêtes ethnobotaniques

Neuf espèces ont été recensées dans les deux sites (Tableau 1) dont une espèce commune aux deux sites. Une espèce de plante est médicinale (*C. simplicifolia*), trois espèces sont utilisées comme clôture de maison (*C. tetramera*, *C. grandifolia* et *C. orbicularis*) et cinq espèces comme bois d'œuvre (*C. guillauminii*, *C. mafaidoha*, *C. marchandii*, *C. pervilleana* et *C. stellulata*). Les résultats sur l'indice d'utilisation montrent que le genre est plus exploité à Morondava qu'à Tsaramandroso. Les espèces les plus utilisées par les populations locales sont *C. grandifolia* (à Tsaramandroso) et *C. mafaidoha*, *C. simplicifolia*, *C. guillauminii* (à Morondava). Des dimensions élevées, un fût droit et l'absence de branches basses sont des facteurs qui conduisent les populations locales à utiliser certaines espèces comme bois d'œuvre.

Potentiel en bois

Le biovolume à l'hectare des trois espèces, *C. pervilleana*, *C. stellulata* et *C. mafaidoha* (Tableau

2), se situe entre 3,10 à 5,55 m³/ha. Ce biovolume est élevé chez *C. guillauminii* (11,71 m³/ha) et faible chez *C. marchandii* (1,0 m³/ha). Les observations faites à Tsaramandroso ont montré que *C. stellulata* a une exigence particulière en sol et en eau. Elle est fréquente sur des sols plus argileux et périodiquement inondés.

Les bois d'œuvre occupent la strate supérieure (6 - 12 m) de la formation dans laquelle elles vivent et elles ne sont dépassées en taille que par quelques espèces (*Adansonia* spp., *Colvillea racemosa*, etc.).

Tableau 2. Potentiel en bois des cinq espèces de bois d'œuvre.

Zone d'étude	Site	Espèce	Vi (m ³ /ha)
Tsaramandroso	Analamarina	<i>Commiphora pervilleana</i>	3,10
	Amboazango	<i>Commiphora pervilleana</i>	4,11
		<i>Commiphora stellulata</i>	5,55
Morondava	Ampataka	<i>Commiphora marchandii</i>	1,00
		<i>Commiphora mafaidoha</i>	5,39
		<i>Commiphora guillauminii</i>	11,71

Caractéristiques des cernes de croissance de *Commiphora*

Le bois de *Commiphora* est caractérisé par des cernes de croissance distincts (même à l'œil nu). Chaque cerne est caractérisé macroscopiquement par une couche claire (bois initial) plus développée et une

couche sombre (bois final) réduite. Le bois final est limité par une ligne continue qui, microscopiquement, est constituée par quelques rangées continues (1 - 6) de cellules de fibres à paroi épaisse et à diamètre radial réduit (Figure 4).

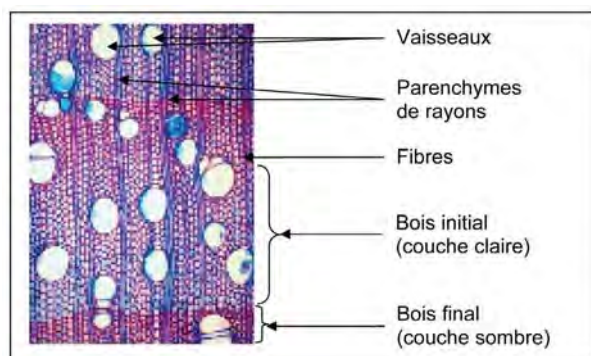


Figure 4. Cerne de croissance de *Commiphora marchandii* (Coupe transversale, échelle x 100).

Résultats des études dendrochronologiques

Annualité des cernes

L'analyse de la courbe de croissance des cernes et la courbe des précipitations moyennes annuelles depuis 1950 - 2009 montrent que la croissance du bois est influencée par les précipitations. Chaque espèce présente le plus souvent les mêmes réactions par rapport aux variations des précipitations.

D'après les analyses statistiques, la corrélation entre les précipitations et la croissance des cernes est significative à une probabilité de 90% ($\alpha = 0,10$). Ainsi les variations des précipitations peuvent influencer sur la croissance des cernes des neuf espèces étudiées même si cette corrélation n'est pas très étroite (Tableau 3). Toutefois, trois espèces (*Commiphora stellulata*, *C. mafaidoha* et *C. guillauminii*) présentent une corrélation étroite avec les précipitations.

L'interdatation entre les rondelles de bois récoltées dans chaque zone d'étude montre différents cas.

- 1) A Tsaramandroso (Figure 5, a-d), l'épaisseur des cernes entre 2001 - 2002 (novembre 2001 à octobre 2002) est réduite. Cette réduction peut être interprétée comme l'effet de la réduction significative de la précipitation qui atteint presque le minimum depuis 40 ans (1030 mm ; dont la moyenne annuelle est de 1540 mm) ;
- 2) A Morondava (Figure 6, a-d), entre les années 1976 - 1977 puis entre 1981 - 1982, la croissance est maximale. Cet accroissement en diamètre est interprété comme l'effet de la précipitation car pendant les années 1977 et 1982 les valeurs de la pluviométrie moyenne annuelle sont respectivement maximales (1447 et 1109 mm).

Entre 1984 - 1985, une réduction significative de la croissance en diamètre est observée. L'analyse des données sur les précipitations pendant l'année 1985 a montré que leur quantité mensuelle est toujours inférieure à 80 mm sauf le mois de janvier (172,1 mm).

- 3) Dans les deux zones d'étude, une réduction significative de l'épaisseur des cernes (marquée en ovale sur les graphes de la Figure 5) est observée entre 1994 - 1995 sur toutes les rondelles étudiées. Cette réduction peut être interprétée comme l'effet du passage du cyclone Geralda en 1994 car le vent violent apporté par ce cyclone peut provoquer des coupures des branches et chute des feuilles au niveau de l'arbre entraînant une perturbation de leurs activités physiologiques voire perturbation de la croissance. Ces résultats ont permis de conclure que les cernes de croissance des neuf espèces du genre *Commiphora* étudiées sont annuels.

Tableau 3. Test de corrélation entre la croissance des espèces et les précipitations.

Espèces	ddl	α	Valeur de r donnée (Table de Fisher)	Valeur de r calculée
<i>Commiphora grandifolia</i>	24	0,1	0,332	0,363
<i>Commiphora stellulata</i>	32	0,05	0,350	0,327
<i>Commiphora pervilleana</i>	35	0,1	0,274	0,288
<i>Commiphora tetramera</i>	40	0,1	0,257	0,303
<i>Commiphora marchandii</i>	43	0,1	0,251	0,270
<i>Commiphora mafaidoha</i>	50	0,05	0,273	0,277
<i>Commiphora simplicifolia</i>	43	0,1	0,251	0,273
<i>Commiphora orbicularis</i>	47	0,1	0,238	0,242
<i>Commiphora guillauminii</i>	54	0,05	0,264	0,293

Croissance en diamètre

Dans les deux zones d'étude, la croissance en diamètre des troncs des espèces étudiées peut être interprétée comme suit :

- 1) Pendant les quelques premières années (stade de jeunes pousses, en général < 10 ans), la croissance est faible (2,0-2,4 mm à Tsaramandroso et 1,1 - 2,0 mm à Morondava) même si les précipitations sont élevées.
- 2) Cette croissance moyenne augmente au-delà de l'année 1998 (2,5 - 4,4 mm à Tsaramandroso et 2,0

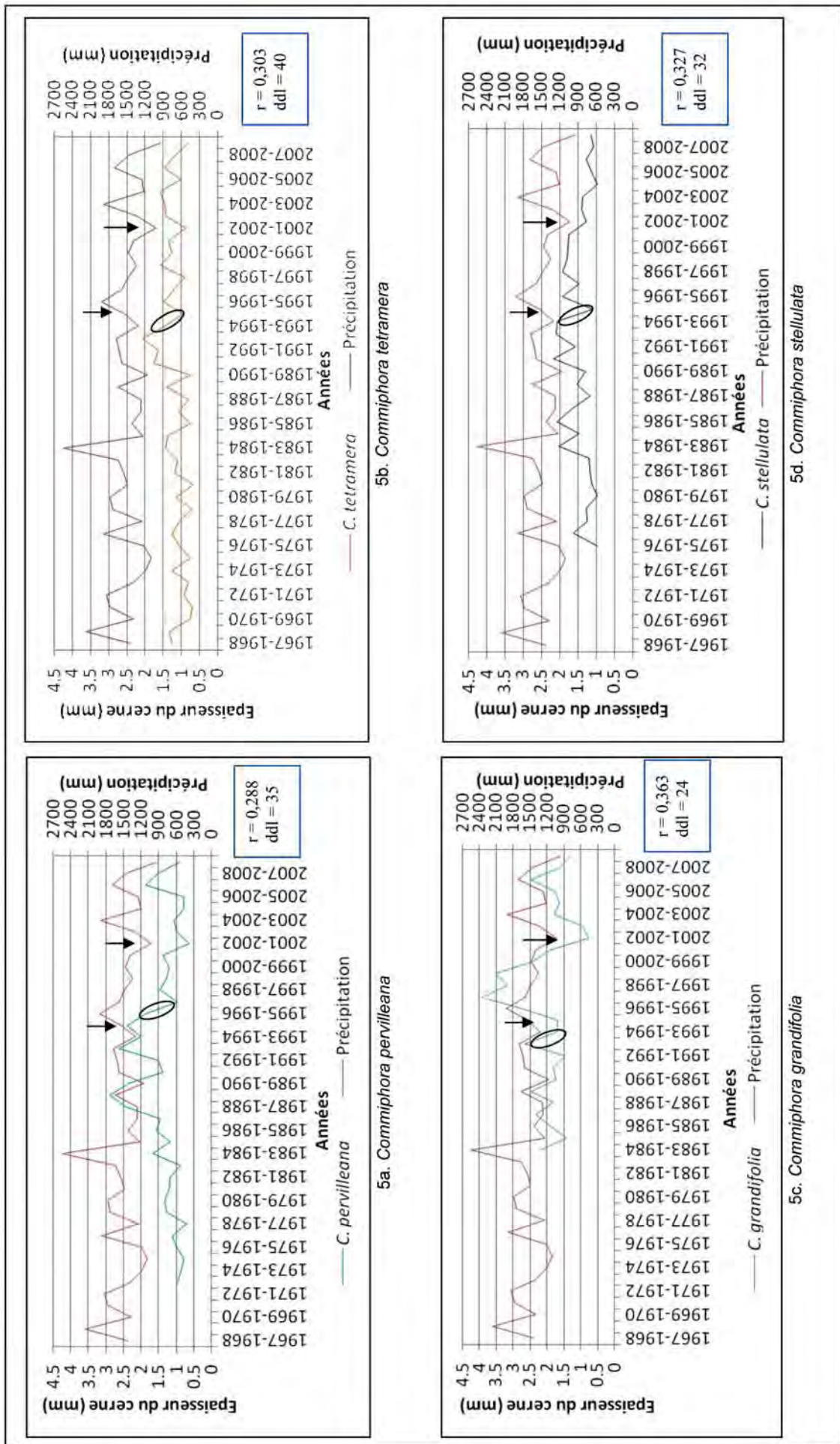


Figure 5. Relation entre précipitations et épaisseur des cernes des espèces à Tsaramandroso.

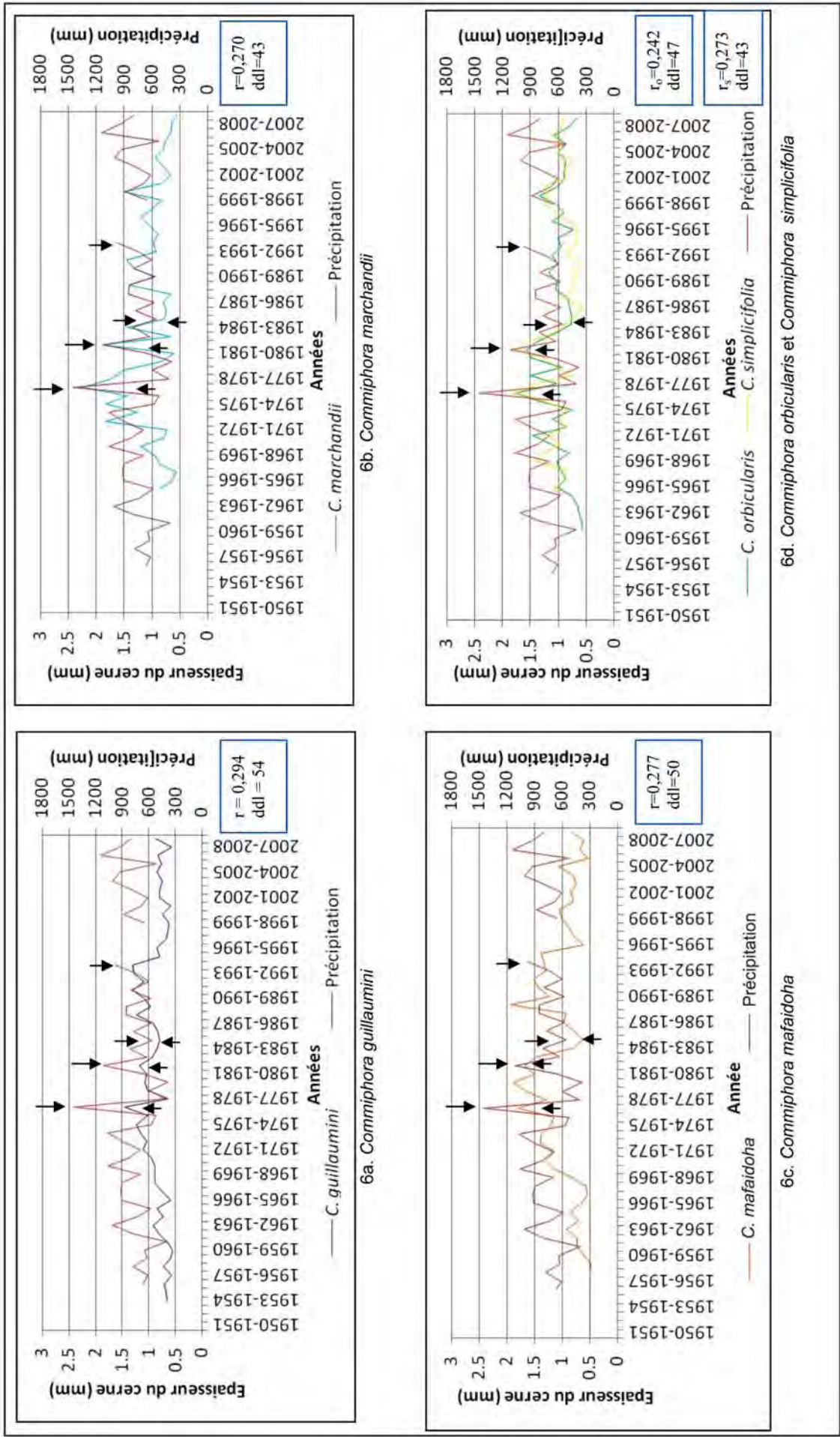


Figure 6. Relation entre précipitations et épaisseur des cernes des espèces à Morondava.

- 2,4 mm à Morondava), là où les moyennes des précipitations sont élevées et les espèces ont atteint une hauteur suffisante et possèdent un feuillage abondant pour assurer la photosynthèse.

- 3) A partir de l'année 2000, surtout pour les cinq espèces de bois d'œuvre, la croissance en diamètre diminue (2,27 - 3,62 mm à Tsaramandroso et 1,46 - 1,92 mm à Morondava).

L'analyse des données météorologiques montre qu'il y a une réduction de la saison des pluies d'environ un mois entre 1970 et 2000 et entre 2000 et 2009 (alors que le taux de précipitation pendant cette saison reste le même qu'avant) et une augmentation de la température d'environ 0,5 - 0,8°C vers l'année 1990. Ces changements des climats peuvent provoquer des stress sur la croissance. Cette réduction au niveau de la croissance peut être interprétée comme l'effet de l'âge car les échantillons étudiés ont à cette période l'âge adulte (mature).

En tenant compte de toutes ces observations, la croissance annuelle en diamètre des neuf espèces de *Commiphora* (Tableau 4) est de 2 à 3 mm sauf chez *C. grandifolia* qui est assez rapide (4,12 mm) et *C. guillauminii* qui est assez lente (1,76 mm) par rapport aux autres espèces. La croissance en diamètre des espèces à Tsaramandroso est plus élevée (2,34 - 4,12 mm/an) que celles à Morondava (1,76 - 2,10 mm).

Age d'exploitabilité

Le rapport âge – diamètre (Tableau 4) varie suivant les espèces. Pour atteindre une croissance de 10 cm de diamètre (sans l'écorce) : *C. grandifolia* a mis en moyenne 24 ans ; *C. stellulata*, *C. pervilleana*, *C. tetramera* 33 à 41 ans ; *C. guillauminii*, *C. mafaidoha*, *C. marchandii*, *C. orbicularis* et *C. simplicifolia* 47 à 56 ans.

Discussion

La dendrochronologie est encore une discipline peu connue et peu pratiquée par les chercheurs à Madagascar. Ainsi, les équipements utilisés dans ce domaine sont encore insuffisants voire inexistant. Ainsi, les travaux en laboratoire nécessitent du temps pour obtenir des résultats adéquats avec les matériels disponibles. Ce qui nous a un peu handicapés dans la réalisation de ce travail. Toutefois, les objectifs sont atteints.

La méthode de Lopez (2004) sur le comptage des cernes suivant les quatre rayons a été choisi comme meilleure pour cette étude car on observe que plusieurs échantillons de bois récoltés sont excentrés. Ce changement au niveau de la structure du bois est considéré comme l'effet du vent (la topographie des zones d'étude est généralement plane). Pour pouvoir se redresser, face au vent violent, l'arbre doit former du bois de réaction appelé bois de tension, d'un côté du tronc. Le cœur de l'arbre va s'excentrer et les cernes vont se développer, non plus de façon symétrique, mais asymétrique. La section du tronc devient ovale. La partie mince des cernes est constituée par un bois à forte texture, tandis que la partie large est formée d'un bois filandreux, peu lignifié, de valeur médiocre.

Les résultats de l'étude anatomique du bois ont montré que la formation des cernes chez *Commiphora* est favorisée par la présence des 2 saisons bien marquées dans les zones d'étude car la limite de chaque cerne, qui se forme tous les ans est bien déterminée. Ceci vérifie l'hypothèse de Worbes (1999) : « l'existence d'au moins deux mois secs par an dans les régions tropicales pluvieuses est suffisante pour démontrer un rythme de croissance sous forme de cerne pour les arbres ».

L'analyse simultanée de la courbe de croissance en épaisseur moyenne annuelle des cernes, la courbe des précipitations, ainsi que les résultats sur

Tableau 4. Relation entre âge et croissance.

Espèces	Epaisseur moyenne	Croissance moyenne	Estimation de l'âge moyenne
	annuelle de cernes (mm)	annuelle en diamètre (mm)	du bois de 10 cm de diamètre (sans écorce) (an)
<i>Commiphora grandifolia</i>	2,06	4,12	24
<i>Commiphora stellulata</i>	1,49	2,98	33
<i>Commiphora pervilleana</i>	1,41	2,82	35
<i>Commiphora tetramera</i>	1,17	2,34	41
<i>Commiphora marchandii</i>	1,05	2,10	47
<i>Commiphora mafaidoha</i>	1,02	2,04	49
<i>Commiphora sisimplicifolia</i>	1,00	2,00	49
<i>Commiphora orbicularis</i>	1,01	2,02	49
<i>Commiphora guillauminii</i>	0,88	1,76	56

l'étude anatomique vérifie l'hypothèse de Poupon (1977) sur le cerne de *C. africana* qui est annuel. Les résultats obtenus confirment également que la présence des cernes annuels dans le bois semblent dépendre du genre botanique (Detienne *et al.*, 1998).

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement le projet SEP (Sud Expert Plantes) 381 et le projet CORUS (Coopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique) 6058 ainsi que le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) et le Département de Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo qui ont soutenus pour que ce travail arrive à terme. Nous adressons aussi nos vifs remerciements à Laurent Gautier et à Hélène Ralimanana pour leurs commentaires constructifs sur le manuscrit.

Références bibliographiques

- Chaperon, P., Danloux J. & Ferry L. 1993.** *Fleuves et rivières de Madagascar*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre - Mer, Paris.
- Cornet, A. 1974.** *Essai cartographique bioclimatique à Madagascar*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre - Mer, Paris.
- Dawkins, H. C. 1959.** *The management of natural tropical high forest, with special reference to Uganda*. Institute University of Oxford, Oxford.
- Detienne, P. Oyono, F. Durrieu de Madron, L. Demarquez, B. & Nasi, R. 1998.** *L'analyse de cernes : Applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine*. Campus International de Baillarguet, Montpellier.
- Dufournet, R. 1972.** Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. *Madagascar Revue de Géographie*, 20: 25-118.
- Gueneau, P. 1971.** *Bois et essences malgaches*. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Antananarivo.
- Humbert, H. 1965.** Description des types de végétation de Madagascar. Dans Notice de la carte de Madagascar, eds. H. Humbert & G. Cours Darnes. *Travaux de la Section Scientifique et Technique de l'Institut Français de Pondichéry*, hors série, 6 : 46-78.
- IAWA Committee. 1989.** *List of microscopic features for hardwood identification*. National Herbarium of the Netherlands, Leiden.
- Johansen, D. A. 1940.** *Plant microtechnique*. McGraw – Hill, New York.
- Lance, K., Kremen, C. & Raymond, I. 1994.** *Extraction of forest products quantitative of park and buffer zone and long term monitoring*. Report to Park Delimitation Unit, WCS/PCDIM, Antananarivo.
- Lebourgeois, F. 2010.** *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois, Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF 1092, Nancy.
- Lopez, P. 2004.** *Formes d'exploitation forestière et analyse du potentiel des forêts secondaires sèches: Une étude de cas dans le Nord-Ouest de Madagascar*. Edition Cramer, Vaduz.
- Morat, P. 1973.** *Les savanes du Sud - ouest de Madagascar*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre - Mer, Paris.
- Perrier de la Bâthie, H. 1946.** *Flore de Madagascar et des Comores*. Plantes vasculaires – 106ème Famille : Bursacées - Second Edition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Poupon, H. 1977.** *Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo Septentrional, Sénégal: Premières données sur Commiphora africana (Rich.) Engl.* Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre - Mer, Dakar.
- Schatz, G. E. 2001.** *Flore générique des arbres de Madagascar*. Royal Botanic Garden & Missouri Botanical Garden, Kew.
- Schwitzer, R. & Michaud, J., 1986.** *Accroissement en estimation de l'âge de l'AROFY à grandes feuilles (Commiphora guillaumini H. Perr.)*. Centre de formation professionnelle forestière Fofampiala Morondava, Morondava.
- Worbes, M. 1999.** Annual growth rings, rainfall dependent growth and long term patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87: 391-403.