

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES PLANCHES.....	vi
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	x
GLOSSAIRE.....	xii
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : MILIEU D'ETUDE.....	6
I-Milieu abiotique	7
I-1 Localisation géographique	7
I-2 Relief et topographie	7
I-3 Géologie et sol.....	7
I-4 Hydrographie.....	7
I-5- Climat.....	9
II-Milieu biotique	10
II-1 Flore et végétation.....	10
II-2 Faune.....	11
II-3 Population et ses activités	11
DEUXIEME PARTIE: MATERIELS ET METHODES	12
I-Matériels biologiques étudiés	13
I-1-Classification systématique du genre <i>Dalbergia</i>	13
I-2- Description générale du genre <i>Dalbergia</i>	14
I-3- Choix des espèces cibles.....	14
I-4- Collecte d'échantillons	15
I-4-1 Etudes anatomiques de jeunes tiges, de pétioles, de folioles et du bois.....	15
I-4-2-Etudes dendrochronologiques.....	16
II-Méthodes d'étude.....	17
II-1- Identification et description de l'espèce.....	17

II-2 Etudes anatomiques de jeunes tiges, de pétioles et de folioles	17
II-2-1 Confection des coupes transversales de jeunes tiges, de pétioles et de folioles	17
II-2-2 Confection des coupes paradermales de folioles	18
II-2-3 Clarification de folioles	18
II-2-4 Observations	19
II-3- Anatomie du bois et dendrochronologie	19
II-3-1 Principes	20
II-3-2- Confection des coupes du bois, de la zone cambiale et de la partie blessée	20
II-3-3- Macération du bois	22
II-3-4- Observations et mesures.....	23
II-3-5- Analyses des données.....	24
TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	26
I-Description botanique des espèces cibles	27
I-1 <i>Dalbergia baronii</i> Baker.....	27
I-2 <i>Dalbergia monticola</i> Bosser et R. Rabev.....	28
II-Anatomie de l'appareil végétatif.....	30
II-1 Anatomie des jeunes tiges	30
II-2 Anatomie des pétioles.....	32
II-3 Anatomie des folioles	32
II-3-1 Anatomie de la nervure principale des folioles	32
II-3-2 Anatomie du limbe des folioles	34
II-3-3 Stomates.....	34
II-3-4 Nervation des folioles	36
II-4 Anatomie du bois.....	37
II-4-1Caractères anatomiques communs entre <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	37
II-4-2Caractères anatomiques distinctifs entre <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	41
III-Dynamique de la croissance en épaisseur.....	41
III-1 Croissance après suivi de l'activité cambiale (Micro-échantillonnage).....	41
III-1-1 Définitions et variations saisonnières de l'activité cambiale.....	41
III-1-2 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la précipitation	45
III-1-3 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la température	45
III-1-4 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la feuillaison.....	47
III-2 Croissance après piqure cambiale (marquage cambial)	47

III-2-1 Investigations macroscopique et microscopique	47
III-2-2 Anatomie du bois avant et après marquage	48
III-2-3 Taux d'accroissement annuel	51
III-2-4 Age d'exploitabilité	51
QUATRIEME PARTIE; DISCUSSIONS	53
I-Sur les méthodes	54
II-Sur les résultats	55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES	63
ANNEXES	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du site d'étude à Fenomanana II.....	8
Figure 2: Diagramme ombrothermique (2001–2011) de la région d'Ambatondrazaka selon la méthode de Gaussen.....	10
Figure 3: Dessin d'ensemble d'une coupe transversale au niveau des entre-noeuds.....	31
Figure 4 : Dessin détaillé d'une structure anatomique au niveau d'une tige.....	31
Figure 5: Dessin d'ensemble d'un nœud à 3 traces et 3 lacunes.....	31
Figure 6: Dessin de poils pluricellulaires unisériés.....	32
Figure 7: Dessin d'ensemble de la nervure principale de <i>D. baronii</i>	35
Figure 8: Dessin d'ensemble de la nervure principale de <i>D. monticola</i>	35
Figure 9 : Dessin détaillé de la structure anatomique du limbe de <i>D. baronii</i>	35
Figure 10 : Dessin détaillé de la structure anatomique du limbe de <i>D. monticola</i>	35
Figure 11: Dessin d'un stomate paracytique.....	36
Figure 12: Histogramme montrant la variation en nombre des cellules par file radiale de la zone cambiale de <i>D. baronii</i> et de <i>D. monticola</i> en fonction de la saison.....	44
Figure 13: Activité cambiale et distribution mensuelle des précipitations chez <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	46
Figure 14: Activité cambiale et distribution mensuelle des températures chez <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	46
Figure 15: Schéma représentatif de l'anatomie générale au niveau de la partie blessée.....	49

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Différentes étapes des méthodes dendrochronologiques utilisées.....	21
Planche 2 : Préparation des échantillons pour la microtomie.....	22
Planche 3: Caractères morphologiques de <i>Dalbergia baronii</i>	28
Planche 4: Caractères morphologiques de <i>Dalbergia monticola</i>	29
Planche 5: Coupes transversales au niveau de la tige de <i>Dalbergia baronii</i> et de <i>D. monticola</i>	31
Planche 6: Structures anatomiques des pétioles chez <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	33
Planche 7: Structures anatomiques des folioles chez <i>Dalbergia baronii</i> et de <i>D. monticola</i>	35
Planche 8: Type de nervure chez <i>Dalbergia baronii</i> et <i>Dalbergia monticola</i>	36
Planche 9: Illustrations des caractères anatomiques communs du bois chez les deux espèces.....	38
Planche 10: Les différents stades de l'activité cambiale au cours des deux saisons.....	43
Planche 11: Corrélation entre l'activité cambiale, les précipitations et la température chez les espèces de <i>Dalbergia</i>	46

Planche 12: Coupe transversale du bois au niveau des blessures chez <i>Dalbergia baronii</i> et <i>D. monticola</i>	48
Planche 13: Coupe transversale au niveau de la partie blessée.....	49
Planche 14: Détails anatomiques de la partie blessée au niveau du bois.....	50

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : Conservation des échantillons de tige, de pétiole et de foliole dans du FAA	15
Photo 2: Microcarotte constituée par le bois et l'écorce.....	16
Photo 3: Conservation des microcarottes dans du FAA.....	16
Photo 4 : Parties coupées au niveau de la jeune tige, du pétiole et de la foliole	18
Photo 5: Mode et technique de prélèvement des microcarottes	21
Photo 6: Blessure à l'aide d'une aiguille et les trois niveaux de piqûre.....	21
Photo 7: Conservation des rondelles de bois dans du FAA.....	21
Photo 8: Rondelle de bois avec les 12 piqûres.....	21
Photo 9: Cubes obtenus à partir d'une microcarotte	22
Photo 10: Douze cubes contenant les 12 piqûres.....	22
Photo 11: Cube de bois.....	22
Photo 12: Réalisation de la coupe mince à l'aide du microtome G. S. L. 1	22
Photo 13: Tronc de <i>D. baronii</i>	28
Photo 14: Feuilles de <i>D. baronii</i>	28
Photo 15: Tronc de <i>D. monticola</i>	29
Photo 16: Feuilles de <i>D. monticola</i>	29
Photo 17: Coupe transversale au niveau des entre-nœuds chez <i>D. baronii</i>	31
Photo 18: Structure anatomique au niveau d'une tige	31
Photo 19: Nœud à 3 traces et 3 lacunes chez <i>D. baronii</i>	31
Photo 20: Poils pluricellulaires unisériés chez <i>D. baronii</i>	32
Photo 21: Nervure principale de <i>D. baronii</i>	35
Photo 22: Nervure principale de <i>D. monticola</i>	35
Photo 23: Structure anatomique du limbe de <i>D. baronii</i>	35
Photo 24: Structure anatomique du limbe de <i>D. monticola</i>	35
Photo 25: Stomate paracytique chez <i>D. monticola</i>	36
Photo 26 : Foliole avec des nervures brochidodromeuses	36
Photo 27 : Détails des nervures avec aréoles imparfaites	36
Photo 28: Cernes de croissance absents chez <i>D. monticola</i>	38
Photo 29: Ponctuations intervasculaires alternées chez <i>D. baronii</i>	38
Photo 30: Vaisseau, fibre et parenchyme chez <i>D. baronii</i>	38

Photo 31: Trachéide chez <i>D. monticola</i>	38
Photo 32: Parenchymes axiaux apotrachéaux et paratrachéaux chez <i>D. monticola</i>	38
Photo 33: Parenchymes axiaux et rayon bisérié chez <i>D. baronii</i>	38
Photo 34: Cristaux rhomboédriques chez <i>D. monticola</i>	38
Photo 35: Rayons hétérocellulaires chez <i>D. monticola</i>	38
Photo 36: Début d'élargissement de cellules de part et d'autre de la zone cambiale chez <i>D. baronii</i> en saison sèche, Août 2011	43
Photo 37: Début d'élargissement de cellules de part et d'autre de la zone cambiale chez <i>D. monticola</i> en saison sèche, Février 2012.....	43
Photo 38: Cambium en activité chez <i>D. baronii</i> en saison humide, Décembre 2011	43
Photo 39: Cambium en activité chez <i>D. monticola</i> en saison humide, Janvier 2012.....	43
Photo 40: Formation de tissus et des différents stades de différenciation des cellules chez <i>D. baronii</i> en saison humide, Février 2012.....	43
Photo 41: Formation de tissus et des différents stades de différenciation des cellules chez <i>D. monticola</i> en saison humide, Décembre 2011	43
Photo 42: Rondelle de bois de <i>Dalbergia baronii</i> avec blessures après polissage.	48
Photo 43: Blessures au niveau de l'écorce et du bois de <i>Dalbergia baronii</i> en Octobre 2011.....	48
Photo 44: Coupe mince transversale au niveau de la blessure chez <i>Dalbergia monticola</i>	48
Photo 45: Anatomie générale au niveau de la partie blessée	49
Photo 46: Parenchyme traumatique avec des vaisseaux de petite taille.	50
Photo 47: Compartimentalisation au niveau du bois avec des vaisseaux remplis de thylls.....	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Matériels d'étude pour le micro-échantillonnage.....	16
Tableau 2: Matériels d'étude pour le marquage cambial.....	16
Tableau 3: Récapitulatif de la méthodologie utilisée	25
Tableau 4: Récapitulatif des caractères des vaisseaux pour les deux espèces étudiées.....	39
Tableau 5: Récapitulatif des caractères des fibres et des parenchymes axiaux pour les deux espèces étudiées	39
Tableau 6: Récapitulatif des caractères des rayons pour les deux espèces étudiées	40
Tableau 7: Variation du nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale en fonction de la feuillaison chez les deux espèces étudiées	47
Tableau 8: Taux d'accroissement annuel du cambium vasculaire chez <i>D. baronii</i> et <i>D. monticola</i>	51
Tableau 9: Age d'exploitabilité de <i>D. baronii</i> et de <i>D. monticola</i>	51

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Variation annuelle des précipitations

Annexe 2: Variation annuelle des températures

Annexe 3: Liste des espèces de *Dalbergia* à Madagascar et leur localisation

Annexe 4 : Signes conventionnels utilisés pour présenter les tissus végétaux

Annexe 5: Préparation d'un mélange de Safranine O et de bleu d'Alcian et processus de coloration

Annexe 6: Préparation des colorants (Safranine O et Vert rapide) et processus de coloration

SIGLES ET ABREVIATIONS

- **ANGAP** : Association Nationale pour la Gestion des Aires Protégées
- **ANOVA** : Analyse de Variance
- **APG** : Angiosperm Phylogeny Group
- **CAZ** : Corridor Ankeniheny-Zahamena
- **CITES**: Convention International on the Trade of Endangered Species ou Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.
- **CLR** : Coupe Longitudinale radiale
- **CLTg** : Coupe Longitudinale Tangentielle
- **COGESFOR** : Conservation et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Malagasy
- **CT** : Coupe Transversale
- **DBEV** : Département de Biologie et Ecologie Végétales
- **DGM** : Direction Générale de la Météorologie
- **DME** : Diamètre moyen d'exploitabilité
- **dPhl** : Cellules du phloème en différenciation
- **DRFP** : Département de Recherches Forestières et Piscicoles
- **dx_y** : Cellules du xylème en différenciation
- **dx_{y1}** : Cellules du xylème avec paroi primaire
- **dx_{y2}** : Cellules du xylème avec paroi secondaire en début de lignification
- **EC** : Elargissement cellulaire
- **ET** : Ecart-Type
- **FAA** : Formaldéhyde acétique
- **FOFIFA** : Foibe Fikarohana ho Fampanandrosoana ny any Ambanivohitra
- **GSPM** : Groupe des Spécialistes des Plantes de Madagascar
- **IAWA** : International Association of Wood Anatomy
- **IEFN** : Inventaire Ecologique et Forestier National
- **P°** : Précipitation
- **Phl** : Phloème
- **PROTA** : Plant Resources of Tropical Africa
- **T°** : Température
- **TAN** : Herbarium du Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza
- **TEF** : Herbarium de la DRFP de FOFIFA- Ambatobe

- **TF** : Test de Fischer
- **VBF** : Voambona Fotsy
- **VBM** : Voambona Mena
- **VOI** : Vondron'Olona Ifotony
- **Xy** : Xylème
- **ZC** : Zone cambiale



GLOSSAIRE

Aliforme: en forme d'aile.

Aubier: partie vivante du bois d'un tronc ou d'une branche jouant un rôle dans la nutrition.

Brochidodromeuse: se dit d'une nervation foliaire dans laquelle les nervures secondaires n'atteignent pas le bord de la feuille mais se rejoignent entre elles vers les bords en formant une série d'arcs proéminents.

Cambium: méristème secondaire situé latéralement, donnant naissance au xylème secondaire (bois) vers l'intérieur et au phloème secondaire (liber) vers l'extérieur. Il assure l'accroissement radial des tiges et des racines.

Cellule indifférenciée: cellule à caractère embryonnaire c'est-à-dire capable de se diviser activement.

Cernes de croissance: en section transversale, couches d'accroissement dans le bois et l'écorce.

Compartimentalisations: modifications chimiques et anatomiques adoptées par la plante suite à des agressions extérieures (par exemple : blessure).

Contrainte de rupture en compression: pression nécessaire appliquée suivant le sens parallèle au fil du bois pour obtenir la rupture d'une éprouvette de 4 cm² de section.

Contrainte de rupture en flexion: pression nécessaire appliquée au milieu du bois dans une éprouvette reposant sur deux appuis pour arriver à la rupture de l'éprouvette.

Dendrochronologie: science basée sur la mesure des largeurs des cernes annuels de croissance et sur leur datation précise.

Densité du bois: rapport entre sa masse anhydre et son volume saturé. C'est une caractéristique technologique de base.

Duramen: situé dans la partie interne du bois, il est constitué de cellules mortes. Son bois est généralement de couleur sombre.

Étamines diadelphes: étamines soudées en deux paquets.

Étamines monadelphes: étamines soudées au niveau des filets en un seul paquet.

Fleur zygomorphe: fleur présentant une symétrie bilatérale.

Module d'élasticité: proportionnalité entre la charge et la déformation du bois. Elle constitue un indicateur de la rigidité du bois.

Paracytique: les cellules de garde sont accompagnées par deux ou plusieurs cellules accessoires localisées de chaque côté et parallèlement à leur grand axe.

Point de saturation des fibres: taux d'humidité du bois saturé en eau liée c'est à dire taux d'humidité en dessous duquel le bois va commencer à sécher en se contractant.

Retrait radial total et retrait tangentiel total: variations dimensionnelles du bois quand son humidité varie. Ils sont déterminés pour qualifier le comportement du bois lors du séchage.

Retrait volumique total: variation du taux d'humidité du bois passant de l'état saturé à l'état anhydre.

Stèle: ensemble des tissus conducteurs occupant la partie centrale d'un organe.

Thylle: excroissance provenant de cellules parenchymateuses axiales ou radiales et traversant la paroi d'un vaisseau en passant par les ponctuations. Les thylls peuvent obstruer complètement le vaisseau.

Tissu méristématique: tissu embryonnaire formé de cellules vivantes indifférenciées, assurant l'allongement ou l'accroissement du diamètre de l'organe par des divisions cellulaires très actives.

Zone cambiale: cambium plus quelques couches de cellules indifférenciées du xylème II et du phloème II.

INTRODUCTION

La flore de Madagascar est une des plus riches et des plus originales du monde. Plus de 12 000 espèces de plantes vasculaires supérieures malgaches sont reconnues avec un endémisme spécifique compris entre 82 et 90 % (Schatz, 2001 ; Gautier et Goodman, 2003; GSPM, 2011a).

Cette diversité floristique est répartie dans 289 familles dont la famille des Fabaceae à laquelle appartient le genre *Dalbergia* regroupant les bois de rose et les palissandres. Les bois de rose malgaches sont connus sous les noms d'Andramena et les palissandres de Manary. Ces derniers sont classés parmi les bois de 2^{ème} catégorie selon la classification des bois de Madagascar (Arrêté interministériel 16030/2006, Arrêté interministériel 10885/2007 du 03 juillet 2007 et le Décret 2010-141 du 24 Mars 2010). Les espèces de *Dalbergia* sont actuellement les plus recherchées et les plus prisées par les consommateurs, aussi bien pour leurs caractéristiques technologiques sans équivoque que pour leurs possibilités d'utilisation diverses.

Les espèces de *Dalbergia* sont exploitées et valorisées pour leur bois dur, dense utilisé en menuiserie fine et pour leur aspect ornemental. La croissance de la demande sur le marché fait que les bois précieux de Madagascar deviennent des espèces de plus en plus menacées d'extinction. De ce fait, les forêts naturelles de Madagascar font l'objet d'une exploitation abusive et sélective qui consiste à prélever uniquement ces essences à fortes valeurs commerciales (Wilmé et *al.*, 2009). Ces bois ont connu une surexploitation illégale depuis 2000 (Stasse, 2002) et surtout en 2009 (Barrett et *al.*, 2010), vu leur coût très élevé aussi bien sur le marché national qu'international (Autorité scientifique CITES Flore et DBEV, 2010). En outre, les résultats des inventaires quantitatifs des bois précieux dans différentes formations végétales existantes à Madagascar ont récemment révélé des biovolumes et des surfaces terrières très faibles (Autorité scientifique CITES Flore et DBEV, 2010; DBEV et Association Reniala., 2010 ; GSPM, 2011b). Ceci indique que la majorité des individus sur pied ne sont plus exploitables.

Des textes législatifs (arrêtés, décrets, loi forestière) ont été publiés par les gouvernements malgaches successifs pour la conservation et la gestion rationnelle du patrimoine forestier comprenant les ressources naturelles en bois de rose et en bois d'ébène. A ce jour, les balises réglementaires au niveau national n'ont pas permis d'endiguer l'exploitation illicite de ces ressources de manière efficace. Des centaines de conteneurs de bois précieux sont encore exportées sans autorisation (Patel, 2007; Wilmé et *al.*, 2009).

Face à ces différents problèmes et suite à la décision 15.97 de la 15^{ème} Conférence des Parties de la CITES à Qatar, le Gouvernement de Madagascar a manifesté la volonté d'utiliser la Convention CITES pour mieux préserver ses richesses naturelles. En effet, en 2011, les 5 espèces de *Dalbergia* appelées bois de rose ont été inscrites dans l'Annexe III de la CITES. L'Annexe III permet

d'obtenir le soutien des pays ou des organisations tiers sur le plan international pour le suivi du commerce de ces espèces en dehors du pays et la mise en place de mesures nationales. En 2013, lors de la 16^{ème} Conférence des Parties, cette décision a été suivie par l'intégration de toutes les espèces du genre *Dalbergia* dans l'Annexe II de la CITES. L'inscription dans l'Annexe II a pour but d'assurer que toute exportation soit accompagnée d'un permis CITES d'une part, qui atteste que les spécimens ont été collectés conformément aux lois en vigueur et par des méthodes non préjudiciables à la survie des espèces et d'autre part, que les espèces de palissandre bénéficieraient aussi des avantages y afférents.

Malgré les différents efforts déployés pour contrôler le commerce des espèces de *Dalbergia* de Madagascar, les données taxonomiques, écologiques et biologiques de la plupart des espèces demeurent insuffisantes. Néanmoins, des études sur la pharmacologie (Beldjoudi et *al.*, 2003 ; Chan et *al.*, 1998 ; Ito et *al.*, 2003), la physiologie (Rajaonson, 2011), les essais de multiplication in vitro (Rajaonson, 2005), l'évaluation de statuts de conservation (Ramamonjy, 2006 ; GSPM, 2010), les inventaires écologiques (Rabenantoandro, 2001), la dynamique des populations (Razafimamonjy, 2011), l'analyse de la filière palissandre (Andriambanona, 2001) et la génétique (Andrianoelina et *al.*, 2009) ont été réalisées.

Les caractères anatomiques des appareils végétatifs du genre *Dalbergia* ont été décrits pour la première fois par Metcalfe et Chalk (1950). Ils ont donné la description générale des poils, de l'épiderme, des stomates, du sclérenchyme et de la présence de tannin. Le pétiole de la sous-famille des PAPILIONOIDEAE a été aussi décrit. Notre étude consiste à apporter une analyse plus fine de la description anatomique des appareils végétatifs de deux espèces de *Dalbergia*.

Les études sur les propriétés anatomiques, physiques et mécaniques du bois des *Dalbergia* de Madagascar ont commencé au début du XX^{ème} siècle. Lecomte (1922) a étudié l'anatomie du bois de *Dalbergia baronii* et de *D. pterocarpifolia* de la forêt d'Analamazaotra. Il a découvert que ces deux espèces diffèrent par la dimension des vaisseaux, la répartition des fibres et des parenchymes, la hauteur des étages et la structure des rayons. Grisa (1988) a entrepris l'étude anatomique du bois d'une espèce de palissandre parmi les 24 espèces ligneuses feuillues de la forêt sèche de la côte Ouest de Madagascar. Rakouth (1988) a initié l'étude de l'anatomie écologique de 5 espèces de *Dalbergia* selon la théorie de Carlquist (1975). Elle a comparé la densité, le diamètre et la longueur des éléments des vaisseaux de *D. chapelieri* (Andasibe), de *D. madagascariensis* (Tolagnaro), de *D. stenocarpa* (Ampanihy), de *D. microphylla* et de *Dalbergia* sp. d'Ampijoroa. Normand en 1988 a établi une clé de détermination de *Dalbergia louvelii*, de *D. maritima* et de *Dalbergia* sp. de Sambava à partir des caractéristiques anatomiques du bois telles que le nombre de rayons par millimètre, le

nombre de lignes d'étagement par millimètre, la densité et le diamètre des vaisseaux. En 2007, Lemmens a étudié l'anatomie du bois de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola*. Enfin, dans le cadre de la préparation de l'intégration des bois de rose et des palissandres de Madagascar dans l'Annexe II de la CITES en 2011, Ravaomanalina et ses collaborateurs ont entrepris des études anatomiques de sept espèces de *Dalbergia*, à savoir *D. abrahamii*, *D. graveana*, *D. louvelii*, *D. mollis*, *D. purpurascens*, *D. trichocarpa* et *D. xerophila* en vue de l'identification des espèces. Les propriétés physiques et mécaniques du bois de ces essences de valeur ont été étudiées dans les années soixante par Gueneau et Gueneau (1969). Les études ont été complétées et affinées par Rakotovao et al. en 2012 et par Rajemison et al. en 2013. Les principales propriétés physiques et mécaniques des espèces de *Dalbergia* sont les suivantes: les bois ont un aspect veiné et de couleur variable (du rouge au lie de vin, du beige gris clair au brun ou violet) qui leur confèrent une bonne qualité esthétique; la densité est lourde à très lourde (0,82 – 1,1); le bois est très dur (dureté : 9,1) et moyennement nerveux (nervosité inférieure à 0,35); le point de saturation des fibres est faible à moyen (20 à 30 %); le retrait volumique total (8 à 10), le retrait radial total (4 %) et le retrait tangentiel total (6,03) sont faibles à moyens; la contrainte de rupture en flexion (124 Mpa) et la contrainte de rupture en compression (56,99 Mpa) sont moyennes; la rigidité caractérisée par le module d'élasticité est bonne (17,3N/mm). En effet les bois de *Dalbergia* possèdent une bonne qualité physique et mécanique. Notre étude essaie de compléter les acquis sur les caractéristiques anatomiques du bois et la clé de détermination des espèces de *Dalbergia* entre elles.

L'analyse de croissance des espèces de *Dalbergia* de Madagascar a été initiée en 2002. L'accroissement annuel du diamètre à 130 cm du sol et au collet a été évalué par des mesures répétitives à l'aide d'un pied à coulisse. Roger et Razafimahefa (2002) et Roger et al. (2006) ont travaillé sur *Dalbergia peltieri* et de *D. graveana* à Antrema tandis que Razafimamonjy (2011) sur *D. chlorocarpa*, *D. lemurica* et *D. purpurascens* à Kirindy. Le taux de croissance en épaisseur de ces espèces de *Dalbergia* de la forêt sèche de l'Ouest varie de 1 à 3mm par an. Notre étude se propose d'évaluer et d'analyser la dynamique de croissance en épaisseur de deux espèces de *Dalbergia* par deux méthodes complémentaires en dendrochronologie. Ces méthodes sont utilisées pour la première fois sur les espèces de la forêt dense humide de l'Est, notamment sur les deux espèces de *Dalbergia* de la forêt de moyenne altitude de Didy, Ambatondrazaka. Cette forêt est connue pour l'exploitation du saphir mais aussi pour la surexploitation des ressources ligneuses, notamment les bois de rose et le palissandre. Le Projet COGESFOR apporte sa contribution à la conservation de cette forêt classée d'Ambohilero à Didy par la mise en place d'un cadre de gestion participative et de valorisation durable des ressources naturelles. Ainsi, le projet COGESFOR et le Département de Biologie et

Ecologie Végétales nous ont confié la réalisation du présent travail intitulé « Anatomie et analyse de la croissance en épaisseur de *Dalbergia baronii* (Baker.) et de *Dalbergia monticola* (Bossier.et R. Rabev.) dans la forêt classée d'Ambohilero, Didy Ambatondrazaka ». Ces deux espèces cibles constituent les principales essences génératrices de revenus pour la population de cette région.

Les hypothèses émises sont :

- des différences anatomiques existent entre les espèces de *Dalbergia*;
- la croissance en épaisseur de *Dalbergia* exige plusieurs années avant toute exploitation.

L'objectif global de cette étude est de compléter les connaissances de base en anatomie et d'apporter des informations fiables sur la croissance en épaisseur de *Dalbergia* en vue d'une élaboration d'un plan d'exploitation rationnel et durable de la filière dans la zone concernée.

Les objectifs spécifiques sont de:

- faire la description anatomique de l'appareil végétatif (jeunes tiges, pétioles, folioles);
- mettre en évidence le fonctionnement du cambium;
- évaluer la croissance annuelle en épaisseur;
- déterminer l'âge d'exploitabilité.

En fait, à part le grand intérêt de pouvoir planifier l'exploitation des espèces de *Dalbergia* à Didy, cette étude permettra d'identifier les espèces à partir de l'anatomie du bois qui pourra être un outil très important dans le contrôle du commerce de ces bois.

Le présent travail sera présenté en quatre parties:

- la première partie présentera le milieu d'étude;
- la deuxième partie décrira les matériels d'étude et expliquera les méthodologies adoptées;
- la troisième partie comportera les résultats et les interprétations;
- la dernière partie discutera les résultats obtenus et parlera des recommandations émises à l'issue de cette étude suivies d'une conclusion générale.

PREMIERE PARTIE :

MILIEU D'ETUDE

I- Milieu abiotique

I-1 Localisation géographique

L'étude a été effectuée dans la Région Alaotra Mangoro, ex-Province de Toamasina, District d'Ambatondrazaka, Commune rurale de Didy. Cette commune se situe entre 48° et 49° de longitude Est et 17°30 à 18°30' de latitude Sud, à 50km au Sud-Est d'Ambatondrazaka. Le nom du site d'étude est FENOMANANA II; il est localisé dans la forêt classée d'Ambohilero faisant partie du Corridor Ankeniheny-Zahamena (CAZ). FENOMANANA II est parmi les 15 sites dont les ressources naturelles sont gérées par les communautés de base ou Vondron' Olona Ifotony (VOI) (Figure 1).

I-2 Relief et topographie

La commune de Didy est située à une altitude moyenne de 1250m. La topographie est constituée par une dépression marécageuse (6288ha) allongée de direction Nord-Sud entourée par des collines à versants abrupts (pentes de plus de 50%) et un bassin versant de 9000ha.

I-3 Géologie et sol

La région est formée par le socle cristallin de Vohibory (Bourgeat, 1972), datant du Précambrien, avec des gneiss à migmatite et des migmatites granitoïdes. Les sols y sont de type ferralitique jaune et rouge sur roches acides caractéristiques des régions chaudes et humides. Ils sont rajeunis sur les versants et hydromorphes dans les bas-fonds à proximité des cours d'eau.

I-4 Hydrographie

A Didy, le réseau hydrographique est très dense. Les rivières telles que : Ranomena, Sahamahatra, Sahananto, Sahamamoy, Sahanavy, Sahatelo et Sahabevany sillonnent la forêt et irriguent la commune avant de se jeter dans le grand fleuve d'Ivondro.

Les rivières de Sahamahatra et de Sahananto longent la région de Bemainty à l'Est et se jettent dans le fleuve d'Ivondro ; la rivière de Sahatelo au Nord-Ouest alimente le barrage de Bevava. La rivière de Vahandrozana arrose la vallée de Marianina.

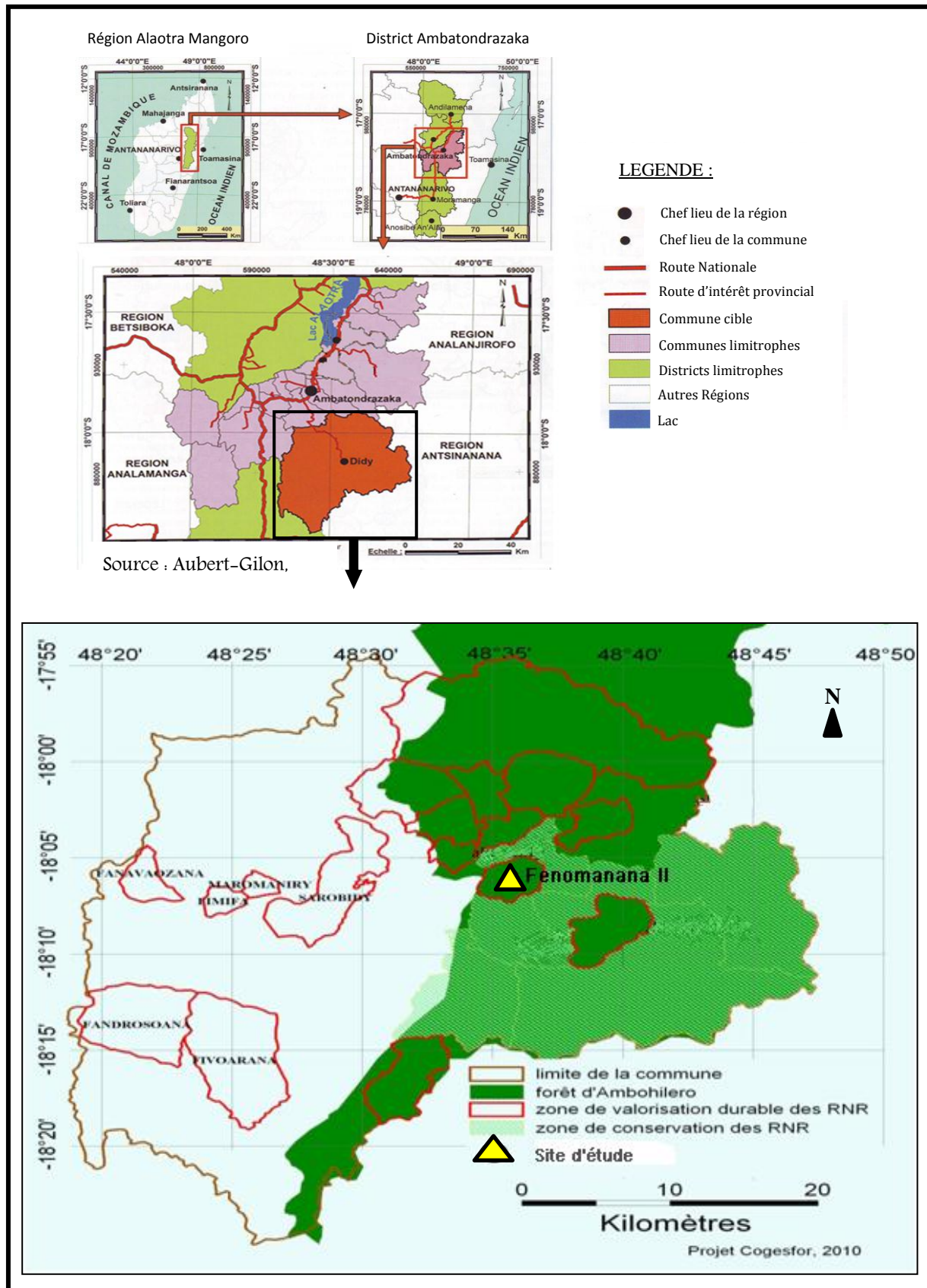


Figure 1. Localisation du site d'étude à Fenomanana II.

I-5- Climat

La région de Didy appartient au type de climat tropical humide, mais le climat est différent de l'ensemble du Lac Alaotra à cause des grands massifs qui l'entourent (Ampasandralomy, Tsiazomborona) (ANGAP, 2000).

Les données climatiques récentes et les plus représentatives possibles ont été recueillies auprès du Service de la Direction Générale de la Météorologie (DGM) d'Ampandrianomby Antananarivo.

a) Précipitation

La précipitation moyenne annuelle est de 1800 à 2000mm. La pluie tombe toute l'année mais la période de Décembre jusqu'à Mars est la plus arrosée et Juin est le mois le plus sec (Annexe 1).

b) Température

La température moyenne annuelle est de 20,6°C. Les mois de Novembre à Mai sont les plus chauds avec un maximum de 27,4°C et les mois de Juin à Octobre sont les plus frais avec un minimum de 9,3°C (Annexe 2).

c) Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer le nombre de mois pluvieux et de mois écossecs. Il a été élaboré selon le principe de la méthode de Gaussen (1955):

$$P = 2T$$

P : précipitation (mm)

T : température (°C)

La région de Didy appartient à la zone tropicale humide de type perhumide chaud (Morat, 1973), caractérisée par l'absence de saison sèche. Mais suivant le diagramme ombrothermique (Figure 2) établi à partir des données climatiques de la dernière décennie, une saison sèche ($P < 2T$) de 6 mois, de Mai à Octobre, est observée. Cette modification peut être due au changement climatique planétaire.

d) Vent

La région est influencée par deux vents :

- L'Alizé du Sud-Est, dominant, est chargé d'humidité et permet à la région d'avoir une humidité relative très élevée toute l'année, supérieure à 86%.

- La Mousson du Nord-Ouest souffle aussi pendant toute l'année.

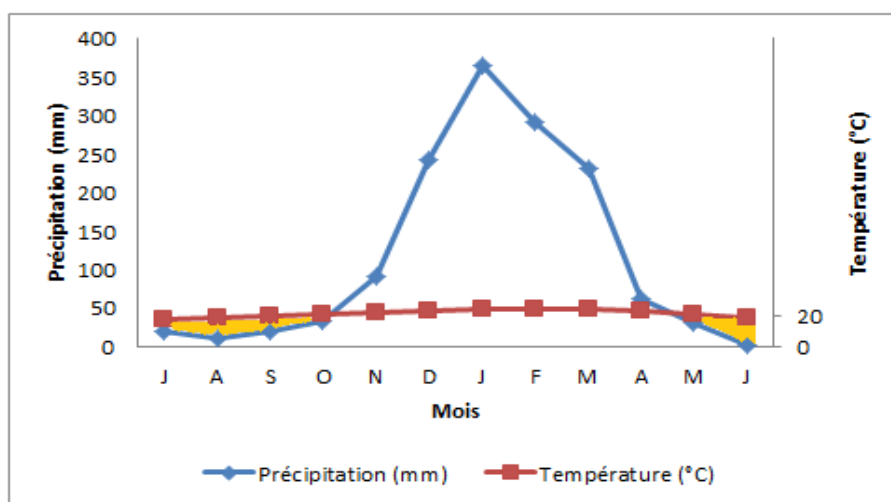


Figure 2: Diagramme ombrothermique (2001-2011) de la région d'Ambatondrazaka selon la méthode de Gaussen.

II- Milieu biotique

II-1 Flore et végétation

Notre zone d'étude fait partie de la flore du vent selon Perrier de la Bathie (1921). La végétation climacique appartient au type de forêt dense humide sempervirente de moyenne altitude de la série à *Weinmannia* et *Tambourissa* (Humbert, 1955). La forêt de Didy est incluse dans la zone écofloristique orientale de moyenne altitude de 800 à 1800m (Faramalala et Rajeriarison, 1999). La zone d'étude est classée parmi les forêts humides selon Moat et Smith (2007) dans l'atlas de la végétation de Madagascar.

Quatre types de formations végétales peuvent être rencontrés, dans la région de Didy:

- à l'Est, la forêt ombrophile primaire qui constitue la forêt classée d'Ambohilero ;
- à l'Ouest, sur les versants, les forêts galeries et quelques lambeaux de forêts dégradées ;
- au centre, la plaine marécageuse dominée par des CYPERACEAE ;
- et le reste formé par des savanes et des savoka.

La région de Didy présente une richesse floristique élevée avec environ 48 familles. Des taxons endémiques sont aussi rencontrés comme les fougères arborescentes (*Cyathea*) et les épiphytes (orchidées). Les espèces ligneuses sont les plus abondantes telles que *Cryptocarya* sp., *Dombeya* sp., *Erythroxylon* sp., *Eugenia* sp., *Grewia* sp., *Symphonia* sp. et *Tambourissa* sp.

II-2 Faune

La forêt classée d'Ambohilero est certes peu connue, mais elle abrite des richesses importantes en diversité faunistique. Plusieurs classes du règne animal y sont représentées telles que :

- des amphibiens dont 23 espèces appartiennent aux familles des BOOPHISIDAE, des RANIDAE et des MICROHYLIDAE (Rabibisoa et *al.*, 2005) ;
- des reptiles dont 18 espèces appartiennent aux familles des CHAMAELEONTIDAE, des GECKONIDAE, des GERRHOSAURIDAE et des COLUBRIDAE (Rabibisoa et *al.*, 2005) ;
- des mammifères dont 25 espèces. Les carnivores sont représentés par *Galidictis fasciata*, *Cryptoprocta ferox*, *Fossa fosana*, *Eupleres goudotii*, *Viverricula indica*, *Salanoia concolor* et *Galidia elegans*. Les lémurien sont représentés par neuf espèces appartenant à trois grandes familles : CHEIROGALEIDAE, LEMURIDAE et INDRIDAE ;
- des oiseaux constitués par 68 espèces dont la plupart sont des espèces forestières réparties dans les familles endémiques des BRACHYPTERACIIDAE, des LEPTOSOMATIDAE et des VANGIDAE. Des espèces menacées d'extinction comme l'aigle serpenteur *Eutriorchis astur* et d'autres espèces non forestières comme *Falco newtoni*, *Hypsipetes madagascariensis*, *Calicalicus madagascariensis*, *Coua caerulea* et *Coua reynaudii* y sont aussi présentes (Rakotomanana et *al.*, 2005) ;
- des insectes dont 250 espèces réparties dans 174 familles. Les genres les plus rencontrés sont *Henotesia* (LEPIDOPTERES), *Caraphium* (LEPIDOPTERES) et *Mordellidea* (COLEOPTERES).

II-3 Population et ses activités

A Didy, les groupes ethniques dominants sont les Sihanaka et les Betsimisaraka mais des migrants sont aussi présents comme les Merina, les Antesaka et les Betsileo.

Les activités de la population sont : l'agriculture (riz, pomme de terre, ...), l'élevage (bœuf, volailles...), le petit commerce, la collecte et la commercialisation de produits forestiers. Ainsi, les populations autochtones possèdent des rizières et des « kijana » à l'intérieur de la forêt pour l'élevage de zébus. Les populations migratoires disposent de rizières aménagées et des « tanety » pour des cultures sèches. La forêt est utilisée comme source de bois de construction, de bois de chauffe, de charbon, de plantes médicinales et de produits comestibles.

DEUXIEME PARTIE :

MATERIELS ET METHODES

I- Matériels biologiques étudiés

Deux espèces du genre *Dalbergia* ont été choisies pour cette étude : *Dalbergia baronii* Baker et *Dalbergia monticola* Bosser et R. Rabev.

I-1-Classification systématique du genre *Dalbergia*

En combinant celle donnée par Angiosperm Phylogeny Group (APG III) (2009) et celle décrite dans « The leguminosae of Madagascar » par Du Puy et *al.* (2002), la classification systématique de ce genre est :

Règne : **VEGETAL**
Super – embranchement : **CORMOPHYTES**
Embranchement : **SPERMATOPHYTES**
Sous – embranchement : **ANGIOSPERMES**
Classe: **DICOTYLEDONES**
Sous-classe : **ROSIDAE**
Ordre : **FABALES**
Famille : **FABACEAE**
Sous-famille : **PAPILIONOIDEAE**
Tribu : **DALBERGIEAE**
Genre : ***Dalbergia***

La famille des FABACEAE appelée aussi LEGUMINOSAE est une grande famille cosmopolite représentée par environ 645 genres et environ 18000 espèces. Cent (100) de ces genres et 573 de ces espèces sont rencontrés à Madagascar dont 22 genres et 459 espèces endémiques. La grande famille est ensuite subdivisée en 3 sous-familles : les CAESALPINIOIDEAE, les MIMOSOIDEAE et les PAPILIONOIDEAE. Le genre *Dalbergia* est classé dans la sous famille des PAPILIONOIDEAE.

Les principaux caractères de la sous famille des PAPILIONOIDEAE sont les fleurs fortement zygomorphes, en forme de papillon ; les sépales soudés au nombre de 5 ; les pétales imbriqués descendants dont un pétale libre dorsal (étendard), deux autres, libres et en position latérale (ailes) et les deux derniers soudés (carène) ; les étamines au nombre de 10 soit monadelphes soit diadelphes (9 étamines soudées plus une étamine libre).

I-2- Description générale du genre *Dalbergia*

La description du genre *Dalbergia* ci-après est tirée de « The leguminosae of Madagascar » (Du Puy et al., 2002) et de la « Flore générique des arbres de Madagascar » (Schatz, 2001).

Le genre *Dalbergia* est constitué de 250 espèces d'arbres, d'arbustes et de lianes (Mabberley, 2008). A Madagascar, Du Puy et al. (2002) et Schatz (2001) ont découvert 43 espèces. Mais plus tard, en 2005, Bosser et Rabevohitra ont trouvé 48 espèces de *Dalbergia* dont une seule n'est pas endémique (*D. bracteolata*). *Dalbergia bracteolata* est une espèce commune avec le continent africain. La liste de ces espèces est donnée en Annexe 3.

Le genre regroupe les bois de rose et les palissandres selon Bosser et Rabevohitra (2005). Sur les 48 espèces, 5 sont des bois de rose (*D. louvelii*, *D. monticola*, *D. normandii*, *D. purpurascens* et *D. xerophila*) et les restes sont des palissandres (Du Puy et al., 2002).

Les feuilles sont alternes, composées imparipennées, avec des paires de folioles alternes, entières, penninerves. Les stipules sont petites et caduques tandis que les stipelles sont absentes.

Les inflorescences sont terminales, parfois axillaires, en racèmes ou en panicules, parfois scorpioïdes ou corymbiformes.

Les fleurs sont petites à grandes, irrégulières, hermaphrodites. Le pédicelle porte une paire de bractéoles près de l'apex en enfermant parfois la fleur dans le bouton. Les sépales sont soudés en coupe, les pétales sont libres, de couleur blanche ou crème, parfois teintés de violet. Les étamines sont 9 à 10. Les ovaires sont stipités avec 1 à 7 ovules.

Les fruits sont de grandes gousses coriaces, aplaties et souvent ailées, indéhiscentes, contenant 1 à plusieurs graines. La gousse présente souvent un réseau de nervures visible sur la surface au-dessus des graines.

I-3- Choix des espèces cibles

Le choix des espèces cibles est basé sur la fréquence d'utilisation des espèces de *Dalbergia* par la population locale et sur des recherches bibliographiques (Lemmens, 2007 ; Du Puy et al., 2002 et Schatz, 2001). *Dalbergia baronii* (palissandre) et *Dalbergia monticola* (bois de rose) de la forêt classée d'Ambohilero à Didy ont répondu aux critères prédéfinis. Ce sont des espèces endémiques de l'Est de Madagascar.

I-4- Collecte d'échantillons

Tous les matériels biologiques tels que les jeunes tiges, les feuilles avec pétioles, les spécimens d'herbier, les microcarottes et les rondelles de bois ont été récoltés sur le site.

I-4-1 Etudes anatomiques de jeunes tiges, de pétioles, de folioles et du bois

- Les matériels frais (tiges de 1,5 à 2 mm de diamètre, pétioles et folioles) venant de trois individus différents de chaque espèce ayant 4m de hauteur environ ont été conservés dans des bocaux contenant du Formaldéhyde acétique (Formol 5cc, Acide acétique glacial 5cc et Alcool 70° 90cc) (FAA) (Photo 1). Ces matériels frais sont destinés à l'étude anatomique de l'appareil végétatif.



Photo 1 : Conservation des échantillons de tige, de pétiole et de foliole dans du FAA

- Cinq échantillons botaniques (fertiles ou non) de chaque espèce ont été placés dans des papiers journaux et mis sous presse à herbier. Ces herbiers ont servi pour l'identification de l'espèce, pour l'étude anatomique de l'appareil végétatif et pour la constitution des spécimens à déposer aux herbiers de TAN Tsimbazaza, de TEF Ambatobe et du Département de Biologie et Ecologie Végétales de l'Université d'Antananarivo.

- Le bois du tronc d'un arbre est formé en général de l'extérieur vers l'intérieur par une partie claire appelée « aubier » et une partie sombre appelée « duramen ». Pour l'étude anatomique du bois, nous avons opté pour l'aubier car les prélèvements sont superficiels et ne nous ont pas permis d'atteindre le duramen. L'échantillon prélevé constitué d'écorce, de zone cambiale et du bois est appelé microcarotte (cf I-4-2, partie suivante)

I-4-2-Etudes dendrochronologiques

Des micro-échantillonnages de la zone cambiale et des marquages cambiaux de chaque espèce ayant dans la mesure du possible les mêmes diamètres ont été choisis pour éviter une erreur d'évaluation. Des microcarottes (Photo 2), comportant l'écorce, la zone cambiale et le bois, provenant de cinq (5) individus de chaque espèce cible ont été collectées entre Juillet 2011 et Juin 2012. Les microcarottes ont été conservées dans des bocaux contenant du FAA (Photo 3) et ont été utilisées à la fois pour décrire les caractères anatomiques du bois et pour suivre l'activité cambiale des espèces.

Pour les marquages cambiaux, des rondelles de bois provenant de trois (3) autres individus de chaque espèce ont été collectées en Août 2012. Les informations relatives à ces seize (16) individus pour les micro-échantillonnages et les marquages cambiaux sont données dans les tableaux 1 et 2.

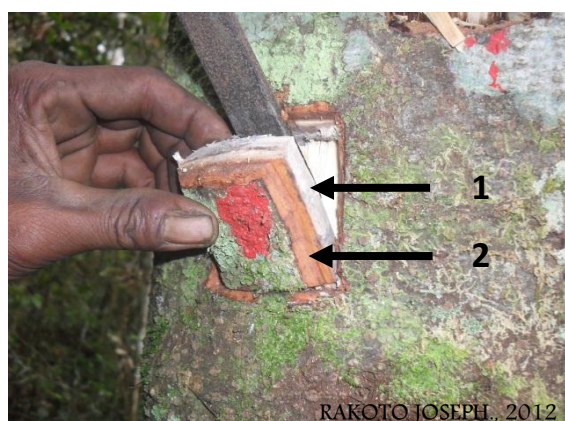


Photo 2: Microcarotte constituée par le bois (1) et l'écorce (2)



Photo 3: Conservation des microcarottes dans du FAA

Tableau 1: Matériels d'étude pour le micro-échantillonnage

Espèces	Code	Diamètre des pieds (cm)	Site, coordonnées géographiques, altitude	Début des prélèvements	Fin des prélèvements
<i>Dalbergia baronii</i>	VBF	27,70 27,38 23,56 21,81 22,92	Fenomanana II S 18°06'09,3'' E 48°36'15,5'' 1004m	25 Juillet 2011	25 Juin 2012
<i>Dalbergia monticola</i>	VBM	29,93 16,65 19,42 17,61 16,87	Fenomanana II S 18°06'10,0'' E 48°36'14,4'' 1064m	25 Juillet 2011	25 Juin 2012

VBF : Voambona fotsy ; VBM : Voambona mena

Tableau 2: Matériels d'étude pour le marquage cambial

Espèces	Code	Diamètre des pieds (cm)	Site, coordonnées géographiques, altitude	Début de piqûres	Fin de piqûres	Abatage des arbres
<i>Dalbergia baronii</i>	VBF	14,71 14,01 10,47	Fenomanana II S 18°06'08,9'' E 48°36'16,0'' 1083m	25 Juillet 2011	25 Juin 2012	29 Août 2012
<i>Dalbergia monticola</i>	VBM	14,96 12,48 10,50	Fenomanana II S 18°06'09,7'' E 48°36'14,2'' 1127m	25 Juillet 2011	25 Juin 2012	29 Août 2012

VBF : Voambona fotsy ; VBM : Voambona mena

II- Méthodes d'étude

Afin d'atteindre les objectifs de ce travail, des études bibliographiques et webographiques ont été d'abord effectuées pour réunir toutes les informations concernant les espèces, le site d'étude, les méthodes adoptées et les études antérieures. Le site FENOMANANA II a été choisi grâce à l'abondance de pieds de même diamètre des espèces cibles. Une identification et une description des espèces ont été réalisées. Enfin, des études anatomiques et dendrochronologiques ont été entreprises.

II-1- Identification et description de l'espèce

L'identification des espèces a été faite à l'herbier national du Département de Recherches Forestières et Piscicoles (DRFP) du FOFIFA à Ambatobe et au Département de Biologie et Ecologie Végétales (DBEV) après une prédétermination par Dr. RABARISON Harison (Enseignant-chercheur du DBEV).

La description morphologique de chaque espèce a été effectuée sur le terrain, à partir des spécimens d'herbier et complétée par des données bibliographiques (Lemmens, 2007; Du Puy et *al.*, 2002).

II-2 Etudes anatomiques de jeunes tiges, de pétioles et de folioles

II-2-1 Confection des coupes transversales de jeunes tiges, de pétioles et de folioles

A partir des échantillons de jeunes tiges, de pétioles et de folioles conservés dans du FAA, des coupes minces transversales ont été confectionnées au niveau des nœuds (5 nœuds /individu) et des entre-nœuds (5 entre-nœuds/individu) (Photo 4). Des coupes ont été effectuées sur différentes parties

du pétiole (5 pétioles/individu) : la partie proximale (près de l'insertion du pétiole sur la tige), la partie médiane et la partie distale (à la base du limbe) (Photo 4) et au niveau des folioles (10 folioles/individu) (Photo 4), à l'aide d'un microtome manuel. Le but est de suivre l'évolution en nombre et en forme des faisceaux libéro-ligneux. Ainsi, cette évolution est observée depuis le nœud, en passant au niveau du pétiole jusqu'à la nervure principale de la foliole.

Les coupes minces obtenues sont blanchies dans de l'eau de Javel pendant 10 à 15 minutes. Après trois rinçages avec de l'eau distillée, elles sont placées dans de l'acide acétique (fixateur du colorant) pendant 5 minutes. Ces coupes minces sont ensuite colorées au carmino-vert de Mirande et montées entre lame et lamelle dans de l'eau glycinée. Le carmin aluné colore les cellules à paroi cellulosique en rose tandis que le vert de méthyl colore les cellules à paroi lignifiée en vert.

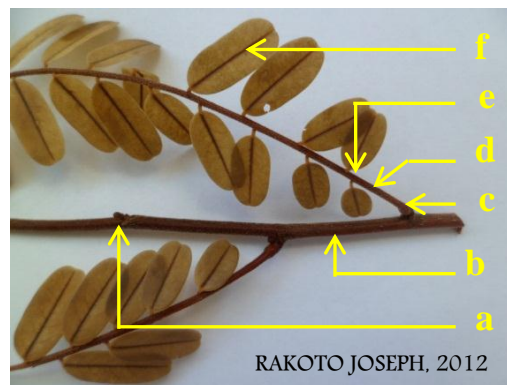


Photo 4 : Parties coupées au niveau de la jeune tige, du pétiole et de la foliole
a : nœud ; b : entre-nœud ; c : pétiole partie proximale ; d : pétiole partie médiane ;
e : pétiole partie distale ; f : foliole

II-2-2 Confection des coupes paradermales de folioles

Des coupes minces parallèles aux faces supérieure et inférieure des folioles (20 folioles/individus) ont été réalisées. Les coupes obtenues permettent d'observer les types de stomates selon le mode d'agencement des cellules épidermiques et des cellules accessoires autour des cellules stomatiques. Elles sont tout de suite montées entre lame et lamelle dans de l'eau distillée.

II-2-3 Clarification de folioles

Cette méthode consiste à observer à l'œil nu l'architecture des feuilles ou leur type de nervation. Dans notre cas, comme il s'agit d'une feuille composée, les observations ont été effectuées sur des folioles. Pour ce faire, la méthode de Jensen (1962) a été adoptée. Dix folioles par espèces à

partir des herbiers séchés sont traitées dans du NaOH à 5% pendant deux mois environ jusqu'à ce que la dépigmentation soit totale. Les folioles dépigmentées sont ensuite traitées et colorées selon la méthode de Johansen (1940). Cette méthode consiste à déshydrater les folioles dépigmentées dans une série d'alcool (30%, 50%, 70%, 96% et 100%) et à les colorer avec du safranine O dans 70% d'alcool. Le montage entre lame et lamelle se fait dans de l'euparal.

II-2-4 Observations et analyses des coupes

Tous les caractères anatomiques de jeunes tiges, de pétioles et de folioles ont été décrits tels que :

- la structure et la forme des cellules formant les différents tissus ;
- le nombre des couches de cellules formant les différents tissus ;
- la longueur, la largeur, la densité et le type de stomates.

Les interprétations suivent celles de Metcalfe et Chalk (1950). Les types de stomates sont déterminés d'après la classification de Van Cotthem (1970). L'interprétation des résultats sur l'architecture des nervures des folioles suit celle de Hickey (1973). Des photos, des dessins détaillés et des dessins d'ensemble utilisant les signes conventionnels (Annexe 4) ont été réalisés pour les illustrations.

II-3- Anatomie du bois et dendrochronologie

Afin de pouvoir analyser la croissance en épaisseur des espèces cibles, deux approches ont été adoptées, associant l'anatomie du bois et la dendrochronologie. Deux méthodes dendrochronologiques complémentaires ont été utilisées pour cette étude : le micro-échantillonnage ou « micro-sampling » (Wodzicki, 1971 ; Antonova et Stasova, 1993, 1997 ; Bäucker et *al.*, 1998 ; Gindl et Grabner, 2000 ; Deslauriers et Morin, 2005 ; Rossi et *al.*, 2006a ; Ravaomanalina, 2011) et le marquage cambial ou « pinning method » (Wolter, 1968 ; Schmitt et *al.*, 2004 ; Ravaomanalina, 2011). Ces deux méthodes dendrochronologiques sont utilisées depuis longtemps sur les arbres des pays tempérés. Elles ont été initiées pour la première fois à Madagascar par Ravaomanalina (2011) sur les espèces d'*Adansonia* de la forêt sèche de l'Ouest.

II-3-1 Buts et principes de l'étude anatomique du bois et de l'étude dendrochronologique

a) L'étude anatomique du bois a pour but de connaître la structure et l'arrangement des éléments constituant du bois mais aussi de savoir la nature et les caractéristiques des cernes de croissance.

b) Le micro-échantillonnage a pour but de suivre le fonctionnement du cambium au cours de l'année et de connaître la nature des éléments du bois formés. Des microcarottes de cinq individus de chaque espèce ont été prélevées mensuellement pendant 12 mois (juillet 2011- juin 2012) à 130cm du sol et faits en zig-zag (Planche 1; Photo 5) pour éviter la mort de l'arbre.

c) Le marquage cambial a pour but d'évaluer le taux d'accroissement annuel au niveau du cambium vasculaire et d'en déduire l'âge d'exploitabilité. Des piqûres avec une aiguille de 2mm de diamètre ont été effectuées mensuellement sur trois individus de chaque espèce pendant 12 mois (juillet 2011- juin 2012). Trois niveaux, dont le premier se trouve à 130 cm du sol, ayant des intervalles de distance de 20cm ont été choisis pour les piqûres (Planche 1; Photo 6). Après abattage de l'arbre, les rondelles contenant les 12 blessures ont été récupérées et conservées directement dans du FAA (Planche 1 ; Photo 7). Chaque rondelle a été polie afin de mieux observer les 12 traces de blessure sur la face transversale (Planche 1; Photo 8). Des morceaux de 1 cm³ ont été prélevés de façon à ce que chaque cube contienne une trace de blessure.

II-3-2- Confection des coupes du bois, de la zone cambiale et de la partie blessée

Deux cubes de 1cm de côté ont été prélevés à partir des microcarottes. Le premier est constitué uniquement de bois (Planche 2;Photo 9a) et le deuxième d'écorce, de la zone cambiale et du bois (Planche 2;Photo 9b). Un autre cube a été préparé à partir des rondelles de bois contenant les traces de piqûres (Planche 2;Photo 10).

Des coupes anatomiques variant de 10 à 20 µm d'épaisseur ont été confectionnées à partir de ces cubes. Pour le bois, des coupes suivant les trois plans : transversal, longitudinal radial et longitudinal tangentiel ont été effectuées à l'aide d'un microtome à glissière de type G.M.E REICHERT (Planche 2; Photo 11). Pour la zone cambiale et la partie blessée des coupes transversales ont été faites à l'aide d'un microtome à glissière de type G.S.L.1 (Planche 2; Photo 12). Les coupes minces obtenues ont été blanchies avec de l'eau de Javel (20 minutes environ), et passées dans l'acide acétique pour le bois et la zone cambiale. Elles ont été colorées ensuite avec seulement du safranine O pour les échantillons de bois (Johansen, 1940), du safranine O et de bleu d'Alcian

Planche 1 : Différentes étapes des méthodes dendrochronologiques utilisées

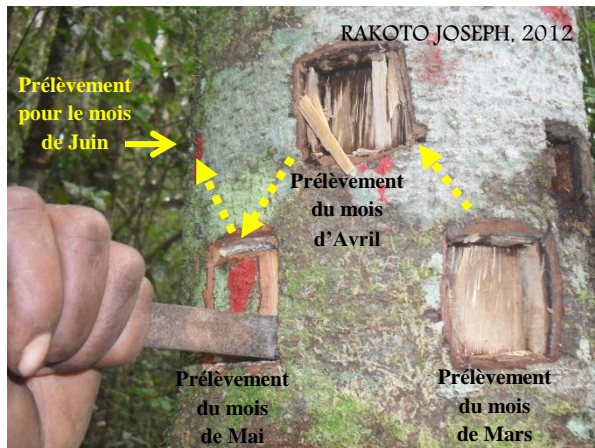


Photo 5: Mode et technique de prélèvement des microcarottes

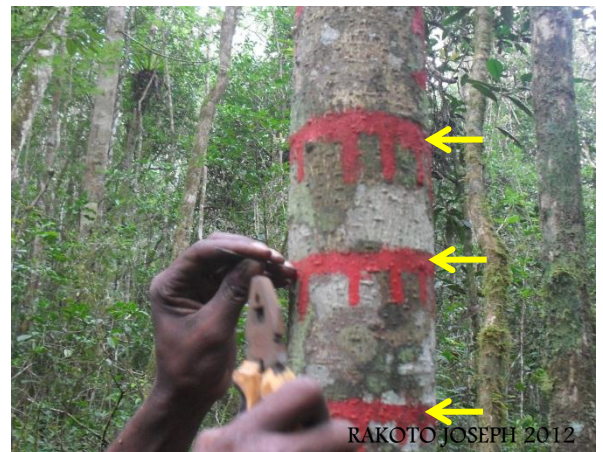


Photo 6: Blessure à l'aide d'une aiguille et les trois niveaux de piqûre



Photo 7: Conservation des rondelles de bois dans du FAA



Photo 8: Rondelle de bois avec les 12 piqûres

(Annexe 5) pour les zones cambiales issues des microcarottes et enfin avec du safranine O et du vert rapide (Annexe 6) pour les parties blessées issues des rondelles de bois (Ravaomanalina, 2011). La coloration à la safranine O permet la mise en relief des cellules à parois lignifiées. L'intensité de la coloration rose (due au complexe safranine-lignine) est fonction de l'épaississement des parois par suite de dépôt de lignine. Le bleu d'Alcian et le vert rapide permettent de mettre en évidence les cellules à paroi cellulosique. Les coupes ont été déshydratées dans une série d'alcool de 50, 75, 96 et 100%. Le montage des coupes entre lame et lamelle a été fait dans de l'euparal. Le séchage des coupes a été effectué dans un endroit sec et sombre.

Planche 2 : Préparation des échantillons pour la microtomie



Photo 9: Cubes obtenus à partir d'une microcarotte
(a)cube du bois ; (b) cube de la zone cambiale



Photo 10: Douze cubes contenant les 12 piqûres

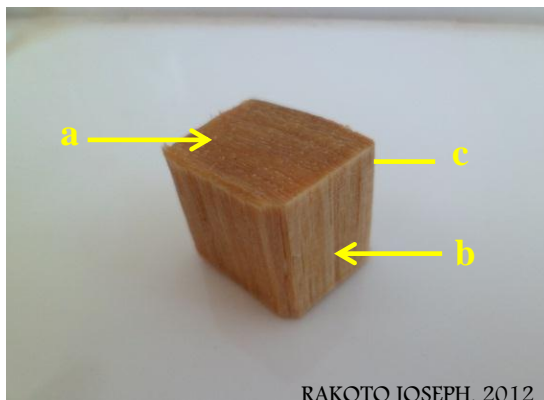


Photo 11: Cube de bois
(a)section transversale ; (b) section longitudinale radiale ;
(c) section longitudinale tangentielle



Photo 12: Réalisation de la coupe mince
à l'aide du microtome G.S.L. 1

II-3-3- Macération du bois

Cette méthode est utilisée pour séparer les éléments du bois dans le but de voir le type, la taille, la forme des cellules et pour les mesurer.

La méthode de Grisa (1988) et la méthode de Ruzin (1999) ont été choisies pour la macération. La macération consiste à prélever des petits morceaux de bois à partir des cubes de bois préalablement préparés et à les mettre dans un mélange d'eau oxygénée (50cc) et d'acide acétique glacial (50cc). Ensuite, pour la méthode de Grisa, le tout est bouilli avec un chauffe-ballon, pendant une heure trente minutes environ. Quant à la méthode de Ruzin, le tout est incubé dans une étuve à 25°C pendant 9 jours environ. Quand les bois sont désagrégés (de couleur blanche) et que la solution est devenue transparente, on procède au rinçage avec de l'eau distillée, à la coloration avec du safranine O et au montage entre lame et lamelle dans de l'eau glycinée.

II-3-4- Observations et mesures

Les observations ont été effectuées à l'aide des microscopes optiques NIKON, Modél YS 100 et NACHET, France. Les mesures et les comptages ont été réalisés avec un logiciel « image J » (Abramoff et *al.*, 2004). Toutes les dimensions et les nombres sont présentés par la moyenne de quarante mesures ou comptages sur vingt champs microscopiques différents au minimum.

a) Pour l'anatomie du bois, les caractères anatomiques suivants ont été étudiés

- En coupe transversale :
 - la présence ou absence des cernes de croissance ;
 - la porosité (poreuse, semi-poreuse, diffuse) ;
 - le mode d'arrangement des pores (en fil tangentiel, en fil radial) ;
 - le mode d'agencement des pores (isolés, accolés, amas) ;
 - le diamètre de la lumière des vaisseaux en μm ;
 - l'épaisseur de la paroi des vaisseaux en μm ;
 - le nombre des vaisseaux par mm^2 ;
 - l'épaisseur de la paroi des fibres ;
 - le diamètre de la lumière des fibres ;
 - la présence ou l'absence des thylles.
- En coupe longitudinale tangentielle :
 - l'agencement des fibres et des rayons ;
 - les types de rayons (unisériés, multisériés) ;
 - la hauteur des rayons en μm ;
 - le nombre de rayons par mm ;
 - le nombre d'étages par mm.
- En coupe longitudinale radiale :
 - la structure des rayons (homocellulaire, hétérocellulaire) ;
 - les types de perforation ;
 - les types de ponctuation ;
 - la présence de cristaux.

- Sur les macérations :
 - les éléments du bois (vaisseaux, trachéides, fibres, parenchymes et rayon)
 - la longueur des vaisseaux et des fibres en μm .

L'interprétation et la description anatomique suivent celles prédéfinies par IAWA Committee en 1989.

b) Pour le micro-échantillonnage, le comptage du nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale a été réalisé. La différenciation des cellules de part et d'autre du cambium est observée. Les relations entre le nombre des cellules par file radiale, les moyennes mensuelles de la précipitation et de la température et les différents stades phénologiques ont été analysés.

c) Pour le marquage cambial, les couches de cellules formées depuis la piqûre ont été localisées sous microscope. L'anatomie et la réaction de l'arbre à la blessure caractérisées par le phénomène de compartimentalisation ont été décrites. La compartimentalisation se traduit par des modifications chimiques et anatomiques adoptées par la plante contre les agressions externes comme les blessures (Shigo, 1984). L'épaisseur des tissus nouvellement formés a été mesurée pour évaluer le taux d'accroissement annuel. Enfin, l'âge d'exploitabilité a été déduit en faisant le rapport âge-diamètre. Le diamètre moyen d'exploitabilité (DME) selon l'Inventaire Ecologique et Forestier National (IEFN) en 1996 est de 30 à 35 cm mesuré à 130 cm du sol.

II-3-5- Analyses des données

Les paramètres usuels (minimum, maximum, moyenne) de statistiques sont utilisés pour présenter les résultats. Des analyses de variance ANOVA ont été réalisées pour connaître s'il y a une différence significative entre les valeurs obtenues (longueur, diamètre, nombre, pourcentage).

Pour vérifier s'il y a corrélation entre le nombre de cellules par file radiale et les précipitations ainsi que le nombre de cellules par file radiale et les températures, le test de corrélation de Pearson (Pearson, 1896) a été appliqué. Plus la valeur de « r » est proche de 1 en valeur absolue, plus les deux variables sont corrélées.

Le tableau 3 suivant synthétise toutes les démarches méthodologiques adoptées.

Tableau 3: Récapitulatif de la méthodologie utilisée

Objectifs spécifiques	Hypothèses	Méthodes utilisées
Etudes anatomiques		
Description anatomique des tiges, des pétioles et des folioles	Des différences anatomiques existent entre les espèces de <i>Dalbergia</i>	1- Confection de coupes transversales pour l'étude anatomique : - des tiges au niveau des entre-nœuds et des nœuds ; - des pétioles à différentes parties (proximale, médiane et distale) ; - des folioles. 2- Confection de coupes paradermales au niveau des folioles pour voir le type de stomate 3- Clarification des folioles pour observer le type de nervation
Description anatomique du bois		1- Confection de coupes anatomiques au niveau des 3 plans (CT, CLTg et CLR) à partir d'1cm ³ de bois de microcarotte. 2- Macération du bois
Etudes dendrochronologiques		
Mise en évidence du fonctionnement du cambium	La croissance en épaisseur de <i>Dalbergia</i> exige plusieurs années avant toute exploitation.	Prélèvements mensuels de la zone cambiale : « Micro-échantillonnage »
Evaluation de la croissance annuelle en épaisseur et détermination de l'âge d'exploitabilité		Piqûres mensuelles de la zone cambiale : « Marquage cambial »

CT : Coupe Transversale,

CLTg : Coupe Longitudinale Tangentielle ;

CLR : Coupe Longitudinale Radiale.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

I- Description botanique des espèces cibles

La description de deux espèces de *Dalbergia* a été faite à partir des recueils bibliographiques (Lemmens, 2007 ; Du Puy *et al.*, 2002) et des observations sur terrain.

I-1 *Dalbergia baronii* Baker

C'est un arbre caducifolié de taille moyenne atteignant 20 à 30 m de haut et jusqu'à 1m à 1,40m de diamètre. Le fût est généralement court. L'écorce (Planche 3; Photo 13) est blanchâtre à brun pâle, craquelée. Les jeunes rameaux sont à poils courts, bruns mais les branches plus âgées sont glabres, brun noirâtre et striées longitudinalement.

Les feuilles (Planche 3; Photo 14) de 3 à 7,5 cm de long sont disposées en spirale, composées imparipennées avec 17–25 folioles. Les stipules sont petites et caduques. Les pétioles et rachis sont densément couverts de poils raides. Les pétiolules ont environ 1 mm de long. Les folioles sont alternes, obovales à elliptiques ou oblongues, de 5–17(–20) mm × 2,5–8(–11) mm, coriaces, à pubescence jaunâtre sur la face inférieure.

Les inflorescences sont en panicule axillaire de 1,5–4 cm de long avec des divisions finales légèrement spiralées et poilues.

Les fleurs sont hermaphrodites, papilionacées, de 4–5 mm de long. Les pédicelles sont de 0,5–1,5 mm de long. Le calice est campanulé, de 2,5–3 mm de long. Les lobes sont plus courts que le tube, lobes inférieurs plus longs et lobes supérieurs fusionnés. La corolle est blanchâtre, à étendard obovale à panduriforme, et à ailes et carène munies d'un onglet. Les étamines sont au nombre de 10, soudées en un tube, mais libres dans leur partie supérieure. L'ovaire est supère, à stipe distinct à la base et contenant 1 à 4 ovules. Le style est court.

Les fruits sont des gousses plates, obovales à oblongues de 1,5–7 cm × 1–2 cm, à stipe de 1–2 mm long, glabres, brun pâles, à nervures peu distinctes, indéhiscentes et renfermant 1–3 graines.

Les graines sont réniformes, d'environ 9 mm × 5 mm, brun-rouge foncé.

Floraison: Janvier-Mars

Nom vernaculaire local: Voamboana fotsy (VBF)

Nom vernaculaire: Hazovola, Hitsika, Sovoka, Sovodrano, Voambona.

Planche 3: Caractères morphologiques de *Dalbergia baronii*Photo 13: Tronc de *D. baronii*Photo 14: Feuilles de *D. baronii***I-2 *Dalbergia monticola* Bosser et R. Rabev.**

C'est un arbre caducifolié de taille moyenne pouvant atteindre 30 m de haut et jusqu'à 1m de diamètre. Le fût est généralement court. L'écorce (Planche 4;Photo 15) est grisâtre, plus ou moins écailleuse. Les jeunes rameaux sont à pubescence courte, par contre les branches plus âgées sont glabres.

Les feuilles (Planche 4;Photo 16) de 3 à 12 cm de long sont disposées en spirale, composées imparipennées avec 20–30(–35) folioles. Les stipules sont petites et caduques. Les pétioles et rachis sont densément couverts de poils raides. Les pétiolules ont environ 1 mm de long. Les folioles sont alternes, obovales à oblongues, de (3–)5–17 mm × (3–)4–10 mm, coriaces, à pubescence blanchâtre à jaunâtre pâle sur le dessous.

Les inflorescences sont en panicule terminale ou axillaire de 7–15 cm de long, avec des divisions finales légèrement spiralées et poilues.

Les fleurs sont hermaphrodites, papilionacées, de 5–6 mm de long. Les pédicelles sont de 0,5–

1,5 mm de long. Le calice est campanulé, de 2,5–3,5 mm de long. Les lobes sont plus courts que le tube, lobes inférieurs légèrement plus longs et lobes supérieurs fusionnés. La corolle est blanchâtre, à étendard largement obovale à panduriforme, et à ailes et carène munies d'un onglet. Les étamines sont au nombre de 10, soudées en tube, mais libres dans leur partie supérieure. L'ovaire est supère, à stipe distinct à la base et contenant 3 à 4 ovules. Les styles sont courts.

Les fruits sont des gousses plates, elliptiques à oblongues, de 3,5–9 cm × environ 1,5 cm, à stipe mince de 4–10 mm de long, à pubescence courte ou glabrescente, brun rougeâtre, à nervation réticulée, indéhiscence et renfermant 1–3 graines.

Les graines sont réniformes, d'environ 8 mm × 4 mm, brun rougeâtre.

Floraison: Octobre-Novembre

Nom vernaculaire local: Voamboana mena (VBM)

Nom vernaculaire: Hazovola, Voambona, Tsiandalana.

Planche 4: Caractères morphologiques de *Dalbergia monticola*



Photo 15: Tronc de *D. monticola*



Photo 16: Feuilles de *D. monticola*

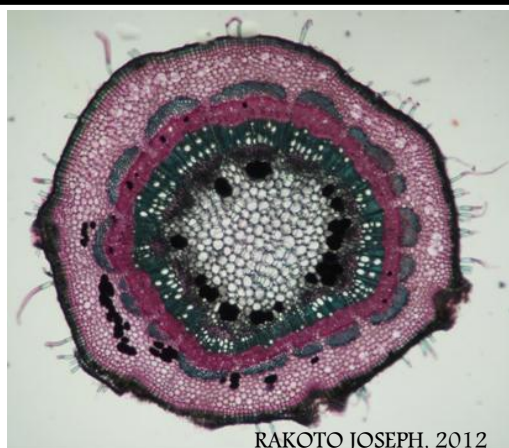
II- Anatomie de l'appareil végétatif

II-1 Anatomie des jeunes tiges

Les caractères anatomiques des jeunes tiges sont similaires chez les deux espèces de *Dalbergia* étudiées. La coupe transversale de cet organe montre de l'extérieur vers l'intérieur (Planche 5 ; Photo 17; Figure 3):

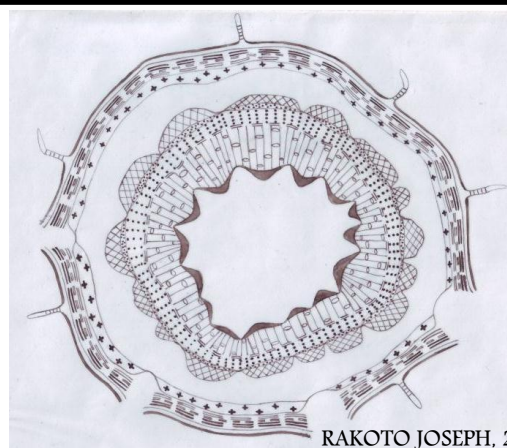
- une couche épidermique (Planche 5; Photo 18), avec des cellules arrondies, à paroi lignifiée, couverte d'une mince cuticule et munie de poils pluricellulaires unisériés (Photo 20 20; Figure 6);
- un périderme (Planche 5; Photo 18; Figure 4) formé par une à deux couches de suber avec des cellules rectangulaires, à paroi mince et subérisée et par une à deux couches de phelloderme avec des cellules rectangulaires à paroi mince et cellulosique et pourvue de lenticelles ;
- une à trois couches de collenchyme continue et angulaire (Planche 5; Photo 18; Figure 4), à paroi cellulosique ;
- un parenchyme cortical (Planche 5; Photo 18; Figure 4), à paroi mince et cellulosique, contenant des substances de couleur marron qui sont probablement des tannins ;
- un sclérenchyme (Planche 5; Photo 18; Figure 4) péricyclique discontinu, avec des cellules à paroi épaisse et lignifiée ;
- un phloème (Planche 5; Photo 18; Figure 4) composé de phloème I du côté externe et de phloème II du côté interne, avec des cellules à paroi mince et cellulosique ;
- un xylème (Planche 5; Photo 18; Figure 4) constitué par le xylème I à l'intérieur et par le xylème II à l'extérieur. Les cellules sont à paroi mince et lignifiée ;
- un parenchyme médullaire (Planche 5; Photo 17), à paroi mince et lignifiée contenant aussi des substances de couleur marron qui sont probablement des tannins ;
- un nœud à trois lacunes et à trois traces (Planche 5 ; Photo 19, Figure 5).

Planche 5: Coupes transversales au niveau de la tige de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola*.



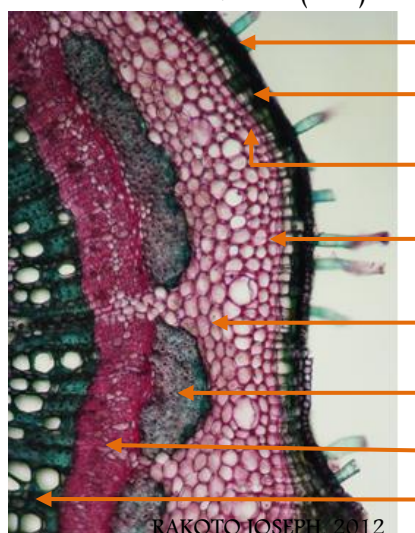
RAKOTO JOSEPH, 2012

Photo 17: Coupe transversale au niveau des entre-nœuds chez *D. baronii* (x 40)



RAKOTO JOSEPH, 2012

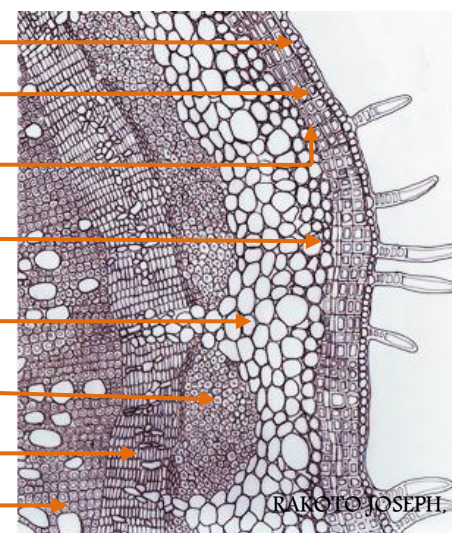
Figure 3: Dessin d'ensemble d'une coupe transversale au niveau des entre-nœuds



RAKOTO JOSEPH, 2012

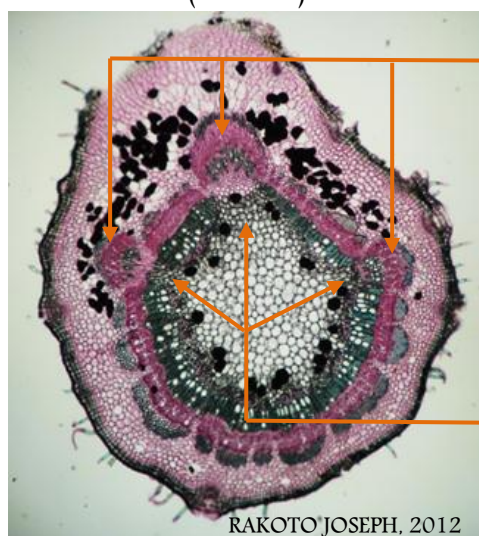
Photo 18: Structure anatomique au niveau d'une tige (CT x 100)

Epiderme
Suber
Phelloderme
Collenchyme angulaire
Parenchyme cortical
Sclérenchyme discontinu
Phloème
Xylème



RAKOTO JOSEPH, 2013

Figure 4 : Dessin détaillé d'une structure anatomique au niveau d'une tige

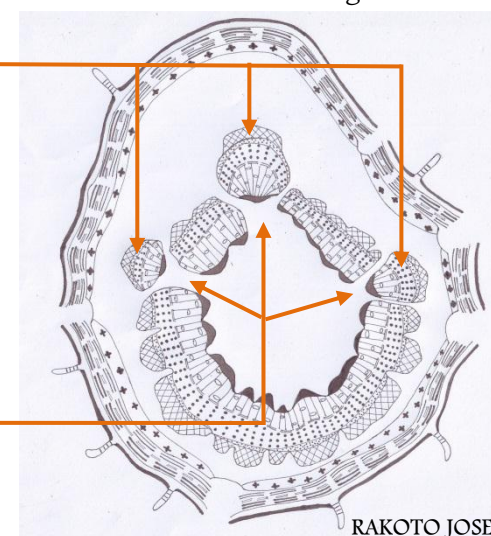


RAKOTO JOSEPH, 2012

Photo 19: Nœud à 3 traces et 3 lacunes chez *D. baronii* (CT x 40)

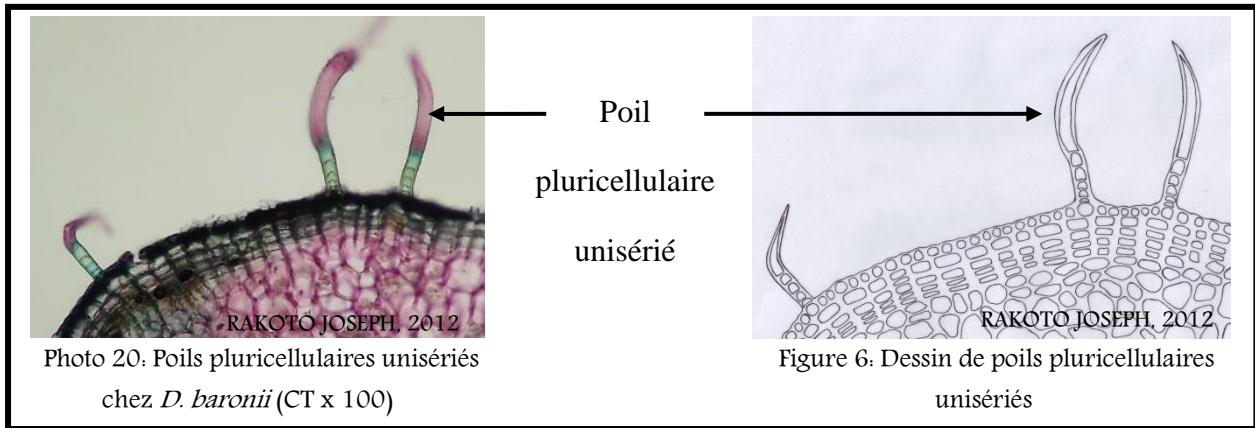
Traces

Lacunes



RAKOTO JOSEPH, 2012

Figure 5: Dessin d'ensemble d'un nœud à 3 traces et 3 lacunes



II-2 Anatomie des pétioles

Les différentes parties de coupes effectuées sur le pétiole montrent que pour les deux espèces de *Dalbergia* étudiées (Planche 6), l'évolution des faisceaux vasculaires est la même sur la partie proximale et médiane. Ce qui n'est pas le cas sur la partie distale. Sur la partie proximale (Planche 6, A, D, G et J), les trois faisceaux venant de la tige fusionnent pour former une stèle ouverte. En outre, le parenchyme cortical est très développé et le sclérenchyme continu est en cours de lignification. Sur la partie médiane (Planche 6, B, E, H et K), le faisceau se divise en un arc sinueux et une plaque. Le sclérenchyme redevient discontinu et l'épaisseur du parenchyme cortical diminue. Sur la partie distale, pour *D. baronii* (Planche 6, C et F), les faisceaux vasculaires continuent encore à se diviser pour former quatre faisceaux distincts, par contre pour *D. monticola* (Planche 6, I et L), les faisceaux vasculaires gardent leur forme mais leur écartement est plus grand.

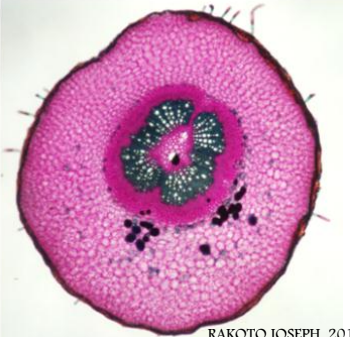


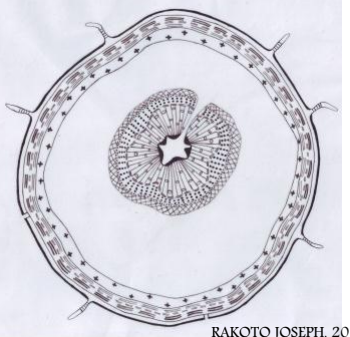
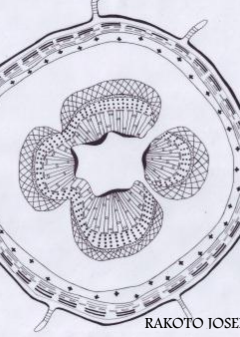
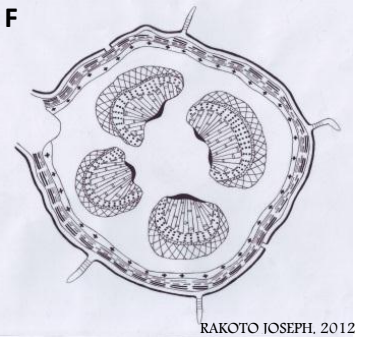
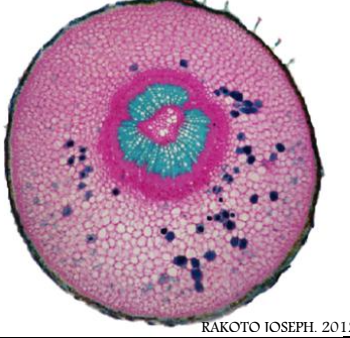


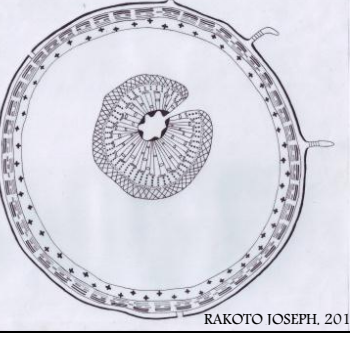
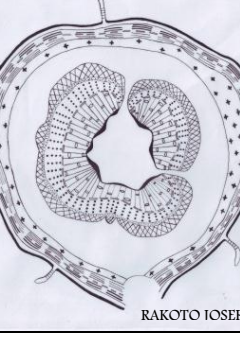
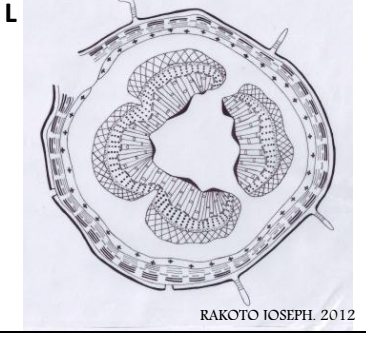
II-3 Anatomie des folioles

Les feuilles de *Dalbergia* sont composées, ainsi nous allons décrire l'anatomie des folioles. Au niveau de la foliole, l'anatomie de la nervure principale et du limbe a été déterminée à partir de coupes transversales. Les types de stomates sont obtenus à partir de coupes minces paradermales et le type de nervation à partir de la clarification.

II-3-1 Anatomie de la nervure principale des folioles

- Morphologiquement (Planche 7 ; Photo 21-22 ; Figure 7-8), les deux espèces étudiées présentent une face supérieure creuse et une face inférieure saillie.

Planche 6: Structures anatomiques des pétioles chez *Dalbergia baronii* et *D. monticola*

Espèces	Au niveau proximal	Au niveau médian	Au niveau distal
<i>Dalbergia baronii</i>	A  RAKOTO JOSEPH, 2012	B  RAKOTO JOSEPH, 2012	C  RAKOTO JOSEPH, 2012
	D  RAKOTO JOSEPH, 2012	E  RAKOTO JOSEPH, 2012	F  RAKOTO JOSEPH, 2012
	G  RAKOTO JOSEPH, 2012	H  RAKOTO JOSEPH, 2012	I  RAKOTO JOSEPH, 2012
<i>Dalbergia monticola</i>	J  RAKOTO JOSEPH, 2012	K  RAKOTO JOSEPH, 2012	L  RAKOTO JOSEPH, 2012

- Anatomiquement (Planche 7 ; Photo 21-22 ; Figure 7-8), les caractères anatomiques de la nervure principale des folioles sont semblables pour *D. baronii* et *D. monticola*. L'épiderme supérieur est formé par de grandes cellules cubiques ou rectangulaires, avec une épaisse couche de cuticule. L'épiderme inférieur est constitué par de petites cellules arrondies et pourvu d'une mince cuticule. Les deux épidermes sont munis de poils pluricellulaires unisériés, mais ils sont très nombreux sur la face inférieure. Une à deux couches de collenchyme annulaire sont observées sur la face inférieure. Des parenchymes renferment des substances qui sont probablement des tannins sur la face inférieure. Des sclérenchymes entourent les faisceaux vasculaires. Ces derniers forment un arc plus ou moins aplati au milieu.

II-3-2 Anatomie du limbe des folioles

Pour les deux espèces étudiées (Planche 7 ; Photo 23-24 ; Figure 9-10), l'épiderme supérieur est semblable à celui au niveau de la nervure principale mais dépourvu de poils tandis que l'épiderme inférieur est formé par des cellules de plus grande taille. De plus, l'épiderme inférieur est muni de stomates. Deux types de parenchyme se rencontrent entre les deux épidermes, un parenchyme palissadique vers la face supérieure et un parenchyme lacuneux vers la face inférieure. Chez *D. baronii*, le parenchyme palissadique est bisérié c'est-à-dire formé par deux couches de cellules allongées. Chez *D. monticola*, le parenchyme palissadique est trisérié, formé par trois couches de cellules allongées.

II-3-3 Stomates

Chez les deux espèces étudiées, les coupes paradermales au niveau de la face inférieure du limbe (Photo 25, Figure 11) montrent des cellules épidermiques sinueuses et des stomates de type paracytique c'est-à-dire que les deux cellules de garde sont entourées par deux cellules accessoires et ces dernières sont parallèles au grand axe des cellules de garde. Les cellules de garde mesurent 19 μm de longueur et 16 μm de largeur avec une densité plus faible chez *D. baronii* que chez *D. monticola* qui est respectivement de 125 stomates par mm^2 et de 171 stomates par mm^2 .

Planche 7: Structures anatomiques des folioles chez *Dalbergia baronii* et de *D. monticola*



Photo 21: Nervure principale de *D. baronii* (CT x 100)



Photo 22: Nervure principale de *D. monticola* (CT x 100)

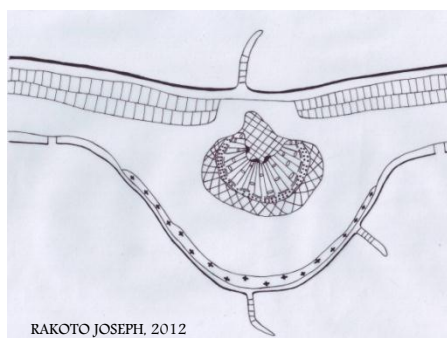


Figure 7: Dessin d'ensemble de la nervure principale de *D. baronii*

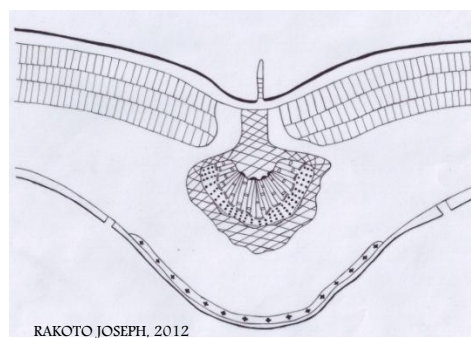


Figure 8: Dessin d'ensemble de la nervure principale de *D. monticola*

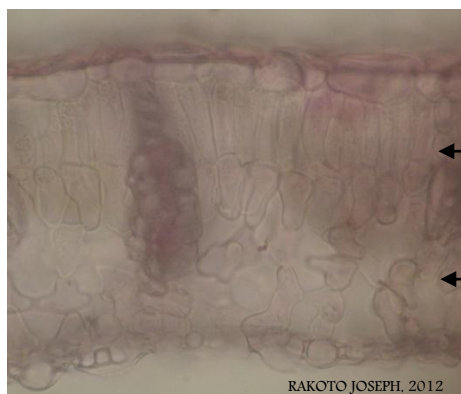


Photo 23: Structure anatomique du limbe de *D. baronii* (CT x 400)



Photo 24: Structure anatomique du limbe de *D. monticola* (CT x 400)

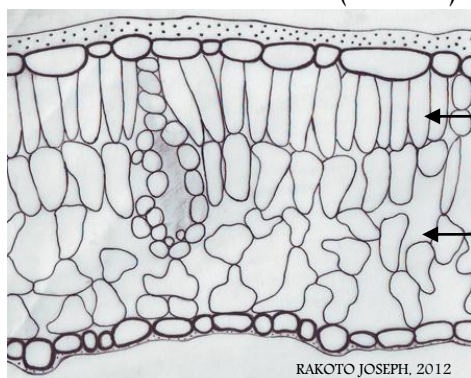


Figure 9 : Dessin détaillé de la structure anatomique du limbe de *D. baronii*

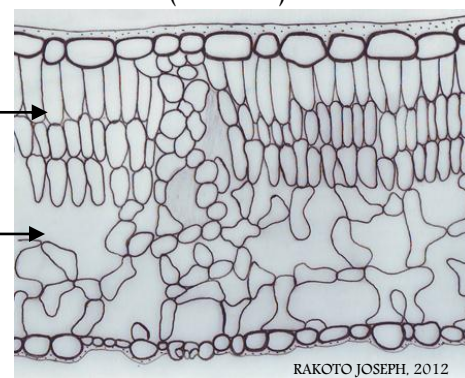


Figure 10 : Dessin détaillé de la structure anatomique du limbe de *D. monticola*

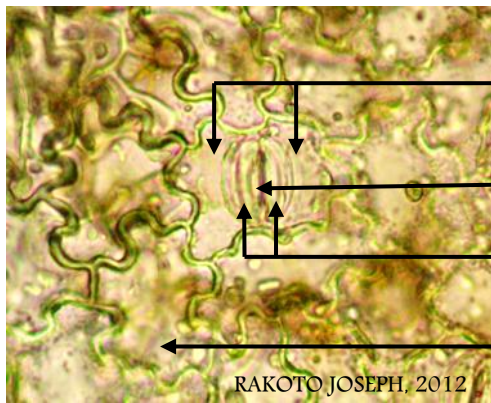


Photo 25: Stomate paracytique
chez *D. monticola* (x 1000)

Cellules
accessoires
Ostiole
Cellules
de garde
Cellule
épidermique

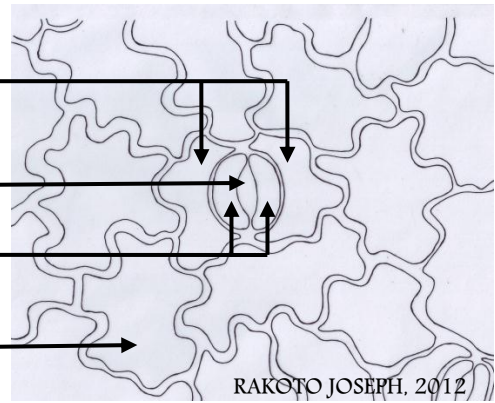


Figure 11: Dessin d'un stomate paracytique

II-3-4 Nervation des folioles

Les feuilles des deux espèces étudiées sont composées imparipennées avec des folioles à nervation secondaire de type brochidodromeux (Planche 8; Photo 26) c'est-à-dire que les nervures secondaires fusionnent avec les nervures superadjacentes en formant une série d'arcs proéminents. Les nervures arrivent jusqu'à la cinquième ramification (Planche 8; Photo 27). Les plus petites ramifications des nervures forment un réseau d'aréoles de type imparfait c'est-à-dire de forme irrégulière plus ou moins variable, et incomplète (Planche 8 ; Photo 27) non limités par des nervures.

Planche 8: Type de nervure chez *Dalbergia baronii* et *D. monticola*

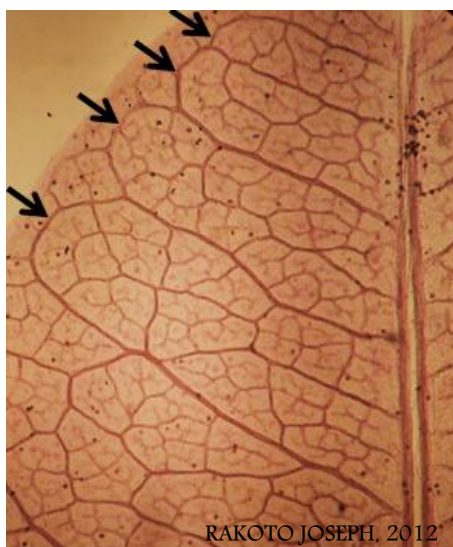


Photo 26 : Foliole avec des nervures
brochidodromeuses (x 40)

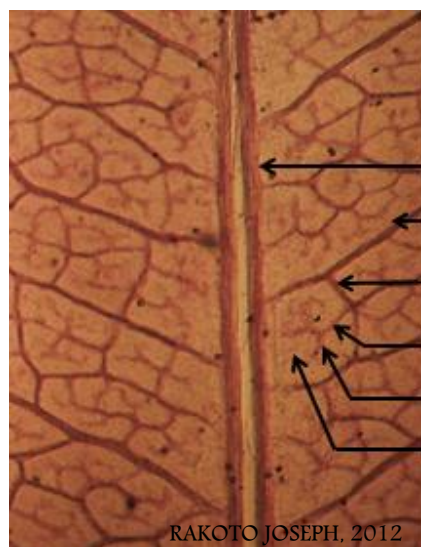


Photo 27 : Détails des nervures avec aréoles imparfaites
(x 40)

II-4 Anatomie du bois

II-4-1 Caractères anatomiques communs entre *Dalbergia baronii* et *D. monticola*

Cernes: Le bois est caractérisé par l'absence de cernes (Planche 9 ; Photo 28).

Tous les éléments du bois tels que vaisseaux, trachéides et fibres, parenchymes axiaux et rayons sont disposés en étage pour les deux espèces étudiées.

Vaisseaux: Les pores sont diffus, arrangés en files obliques. Les vaisseaux peuvent être isolés (76%) et parfois accolés radialement par 2 à 3 (24%) (Tableau 3). Les vaisseaux possèdent des formes ovales à arrondies. Les perforations sont simples avec parfois des thylls et dépôts à l'intérieur. Les ponctuations intervasculaires sont alternes, circulaires, aréolées et ornées (Planche 9 ; Photo 29). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctement aréolées, identiques à celles des ponctuations intervasculaires et présentes dans toutes les cellules des rayons en contact avec les vaisseaux. Les vaisseaux sont très rares ($2/\text{mm}^2$) et courtes (188 à $189\mu\text{m}$) (Planche 9 ; Photo 30a; Tableau 4).

Trachéides et fibres: Les trachéides sont très rares (Planche 9; Photo 31). Les fibres sont à paroi épaisse, non cloisonnée, de longueur moyenne (1069 - $1127,5\ \mu\text{m}$) (Planche 9 ; Photo 30b ; Tableau 5).

Parenchymes axiaux : Les deux types de parenchymes axiaux y sont rencontrés. Les apotrachéaux (parenchymes non associés aux vaisseaux) qui sont en chaînettes de 1 à plusieurs cellules de large ou en cellules isolées disséminées dans les tissus fibreux (Planche 9 ; Photo 32a). Les paratrachéaux (parenchymes axiaux associés aux vaisseaux) qui sont aliformes et anastomosés (Planche 9 ; Photo 32b). Les parenchymes axiaux sont formés de deux cellules par file (Planche 9 ; Photo 30c; Photo 33a ; Tableau 5), contenant des cristaux de forme rhomboédrique (Planche 9; Photo 34).

Rayons : Les rayons sont fusiformes, unisériés (9% pour *D. baronii* et 18% pour *D. monticola*), bisériés (57% pour *D. baronii* et 75% pour *D. monticola*) et trisériés (34% pour *D. baronii* et 7% pour *D. monticola*) (Planche 9; Photo 33b ; Tableau 5). Ils sont hétérocellulaires, composés de plusieurs rangées de cellules couchées au centre et une rangée de cellules carrées et dressées dans la partie terminale (Planche 9 ; Photo 35). Les rayons ont une hauteur moyenne de $133\mu\text{m}$ (caractéristiques des bois commerciaux selon Metcalfe et Chalk, 1950) et au nombre de 9 à 10 par mm (Tableau 6).

Planche 9: Illustrations des caractères anatomiques communs du bois chez les deux espèces.

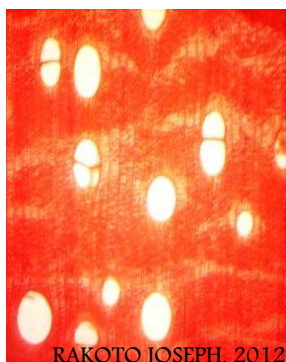


Photo 28: Cernes de croissance absents chez *D. monticola* (CT x 40)

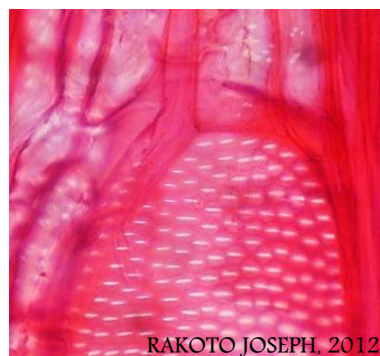


Photo 29: Ponctuations intervasculaires alternées chez *D. baronii* (CT x 100)

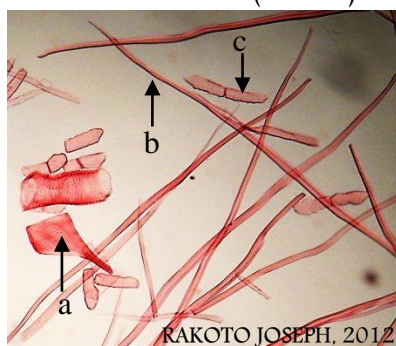


Photo 30: Vaisseau (a), fibre (b) et parenchyme (c) chez *D. baronii* (macération x 100)

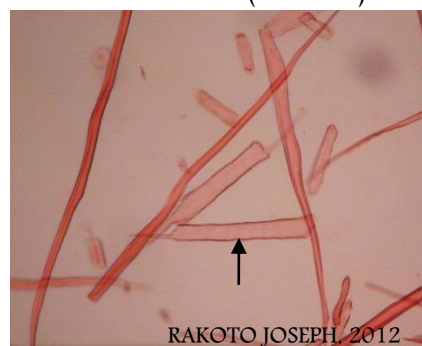


Photo 31: Trachéide chez *D. monticola* (macération x 100)

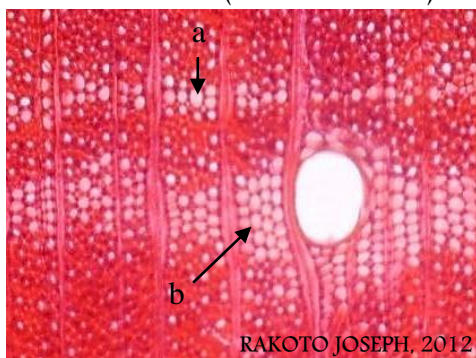


Photo 32: Parenchymes axiaux apotrachéaux (a) et paratrachéaux (b) chez *D. monticola* (CTx100)

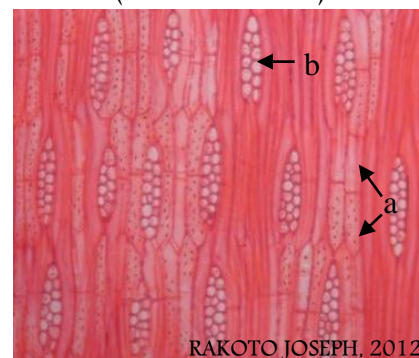


Photo 33: Parenchymes axiaux (a) et rayon bisérié (b) chez *D. baronii* (CLT x100)

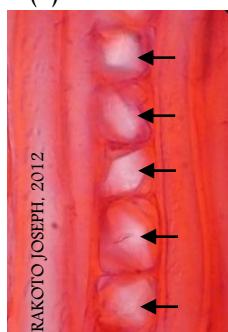


Photo 34: Cristaux rhomboédriques chez *D. monticola* (CLR x 400)

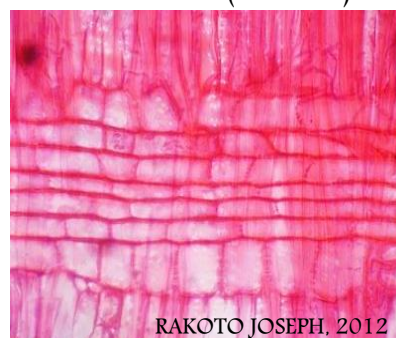


Photo 35: Rayons hétérocellulaires chez *D. monticola* (CLR x 400)

Tableau 4: Récapitulatif des caractères des vaisseaux pour les deux espèces étudiées

Espèces	Groupements des vaisseaux (%)			Diamètres des vaisseaux (µm)					Longueurs des vaisseaux (µm)					Densités Nb vaisseaux/ mm ²		
	isolés	Accolés	TF*	Min	Mn	Max	ET	TF*	Min	Mn	Max	ET	TF*	Mn	ET	TF*
<i>Dalbergia baronii</i>	75	24	A	96	221	416,5	11	A	85	188	228	6,5	A	2	0,1	A
<i>Dalbergia monticola</i>	76	23	A	81,5	175	295	10	B	123,5	189	245	5,5	A	2	0,1	A

Tableau 5: Récapitulatif des caractères des fibres et des parenchymes axiaux pour les deux espèces étudiées

Espèces	Fibres					Parenchymes axiaux
	Longueurs des fibres (µm)					Nb de cellules par file
	Min	Mn	Max	ET	TF*	
<i>Dalbergia baronii</i>	518	1069	1460	48	B	2
<i>Dalbergia monticola</i>	691	1127,5	1508	39	B	2

Tableau 6: Récapitulatif des caractères des rayons pour les deux espèces étudiées

Espèces	Rayons											
	Types des rayons				Hauteurs des rayons (µm)					Nb de rayon / mm		
	Unisériés (%)	Bisériés (%)	Trisériés (%)	TF*	Min	Mn	Max	ET	TF*	Mn	ET	TF*
<i>Dalbergia baronii</i>	9	57	34	A	68	133	232,5	1,5	A	9	0,1	A
<i>Dalbergia monticola</i>	18	75	7	B	73	133	194,5	5,5	A	10	1,2	A

ET : Ecart Type

Min : minimum de valeur

Mn : moyenne

Max : maximum de valeur

Nb : Nombre

TF : Test de Fischer

* : Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Fischer.

II-4-2 Caractères anatomiques distinctifs entre *Dalbergia baronii* et *D. monticola*

La différence s'observe au niveau du diamètre des vaisseaux et de la disposition en étages des éléments du bois.

Les diamètres des vaisseaux sont gros (175µm) chez *Dalbergia monticola* et très gros (221µm) chez *D. baronii* (Tableau 4).

La disposition en étages des éléments du bois est irrégulière chez *Dalbergia baronii*, par contre elle est régulière chez *D. monticola* et au nombre de 5 par millimètre.

En résumé, les deux espèces étudiées peuvent être distinguées par la structure vasculaire sur la partie distale du pétiole, le nombre de couches de parenchymes palissadiques au niveau des folioles, la densité des stomates, le diamètre des vaisseaux, la disposition en étages des éléments du bois et enfin par le pourcentage des types de rayon. Ainsi, les résultats obtenus sur l'anatomie des jeunes tiges, des pétioles, des folioles et du bois montrent des différences anatomiques entre *Dalbergia baronii* et *D. monticola*. Nous pouvons dire que notre première hypothèse est vérifiée.

III- Dynamique de la croissance en épaisseur

La dynamique de la croissance en épaisseur de *D. baronii* et *D. monticola* a été obtenue à partir des résultats du micro-échantillonnage et du marquage cambial.

III-1 Croissance après suivi de l'activité cambiale (Micro-échantillonnage)

III-1-1 Définitions et variations saisonnières de l'activité cambiale

Le cambium est un tissu méristématique constitué par deux types de cellule, les cellules initiales des rayons et les cellules fusiformes initiales. En se divisant suivant un plan péricleinal ou parallèle à la périphérie, les cellules du cambium donnent le xylème (bois) vers l'intérieur et le phloème vers l'extérieur. Vers l'intérieur, les cellules se différencient en cellules de bois matures (xylème II) qui sont constituées de vaisseaux, de fibres, de parenchymes et de rayons xylémiens. Vers l'extérieur, les cellules se différencient en cellules de phloème secondaire constitué de cellules criblées, de cellules compagnes, de fibres, de parenchymes et de rayons phloémiens. Le cambium lui-même doit aussi assurer sa

multiplication en renouvelant ses cellules initiales des rayons et ses cellules fusiformes initiales.

Lors de cette étude, la zone cambiale est définie par les deux types de cellules du cambium plus les couches de cellules indifférenciées du xylème vers l'intérieur et du phloème vers l'extérieur. Pour suivre l'activité cambiale pendant une année de croissance, des observations et des comptages du nombre de cellules de la zone cambiale ont été effectués :

- (1) observation et délimitation des cellules de la zone cambiale ;
- (2) détermination des différents stades de différenciation : l'élargissement des cellules, la formation de la paroi secondaire et la lignification de la paroi ;
- (3) détermination de la période pendant laquelle chaque élément du bois et de l'écorce est formé ;
- (4) détermination du début, de la durée et de la fin de la division cellulaire et de la différenciation au niveau de la zone cambiale ;
- (5) comptage du nombre de cellules de la zone cambiale afin de pouvoir préciser la dormance du cambium, la réactivation du cambium et la période pendant laquelle l'activité cambiale est maximale.

Le cambium est dit en dormance quand les critères suivants sont respectés :

- (1) nombre minimum de couches de cellule de la zone cambiale ;
- (2) que des cellules indifférenciées dans la zone cambiale ;
- (3) aucune cellule élargie dans la zone cambiale ;
- (4) que de cellules totalement lignifiées de part et d'autre de la zone cambiale.

L'état d'activité se reconnaît à une zone cambiale large passant progressivement à la structure de xylème lignifié et de phloème cellulosique. Les couches de cellules de la zone cambiale formées caractérisent les deux saisons humide et sèche et les comptages ont été effectués chaque mois.

La saison sèche correspond à la période allant du mois de Mai au mois d'Octobre tandis que la saison humide s'étend de Novembre à Avril. Pendant la saison sèche, le nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale est de 7 ou 8 (Planche 10; Photo 36 ; Figure 12). Le nombre minimal est enregistré au mois de Juin avec 5 cellules (Planche 10; Photo 37; Figure 12). Par contre, ce nombre varie de 9 à 14 pendant la saison humide, de Novembre à Avril (Planche 10; Photo 38-39; Figure 12). Le nombre maximal de cellules par file radiale de la zone cambiale est enregistré en Janvier avec 14 cellules (Planche 10; Photo 39; Figure 12).

Planche 10: Les différents stades de l'activité cambiale au cours des deux saisons

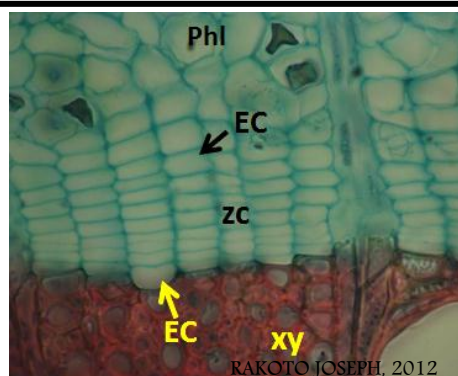


Photo 36: Début d'élargissement de cellules de part et d'autre de la zone cambiale chez *D. baronii* en saison sèche, Août 2011. (CT x 400)

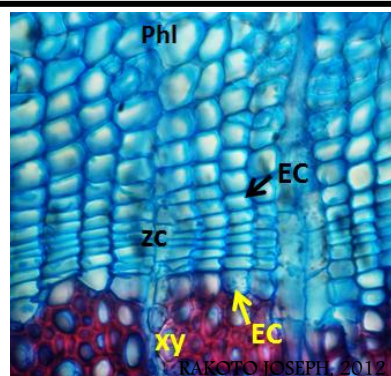


Photo 37: Début d'élargissement de cellules de part et d'autre de la zone cambiale chez *D. monticola* en saison sèche, Juin 2011. (CT x 400)

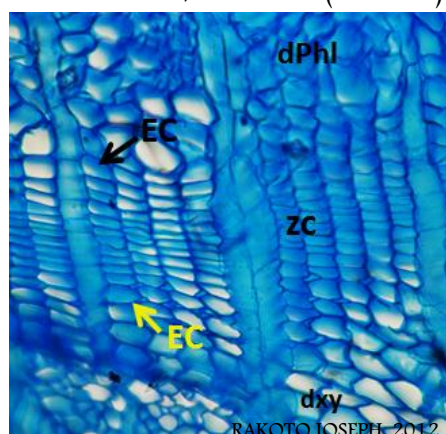


Photo 38: Cambium en activité chez *D. baronii* en saison humide, Décembre 2011. (CT x 100)

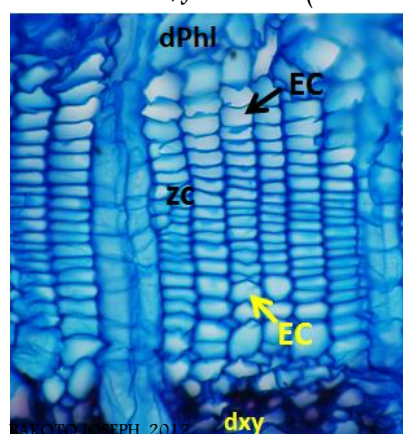


Photo 39: Cambium en activité chez *D. monticola* en saison humide, Janvier 2012. (CT x 400)

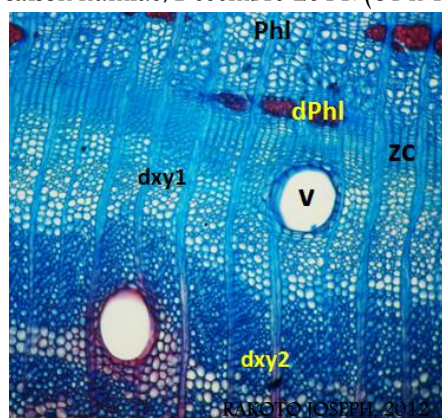


Photo 40: Formation de tissus et des différents stades de différenciation des cellules chez *D. baronii* en saison humide, Février 2012. (CT x 100)

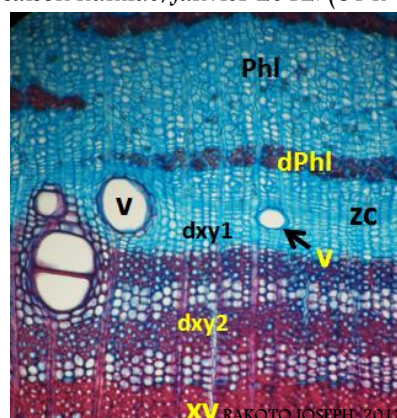


Photo 41: Formation de tissus et des différents stades de différenciation des cellules chez *D. monticola* en saison humide, Décembre 2011. (CT x 100)

ZC : zone cambiale, EC : élargissement cellulaire, Phl : phloème, xy : xylème, dPhl : cellules du phloème en différenciation, dxy : cellules du xylème en différenciation, dxy1 : cellules du xylème avec paroi primaire, dxy2 : cellules du xylème avec paroi secondaire en début de lignification.

L'histogramme montrant la variation du nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale en fonction de la saison suppose que l'activité cambiale est minimale en saison sèche au mois de Juin (Planche 10; Photo 36-37 ; Figure 12) et est maximale au mois de Décembre et Janvier (Planche 10; Photo 38-39; Figure 12). La période de dormance du cambium ainsi que la réactivation du cambium caractérisée par l'élargissement de la première cellule est observée pendant le mois de Juin (Planche 10; Photo 37; Figure 12). Nos observations nous ont permis de dire que la division cellulaire au niveau de la zone cambiale commence au mois de Juin suivie tout de suite de la différenciation (Planche 10; Figure 12). Le phénomène de différenciation commence en saison sèche et continue pendant la saison humide (Planche 10; Photo 40-41).

La division cellulaire et la différenciation au niveau de la zone cambiale de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola* sont maximales pendant la saison humide de Novembre à Avril, présentant 13 à 14 cellules en Décembre et en Janvier.

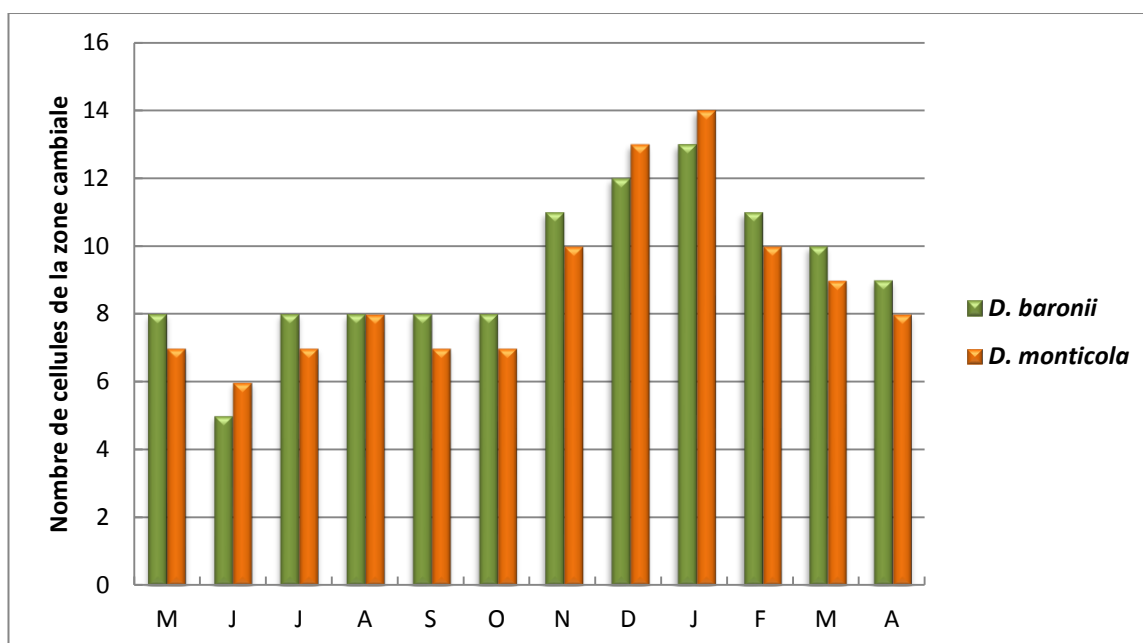


Figure 12: Histogramme montrant la variation en nombre des cellules par file radiale de la zone cambiale de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola* en fonction de la saison.

III-1-2 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la précipitation

Le fonctionnement du cambium est influencé par les précipitations (Planche 11 ; Figure 13). Une corrélation positive et significative est trouvée entre le nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale et la moyenne des précipitations mensuelles pour *Dalbergia baronii* ($r = 0,86$) et *D. monticola* ($r = 0,88$).

Quand le cambium est actif, il présente 9 à 14 cellules pour *D. baronii* et *D. monticola* pendant les mois les plus arrosés de Novembre à Mars avec des moyennes de précipitations variant de 90,9 mm à 364,3 mm.

L'activité cambiale est maximale, avec 13 ou 14 cellules pour les deux espèces étudiées en Janvier quand la précipitation est très élevée de 364,3 mm.

L'activité cambiale est minimale, présentant 5 ou 6 cellules pour *D. baronii* et *D. monticola* pendant le mois le moins arrosé avec un minimum de précipitation de 0,73 mm en Juin.

Le nombre de cellules de cambium par file radiale de la zone cambiale est moins élevé, variant de 5 à 13 chez *D. baronii* par rapport à celui de *D. monticola* variant de 6 à 14.

Pour conclure, la croissance en épaisseur des deux espèces de *Dalbergia* étudiées dépend de la quantité de précipitation. L'influence des autres facteurs tels que la température et l'état phénologique sur l'activité cambiale a été aussi considérée.

III-1-3 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la température

Le fonctionnement du cambium est influencé par la température (Planche 11 ; Figure 14). Une corrélation positive et significative est trouvée entre la température et le nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale pour *Dalbergia baronii* ($r = 0,80$) et *D. monticola* ($r = 0,72$). Pendant que la température augmente de 18,59°C à 24,18°C entre le mois d'Août et le mois de Janvier, le nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale augmente aussi de 7 à 14 cellules. La diminution de la température de Mars à Juin de 23,96°C à 18,97°C entraîne la réduction du nombre de cellules de la zone cambiale de 10 à 5.

Nous pouvons conclure que la température influence l'activité cambiale ainsi que la croissance en épaisseur des deux espèces étudiées.

Planche 11: Corrélation entre l'activité cambiale, les précipitations et la température chez les espèces de *Dalbergia*

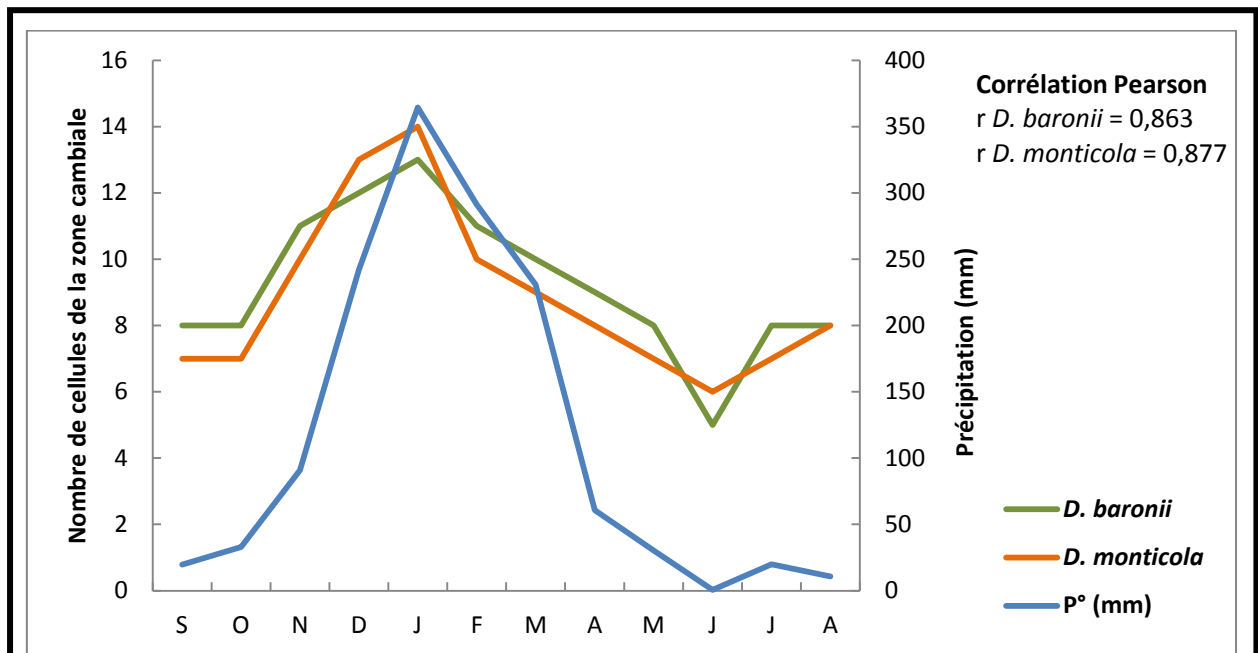


Figure 13: Activité cambiale et distribution mensuelle des précipitations chez *Dalbergia baronii* et *D. monticola*.

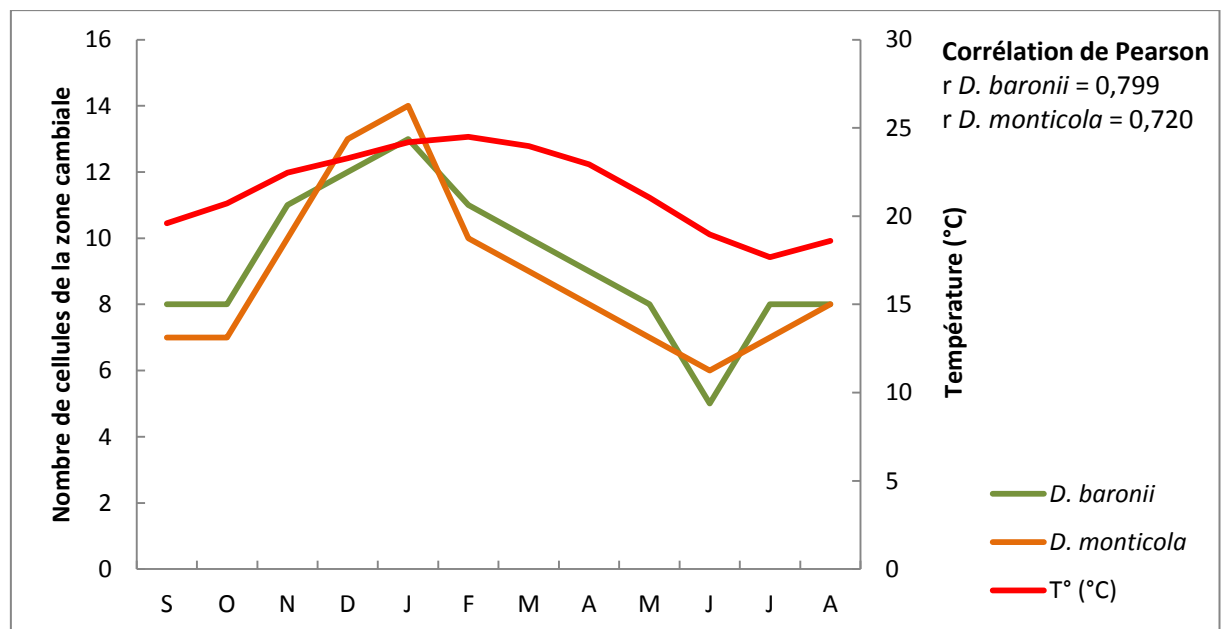


Figure 14: Activité cambiale et distribution mensuelle des températures chez *Dalbergia baronii* et *D. monticola*.

III-1-4 Structure et activité de la zone cambiale en fonction de la feuillaison

Les deux espèces de *Dalbergia* étudiées sont décidues ou caduques c'est-à-dire qu'elles perdent leurs feuilles pendant une période de l'année, en général pendant la saison sèche. La chute des feuilles des deux *Dalbergia* se fait entre le mois de Juin et le mois de Septembre. L'activité cambiale est minimum pendant cette période, le nombre de cellules varie de 5 à 8 (Tableau 7). Par contre, le nombre de couches de cellules de la zone cambiale atteint son maximum avec 13 à 14 cellules au mois de Janvier, période pendant laquelle les espèces sont en phase de feuillaison (Tableau 7). L'abondance des feuilles assure la photosynthèse permettant de fournir l'énergie nécessaire aux divisions cellulaires.

Nous constatons alors que la chute des feuilles, de Juin à Septembre, ralentit la division cellulaire au niveau du cambium des deux espèces pendant la saison sèche. Néanmoins, la première cellule élargie est observée pendant le mois de Juin justifiant un cambium toujours actif en l'absence des feuilles en saison sèche. (Planche 10; Photo 37 cf. III-1-1)

Tableau 7: Variation du nombre de cellules par file radiale de la zone cambiale en fonction de la feuillaison chez les deux espèces étudiées.

	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr
	SAISON SECHE						SAISON HUMIDE					
<i>D. baronii</i>	8	5	8	8	8	8	11	12	13	11	10	9
<i>D. monticola</i>	7	6	7	8	7	7	10	13	14	10	9	8

 Feuillaison  Chute des feuilles

III-2 Croissance après piqûre cambiale (marquage cambial)

III-2-1 Investigations macroscopique et microscopique

Sur les rondelles de bois, les traces des piqûres est observée tout de suite à l'œil nu, par l'alternance de bandes claires et de bandes sombres (Planche 12; Photo 42). A partir des coupes au niveau de la blessure, les investigations microscopiques ont révélé l'entrée de l'aiguille, depuis l'écorce jusqu'au bois, et marquée par la réaction de l'arbre et les parties du xylème et du phloème nouvellement formés (Planche 12; Photo 43-44).

Planche 12: Coupe transversale du bois au niveau des blessures chez *Dalbergia baronii* et *D. monticola*



Photo 42: Rondelle de bois de *D. baronii* avec blessures après polissage.

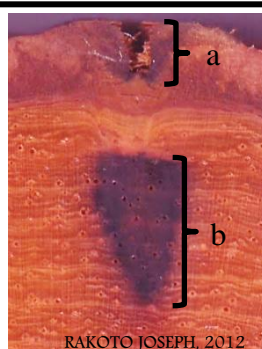


Photo 43: Blessures au niveau de l'écorce (a) et du bois (b) de *D. baronii* en Octobre 2011.

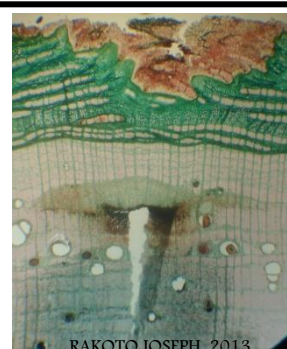


Photo 44: Coupe mince transversale au niveau de la blessure chez *D. monticola* (x 20)

III-2-2 Anatomie du bois avant et après marquage

Tout d'abord, la Planche 13 montre une photo et une figure au niveau de la partie blessée dont la légende se trouve à la page suivante. La trace du marquage cambial est facile à repérer grâce au changement de couleur du bois et de l'écorce (Planche 13; Photo 45). La limite des tissus avant la blessure ainsi que les tissus nouvellement formés sont bien distincts (Planche 13; Photo 45, Figure 15). Au niveau de l'écorce, aucune excroissance extérieure n'a été observée, pourtant des parenchymes traumatiques se sont formés sous la blessure (Planche 13; Photo 45, Figure 15). Au niveau du bois, des parenchymes traumatiques avec de petits vaisseaux (Planche 14; Photo 46), de $413,1 \mu\text{m}$ ($163,5 \mu\text{m} - 721,6 \mu\text{m}$) d'épaisseur sont rencontrés au-dessus de la blessure avant la reprise de la formation du bois (Planche 13; Photo 45; Figure 15). En dessous, la compartimentalisation qui est définie comme des modifications chimiques et anatomiques du bois pour se protéger suite aux agressions externes (Planche 13; Photo 45, Figure 11) est caractérisée par l'existence de substance de couleur marron à l'intérieur de tous les éléments du bois qui sont probablement des tannins (Planche 14; Photo 47). Des thylls sont aussi rencontrés à l'intérieur des vaisseaux (Planche 14; Photo 47). Cette compartimentalisation mesure en moyenne $5790,8 \mu\text{m}$ ($3237,7 \mu\text{m} - 8329,6 \mu\text{m}$) d'épaisseur et $3170,7 \mu\text{m}$ ($1056,3 \mu\text{m} - 4835,4 \mu\text{m}$) de largeur en moyenne. La couleur sombre au niveau de la blessure est due aux tannins sécrétés. D'après les observations, les vaisseaux du bois nouvellement formés sont de petite taille par rapport à ceux du bois avant la blessure. (Planche 13, Photo 45 et Planche 14, Photo 46).

Planche 13: Coupe transversale au niveau de la partie blessée.

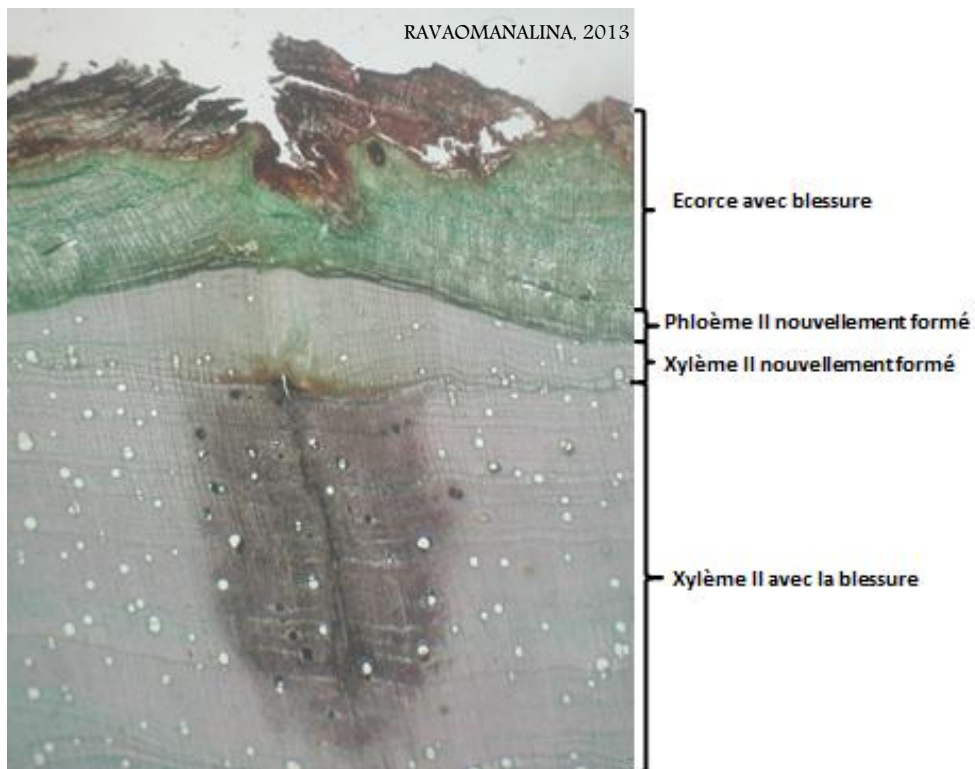


Photo 45: Anatomie générale au niveau de la partie blessée (x10)

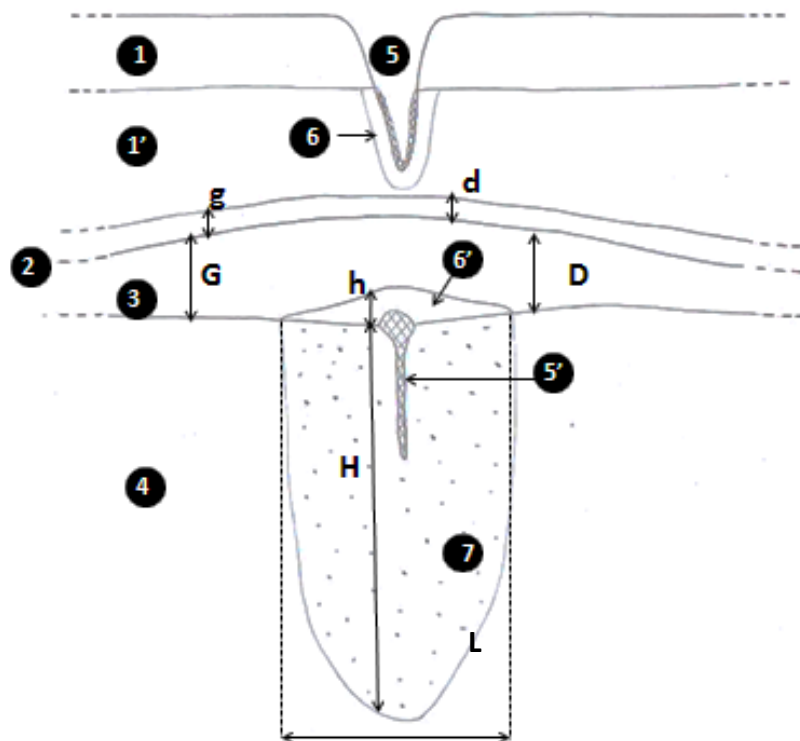


Figure 15: Schéma représentatif de l'anatomie générale au niveau de la partie blessée.

Légende de la figure 15 :

- 1 : partie morte de l'écorce
- 1' : partie vivante de l'écorce
- 2 : phloème II nouvellement formé
- 3 : xylème II nouvellement formé
- 4 : xylème II avant la blessure
- 5 et 5' : positions de l'aiguille au moment de la piqûre
- 6 et 6' : parenchymes traumatiques
- 7 : surface de compartimentalisation

Pour les mesures :

- G } épaisseur du xylème II nouvellement formé (gauche et droite)
- D }
- g } épaisseur du phloème II nouvellement formé (gauche et droite)
- d }

h : épaisseur du parenchyme traumatique

H : épaisseur de la compartimentalisation

L : largeur de la compartimentalisation

Planche 14: Détails anatomiques de la partie blessée au niveau du bois.

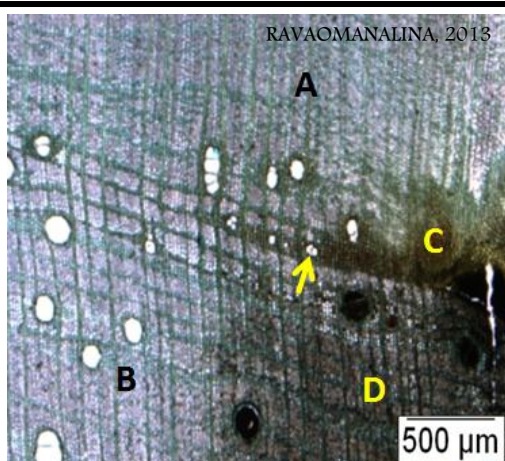


Photo 46. Parenchyme traumatique avec des vaisseaux de petite taille. A : Xylème II nouvellement formé ; B : Xylème II avant la blessure ; C : Parenchyme traumatique et D : compartimentalisation.

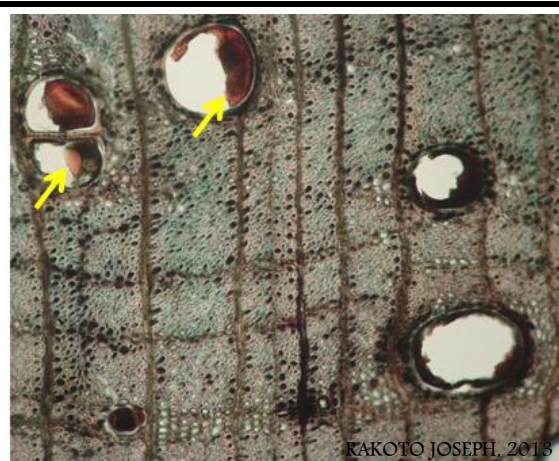


Photo 47. Compartimentalisation au niveau du bois avec des vaisseaux remplis de thylls (CT x 100)

III-2-3 Taux d'accroissement annuel

Le taux d'accroissement annuel au niveau du cambium vasculaire est estimé à partir de l'épaisseur du xylème II et du phloème II nouvellement formés. Le Tableau 8 montre l'évolution de l'accroissement en épaisseur de trois mois jusqu'à une année de croissance et ceci tous les trois mois. Le taux d'accroissement annuel des deux *Dalbergia* de l'Est de Madagascar varie de 4,5 à 5,7 mm par an environ. *D. monticola* croît plus vite que *D. baronii*.

Tableau 8: Taux d'accroissement annuel du cambium vasculaire chez *D. baronii* et *D. monticola*

Espèces	Parties	Taux d'accroissement en mm			
		3 mois	6 mois	9 mois	12mois
<i>D. baronii</i>	Phloème II	0,18	0,24	0,40	0,63
	Xylème II	0,26	0,52	2,90	3,97
TOTAL		0,44	0,76	3,3	4,5
<i>D. monticola</i>	Phloème II	0,25	-	0,60	0,69
	Xylème II	0,30	-	4,90	5,01
TOTAL		0,55	-	5,5	5,7

III-2-4 Age d'exploitabilité

A partir du taux d'accroissement annuel en épaisseur obtenu pour les deux *Dalbergia*, l'âge d'exploitabilité de *D. baronii* et de *D. monticola* est estimé en faisant le rapport âge – diamètre (Tableau 9). Ainsi, *D. baronii* a besoin de 67 ans pour atteindre 30 cm de diamètre (diamètre moyen d'exploitabilité des *Dalbergia*) et *D. monticola* de 53 ans pour être exploité. Ainsi, dans la forêt classée d'Ambohilero, le bois de rose (*Dalbergia monticola*) a une croissance plus rapide par rapport au palissandre (*Dalbergia baronii*).

Tableau 9: Age d'exploitabilité de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola*

Espèces	Taux d'accroissement annuel en épaisseur	Estimation de l'âge moyen de l'arbre pour atteindre 30 cm de diamètre (avec écorce)
<i>D. baronii</i>	4,5 mm	67 ans
<i>D. monticola</i>	5,7mm	53 ans

En résumé, l'activité cambiale des deux espèces étudiées est maximale pendant la saison humide de Novembre à Avril avec 8 à 14 cellules. L'activité minimale du cambium est enregistrée pendant les mois les plus secs, de Mai à Octobre avec 5 à 8 cellules. Le taux d'accroissement annuel du cambium est de 4,5 mm pour *D. baronii* et de 5,7 mm pour *D. monticola*. D'après les estimations, il faut 67 ans pour que *Dalbergia baronii* atteigne 30 cm de diamètre tandis que pour *D. monticola* il en faut 53. Ces résultats obtenus justifient la nécessité de plusieurs années de croissance chez les deux espèces étudiées avant toute exploitation. Ainsi nous pouvons avancer que notre deuxième hypothèse a été vérifiée.

QUATRIEME PARTIE :

DISCUSSIONS

Dans cette partie, des remarques sur les méthodes adoptées et les résultats obtenus sont soulevées.

I- Sur les méthodes

Les méthodes utilisées pour l'étude de la croissance en épaisseur de l'arbre sont variées : la dendrométrie et la dendrochronologie.

La méthode dendrométrique consiste à l'utilisation d'un ruban dendrométrique. Cette méthode n'a pas pu être utilisée lors de cette étude à cause des risques de vol sur pied de l'arbre. De plus, la variation du taux d'humidité pendant les deux saisons entraîne la variation du diamètre de l'arbre, donc peut conduire à une erreur de mesure.

Pour la dendrochronologie qui est définie comme étant l'analyse des cernes de croissance, deux méthodes peuvent être utilisées. La première méthode consiste à lire et compter directement les cernes de croissance. Ainsi, elle exige la présence des cernes bien distincts et faciles à lire. Par contre la deuxième méthode consiste à suivre l'activité cambiale. Elle est utilisée chez les espèces tropicales qui, la plupart du temps, ne présentent pas de cernes de croissance. Worbes (1992 et 1995) a défini qu'une saison sèche annuelle de 2 à 3 mois avec un taux de précipitation de moins de 60 mm permet la formation d'un cerne. Dans notre cas cette deuxième méthode dendrochronologique était la plus adéquate vu que les espèces de *Dalbergia* ne présentent pas de cernes. Cette méthode est malheureusement destructive mais reste néanmoins la plus utilisée et recommandée dans les pays tropicaux.

L'activité cambiale dépend des facteurs internes tels que l'âge, la partie de l'arbre, l'état de santé de l'arbre, et les facteurs externes tels que le microhabitat et les facteurs climatiques (Rossi et *al.*, 2006b). Les données climatiques notamment les précipitations et les températures utilisées dans cette étude sont enregistrées depuis la ville d'Ambatondrazaka se trouvant à 50 km de Didy. Ces données climatiques ne représentent pas le microclimat au niveau du site d'étude. Alors que pour pouvoir mieux interpréter les résultats obtenus et pour minimiser le risque d'erreur, le taux de précipitation et la température auraient dû être enregistrés à proximité du milieu d'étude et l'état phénologique de chaque pied objet de suivi aurait dû être observé à chaque prélèvement mensuel de la zone cambiale.

La méthode de marquage cambial a été adoptée pendant une année de croissance. Dans

la plupart des cas, pour avoir des résultats fiables, les piqûres du cambium devraient être effectuées au moins pendant 2 années successives afin de pouvoir minimiser les risques de variations et les erreurs de mesure. Néanmoins, les résultats obtenus au terme de cette étude nous ont permis d'avoir des connaissances de base sur l'activité cambiale et d'estimer le taux d'accroissement annuel d'une espèce à haute valeur commerciale. Nous pouvons en conclure que les résultats sont déjà satisfaisants pour une prise de décision en vue de l'élaboration d'un plan d'exploitation rationnelle et durable de la filière bois précieux.

Les méthodes utilisées pour identifier les bois commerciaux sont nombreuses parmi lesquelles la méthode moléculaire, chimique et anatomique. L'identification à partir des caractères anatomiques reste la plus utilisée car elle est facile à faire et moins coûteuse. Le présent travail constitue une étude pionnière sur les études anatomiques des espèces de *Dalbergia* de la forêt humide de Madagascar. Les espèces de bois de rose et de palissandre sont exportées sous forme de grumes brutes. Notant que le bois du tronc d'un arbre est formé de l'extérieur vers l'intérieur par une partie claire appelée aubier et une partie sombre appelée duramen. Les résultats anatomiques obtenus lors de cette étude à partir de l'aubier pourraient être utilisés comme caractères de base dans l'établissement d'une clé d'identification des espèces de *Dalbergia*. Néanmoins pour compléter les informations obtenues une caractérisation anatomique du duramen serait nécessaire.

II- Sur les résultats

Les études anatomiques de l'appareil végétatif du genre *Dalbergia* et de la sous famille des PAPILIONOIDEAE ont été initiées par Metcalfe et Chalk en 1950. Tous les caractères anatomiques obtenus, concernant les poils pluricellulaires unisériés, la taille inégale des cellules épidermiques supérieures et inférieures au niveau de la nervure principale des folioles, les stomates paracytiques, les sclérenchymes entourant les faisceaux vasculaires, la présence de tannin et la stèle ouverte, ont été vérifiés et confirmés par la présente étude excepté la présence de stomate sur la face supérieure des folioles, ce qui n'est pas le cas dans nos résultats. Cette absence de stomate peut être due à l'orientation horizontale des folioles par rapport au soleil.

L'étude anatomique du bois de *Dalbergia baronii* a été réalisée par Lecomte en 1922. Lemmens a entrepris en 2007, l'étude anatomique du bois de *D. baronii* et *D. monticola*.

Comparés aux résultats de Lecomte en 1922, les caractéristiques anatomiques du bois de *D. baronii* sont similaires telles que : l'absence des cernes de croissance, le pourcentage élevé de très gros vaisseaux isolés, la densité très faible des vaisseaux, la paroi épaisse des fibres, la présence de parenchymes apotrachéaux en chaînettes et paratrachéaux aliformes et anastomosés et la disposition de tous les éléments du bois en étage. Contrairement aux résultats de Lemmens (2007) sur la même espèce et sur *D. monticola*, nos résultats montrent une différence sur:

- les cernes de croissance distincts ou non pour Lemmens (2007), alors qu'ici ils sont absents ;
- la forme des ponctuations intervasculaires ; pour Lemmens (2007), elles sont polygonales, par contre elles sont circulaires dans nos résultats ;
- le diamètre des vaisseaux ; pour Lemmens (2007), *D. baronii* présente de gros vaisseaux alors que nos résultats les révèlent très gros.

Rakouth (1988) et Normand (1988) ont travaillé sur les espèces de *Dalbergia* de l'Est telles que: *D. chapelieri*, *D. madagascariensis*, *D. louvelii*, *D. maritima* et *Dalbergia* sp. de Sambava. Par rapport à nos deux espèces cibles, aucune différence significative n'a été observée sur les caractères anatomiques du bois de la forêt de l'Est.

Rakouth (1988) et Grisa (1988) ont fait des études anatomiques du bois sur les espèces de *Dalbergia* de l'Ouest telles que : *D. stenocarpa*, *D. microphylla*, *Dalbergia* sp. d'Ampijoroa et *Dalbergia* sp. de Morondava. Des différences ont été observées au niveau:

- des cernes de croissance, les *Dalbergia* des forêts sèches ont des cernes distincts ;
- du diamètre des vaisseaux, les *Dalbergia* des forêts sèches ont de petits vaisseaux ;
- de la longueur des fibres, elles sont courtes chez les espèces de *Dalbergia* dans la forêt sèche et moyennes dans la forêt humide.

Ces différentes comparaisons sur les caractères anatomiques du bois nous permettent de dire que les deux *Dalbergia* étudiées gardent les caractères observés en 1922 par Lecomte (absence de cernes, large vaisseaux). Par contre les mêmes espèces étudiées par Lemmens (2007) ont tendance à acquérir des caractères anatomiques du bois de la forêt sèche (vaisseaux petits, présence de cernes de croissance) qui pourrait être une spéciation ou une microévolution.

Ravaomanalina et ses collaborateurs en 2011 ont entrepris des études anatomiques du bois de sept espèces de *Dalbergia*, dont 4 palissandres (*D. abrahamii*, *D. graveana*, *D. mollis* et *D. trichocarpa*) et 3 bois de rose (*D. louvelii*, *D. purpurascens*, et *D. xerophila*). Dans notre cas, *D. baronii* est un palissandre et *D. monticola*, un bois de rose. La comparaison de nos résultats avec les résultats de Ravaomanalina et *al.* (2011) nous montre qu'anatomiquement:

1- Aucune différence significative n'a été trouvée entre les différents palissandres étudiés.

2- Quelques différences ont été révélées entre les bois de rose étudiés:

- les cernes sont distincts alors que dans nos résultats les cernes sont absents ;
- la porosité des vaisseaux est semi-poreux alors que *D. monticola* est à pores diffus ;
- Les rayons sont homocellulaires or dans nos résultats *D. monticola* a des rayons hétérocellulaires.

3- Les bois de rose et les palissandres se différencient par la structure en étage de tous les éléments du bois. Les bois de rose ont une structure en étage régulière tandis qu'elle est irrégulière chez les palissandres.

Ainsi, les caractéristiques anatomiques du bois obtenus pourront servir de base pour l'établissement d'une clé d'identification des espèces de *Dalbergia*.

Le marquage cambial a permis d'évaluer le taux d'accroissement annuel du cambium avec 4,5 mm pour *D. baronii* et 5,7 mm pour *D. monticola*. Roger et Razafimahefa (2002), Roger et *al.* (2006) et Razafimamonjy (2011) ont trouvé une croissance moyenne annuelle en épaisseur de l'ordre de 1 à 3 mm chez *Dalbergia peltieri* et *D. graveana* dans la forêt d'Antrema et chez *D. chlorocarpa*, *D. lemurica* et *D. purpurascens* dans la forêt de Kirindy. Les deux espèces de *Dalbergia* étudiées de la forêt humide de Didy ont une croissance plus rapide (4,5 à 5,7 mm/ an) par rapport aux autres espèces de *Dalbergia* de la forêt sèche de l'ouest (1 à 3 mm/ an) (Roger et Razafimahefa, 2002 ; Roger et *al.*, 2006 et Razafimamonjy, 2011). Cette croissance rapide peut s'expliquer par l'abondance de pluie à l'Est de Madagascar, condition nécessaire et favorable à la croissance des arbres.

Dalbergia baronii et *D. monticola* sont des essences de bois précieux endémiques de l'Est de Madagascar et sont très recherchées aussi bien au niveau national qu'international. Les résultats obtenus constituent un outil de base utile et fiable pour assurer une gestion rationnelle et durable de nos ressources en bois précieux. Ils permettent au projet

COGESFOR d'élaborer un plan d'exploitation rationnelle et durable de la filière *Dalbergia* du site Fenomanana II qui pourrait servir de modèle de gestion pour l'ensemble de la forêt classée d'Ambohilero.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Des études anatomiques et des analyses de croissance en épaisseur de *Dalbergia baronii* et *D. monticola* de la forêt classée d'Ambohilero à Didy ont été effectuées dans ce travail. Les deux hypothèses émises ont été vérifiées.

Les études anatomiques de jeunes tiges, de pétioles et de folioles ont permis de dégager les caractères communs et distinctifs de deux espèces de *Dalbergia* étudiées. Parmi les caractères communs on peut citer la présence d'épiderme à poils pluricellulaires unisériés, de périderme, de collenchyme angulaire au niveau des tiges et de collenchymes annulaires au niveau des folioles, de sclérenchyme discontinu, de tannin, de nœuds de type trois traces et trois lacunes, de stèle ouverte de la partie proximale du pétiole et d'arc sinueux avec plaque de la partie médiane du pétiole, de stomates paracytiques, de cellules épidermiques de taille différente de la nervure principale et de nervures secondaires brochidodromeuses des folioles. *Dalbergia baronii* et *D. monticola* se différencient entre elles par la disposition des faisceaux libéro ligneux de la partie distale des pétioles, par le nombre de couches de parenchymes palissadiques des folioles et par la densité des stomates.

L'anatomie du bois a aussi révélé des caractères communs et distinctifs entre *Dalbergia baronii* et *D. monticola*. Les caractères anatomiques communs pour les deux espèces sont les suivants: *cernes de croissance* absents; pores diffus, *vaisseaux* courts (188 à 189 μm), très rares (2 / mm^2), avec des perforations simples et des ponctuations alternes, aréolées et ornées; *trachéides* très rares; *fibres* non cloisonnées et de longueur moyenne (1069-1127,5 μm); *parenchymes* apotrachéaux en chaînettes et paratrachéaux aliformes et anastomosés, formés de deux cellules par file et contenant des cristaux de forme rhomboédrique; *rayons* hétérocellulaires, uni à trisériés avec une hauteur moyenne de 133 μm et éléments du bois disposés en étage.

Les différences anatomiques sur les caractéristiques du bois se trouvent au niveau du diamètre des vaisseaux, de la disposition en étage de tous les éléments du bois et du pourcentage des types de rayon. Les vaisseaux sont très gros (221 μm), la disposition en étage est irrégulière et les rayons bisériés et trisériés prédominent chez *Dalbergia baronii* par contre chez *D. monticola*, les vaisseaux sont gros (175 μm), la disposition en étage est régulière et les rayons bisériés sont dominants.

Les prélèvements périodiques de la zone cambiale ont permis de dire que la période de dormance et la réactivation du cambium se sont produites pendant le mois de Juin. La zone

cambiale présente au moins 5 couches de cellules par file radiale pendant la saison sèche et un pic de 14 couches de cellules par file radiale avec une différenciation cellulaire très développée pendant la saison humide. La saison, la précipitation, la température et la feuillaison ont un impact positif sur l'activité cambiale.

Les résultats obtenus à partir des marquages cambiaux ont permis de caractériser anatomiquement la réaction des *Dalbergia* à la piqure et d'obtenir le taux d'accroissement annuel du cambium ainsi que d'estimer l'âge d'exploitabilité des espèces cibles. La zone de blessure, reconnue par les résultats du phénomène de compartimentalisation, est formée par une couche de parenchymes traumatiques avec de petits vaisseaux, des vaisseaux remplis de thylls et de tous les éléments du bois remplis de tannin. L'accroissement moyen annuel du cambium vasculaire est de 4,5 mm chez *Dalbergia baronii* et de 5,7 mm chez *D. monticola*. Pour atteindre 30 cm de diamètre, diamètre moyen d'exploitabilité (DME), *D. baronii* a besoin de 67ans tandis que *D. monticola* de 53 ans.

Les résultats obtenus sur l'anatomie du bois permettront la réalisation d'une clé de détermination. Cette clé contribuera à la mise en œuvre du plan d'action (F-CoP16i-52) relatif à l'inscription de *Dalbergia* « Populations de Madagascar » dans l'Annexe II de la CITES, présenté lors de la 16^{ème} Conférence des Parties. Quant aux résultats sur la croissance en épaisseur, ils permettront de formuler des Avis de Commerce Non Préjudiciable c'est-à-dire protéger les espèces contre les effets néfastes de la surexploitation aux fins de commerce international.

L'originalité de cette étude réside sur trois points:

- Ce travail constitue une étude pionnière sur l'analyse de croissance en épaisseur des espèces de *Dalbergia* de Madagascar en utilisant la méthode dendrochronologique basée sur l'activité du cambium.
- Le micro-échantillonnage et le marquage cambial ont été utilisés pour la première fois sur des espèces à bois dur comme le bois de rose et le palissandre. Les résultats obtenus sont précis et satisfaisants pour un premier essai et peuvent être appliqués aux autres espèces ligneuses de Madagascar.
- Ce travail met à jour et complète les caractères anatomiques des appareils végétatifs de *Dalbergia* décrits par Metcalfe et Chalk en 1950.

Au terme de cette étude, quelques perspectives de recherche méritent d'être citées:

- comme les bois de rose et les palissandres de Madagascar sont parmi les essences à très haute valeur commerciale, les caractéristiques anatomiques du bois des 2 espèces étudiées dans la présente étude permettront d'établir une clé de détermination et serviront de point de départ à la réalisation d'un atlas des bois des espèces de *Dalbergia* de Madagascar. L'étude anatomique du duramen, la partie la plus utilisée est souhaitable pour compléter les informations nécessaires à l'identification du bois ;
- vu que le taux d'accroissement annuel obtenu lors de cette étude est le résultat des suivis et des analyses du cambium pendant une année de croissance, la continuité du marquage cambial sur deux à trois ans devrait être parmi les activités à entreprendre pour confirmer les informations obtenues ;
- de même, l'étude anatomique du bois et l'analyse de croissance en épaisseur des espèces dans cette étude ayant été basées sur une seule classe de diamètre et dans un seul site, l'extension de l'étude sur plusieurs classes de diamètre et sur différents sites de répartition de l'espèce devrait être envisagée afin de pouvoir déterminer les éventuelles variations de caractères anatomiques et du taux d'accroissement annuel et les autres facteurs influençant l'anatomie du bois et l'activité cambiale ;
- l'activité cambiale étant influencée par l'état phénologique d'une espèce, des études approfondies sur la phénologie de *Dalbergia baronii* et de *D. monticola* méritent d'être effectuées dans la forêt classée d'Ambohilero,
- dans la perspective d'une étude future identique à la nôtre, il serait souhaitable d'installer des instruments de mesure tels que pluviomètre, thermomètre...pour avoir des données climatiques reflétant la réalité du site d'étude.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES ET
WEBOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABRAMOFF, M. D., MAGELHAES P. J. et RAM S. J. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics International* vol 11. No7. pp: 36-42.
- ANDRIAMBANONA, R. L. D. 2001. Analyse de la filière Palissandre (*Dalbergia sp.*) dans les régions de Morondava et de Mahajanga. Mémoire de fin d'études. ESSA. 150p.
- ANDRIANOELINA, O., FAVREAU, B., RAMAMONJISOA, L. et BOUVET, J. M. 2009. Small effect of fragmentation on the genetic diversity of *Dalbergia monticola*, an endangered tree species of the eastern forest of Madagascar, detected by chloroplast and nuclear microsatellites. *Annals of Botany* vol 104. pp: 1231-1242.
- ANGAP, 2000. Plan de gestion du réseau National des Aires Protégées de Madagascar. Antananarivo. 112p
- ANTONOVA, G. F. et STASOVA, V. V. 1993. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems. *Trees* vol 7. pp: 214-219.
- ANTONOVA, G. F. et STASOVA, V. V. 1997. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb) stems. *Trees* vol 11. pp: 462-468.
- AUBERT-GILON, S. 2011. La gestion du foncier forestier. In : KARPE, P., RANDRIANARISON, M., FELTZ, G. et AUBERT-GILON, S (eds). 2012. La gestion intégrée des ressources naturelles renouvelables à Madagascar. Antananarivo. pp: 105-115.
- AUTORITE SCIENTIFIQUE CITES FLORE et DBEV, 2010. Evaluation écologique de quelques espèces de bois précieux les plus commercialisées à Madagascar (bois d'ébène, palissandre et bois de rose). Rapport final WWF. 97p.
- BARRETT, M. A., BROWN, J. L., MORIKAWA M. K., LABAT, J. N. et YODER, A. D. 2010. CITES designation for endangered rosewood in Madagascar. *Science* vol 328. pp: 1109-1110.
- BÄUCKER, E., BUES, C. et VOGEL, M. 1998. Radial growth dynamics of spruce (*Picea abies*) measured by micro-cores. *IAWA Journal* vol 19. No 3. pp: 301-309.
- BELDJOUDI, N., MAMBU, L., LABAIED, M., GRELLIER, P., RAMANITRAHASIMBOLA, D., RASOANAIVO, P., MARTIN, M. T. et FRAPPIER, F. 2003. "Flavonoids from *Dalbergia louvelii* and their Antiplasmodial Activity. *Journal of Natural Products* vol 66. No 11. pp: 1447-1450.

- BOSSER, J. et RABEVOHITRA, R., 2005. Espèces nouvelles dans le genre *Dalbergia* (Fabaceae, Papilionoideae) à Madagascar. *Adansonia*, Sér. 3. vol 27. No 2. pp: 209-216.
- BOURGEAT, F. 1972. Sols sur socle ancien à Madagascar: types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire. Mem O.R.S.T.O.M. No. 57, Paris, France. 335p.
- CARLQUIST, S. 1975. Ecological strategies of Xylem Evolution. Berkley, Los Angeles et London. University of California Press. 259p
- CHAN, S. C., CHANG, Y. S., WANG, J. P., CHEN, S. C. et KUO, S. C. 1998. Three new flavonoids and antiallergic, anti-inflammatory constituents from the heartwood of *Dalbergia odorifera*. *Planta Med* vol 64. No 2. pp: 153-158.
- DBEV et Association Reniala. 2010. Proposition d'intégration des espèces de bois précieux de Madagascar dans l'Annexe III de la CITES : *Dalbergia* spp. et *Diospyros* spp. Antananarivo. 15p.
- DESLAURIERS, A. et MORIN, H. 2005. Intra-annual tracheid production in balsam fir stems and the effect of meteorological variables. *Trees* vol 19. pp: 402-408.
- DU PUY, D. J., LABAT, J. N., RABEVOHITRA, R., VILLIERS, J.-F., BOSSER., J. et MOAT, J. 2002. The leguminosae of Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew. 737p.
- FARAMALALA, M.H. et RAJERARISON, C. 1999. Nomenclature des formations végétales de Madagascar. ANGAP. 42p.
- GAUSSEN, H. 1955. Détermination des climats par la méthode des courbes ombrothermiques. C.R/Acad. Sc. T. 240. 643p.
- GAUTIER, L. et GOODMAN, S. M. 2003. Introduction to the flora of Madagascar. In: GOODMAN, S. M. et BENSTEAD, J. P (eds). The Natural History of Madagascar. The University Chicago Press. Chicago. pp: 229-250
- GINDL, W. et GRABNER, M. 2000. Characteristics of spruce (*Picea abies* (L.) Karst) latewood formed under abnormally low temperatures. *Holzforschung* vol 54. pp: 9-11.
- GRISA, E. 1988. Anatomie ligneuse de 24 espèces feuillues de la côte ouest de Madagascar. Fiche technique n° 16. CFPF « Fofampiala » Morondava. 113p.
- GSPM. 2010. Guide des plantes menacées de Madagascar. Antananarivo, 146p.
- GSPM. 2011a. Liste rouge des plantes vasculaires endémiques de Madagascar. Antananarivo, 188p.
- GSPM. 2011b. Statuts écologiques des espèces de bois précieux les plus commercialisées à Madagascar. Antananarivo. 18p.

- GUENEAU, P. et GUENEAU, D. 1969. Propriétés physiques et mécaniques des bois malgaches. CTFT, 76 p.
- HICKEY, L. J. 1973. Classification of the architecture of Dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany* vol 60. pp: 17-33.
- HUMBERT, H. 1955. Les territoires phytogéographiques de Madagascar. Leur cartographie. *Année Biologique* Sér. 3. vol 31, pp: 439-448.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. 331p.
- IEFN, 1996. Inventaire Ecologique Forestier National. Direction des Eaux et Forêts, DFS Deutsche Forest Service GmbH, Entreprise d'Etudes de Développement Rural « Mamokatra », Foiben- Taosaritanin'i Madagascar. 46p.
- ITO, C., ITOIGAWA, M., KANEMATSU, T., RUANGRUNGSI, N., HIGASHIHARA, H., TOKUDA, H., NISHINO, H. et FURUKAWA, H. 2003. New Cinnamylphenols from *Dalbergia* Species with Cancer Chemopreventive Activity. *Journal of Natural Products* vol 66. No 12. pp: 1574-1577.
- JENSEN, A. W., 1962. Botanical histochemistry. San Francisco et London. W. H. Freeman and Company. pp: 77-83.
- JOHANSEN, D. A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Company. New York. 523p.
- LECOMTE, H. 1922. Les bois de la forêt d'Analamazaotra. Librairie maritime et coloniale. Paris. 188p.
- LEMMENS, R.H.M.J. 2007. *Dalbergia baronii* Baker.. Fiche de Protabase. In : LOUPPE, D., OTENG-AMOAKO, A.A. et BRINK, M. (eds). PROTA, Wageningen, Pays Bas.
- LEMMENS, R.H.M.J. 2007. *Dalbergia monticola* Bosser. et R. Rabev.. Fiche de Protabase. In: LOUPPE, D., OTENG-AMOAKO, A.A. et BRINK, M. (eds). PROTA, Wageningen, Pays Bas.
- MABBERLEY, D. J. 2008. Mabberley plant book. A portable dictionary of plants, their classifications and uses. University of Washington Botanic Gardens. Seattle. 3rd Edition. 1040p.
- METCALFE, C. et CHALK, L. 1950. Anatomy of the dicotyledones. Vol 1. Clarendon Press, Oxford. 724p.
- MOAT, J. et SMITH, P. 2007. Atlas de la végétation de Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew. 123p.

- MORAT, P., 1973. Les savanes du Sud-Ouest de Madagascar. Mémoires O.R.S.T.O.M. N° 68. Paris. 235p.
- NORMAND, D. 1988. A propos des bois de rose de Madagascar. *Bois et Forêts des Tropiques*, No 217, 3^e trimestre. pp: 89- 94.
- PATEL, E. R. 2007. Logging of rare rosewood and palisander (*Dalbergia* spp.) within Marojejy National Park, Madagascar. *Madagascar Conservation et Development* vol 2. No 1. pp: 11-16.
- PEARSON, K. 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution, III : Regression, heredity and panmixia. *Philos. Trans. Roy. Soc. London* vol 187. pp: 253-318.
- PERRIER de la BATHIE, H. 1921. La végétation malgache. *Ann. Mus. Colon. Marseille Sér.* 3, vol 9. 268p.
- RABENANTOANDRO, J. T. 2001. Analyse floristique, structurale et dendrométrique de la forêt dense humide de basse altitude du Parc National Masoala sur versant occidental selon la méthode la Parcelle Permanente. Mém. DEA. Ecologie Végétale. Univ Antananarivo. 102p.
- RABIBISOA, N., RANDRIANIRINA, J. E., RAFANOMEZANTSOA, J. et RABEMANANJARA, F. 2005. Inventaire des reptiles et amphibiens du corridor Mantadia-Zahamena à Madagascar. In : SCHMID, J. et ALONSO, L. E. Une évaluation biologique rapide du corridor Mantadia-Zahamena à Madagascar. Conservation International. Washington, DC. *Bulletin RAP d'Evaluation Rapide* vol 32. pp: 102-116.
- RAJAONSON, S. F. 2005. Conservation et valorisation des *Dalbergia* spp. (Fabaceae) de Madagascar par micropropagation *in vitro* et recherche d'activité antimicrobienne. Mém. DEA. Physiologie Végétale. Univ Antananarivo. 48p.
- RAJAONSON, S. F. 2011. Inhibition de l'expression des gènes de virulence chez *Rhodococcus fascians* et *Pseudomonas aeruginosa* par des flavonoïdes isolés chez les genres *Dalbergia* et *Combretum*. Thèse doctorat. Univ Antananarivo. 260p.
- RAJEMISON, A.H., EYMA, F., RAMANANANTOANDRO, T., RAJOELISON, G. et CASTANIE, B. 2013. Choice of alternative wood species for traditional precious hardwood species in depletion: application to the case of rosewood (*Dalbergia* sp., Fabaceae). Proceedings of the International Scientific Conference on Hardwood Processing, 7-9 octobre 2013, Florence, Italie. (publication en cours)
- RAKOTOMANANA, H., RANDRIANASOLO, H. et SAM THE SEING, 2005. L'avifaune du corridor Mantadia- Zahamena, Madagascar. In : SCHMID, J. et ALONSO, L. E. Une

- évaluation biologique rapide du corridor Mantadia-Zahamena à Madagascar. Conservation International. Washington, DC. *Bulletin RAP d'Evaluation Rapide* vol 32 : 98-101.
- RAKOTOVAO, G., RABEVOHITRA, R., COLLAS DE CHATELPERRON, P., GUILBAL, D. et GERERD, J. 2012. Atlas des bois de Madagascar. Edition Quae. 418p.
- RAKOUTH, B. 1988. Ecological anatomy: exemples from some Malagasy *Dalbergia* (Leguminosae). In: RAKOTOVAO, L., BARR, V. et SAYER, J. (eds.). Equilibre des Ecosystèmes Forestiers à Madagascar. Acte d'un séminaire International. pp : 269-273.
- RAMAMONJY, H. Z. 2006. Etudes écologiques de six espèces endémiques et menacées (*Dalbergia baronii* Baker., *D. monticola* Bosser. et Rabev., *D. chapelieri* Baill., *D. orientalis* Bosser. et Rabev., *Masoalakona* Beentje. et *Revenea dransfieldii* Beentje.) dans la partie orientale du Corridor (Ranomafana-Andringitra) en vue de l'élaboration d'un plan de conservation. Mém. DEA. Ecologie Végétale. Univ Antananarivo. 92p.
- RAVAOMANALINA, B. H. 2011. Anatomie et dynamique de croissance des espèces d'Adansonia (Baobab) de Madagascar – Thèse doctorat. Ecologie végétale. Univ Antananarivo. 135p.
- RAVAOMANALINA, B. H., RAKOTOARISON, F., RAKOTO JOSEPH, F. N., RAKOUTH, B. et ROGER, E. 2011. Anatomie du bois de quelques espèces de *Dalbergia* et de *Diospyros* de Madagascar. Rapport WWF. 26p.
- RAZAFIMAMONJY, N. 2011. Dynamique des populations des trois espèces de *Dalbergia* (*Dalbergia chlorocarpa* Viguiet, *Dalbergia lemurica* Bosser. et R. Rabev., *Dalbergia purpurascences* Baillon.) dans la forêt dense sèche de Kirindy- Morondava – Thèse doctorat. Ecologie végétale. Univ Antananarivo. 125p.
- ROGER, E., RAZAFIMAHEFA, F. 2002. Suivi écologique. Collecte des données T1 des différentes formations végétales de la station forestière d'Antrema Katsepy.MEF. Rapport de mission de Zoo de Bois de Vincennes, 21p.
- ROGER, E., VAVINDRAZA, RASOLOFOSON, F. et RAKOTOARISOA, A. 2006. Suivi écologique. Collecte des données T4 des différentes formations végétales de la station forestière d'Antrema Katsepy.MEF. Rapport de mission de Zoo de Bois de Vincennes, 18p.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T. 2006a. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the alpine timberline. *IAWA Journal* vol 27. pp: 383–394.

- ROSSI, S., DESLAURIERS, A. et ANFODILLO, T. 2006b. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* vol 170. pp: 301–310.
- RUZIN, S. E. 1999. Plant microtechnique and microscopy. Oxford University Press, New York. 324p
- SCHATZ, G. 2001. Flore générique des arbres de Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew et Missouri Botanical Garden. Grande Bretagne. 501p.
- SCHMITT, U., JALKANEN, R. et ECKSTEIN, D. 2004. Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula* spp. in the northern boreal forest in Finland. *Silva Fennica* vol 38. pp: 167-178.
- SHIGO, A. L. 1984. Compartmentalization - a Conceptual-Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves. *Annual Review of Phytopathology* vol 22. pp : 189-214.
- STASSE, A., 2002. La filière bois de rose-région d'Antalaha, Nord-est de Madagascar. Mémoire de mastère Foresterie Rurale et Tropicale, ENGREF-CIRAD, 95p.
- VAN COTTHEM, W. R. J. 1970. A classification of stomatal types. *Bot. Linn. Soc* vol 63. pp: 235-246.
- WODZICKI, T. J. 1971. Mechanism of xylem differentiation in *Pinus sylvestris* L. *Journal of Experimental Botany* vol 22. pp: 670-687.
- WOLTER, K. E. 1968. A new method for marking xylem growth. *Forest Science* vol 14. pp: 102-104.
- WORBES, M. 1992. Occurrence of seasonal climate and tree ring research in the tropics. *Lundqua Report* vol 34. pp: 338-342.
- WORBES, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees- A review. *IAWA Journal* vol 16. pp: 337-351.

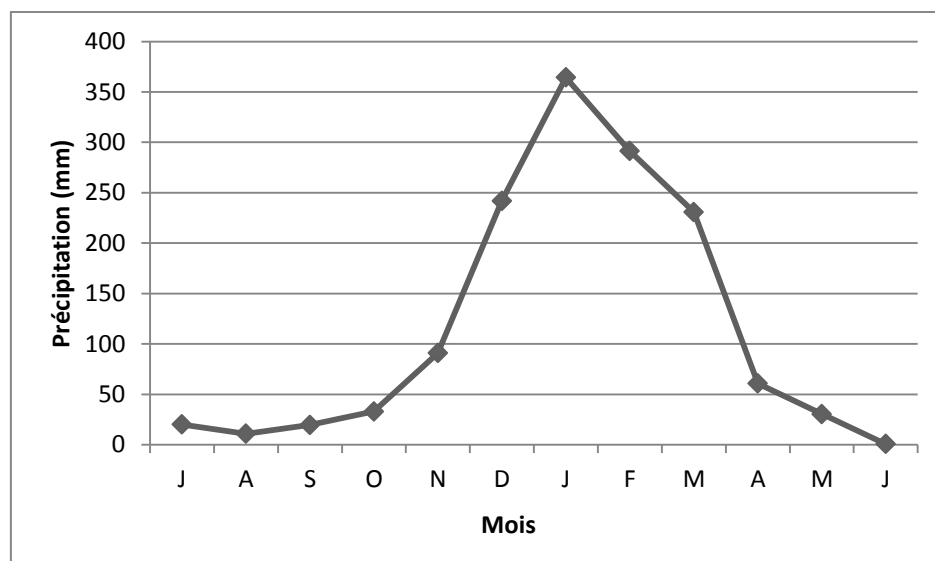
WEBOGRAPHIE

- Angiosperm Phylogeny Group, 2009.
<http://benjamin.lisan.free.fr/projetsreforestation/Fiche-presentation-Dalbergia-monticola.pdf> du 09 Août 2012.
- WILME, L., SCHUURMAN, D., LOWRY II, PP. et RAVEN, P. H. 2009. Precious trees pay off - But who pays? www.sciencemag.org du 13 Mars 2013.

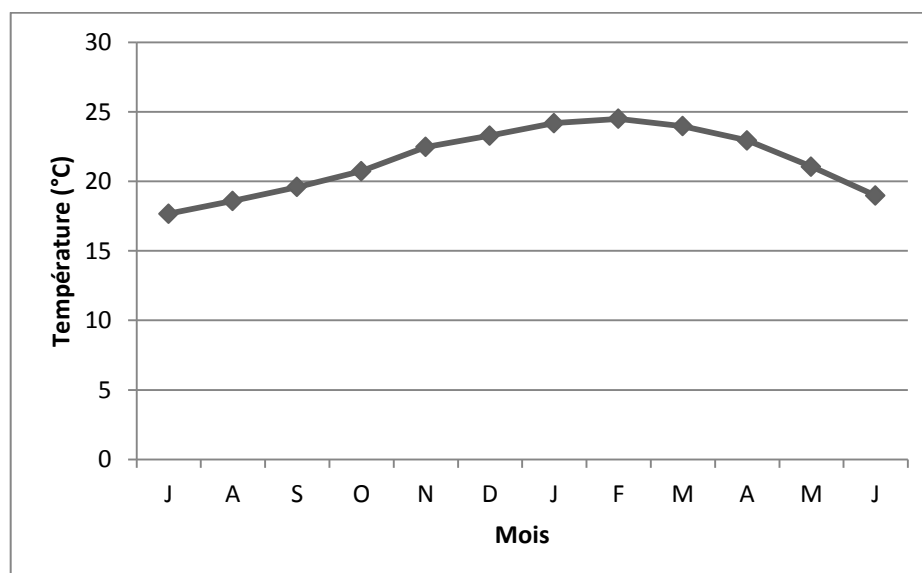
- [http : // database. Prota.org/recherche.htm](http://database.Prota.org/recherche.htm) du 16 Mars 2012.
- http://www.cimage-ltd.com/fichtec/proprietes_bois.html du 07 Mai 2013.
- <http://cursus.edu/institutions-formations-ressources/formation/16155/atlas-histologie-anatomie-des-plantes-vasculaires/> du 07 Mai 2013.
- [http : //www.cites.org](http://www.cites.org) du 21Juillet 2013.

ANNEXES

Annexe 1 : Variation annuelle des précipitations (2001-2011 ; source Direction Générale de la Météorologie)



Annexe 2 : Variation annuelle des températures (2001-2011 ; source Direction Générale de la Météorologie)



Annexe 3 : Liste des espèces de *Dalbergia* à Madagascar et leur localisation

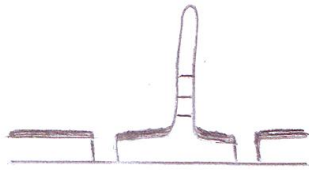
N°	Noms scientifiques, auteurs	Noms français	Localisation
1	<i>Dalbergia abrahamii</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
2	<i>Dalbergia andapensis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
3	<i>Dalbergia aurea</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
4	<i>Dalbergia baronii</i> Baker	Palissandre	Est
5	<i>Dalbergia bathiei</i> R. Vig.	Palissandre	Est
6	<i>Dalbergia bojeri</i> Drake	Palissandre	Est
7	<i>Dalbergia brachystachya</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
8	<i>Dalbergia bracteolata</i> Baker	Palissandre	Ouest et Sud
9	<i>Dalbergia campenonii</i> Drake	Palissandre	Est et Centre
10	<i>Dalbergia capuronii</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
11	<i>Dalbergia chapelieri</i> Baill.	Palissandre	Est
12	<i>Dalbergia chlorocarpa</i> R. Vig.	Palissandre	Ouest et Sud
13	<i>Dalbergia davidii</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
14	<i>Dalbergia delphinensis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
15	<i>Dalbergia emirnensis</i> Benth.	Palissandre	Ouest et Sud
16	<i>Dalbergia erubescens</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
17	<i>Dalbergia gautieri</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
18	<i>Dalbergia glaberrima</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
19	<i>Dalbergia glaucocarpa</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
20	<i>Dalbergia graveana</i> Baill.	Palissandre	Ouest et Sud
21	<i>Dalbergia hildebrandtii</i> Vatke	Palissandre	Ouest et Sud
22	<i>Dalbergia hirticalyx</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
23	<i>Dalbergia humbertii</i> R. Vig.	Palissandre	Ouest et Sud
24	<i>Dalbergia lemurica</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud

Annexe 3 : Liste des espèces de *Dalbergia* à Madagascar et leur localisation (suite)

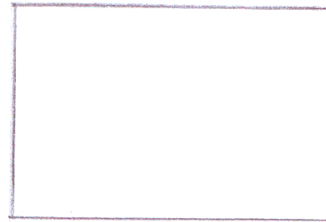
N°	Noms scientifiques, auteurs	Noms français	Localisation
25	<i>Dalbergia louvelii</i> R. Vig.	Bois de rose	Est
26	<i>Dalbergia madagascariensis</i> Vatke	Palissandre	Est
27	<i>Dalbergia manongarivensis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
28	<i>Dalbergia maritima</i> R. Vig.	Palissandre	Est
29	<i>Dalbergia masoalensis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
30	<i>Dalbergia mollis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
31	<i>Dalbergia monticola</i> Bosser et R. Rabev.	Bois de rose	Est
32	<i>Dalbergia neoperrieri</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
33	<i>Dalbergia normandii</i> Bosser et R. Rabev.	Bois de rose	Est
34	<i>Dalbergia occulta</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
35	<i>Dalbergia orientalis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est
36	<i>Dalbergia peltieri</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
37	<i>Dalbergia pervillei</i> Vakte	Palissandre	Ouest et Sud
38	<i>Dalbergia pseudobaronii</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
39	<i>Dalbergia pseudoVig. uieri</i> R. Vig.	Palissandre	Est
40	<i>Dalbergia purpurascens</i> Baill.	Bois de rose	Ouest et Sud
41	<i>Dalbergia suaresensis</i> Baill.	Palissandre	Ouest et Sud
42	<i>Dalbergia trichocarpa</i> Baker	Palissandre	Ouest et Sud
43	<i>Dalbergia tricolor</i> Drake	Palissandre	Ouest et Sud
44	<i>Dalbergia tsaratananensis</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Est et Centre
45	<i>Dalbergia tsiandalana</i> R. Vig.	Palissandre	Ouest et Sud
46	<i>Dalbergia urschii</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
47	<i>Dalbergia Viguieri</i> Bosser et R. Rabev.	Palissandre	Ouest et Sud
48	<i>Dalbergia xerophila</i> Bosser et R. Rabev.	Bois de rose	Ouest et Sud

Annexe 4 : Signes conventionnels utilisés pour présenter les tissus végétaux

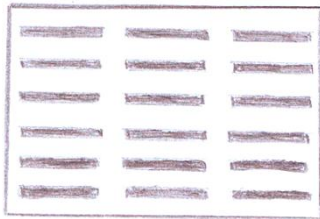
Epiderme avec cuticule, stomate et poils



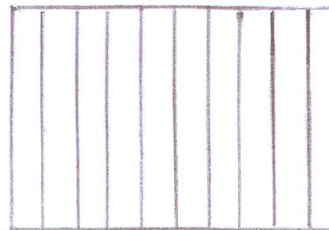
Parenchyme



Suber



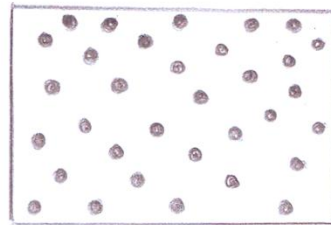
Parenchyme palissadique



Phelloderme



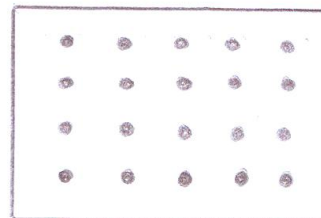
Phloème primaire



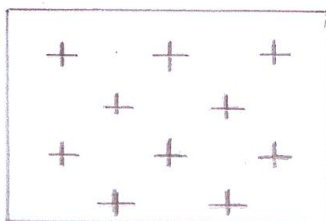
Cambium et phellogène



Phloème secondaire



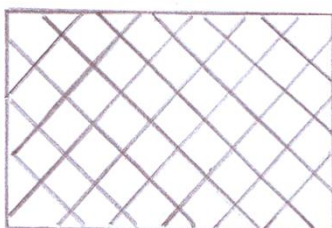
Collenchyme



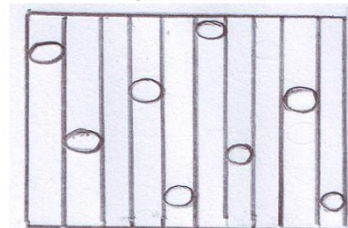
Xylème primaire



Sclérenchyme



Xylème secondaire



Annexe 5 : Préparation d'un mélange de safranine O et de bleu d'Alcian et processus de coloration

- Verser 35 ml d'alcool 50 % dans un récipient contenant 0,35 g de safranine O, puis agiter.
- Verser 65 ml d'eau distillée dans un autre récipient contenant 0,65 g de bleu d'Alcian puis agiter.
- Enfin, bien mélanger les deux solutions.

Résumé du processus de coloration des coupes au niveau de la zone cambiale après blanchissement à l'eau de Javel et rinçage à l'eau distillée

	Etape	Solution	Durée de traitement
1	Double coloration	Safranine O + bleu d'Alcian	5 mn
2	Rinçage	Eau distillée	1 mn
3	Série de déshydrations	Alcool 30 %	15 mn
4		Alcool 50 %	15 mn
5		Alcool 70 %	15 mn
6		Alcool 96 %	15mn
7		Alcool 100 %	15 mn

Annexe 6 : Préparation des colorants (safranine O et vert rapide) et processus de coloration

- 0,1 g de safranine O pour 100 ml d'eau distillée
- 0,1 g de vert rapide pour 100 ml d'alcool 96 %

Résumé du processus de coloration des coupes au niveau de la blessure

	Etape	Solution	Durée de traitement
1	Préparation à la coloration	Alcool 50 %	5 mn
2	1 ^{ère} coloration	Safranine O	10 mn
3	Déshydratation	Alcool 50 %	10 mn
4	Déshydratation	Alcool 75 %	5 mn
5	2 ^{ème} coloration	Vert rapide	4 mn
6	Déshydratation	Alcool 96 %	5 mn
7	Déshydratation	Alcool 100 %	15 mn