

# Etudes dendrométrique et dendrochronologique de trois espèces de *Cedrelopsis* Baillon (Rutaceae) dans les forêts sèches de l'Ouest de Madagascar

Rota Ravaoherinavalona, Edmond Roger,  
Bakolimalala Rakouth & Bako Harisoa  
Ravaomanalina

Mention Biologie et Ecologie Végétales, Domaine des  
Sciences et Technologies, Université d'Antananarivo,  
BP 906, Antananarivo 101, Madagascar  
E-mail: rotaravaoherinavalona@yahoo.fr,  
rogeredmond1@yahoo.fr, ba.rakouth@gmail.com,  
harisoa.ravaomanalina@gmail.com

## Résumé

La forêt sèche de l'Ouest abrite plusieurs genres endémiques, incluant *Cedrelopsis* (Rutaceae). Ce genre *Cedrelopsis* possède des valeurs économiques importantes. Il est très utilisé mais son rythme de croissance reste encore incomplètement connu. Des enquêtes ethnobotaniques sur son utilisation et une étude dendrométrique et dendrochronologique ont été réalisées. Trois espèces ont été recensées, à savoir, *C. grevei*, *C. microfoliolata* et *C. trivalvis* aux alentours du Parc National d'Ankarafantsika (Tsaramandroso) et de la Réserve Spéciale d'Andranomena (Morondava), elles sont très utilisées comme plantes médicinales et comme bois d'œuvre, avec un biovolume de 1 à 7 m<sup>3</sup>/ha chacune. L'étude dendrochronologique a montré la présence de cernes de croissance distincts, annuels pour toutes les espèces. La croissance annuelle en diamètre de ces trois espèces varie de 1,13 à 1,77 mm/an et elle est plus rapide à Ankarafantsika (1,77 mm/an) qu'à Andranomena (1, 13-1, 41 mm/an). Pour atteindre le diamètre exploitable de 10 cm, *Cedrelopsis* a besoin en moyenne de 56 ans pour l'espèce à Ankarafantsika et de 75 ans pour celle d'Andranomena. Cette étude a permis de combler le manque d'information sur le taux d'accroissement de l'arbre en milieu naturel. Face à la croissance lente combinée à leur surexploitation, des mesures adéquates de conservation *in* et *ex-situ* de ces espèces devraient être entreprises en vue d'une exploitation rationnelle pour une gestion durable.

**Mots clés :** *Cedrelopsis*, dendrométrie, anatomie du bois, cernes de croissance, dendrochronologie.

## Extended abstract

The western dry forests of Madagascar shelter many endemic tree genera including *Cedrelopsis* (Rutaceae). This genus has important economic value and is useful for local communities, but little is known about growth rates. We conducted a survey of its ethnobotanical uses and studied its biovolume and diameter growth using dendrochronological methods. Two forest sites were selected: Ankarafantsika National Park and Andranomena Special Reserve. Three species were studied of which one, *C. grevei*, occurs at Ankarafantsika and three species, *C. grevei*, *C. microfoliolata*, and *C. trivalvis* at Andranomena. Wood of these species is regularly used for construction because of its durability and hardness. Further, they are used as medicinal plants, especially, *C. grevei*. The biovolume of the three species varies from 1 to 7 m<sup>3</sup>/ha, of which *C. grevei* produces high quality wood with important levels of biovolume (1.37-6.50 m<sup>3</sup>/ha).

Concerning the dendrochronology analysis, growth rings are present for all the species and are characterized macroscopically by a clear and developed layer (earlywood) and a dark and reduced layer (latewood). The latewood is limited by a continuous line that microscopically is constituted by continuous rows (1-4) of parenchyma cells. The growth rings show an annual configuration. These results provided the means to estimate annual diameter growth of the three species, which varies from 1.13 to 1.77 mm per year. The species present at Ankarafantsika have a faster growth rate (1.77 mm/year) than those found at Andranomena (1.13-1.41 mm/year). To reach the exploitation stage of 10 cm diameter, *Cedrelopsis* is on an average 56 years old for the species at Ankarafantsika and 75 years old at Andranomena. This study provides new information on the rate of tree growth in the natural environment. In addition to the slow growth combined with the over-exploitation of *Cedrelopsis*, adequate *in-situ* and *ex-situ* conservation measures for the species must be undertaken to ensure sustainable harvesting and management.

**Keys words:** *Cedrelopsis*, dendrometry, wood anatomy, growth rings, dendrochronology

## Introduction

Les forêts sèches de l'Ouest de Madagascar ont une grande valeur écologique et sociale. Par sa grande diversité biologique, elles constituent une source importante de produits ligneux pour les populations rurales (Graf *et al.*, 2009). Plusieurs taxa d'arbres sont endémiques, incluant le genre *Cedrelopsis* (Rutaceae). Ce genre représente 4 % des essences forestières de la côte Ouest malgache (CFPF, 1989). Les espèces de *Cedrelopsis* sont des plantes à usages multiples et sont très importantes à Madagascar pour leur utilité. Leur bois sont très lourds, flexibles, très durs, et sèchent lentement à l'air (Gueneau *et al.*, 1975). Pourtant, les données concernant l'écologie et la croissance en diamètre des espèces de ce genre sont encore insuffisantes, alors qu'elles sont fortement exploitées. Ainsi, la connaissance des espèces avec toutes leurs caractéristiques, en particulier le bois, constitue des informations de base pour la prise de décision aussi bien pour la conservation que pour la production.

Plusieurs informations sur le genre *Cedrelopsis* sont connues, entre autres, les espèces de ce genre contiennent plusieurs métabolites secondaires tels qu'alcaloïdes, flavanes, proanthocyanidols et tanins catéchiques, stérols et terpènes, ayant des rôles antibactériennes et antifongiques ainsi que pharmacologiques,  $\alpha$ -pinène et  $\beta$ -caryophyllène utilisés en parfumerie (Rakotomalala, 2004 ; Razafimamonjy, 2007 ; Rakotobe *et al.*, 2008 ; Razanatsimba, 2011). Le meilleur taux de germination de *C. grevei* est obtenu à partir des graines (Samisoa, 1998). Elles s'installent dans des formations forestières primaires et certaines formations modifiées, dans différents types de bioclimats, sur des substrats de nature variable et elles occupent différentes unités topographiques de 0 à 1500 m d'altitude (Rakotondrafara, 2010 ; Randriamiharisoa, 2010). Elles sont classées dans trois catégories : En Danger critique (CR), En Danger (EN) et Vulnérable (VU) (Rabarison *et al.*, 2013). L'écorce du genre *Cedrelopsis* est constituée par trois parties : le périderme et rhytidome, le cortex et le phloème secondaire (Ramanantsialonina, 2016). *Cedrelopsis grevei* présente une grande capacité de régénération même en milieu perturbé (Raoliarisoa, 1995 ; Ramananjatovo, 2016). Les cernes de croissance de *Cedrelopsis grevei* sont limités par un parenchyme marginal et la croissance

moyenne annuelle en diamètre est de 0,86 mm (Randriamalala, 2017). Pourtant, peu d'informations existent sur la croissance et le potentiel en bois du genre *Cedrelopsis*. Ainsi, le présent travail a pour but de déterminer la croissance annuelle et l'âge d'exploitabilité de trois espèces de *Cedrelopsis* en vue de leur conservation et de leur utilisation durable.

## Milieux d'étude

L'étude a été effectuée dans deux sites (Figure 1) localisés dans le Domaine de l'Ouest de Madagascar :

- Site A : dans la Région de Boeny (Nord-ouest de Madagascar), périphérie Est du Parc National d'Ankarafantsika, localisée entre 15°36'S et 16°22'S et 46°22'E et 47°03'E.
- Site B : dans la Région du Menabe, à Morondava (à côté de la Réserve Spéciale d'Andranomena), localisée entre 20°09'S et 20°12' S et 44°25'E et 44°30'E.

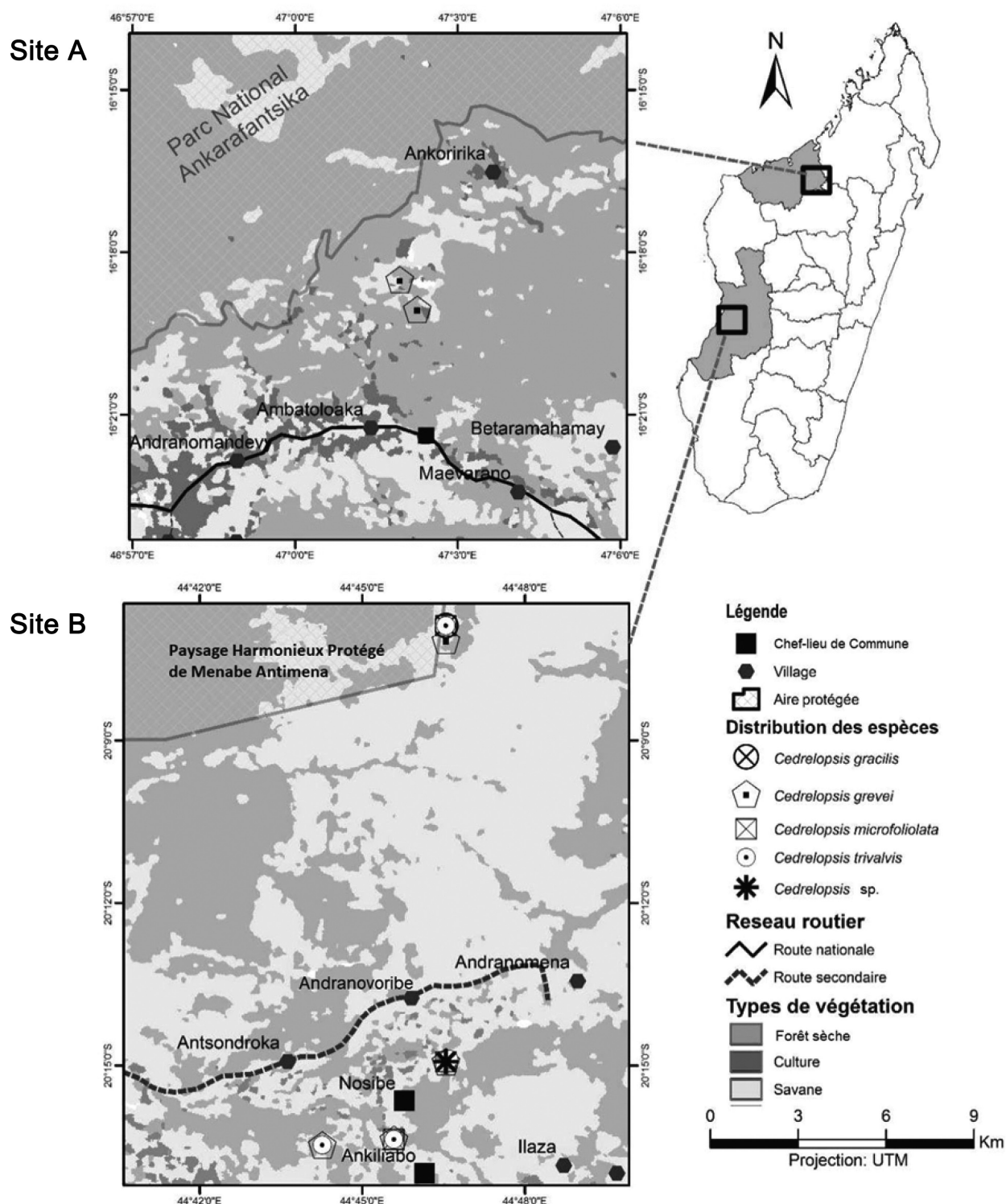
Les sols sont ferrugineux tropicaux peu lessivés à Andranomena et ont une forte perméabilité à Ankarafantsika (Chaperon *et al.*, 1993). Le climat des deux sites d'étude appartient au type tropical sec caractérisé par deux saisons distinctes : une saison chaude et pluvieuse et une saison sèche (Morat, 1973). La température moyenne annuelle est plus élevée à Ankarafantsika (27 °C) qu'à Andranomena (26 °C). Les précipitations diminuent du nord au sud de Madagascar. La moyenne annuelle est de 1540 mm à Ankarafantsika contre 750 mm à Andranomena. Les courbes ombrothermiques des deux sites (Figures 2 & 3) permettent de mettre en évidence deux saisons distinctes :

- Une saison chaude et pluvieuse de cinq mois (novembre-mars) à Ankarafantsika et quatre mois à Andranomena (décembre-mars),
- Une saison sèche de sept mois (avril-octobre) à Ankarafantsika et huit mois (avril-novembre) à Andranomena.

## Matériels et méthodes

### Matériels

Les individus de toutes les espèces de *Cedrelopsis* présentes dans les sites d'étude ont été observés et étudiés. Pour chaque espèce, en plus des spécimens d'herbiers, trois rondelles de bois de 10 cm de diamètre, prises à partir de trois individus différents ont été récoltées. Les rondelles de bois ont été directement fixées dans du FAA, une solution



**Figure 1.** Localisation des sites d'étude (Site A : Ankarafantsika, Site B : Andranomena).

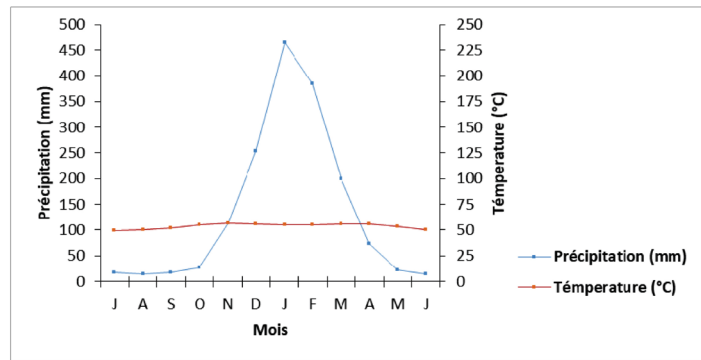
composée de 5 cc de formaldéhyde, 5 cc d'acide acétique glacial et 90 cc d'alcool 70°.

## Méthodes

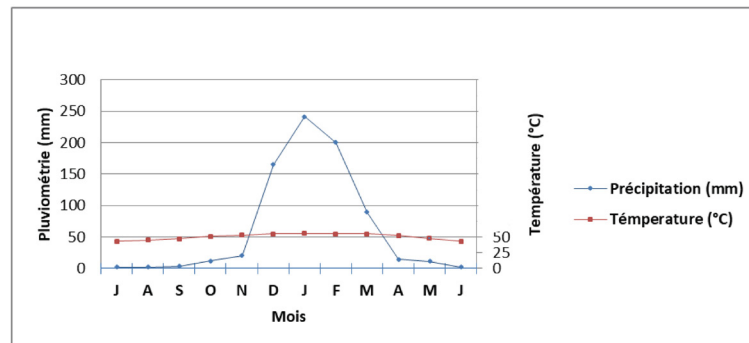
### *Etude écologique sur le terrain*

Des enquêtes dont la fiche est présentée en Annexe 1 ont été menées auprès des villageois, des autorités et guides locaux et des agents de conservation pour

avoir le maximum d'informations sur l'utilisation des espèces de *Cedrelopsis* rencontrées. Plusieurs informations ont été collectées au cours des enquêtes (Annexe 1) mais seules les informations sur l'utilisation de ces espèces ont été prises en compte dans ce manuscrit. Les résultats sur cette utilisation ont permis de calculer l'indice d'utilisation de chaque espèce à partir de la formule de Phillips & Gentry (1993) pour chaque catégorie d'usage.



**Figure 2.** Diagramme ombrothermique construit à partir des données météorologiques d'Ankarafantsika collectées entre 1971 et 2009 (Direction météorologique Ampandrianomby, 2018).



**Figure 3.** Diagramme ombrothermique construit à partir des données météorologiques d'Andranomena collectées entre 1961 et 2009 (Direction météorologique Ampandrianomby, 2018).

Des rondelles de bois de 10 cm de diamètre de trois individus de chaque espèce ont été collectées en 2011. Pendant la collecte, un inventaire des espèces cibles ont été effectués dans chaque site. Dans un placeau de 20 x 50 m, divisé en 10 placettes de 10 x 10 m. Tous les individus de chaque espèce de ce genre dans chaque placette ont été recensés en notant les paramètres suivants : diamètre à hauteur de poitrine (dhp), hauteur du fût et hauteur totale. Le biovolume ou le potentiel en bois ou  $V_i$ , pour le bois 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 ( $m^3/ha$ )

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

$h_i$  : hauteur du fût de chaque individu  $i$  (m)

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

### Etude au laboratoire

Des spécimens d'herbiers de chaque espèce de *Cedrelopsis* ont été identifiés par les botanistes de l'Herbarium National Tsimbazaza (TAN) et de la Direction de Recherches Forestières et Gestion des

Ressources Naturelles (DRFGRN-TEF) en utilisant la collection d'herbiers et des publications comme références (Perrier de la Bâthie, 1946 ; Schatz, 2001).

### Anatomie du bois

Afin de vérifier si les espèces étudiées possèdent ou non des cernes de croissance, des coupes transversales variant de 8-16  $\mu m$  d'épaisseur ont été faites à l'aide d'un microtome à glissière type REICHERT et ont été prélevées à partir d'un cube de bois prélevé dans l'aubier des rondelles. Les coupes obtenues ont été ensuite 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, ensuite 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'Association internationale des anatomistes du bois ou IAWA (Wheeler *et al.*, 1989).

### Etude dendrochronologique

La connaissance de l'annualité des cernes constitue le point de départ en dendrochronologie



(Lebourgeois, 2010). Le régime des précipitations a une grande influence sur la croissance des individus (arbustes et 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, les deux sites d'étude sont caractérisés par deux saisons bien marquées. Ainsi, pour déterminer l'annualité des cernes, deux méthodes complémentaires ont été appliquées.

La comparaison de la courbe de précipitations (1960-2009) (Annexe 2) de chaque site 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 coefficient de corrélation « r » a été calculé :

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

x : variable épaisseur des cernes

y : variable précipitation

mx : moyenne observée des épaisseurs des cernes

my : moyenne observée des précipitations

La valeur de r varie de -1 à +1 et la dépendance entre les précipitations et les épaisseurs des cernes est d'autant plus grande que la valeur de r s'approche de +1. En utilisant la table de Fisher & Yates (1943), les deux cas ci-après peuvent être possibles :

- si la valeur de r calculée dépasse le seuil de r donnée par la table, pour le seuil de probabilité  $\alpha = 0,5$  et ddl = n-2, une dépendance significative entre les précipitations et les épaisseurs de cernes existe.
- si la valeur de r calculée ne dépasse pas la valeur de r donnée par la table, pour le seuil de probabilité  $\alpha = 0,5$  et ddl = n-2, la relation entre les précipitations et les épaisseurs de cernes n'est pas significative.

Pour obtenir les courbes montrant la variation 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 formol aldéhyde acétique (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 des 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°) sur chaque rondelle. Pour cela, un marquage au crayon a été fait 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 et est déterminée avec une précision de l'ordre de 0,01 mm. La courbe montrant la relation entre l'épaisseur des cernes de chaque espèce et les précipitations a été obtenue en utilisant la moyenne des quatre rayons (sans l'écorce).

La méthode de l'interdatation a été adoptée pour compléter la méthode de la détermination de l'annualité des cernes. Cette méthode consiste à détecter les années présentant des cernes caractéristiques (cernes larges ou cernes minces) sur les courbes de variation de l'épaisseur des cernes de tous les individus dans un même site. 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.

Pour la détermination de la croissance en diamètre, les moyennes des épaisseurs de cernes obtenus sur trois individus d'une espèce ont été analysées avec le logiciel XLSTAT 6.0 afin de savoir s'il y a une différence significative ou non entre ces individus. Si la différence n'est pas significative, la croissance moyenne annuelle en diamètre est calculée en faisant la moyenne des épaisseurs de cernes le long de quatre rayons perpendiculaires pour les trois rondelles. Cette moyenne a été multipliée par deux pour obtenir la croissance en diamètre. L'âge d'exploitabilité de chaque espèce a été déterminé à partir de la croissance moyenne annuelle en diamètre du tronc.

## Résultats

### Enquête ethnobotanique

Trois espèces ont été recensées dont *Cedrelopsis grevei* est commune aux deux sites d'étude. Deux autres espèces, *C. microfoliolata* et *C. trivalvis*, ont été trouvées dans le site d'Andranomena. Ces espèces sont à usage multiple (Tableau 1). *Cedrelopsis grevei* est utilisée comme plante médicinale avec un indice d'utilisation très élevé (UV = 0,89 à 1). A cause de la dureté et de l'imputrescibilité de leur bois, toutes les trois espèces sont très appréciées par les populations locales pour la construction (UVs = 0,21 à Ankarafantsika et UVs > 0,7 à Andranomena). D'autres types d'usage tels que fabrication de rhum local, sculpture, produits cosmétiques, rituel, symbole de circoncision, construction des tombeaux, masque

**Tableau 1.** Liste des espèces de *Cedrelopsis* cibles récoltées et leur utilisation.

Site d'étude	Espèces	Nom vernaculaire	Utilisation	Parties utilisées et modes d'utilisation	Indice d'utilisation
Ankarafantsika	<i>Cedrelopsis grevei</i>	<i>Katrafay</i>	Bois de construction	Tronc et branches	0,2
			Traitement : - Fatigue, toux, maux de tête, maux de gorge, maux d'estomac, diarrhée, rhumatisme, - Plaie	Ecorces et/ou feuilles par infusion ou décoction Ecorce en poudre	0,9
			Ferment du rhum local	Ecorces	0,4
			Masque facial	Ecorces	0,2
Andranomena	<i>Cedrelopsis grevei</i>	<i>Katrafay, katrafay fotsy</i>	Traitement : - Fatigue, toux, maux de tête et de gorge, douleur abdominale, rhumatisme, vers intestinaux, diarrhée, tuberculose, diabète, asthme, pneumonie - Plaie	Ecorces et/ou feuilles par infusion ou décoction Ecorce en poudre	1
			Bois de construction	Tronc et branches	0,8
			Manche d'outil (bêche et pelle)	Tronc et branches	0,4
			Ferment du rhum local	Ecorces	0,3
			Bois de chauffage	Tronc et branches	0,3
			Masque facial	Ecorce en poudre	0,2
			Sculpture	Tronc	0,2
			Symbole de circoncision et construction des tombeaux	Tronc	0,1
	<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	<i>Mantaora</i>	Bois de construction de maison et de clôture	Tronc	0,7
	<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	<i>Mapandry</i>	Bois de construction de maison et de clôture	Tronc	0,7

faciale, etc. sont connus mais avec une faible Indice d'Utilisation (UVs < 0,4).

### Potentiel en bois

En comparant les deux sites : *C. grevei* d'Ankarafantsika a un biovolume plus élevé (6,52 m<sup>3</sup>/ha) que celui d'Andranomena (1,37 m<sup>3</sup>/ha). Pour le site Andranomena, parmi les trois espèces, *C. trivalvis* possède un biovolume plus élevé (3,92 m<sup>3</sup>/ha) que ceux des deux autres. En outre, le biovolume en forêt assez intacte est supérieur à celui en forêt secondaire (Tableau 2).

### Caractéristiques des cernes de croissance

Les cernes de croissance des espèces de *Cedrelopsis* sont distincts, visibles à l'œil nu (Figure

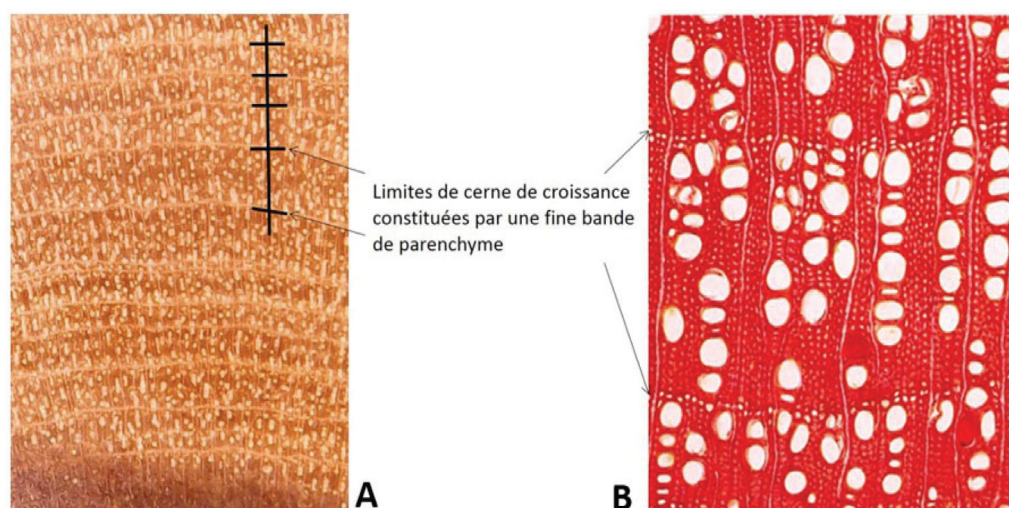
4a). L'observation à la loupe permet de distinguer la limite de chaque cerne constituée d'une mince bande de parenchyme (Figure 4b). Cette bande est formée de 1 à 4 couches de cellules. Ces cernes sont en général étroits mais la différence entre les bois initial et final est très nette.

### Etude dendrochronologique

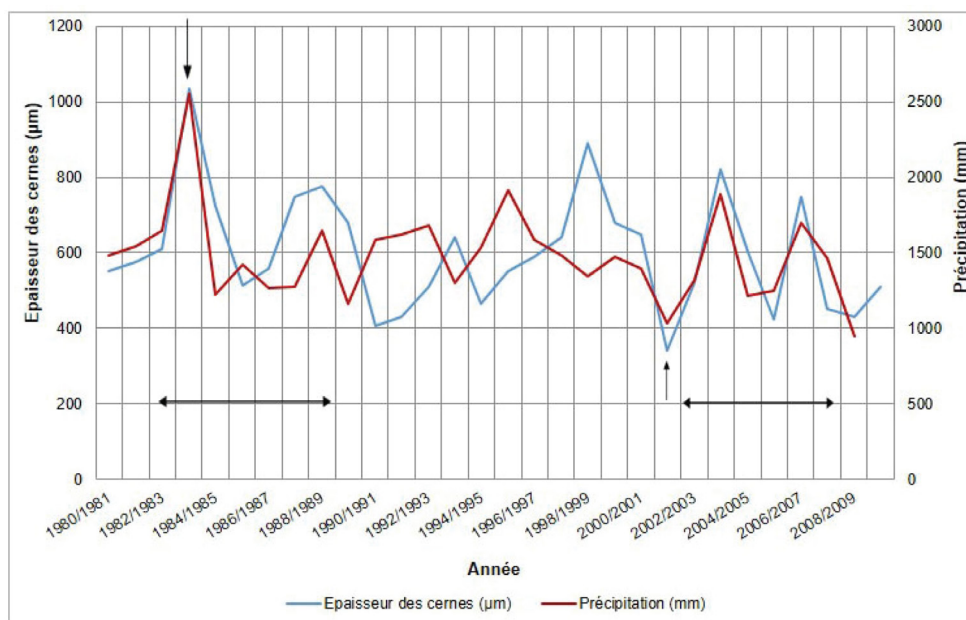
L'analyse de la courbe de croissance des cernes et la courbe des précipitations moyennes annuelles depuis 1970-2009 montre que la croissance des cernes suit le rythme des précipitations (Figures 5 à 8). Chaque espèce présente le plus souvent les mêmes réactions par rapport à la variation de précipitation. Ce phénomène a par exemple été observé :

**Tableau 2.** Biovolume des espèces de *Cedrelopsis* étudiées.

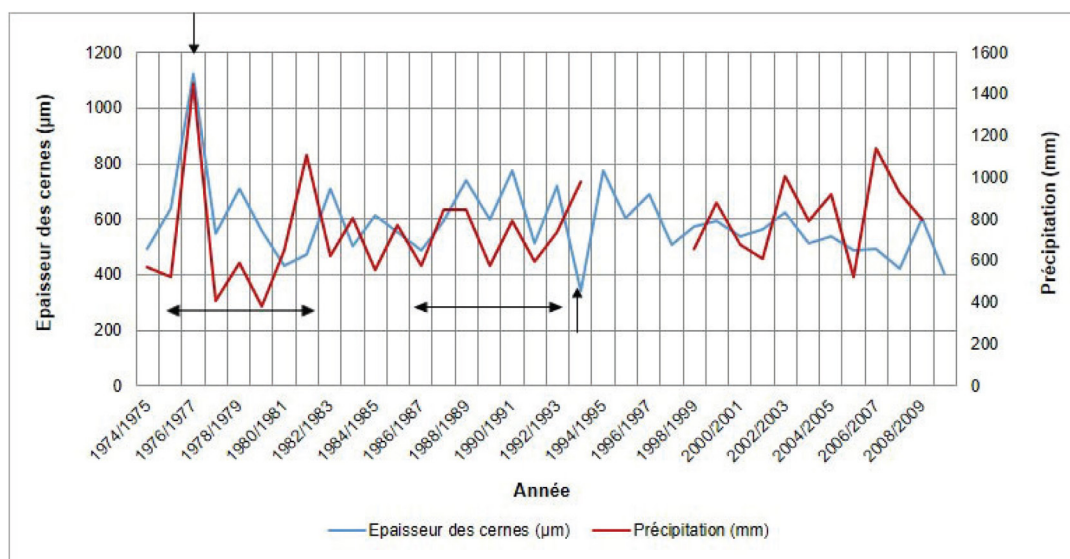
Site d'étude	Type de formation	Espèces	Biovolume Vi (m <sup>3</sup> /ha)
Ankarafantsika	Forêt relativement intacte	<i>Cedrelopsis grevei</i>	6,52
Andranomena	Forêt relativement intacte	<i>Cedrelopsis grevei</i>	3,04
		<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	1,17
	Forêt secondaire	<i>Cedrelopsis grevei</i>	1,37
		<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	0,61
		<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	3,92



**Figure 4.** Cernes de croissance de deux espèces du genre *Cedrelopsis* : **A)** Partie de rondelle de bois de *C. microfoliolata* montrant les limites de cerne de croissance et **B)** Coupe transversale de *C. trivalvis* (échelle x 100) montrant les limites de cernes de croissance constituée par une fine bande de parenchyme.



**Figure 5.** Influence des précipitations sur la croissance de *Cedrelopsis grevei* à Ankarafantsika.



**Figure 6.** Influence des précipitations sur la croissance de *Cedrelopsis grevei* à Andranomena.



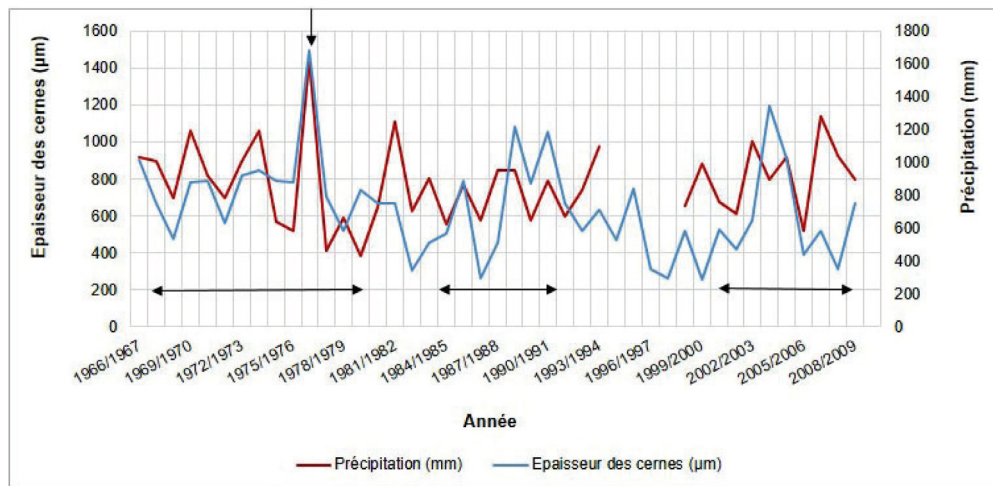


Figure 7. Influence des précipitations sur la croissance de *Cedrelopsis microfoliolata* à Andranomena.

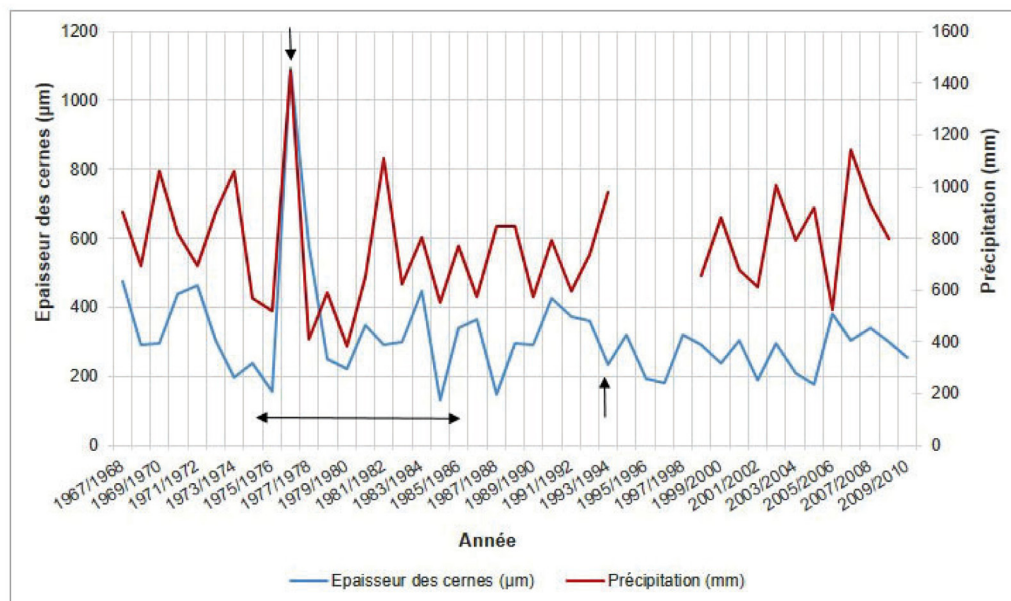


Figure 8. Influence des précipitations sur la croissance de *Cedrelopsis trivalvis* à Andranomena.

- Entre 1981-1990 et 2000-2009 pour *C. grevei* à Ankarafantsika (Figure 5) ;
- Entre 1974-1980 et 1986-1993 pour *C. grevei* à Andranomena (Figure 6) ;
- Entre 1966-1979, 1985-1992 et 2001-2008 pour *C. microfoliolata* (Figure 7) ;
- Entre 1974-1986 pour *C. trivalvis* (Figure 8).
- Pour Andranomena, la précipitation maximale entre 1976 et 1977 (1447 mm) est en corrélation avec l'épaisseur maximale des cernes de trois espèces de *Cedrelopsis* (1108,64 à 2041,2 µm) (Figures 6 à 8).

Ainsi, dans les deux sites d'étude, la valeur maximale des précipitations correspond à la valeur maximale de la croissance des cernes :

- Pour Ankarafantsika, la précipitation maximale entre 1983 et 1984 (2551,8 mm) correspond à l'épaisseur maximale des cernes de *C. grevei* (1020,6 µm) et la précipitation minimale (1030,5 mm) entre 2001 et 2002 correspond à l'épaisseur minimale des cernes (341,52 µm) (Figure 5).

Les valeurs des coefficients de corrélation « r » calculées (Tableau 3) ont indiqué que la corrélation entre les précipitations et la croissance est significative chez *C. grevei* à Ankarafantsika, *C. microfoliolata* et *C. trivalvis* à Andranomena.

L'interdatation entre les bois récoltés à Andranomena montre que (Figures 6 à 8) :

- l'épaisseur des cernes entre 1976 et 1977 est élevée. Cela est expliqué par l'effet de l'augmentation significative de la précipitation qui atteint 1447 mm.



**Tableau 3.** Coefficient de corrélation entre les précipitations et l'épaisseur des cernes des espèces de *Cedrelopsis* étudiées.

Site d'étude	Espèces	Coefficient de corrélation r	Coefficient de corrélation r à $\alpha = 0,5$	ddl
Ankarafantsika	<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,49	0,36	28
	<i>Cedrelopsis grevei</i>	0,28	0,32	34
Andranomena	<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	0,48	0,29	42
	<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	0,31	0,30	41

- l'épaisseur des cernes entre 1986 et 1987 est réduite. Cela pourrait être expliqué par l'effet de la diminution de la moyenne des précipitations entre 1986 et 1987 qui n'atteignent que 576 mm.
- la réduction très significative de l'épaisseur des cernes est observée entre 1993 et 1994 pour *C. grevei* (Figure 6) et peu significative pour *C. trivalvis* (Figure 8). Cette réduction peut être interprétée comme l'effet du cyclone tropical très intense Geralda en 1994.

### Croissance en diamètre

La croissance annuelle en diamètre des espèces de *Cedrelopsis* varie de 1,13 à 1,77 mm (Tableau 4). Pour *C. grevei* qui se rencontre en même temps dans

les deux sites, la croissance annuelle en diamètre est de 1,77 mm à Ankarafantsika (Pma = 1540 mm), alors qu'elle est de 1,13 mm à Andranomena (Pma = 750 mm). La croissance est donc plus élevée à Ankarafantsika qu'à Andranomena.

Dans le cas d'Andranomena, *C. trivalvis* pousse plus vite (1,45 mm/an) que les autres espèces (1,13 à 1,41 mm/an).

### Age d'exploitabilité

Pour atteindre une croissance de 10 cm de diamètre, les espèces de *Cedrelopsis* nécessitent d'une cinquantaine d'années (56 ans à Ankarafantsika et 69 à 88 ans à Andranomena) (Tableau 4).

**Tableau 4.** Croissance moyenne en diamètre et âge d'exploitabilité des espèces de *Cedrelopsis* (diamètre de 10 cm).

Site d'étude	Espèces	Croissance annuelle moyenne (mm)	Age d'exploitabilité (diamètre de 10 cm)
Ankarafantsika	<i>Cedrelopsis grevei</i>	1,77	56
	<i>Cedrelopsis grevei</i>	1,13	88
Andranomena	<i>Cedrelopsis microfoliolata</i>	1,41	69
	<i>Cedrelopsis trivalvis</i>	1,25	67

### Discussion

Les résultats de l'enquête ethnobotanique montrent l'importance de l'exploitation des espèces de *Cedrelopsis* dans les deux sites d'étude. Les résultats obtenus confirment ceux de Razanatsimba (2007) qui a avancé que les villageois apprécient beaucoup les espèces de *Cedrelopsis* puisqu'elles ont un pouvoir calorifique élevé. Ils concordent également avec les informations de Raoeliasoa (1995), indiquant que les espèces du genre *Cedrelopsis* fournissent des bois très durs et ils sont ainsi très recherchés pour des bois d'œuvre.

Les résultats d'enquête montrent que l'écorce est très récoltée pour la médecine traditionnelle (l'indice d'utilisation est de 0,8 à 1) et pour le ferment de rhume local (l'indice d'utilisation est de

0,3). Or, selon Ramaromanana (2001), le temps de cicatrisation de l'écorce des espèces de *Cedrelopsis* (*katrafay*) est de 1 à 5 ans. Ce temps est fonction de la quantité d'écorces prélevées et du diamètre de l'arbre. A cause de la lenteur de cicatrisation combinée à la surexploitation de l'écorce, une note officielle auprès du Ministère de l'Environnement et de Développement Durable (MEDD) définissant la quantité d'écorces à récolter est cruciale pour limiter les dégâts sur ces espèces.

Les études ont aussi montré que les espèces de *Cedrelopsis* sont très exploitées pour leur bois. Or, les résultats sur la dendrochronologie indiquent une croissance annuelle très lente des espèces (1,13 à 1,77 mm). Elles nécessitent 56 à 88 ans pour atteindre un diamètre de 10 cm, ce qui pourrait entraîner progressivement leur disparition. Aussi,

étant donné leur croissance très lente, des études sur le processus de régénération *in* et *ex-situ* et une mise en place des gestions forestières adéquates seront nécessaires pour leur utilisation durable.

Pour l'étude dendrochronologique, plusieurs méthodes peuvent être utilisées (méthode de carottage, méthode dendrométrique, les marquages cambiaux,...). Pourtant, la méthode de Lopez (2004) adoptée a été plutôt destructive en prélevant des rondelles, mais elle a permis d'obtenir des résultats relativement fiables. Les cernes sont irréguliers et devraient être analysés tout au long de la circonférence du tronc.

L'existence des cernes de croissance a été mise en évidence et distincte. Cela confirme les informations données par Louppe *et al.* (2008) et Grisa (1988), indiquant que la limite des cernes est bien distincte chez *Cedrelopsis*. En outre, ces résultats confirment ceux de Worbes (1999) qui a avancé que l'existence d'au moins deux mois secs par an dans les régions tropicales pluvieuses est suffisante pour démontrer le rythme de croissance sous forme de cernes pour les individus ligneux (arbustes et arbres).

L'étude anatomique du bois a montré que les espèces du genre *Cedrelopsis* possèdent une fine bande de parenchyme terminale et qu'il y a une variation de la taille des vaisseaux dans les cernes. Ceci vérifie l'hypothèse de Détienné (1989) indiquant la présence d'une fine bande de parenchyme terminale avec la variation de la taille des vaisseaux où l'épaississement des parois des fibres sont des marqueurs anatomiques d'annualité de croissance des essences tropicales. Cette annualité des cernes de croissance est également présente chez les espèces de *Cedrelopsis* étudiées et les neuf espèces arbustives du fourré xérophile de la zone semi-aride de Madagascar (Gaspard, 2016).

Les résultats sur l'analyse simultanée de la courbe de croissance moyenne annuelle en épaisseur des cernes et celle des précipitations ainsi que le test de corrélation entre la croissance et la précipitation indiquent l'influence des précipitations sur la croissance en diamètre de *C. grevei* d'Ankarafantsika et de *C. trivalvis* et de *C. microfoliolata* d'Andranomena. Les faits suivants ont également révélé l'influence des conditions climatiques du milieu, notamment la précipitation, sur la croissance en épaisseur de ces espèces. En effet, l'épaisseur des cernes entre 1983 et 1984 est élevée pour *C. grevei* à Ankarafantsika, coïncidant avec l'augmentation significative de la précipitation

qui a atteint 2551,8 mm dans la région (Annexe 2). En revanche, une réduction significative de l'épaisseur des cernes a été observée entre 2001 et 2002, qui pourrait être due à une faible pluviométrie de 1030,5 mm au cours de cette période (Annexe 2). Il en est de même pour *C. microfoliolata* et *C. trivalvis* à Andranomena, l'épaisseur des cernes est également importante (>1000 mm) entre 1966 et 1967, correspondant à l'augmentation de la moyenne des précipitations qui a atteint 916 mm entre ces périodes (Annexe 2). Ces résultats concordent avec ceux de Rakotoarimanga (2012) et de Rakotoarison *et al.* (2012) sur les genres *Albizia* et *Commiphora* étudiés dans les mêmes sites et qui sont soumis aux mêmes conditions écologiques que les espèces de *Cedrelopsis*. Certes, la croissance en diamètre des espèces de *Cedrelopsis* à Ankarafantsika est toujours plus élevée qu'à Andranomena. Cela confirme les résultats sur la croissance en diamètre des espèces de *Commiphora* de Tsaramandroso dans la périphérie orientale du Parc National d'Ankarafantsika, elle est plus élevée 2,34-4,12 mm/an que celles de la région d'Andranomena, Morondava (1,76-2,10 mm) (Rakotoarison *et al.*, 2012), celles d'*Albizia* de 3,52 à 3,60 mm/an à Tsaramandroso contre 1,86 à 5,46 mm/an à Morondava (Rakotoarimanga, 2012).

Toutefois, la précipitation n'est pas le seul facteur qui influe sur la croissance des espèces. Le vent, les cyclones, la lumière, le sol et plusieurs autres facteurs écologiques y interviennent également. En effet, la réduction très significative de l'épaisseur des cernes entre 1993 et 1994 pour *C. grevei* (Figure 6) et peu significative pour *C. trivalvis* observée pourrait être due à l'effet du cyclone tropical très intense Geralda en 1994 (Annexe 2). L'effet de vents violents au cours de ce cyclone a entraîné la chute précoce des feuilles et la cassure des branches, réduisant ainsi l'activité photosynthétique, ce qui a entraîné le ralentissement ou la perturbation de la croissance de ces espèces.

## Conclusion

Les cernes sont bien distincts et sont annuels chez les espèces de *Cedrelopsis*. Les espèces croissent de 1,13 à 1,71 mm/an. Elles exigent alors plus d'une cinquantaine d'années (56 à 88 ans) pour atteindre un diamètre de 10 cm. La croissance de *C. trivalvis* est la plus rapide, alors que celle de *C. grevei* est la plus lente. La croissance des espèces est plus rapide à Ankarafantsika qu'à Andranomena et la précipitation est parmi les facteurs externes influençant la croissance en diamètre des espèces.

D'après les analyses, le risque de la disparition des espèces de *Cedrelopsis* est élevé si des mesures de conservation ne sont pas prises. L'exploitation sélective de ces espèces pour le bois d'œuvre et la destruction massive de leurs habitats naturels requièrent une mise en place d'une stratégie de conservation bien établie qui prend en charge la conservation *in* et *ex-situ* des espèces de *Cedrelopsis* aussi bien à l'intérieur qu'en dehors des Aires Protégées.

## 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 la Mention Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo pour leur soutien au cours de la réalisation de ce travail. Nos vifs remerciements s'adressent également aux rapporteurs pour leurs commentaires constructifs dans la version précédente de ce 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.
- Centre de Formation Professionnelle Forestière (CFPF). 1989. Composition et structure d'une forêt dense sèche caducifoliée de la côte Ouest de Madagascar. Fiche technique N°1. Centre de Formation Professionnelle Forestière « Fofampiala », Morondava.
- Dawkins, H. C. 1959. *The management of natural tropical high forest, with special reference to Uganda*. Institute University of Oxford, Oxford.
- Détienne, P. 1989. *Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods*. Campus International de Baillarguet, Montpellier.
- Gaspard, D. T. 2016. Etude des potentialités dendrochronologiques de neuf espèces des fourrés xérophiles du Sud-ouest de Madagascar. Mémoire de Master 2, ESSA Forêts, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Graf, E., Andriambelo, L. H. & Sorg, J. P. 2009. Disponibilité et utilisation de quatre essences à bois d'œuvre dans la région de Menabe. Madagascar. *Bois et Forêts des Tropiques*, 302: 33. Doi: 10.19182/bft2009.302.a20398
- Gueneau, P., Bedel, J. & Thiel, J. 1970-1975. *Bois et essences malgaches*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur Marne, France.
- Grisa, E. 1988. Anatomie ligneuse de 24 espèces feuillues de la côte Ouest de Madagascar. Rapport non publié. Centre de Formation Professionnelle Forestière « Fofampiala » Morondava.
- Fisher, R. A. & Yates, F. 1943. *Statistical tables for biological agricultural and medicinal research*. Oliver & Boyd, London.
- Johansen, D. A. 1940. *Plant microtechnique*. McGraw-Hill, New York.
- Lebourgeois, F. 2010. *Principes et méthodes de la dendrochronologie*. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêts-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. GTZ-Eschborn.
- Loupe, D., Oteng-Amoako, A. A. & Brink, M. (eds.). 2008. *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1) : Bois d'œuvre 1*. Fondation PROTA, Wageningen, Backhuy Publishers, Leiden & CTA, Wageningen.
- Morat, P. 1973. *Les savanes du Sud-ouest de Madagascar*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, Paris.
- Phillips, O. & Gentry, A. 1993. The useful plants of Tambopata Peru: Statistical hypothesis test with a new quantitative technique. *Economic Botany*, 47 (1): 15-32.
- Perrier de la Bâthie, H. 1946. *Flore de Madagascar et des Comores : Plantes vasculaires, 106<sup>ème</sup> Famille : Burseracées*, deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Rabarison, H., Rakotondrafara, A., Razafimandimbison, S. G., Ratsimbason, M., Rakotonandrasana, S. R., Rajeriarison, C. & Randrianarivelosia, M. 2013. Evaluation du risque d'extinction des *Cedrelopsis* (Rutaceae) de Madagascar. *Scripta Botanica-Belgica*, 50: 41-49.
- Rakotoarimanga, S. 2012. Ecologie, anatomie du bois et dendrochronologie de six espèces d'*Albizia* (Fabaceae) dans les forêts sèches de l'Ouest de Madagascar (Tsaramandroso, Morondava). Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rakotoarison, F., Ravaomanalina, B. H., Roger, E. & Rakouth, B. 2012. Etudes dendrométriques et dendrochronologiques de neuf espèces de *Commiphora* Jacq. (Burseraceae) dans les forêts sèches de l'Ouest de Madagascar. *Malagasy Nature*, 6: 56-66.
- Rakotobe, M., Menut, C., Andrianolisoa, H. S., Rahajanirina, V., Collas de Chatelperron, P., Roger, E. & Danthu, P. 2008. The bark essential oil composition and chemotaxonomical appraisal of *Cedrelopsis grevei* H. Baillon from Madagascar. *Natural Product Communications*, 3: 1-6.
- Rakotomalala, H. 2004. Etude des huiles essentielles de *Cedrelopsis grevei* caractérisation et identification des constituants-activités biologiques. Thèse de

- doctorat de troisième cycle, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rakotondrafara, A. 2010.** Etude écologique, ethnobotanique et évaluation des statuts des huit espèces du genre *Cedrelopsis* endémique de Madagascar (Rutaceae). Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Ramananjatovo, R. 2016.** Contribution à l'étude de la potentialité de régénération naturelle des espèces endémiques, menacées et de valeurs économiques : *Alluaudia procera* Drake, *Cedrelopsis grevei* Baillon et *Quivisianthe papinae* Baillon dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de Master 2, ESSA-Forêt, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Ramanantsialonina, R. 2016.** Anatomie de l'écorce de *Cedrelopsis grevei* (Baillon), une plante médicinale de la région Menabe, Madagascar. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Ramaromanana, F. 2001.** Valeur d'une ressource forestière et gestion durable : Cas de *Cedrelopsis grevei* (Katrafay). Programme d'évaluation économique des ressources naturelles à Madagascar. Faculté des Droits, Economie, Gestion et Sociologie, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Randriamalala, J. R., Ramanantoandro, T., Radosy, H. R., Randriambanona, H. & Hervé, D. 2017.** Annual biomass increment of xerophytic thickets and sustainability of woody charcoal production in southwestern Madagascar. *Forest Ecology and Management*, 400: 139-149.
- Randriamiharisoa, T. N. M. 2010.** Etude ethnobotanique et évaluation du statut de conservations des plantes médicinales de la Région Analamanga. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Raoeliarisoa, M. 1995.** Comportement sylvicole du *Cedrelopsis grevei* (Katrafay) à travers la régénération naturelle : Cas de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, ESSA-Forêts, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Razafimamonjy, D. 2007.** Etude de la variabilité qualitative et quantitative de l'huile essentielle de *Cedrelopsis grevei* en vue d'une meilleure valorisation, Morondava. Mémoire de DEA, ESSA-Forêt, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Razanatsimba, M. 2007.** Effet des exploitations sur la reconstitution des espèces non exploitées : Cas des espèces de *Cedrelopsis grevei* h. Bail, de *Cedrelopsis gracilis* J. F. Leroy et de *Cedrelopsis microfoliolata* J. F. Leroy de la forêt de Kirindy, Morondava. Mémoire de DEA, ESSA-Forêt, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Samisoa, G. 1998.** Contribution à l'étude de la dynamique de la population de *Cedrelopsis grevei* Baillon dans la forêt de Zombitse et sa régénération naturelle. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Schatz, G. E. 2001.** *Flore générique des arbres de Madagascar*. Royal Botanic Garden & Missouri Botanical Garden, Kew.
- Worbes, M. 1999.** Annual growth rings, rain-fall dependent growth and long-term patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87: 391-403.
- Wheeler, E. A., Baas, P. & Gasson, P. E. 1989.** List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, 10 (3): 219-332.



## Annexes

### Annexe 1. Fiche d'enquête montrant la liste des questionnaires.

Liste des questionnaires	
Libellé	Modalité de réponse/Contrôle
<b>I-Descriptions du site d'enquête</b>	
1-Nom du village	
2-Fokontany	
3-Commune	
4-District	
<b>II-Renseignements sur les personnes enquêtées</b>	
5-Nom	
6-Sexe	Masculin ; Féminin
7-Age	
8-Niveau d'étude	Illettré ; Niveau 1 (primaire) ; Niveau 2 (secondaire) ; Niveau 3 (lycée) ; Niveau 4 (+)
9-Situation familiale	Marié ; Célibataire
10-Travail	
<b>III-Utilisation des ressources naturelles</b>	
11-Utilisé ou non	Oui ; Non
12-Les ressources les plus utilisées	
<b>IV-Connaissance sur les espèces de <i>Cedrelopsis</i></b>	
13-Est-ce que vous connaissez les espèces de <i>Cedrelopsis</i> ?	
14-Combien ?	
15-Nom vernaculaire	
16-Lieu de répartition	
<b>IV-Utilisation des espèces de <i>Cedrelopsis</i></b>	
17-Est-ce que vous utilisez ces espèces ?	Oui ; Non
18-Partie(s) utilisé(es)	
19-Pour quelle raison ?	
20-Mode d'utilisation	
21-La partie la plus utilisée	
<b>V-Collectes des espèces de <i>Cedrelopsis</i></b>	
22-Lieu de collecte	
23-Période de collecte	
24-Partie collectée	
25-Quantité collectée	
26-Fréquence de collecte	
<b>VIII-Perception de la population</b>	
27-Conscience sur la durabilité des ressources ?	
28-Perception sur la valeur culturelle de <i>Cedrelopsis</i>	

**Annexe 2.** Données des précipitations et des cyclones dans les sites d'étude. CTTI : Cyclone tropicale très intense, CTI : Cyclone tropicale intense, CT : Cyclone tropicale et DT : Dépression tropical (Sources : Direction Météorologique Ampandrianomby, BNGRC et INSTAT 2004).

Site d'étude	Ankarafantsika		Andranomena	
Années	Précipitation Moyenne (mm)	Cyclones (BNGRC)	Précipitation Moyenne (mm)	Cyclones (INSTAT 2004)
1955-1956	-	-	664,1	-
1956-1957	-	-	609,1	-
1957-1958	-	-	779,2	-
1958-1959	-	-	624,8	-
1959-1960	-	-	640,1	-
1960-1961	-	-	404,0	-
1961-1962	-	-	792,5	-
1962-1963	-	-	1009,7	-
1963-1964	-	-	728,2	-
1964-1965	-	-	582,1	-
19665-1966	-	-	903,2	-
1966-1967	-	-	916,0	-
1967-1968	1428,8	-	899,6	-
1968-1969	2164,8	-	695,4	CT Dany
1969-1970	1383,5	-	1059,1	CT Geneviève
1970-1971	1775,0	-	818,9	-
1971-1972	1837,7	-	695,9	-
1972-1973	1388,9	-	899,2	-
1973-1974	1194,3	-	1061,3	-
1974-1975	1099,8	-	568,8	DT Fernande
1975-1976	1215,9	-	521,7	-
1976-1977	1883,3	-	1447,0	-
1977-1978	1249,9	-	409,7	-
1978-1979	1739,6	-	591,7	-
1979-1980	1776,3	-	380,8	-
1980-1981	1485,5	-	649,8	-
1981-1982	1546,2	-	1109,2	-
1982-1983	1648,1	-	625,3	-
1983-1984	2551,8	-	804,7	-
1984-1985	1227,4	-	554,4	-
1985-1986	1422,6	-	769,3	CT Honorine
1986-1987	1268,7	-	576,6	-
1987-1988	1271,7	-	848,2	-
1988-1989	1649,1	-	846,1	DT Calasanjy
1989-1990	1160,3	-	575,1	-
1990-1991	1583,2	-	793,5	DT Cynthia
1991-1992	1620,5	-	598,0	-
1992-1993	1677,9	-	739,3	CT Gracia CT Ionia
1993-1994	1305,2	CTTI Geralda	977,0	CT Nadia CTTI Geralda
1994-1995	1532,7	-	-	-
1995-1996	1913,2	-	-	-
1996-1997	1582,9	-	-	-
1997-1998	1481,7	-	-	-
1998-1999	1342,6	-	654,2	-
1999-2000	1472,0	-	880,5	CTI Eline
2000-2001	1392,0	-	678,9	-
2001-2002	1030,5	-	610,3	CT Hary
2002-2003	1318,8	-	1004,2	-
2003-2004	1890,6	-	794,9	CT Elita CT Gafilo
2004-2005	1212,0	-	918,2	-
2005-2006	1252,8	-	522,5	-
2006-2007	1696,1	-	1139,5	-
2007-2008	1463,5	CT Fame CTI Ivan CTI Jokwe	927,0	-
2008-2009	950,3	CT Jade CT Eric CTI Fanele CT Izilda CT Asma	796,0	-