



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS

-----∞-----

Parcours : Ecosystème et Biodiversité

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques et Environnementales au grade Master de Recherche en Foresterie et Environnement

Promotion : KINGATSA

Année : 2010 - 2015

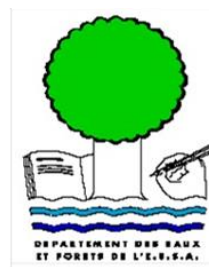
**Prospection sylvicole et étude technologique de quelques
essences autochtones en vue d'une restauration écologique.
*Cas de la station forestière de la Mandraka, Région Analamanga***

Présenté par ARITSARA Amy Ny Aina

Soutenu le : 11 Août 2015

Devant le jury composé de :

Président : Professeur RAMAMONJISOA Bruno Salomon
Rapporteur : Professeur RAJOELISON Lalanirina Gabrielle
Rapporteur : Docteur RAMANANANTOANDRO Tahiana
Examineur : Docteur RAJEMISON Andraina Hajamanalina
Examineur : Docteur RAKOTONDRA SOA Olivia Lovanirina



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS

-----☪-----

Parcours : Ecosystème et Biodiversité

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques et Environnementales au grade Master de Recherche en Foresterie et Environnement

Promotion : KINGATSA

Année : 2010 - 2015



Présenté par ARITSARA Amy Ny Aina

Soutenu le : 11 Août 2015

Devant le jury composé de :

Président : Professeur RAMAMONJISOA Bruno Salomon

Rapporteur : Professeur RAJOELISON Lalanirina Gabrielle

Rapporteur : Docteur RAMANANANTOANDRO Tahiana

Examineur : Docteur RAJEMISON Andraina Hajamanalina

Examineur : Docteur RAKOTONDRA SOA Olivia Lovanirina

Remerciements

Je remercie le Seigneur pour sa bénédiction.

D'autre part, ce travail n'aurait pu voir le jour sans l'implication des personnes suivantes que j'aimerais remercier :

- Le Professeur RAMAMONJISOA Bruno Salomon, Chef de Département des Eaux et Forêts au sein de l'ESSA, pour les conseils précieux, surtout lors des cours, qui se sont avérés très utiles pour l'élaboration de ce document ;
- Le Professeur RAJOELISON Lalanirina Gabrielle, enseignante à l'ESSA-Forêts et encadreur académique, pour les différentes instructions ainsi que les remarques qui ont permis de mieux éclaircir les idées ;
- Le Docteur RAMANANANTOANDRO Tahiana, enseignante à l'ESSA-Forêts et encadreur académique pour le soutien logistique et intellectuel, ainsi, qu'à toute l'équipe de l'UFR Bois, particulièrement le Docteur RAKOTOVOLOLONALIMANANA Herizo, pour son aide lors de l'usinage des éprouvettes ;
- Le Docteur RAJEMISON Andraina Hajamanalina et le Docteur RAKOTONDRA SOA Olivia Lovanirina qui siègent en tant qu'examineurs pour l'évaluation de ces travaux ;
- Les enseignants et responsables administratifs au sein du Département, pour la formation ;
- Monsieur Solofo, responsable de la Station Forestière de la Mandraka, pour son aide et son rôle de médiateur avec la Communauté locale ;
- Les membres de l'Association Imaintsoanala qui ont beaucoup aidé dans l'exécution des travaux de terrain ;
- Madame le Directeur Régional de l'Ecologie, de l'Environnement et des Forêts ainsi que Madame la Responsable de la valorisation des Ressources Naturelles au sein de la Direction ;
- Monsieur le Chef Cantonement de Manjakandriana ;
- Docteur ANDRIANOELISOA Hanitriniaina, Chef de Département de Recherche Forestière et Piscicole, ainsi que Monsieur RASAMINDISA Alain et Monsieur Ruffin pour l'usinage des éprouvettes ;
- Monsieur le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et Monsieur Le Chef du Bloc Technique de l'Ecole et toute son équipe pour les essais de dureté ;
- Ma famille et mes amis, particulièrement, Sydonie, Antsa et Herija
- Toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

Je vous adresse mes sincères remerciements.

ARIANA

Liste des abréviations

ACP	:	Analyse en Composantes Principales
AFC	:	Analyse Factorielle des Correspondances
AFNOR	:	Agence Française de Normalisation
AGB ou DBA	:	<i>Above-ground Biomass</i> ou Densité de Biomasse aérienne
ANOVA	:	Analyse opérationnelle des variances
AP	:	Aires protégées
BING	:	<i>Beam Identification by Non Destructive Grading</i>
BT et MT	:	Basse tension et Moyenne Tensions
CAH	:	Classification Ascendante Hiérarchique
CAZ	:	Corridor Ankeniheny Zahamena
CDB	:	Convention sur la Diversité Biologique
CM	:	Coefficient de mélange
CTFT	:	Centre Technique Forestier Tropical
DHP ou D 1,30	:	Diamètre à hauteur de poitrine, standardisé à 1,30 m du sol
DME	:	Diamètre minimal d'exploitation, 30 cm à Madagascar
DRFP	:	Département de Recherche Forestière et Piscicole
FAO	:	Food and Agricultural Organisation
GDF	:	Gestion durable des forêts
GPS	:	<i>Global Positioning System</i>
HB	:	Dureté Brinell
HR	:	Humidité relative de l'air ou du bois
MEF	:	Ministère en charge des Forêts
MOC	:	Module de cisaillement
MOE	:	Module d'élasticité
OIBT	:	Organisation International des Bois Tropicaux
PK	:	Point kilométrique
PN	:	Parc National
PSF	:	Point de saturation des fibres
RPF	:	Restauration de Paysage Forestier
SER	:	Society for Ecological Restoration
SIG	:	Système d'Information Géographique
TAMS	:	<i>Tetik'Asa Mampody Savoka</i>
IUCN ou IUCN	:	Union International pour la Conservation de la Nature

Résumé

La superficie et la fonctionnalité des forêts diminuent à tel point que celles de Mandraka font partie des quelques hectares restantes de la végétation de ce type. C'est pourquoi, des restaurations s'imposent avec les essences adéquates. Quelles sont-elles ? C'est ce que cherche à connaître cette étude, vu les lacunes d'informations sur les espèces de Madagascar. Elle analyse la capacité des forêts de la station à représenter ses congénères et la qualité de son bois.

Compte tenu l'urgence d'agir avant que les essences autochtones ne figurent toutes dans la liste des espèces menacées d'extinction, l'approche utilisée dans cette étude, consiste d'abord, à analyser les structures floristiques et spatiales ainsi que la dynamique de la végétation et leur évolution entre 2008 et 2014. Ensuite, elle mesure l'intensité des menaces sur les écosystèmes. Enfin, la qualité et l'utilisation raisonnée du bois sont étudiées à partir des propriétés physiques et mécaniques de cinq (5) essences

La station forestière de la Mandraka est très diversifiée. Forêt secondaire et forêt primaire s'y rencontrent, sur différentes toposéquences, âges de successions et expositions. Les espèces des pentes orientées Nord présentent des feuilles plus petites et coriaces que celles orientées Sud. Mais les différences de performance de es groupes de végétation sont faibles en termes de densité du peuplement, surface terrière et quantité de biomasse ($\Delta D = 381$ arbres/ha, $\Delta G = 3,7$ m²/ha, $\Delta DBA = 28,11$ t/ha) sauf pour le volume exploitable ($\Delta V = 14,22$ m³/ha). D'ailleurs, la forêt primaire est dynamique, le carbone aérien augmente de 1,96 t/ha/an et la forêt secondaire se reconstitue. La diversité spécifique est élevée avec des indices de plus de 0,9. Même si les pentes sont fortes, les bois de tension ne se distinguent des bois normaux, seulement avec quelques tendances, comme l'augmentation du module d'élasticité et du retrait en fonction de l'espèce (ΔMOE allant de 10 à 1105 MPa, $\Delta T\% = 0,11$ à 1,42 %). Dans un arbre, le bois est peu hétérogène grâce au peuplement dense et aux arbres qui ne sont pas très grands avec une hauteur dominante inférieure à 12 m. D'ailleurs, *Aguaria sp.* pourrait constituer une essence de substitution à *Tambourissa trichophylla*. Enfin, les variations intra-spécifiques montrent que les essences natives pourraient encore avoir un avenir prometteur. Il y a donc intérêt à ce que l'état des écosystèmes et des espèces soient améliorés.

Mots-clés : Forêt tropicale humide de Montagne Restauration écologique, Espèces autochtones, Technologie du bois, Mandraka, Madagascar.

Famintinana

Mihena hatrany ny velarana sy ny famokaran'ny ala , hany ka anisan'ny sisa tamingana amin'ireo toa azy ny ao Mandraka. Mila fanajariana sy fikojakojaka izy noho izany. Fa inona no karazan-kazo ampiasaina ? izany no antony ity fikarohana ity na dia kely ary ny fahalalana momba ny hazo malagasy. Fakafakaina noho izany ny hatsaran'io tontolo io sy ny hazo ao aminy entina mikolokolo azy.

Noho ny fahatsapana ny maha-maika ny fiarovana ny karazan-kazo malagasy alohan'ny hahalany tamingana azy dia toy izao ny zohin-kevitra nentina namolavolana ity asa ity. Voalohany, nohadihadiana ny fifangaron'ireo karazan-kazo ireo, ny toetoetrin'ny ala ary ny fivoarany nanomboka tamin'ny taona 2008 ka hatramin'ny 2014. Avy eo norefesina ny hamafin'ny takaitra mihatra amin'ny ala sy ny vokany. Kely anefa ny fahalalana momba ny hazo malagasy, ka nosandaina ny toetran'ny dimy amin'izy ireo, mba hahalalana ny kalitaony sy ny fampiasana azy mety indrindra.

Tena manan-karena ny alan'i Mandraka. Hita ao ny ny ala voajanahary tsy dia voakitika loatra, ao kosa ireo savoka. Samy manana ny taonany ireo, samy manana ny fitodika ary misy azy na tampon-kavoana na lohasaha. Somary kelikely ary matevitevina ny ravin'ireo toerana mitodika mianavaratra manoloana ireo mianatsimo. Ny famokarany kosa tsy dia mifanalavitra firy raha ny habetsaky ny hazo, sy ny fivelaran'ny fotony ary ny lanjan'ny zava-maniry no jerena ($\Delta D = 381$ hazo/ha, $\Delta G = 3,7$ m²/ha, $\Delta DBA = 28,11$ t/ha) , afa-tsy ny famokarana hazo be ($\Delta V = 14,22$ m³/ha). Hita ary fa tena miroborobo ny alan'i Mandraka, mihazona karbonina eo amin'ny 1,96 t/ha/taona eo izy ary ireo savoka dia mihatsara hatrany. Ny mari-drefy 0,9 dia manambara fa manan-karena zava-maniry tokoa io ala io. Marina fa kisilasila ny tany kanefa tsy manova firy ny toetra anatin'ilay hazo izany, na dia misy aza firehana, tahaka ny fihenjany sy ny fihenany izay mitady ny hitombo ($\Delta MOE = 10$ ka hatramin'ny 1105 MPa, $\Delta T\% = 0,11$ ka hatramin'ny 1,42 %). Ny vesatra kely mihatra amin'ireo hazo izay vokatry ny fifanetietiny sy ny hafohiny anefa dia manena ny tsy fitovian'ny toetra anatin'ny. Latsaky ny 12 metatra mantsy ny hahavon'ny hazo lehibe. Ny *Agauria sp* ary dia afaka hanolona ny *Tambourissa* izay atahorana ihany. Ny hamaron-toetra eo amin'ny hazo mitovy kazarana dia maneho hoavy mampiratra hoan'ny karazan-kazo Malagasy. Ilaina noho izany ny manarina io tontolo io sy ny zava-boahary ao. ,

Teny iditra: Ala mando an-tendrombohitra, Fanarenana tontolo, Karazan'kazo zanatany, , Hay-tao momba ny hazo, Mandraka, Madagasikara.

Abstract

Forest areas and functionalities are decreasing so that, Mandraka forest is one of the few remnants of the kind of vegetation. Ecological restoration should be made with adequate species. “Which are they?” is the question that this study tries to answer, considering lacks of knowledge about Malagasy species for suitable management/restoration strategy. It analyzes Mandraka capabilities to give information on forests of the same type and assess his wood quality.

Facing emergency to act before Malagasy species become all threatened, this approach consists on analysis of floristic and spatial structure of vegetation, also, its dynamic and its evolution between 2008 and 2014. Then, this study scales the intensity and the impact of threat on the ecosystem. Considering the lacks of knowledge on local woods, the mechanical and physical properties of 5 species were assessed on their quality and reasoned uses.

As results, Mandraka Forest Station is highly diversified. Different types of forest may be encountered as, primary forest, secondary forest, those on crest, on slope or on valley. There are forests on different successional ages and exposure. Vegetation more sun-exposed tends to have smaller and thicker leaves than have those South-oriented. Although, performance divergences between them are low on stand density, carbon storage and sequestration ($\Delta D = 381$ trees/ha, $\Delta G = 3,7$ m²/ha, $\Delta AGB = 28,11$ t/ha) except, on wood production ($\Delta V = 14,22$ m³/ha). Especially about carbon, the primary forest accumulate 1,96 tons/ha/an when secondary forest is on remission. Simpson diversity index more than 0,9 indicates the station specific richness. Even if the station is established on sloped soil, tension woods are not severe. Yet, there is some trend like, a little bit increase of Young modulus and radial shrinkage ($\Delta MOE = 10$ to 1105 MPa, $\Delta T\% = 0,11$ % to 1,42 %). Horizontally and vertically, variations are not also so high, due to trees not very tall, with dominant height less than 12 meters, and high vegetation density. Especially, *Agauria sp.* may substitute *Tambourissa trichophylla* which may be threatened. Intra-specific diversity is among the tool-keys for species implementation and permit to ensure the future of Malagasy species. So, enhancing ecosystems and species states is primordial.

Keywords: *Tropical Moist Mountain Forest, Ecological Restoration, Local species, Wood Technology, Mandraka, Madagascar.*

Table des matières

Remerciements.....	i
Liste des abréviations.....	ii
Résumé	iii
Liste des annexes	x
1 Introduction	1
2 Méthodologie.....	2
2.1 <i>Problématique et hypothèses</i>	2
2.2 <i>Etat des connaissances</i>	3
2.2.1 <i>Dégradation, restauration écologique et restauration de paysage forestier</i>	3
2.2.2 <i>Analyse sylvicole</i>	3
2.2.3 <i>Généralités sur le bois</i>	4
2.3 <i>Milieu d'étude</i>	6
2.4 <i>Méthodes</i>	9
2.4.1 <i>Cartographie</i>	9
2.4.2 <i>Observations</i>	9
2.4.3 <i>Enquêtes</i>	9
2.4.4 <i>Inventaire</i>	9
2.4.5 <i>Expérimentation sur le bois</i>	11
2.4.6 <i>Traitement des données</i>	13
2.4.7 <i>Cadre opératoire</i>	19
3 Résultats	20
3.1 <i>Caractéristiques sylvicoles des vestiges de la forêt naturelle de la Mandraka</i>	20
3.1.1 <i>Structure floristique</i>	20
3.1.2 <i>Structure spatiale</i>	24
3.1.3 <i>Dynamique</i>	30
3.2 <i>Etat des pressions</i>	31
3.3 <i>Essences principales</i>	34

3.3.1	Edifices	34
3.3.2	Essences commerciales et essences de valeur.....	34
3.3.3	Essences vulnérables	35
3.3.4	Classement par méthode de choix multicritère	35
3.4	<i>Evaluation des propriétés des bois de la station</i>	36
3.4.1	Essences ciblées.....	37
3.4.2	Utilisations raisonnées	43
3.4.3	Variation intra-arbre	45
3.4.4	Variation inter-arbre	46
4	Discussions et recommandations.....	47
4.1	<i>Sur la méthodologie</i>	47
4.1.1	Analyse sylvicole.....	47
4.1.2	Analyse des propriétés des bois	47
4.1.3	Analyse multicritère pour le choix des essences.....	48
4.2	<i>Sur les résultats</i>	49
4.2.1	Structure floristique	49
4.2.2	Structure spatiale et son évolution	49
4.2.3	Dynamique de reconstitution de la forêt	50
4.2.4	Propriétés physiques et mécaniques du bois	50
4.3	<i>Sur les hypothèses</i>	52
4.4	<i>Recommandations</i>	54
4.4.1	Apport à la recherche.....	54
4.4.2	Mise en valeur des essences étudiées pour des restaurations écologiques.....	54
4.4.3	Trajectoire d'amélioration et de restauration	56
4.4.4	Choix d'essences	56
4.4.5	Plan d'actions.....	60
5	Conclusion.....	62
6	Bibliographie	63
7	Annexes.....	I

Liste des illustrations

- **Liste des cartes**

Carte 1: Localisation de la station forestière	6
Carte 2: Distribution des groupes phytosociologiques.....	23
Carte 3: Cartes des pressions et menaces s'exerçant sur la forêt naturelle de la station.....	32
Carte 4: Parcelles d'aménagement.....	55

- **Liste des figures**

Figure 1: Démarche de l'analyse sylvicole (Schutz, 1990).....	3
Figure 2: Le bois, formation, structure (Cabriolier, 2007).....	4
Figure 3: Diagramme climatique de la station (Rajoelison <i>et al.</i> , 2007).....	6
Figure 4: Dispositif d'inventaire	10
Figure 5: Démarche d'analyse comparative.....	18
Figure 6: Espèces abondantes en forêts primaires et secondaires	20
Figure 7: Carte factorielle des groupes phytosociologiques.....	21
Figure 8: Distribution des groupes phytosociologiques selon l'orientation et la pente du terrain.....	22
Figure 9: Structures totales de la forêt naturelle de la Mandraka.....	26
Figure 10: Profil structural des versants (en haut) et des crêtes (en bas) en forêt primaire	28
Figure 11: Profil structural sur versant (à haut) et dans les vallées (en bas) en forêt secondaire.....	29
Figure 12: Essences de la Mandraka selon la catégorie et le niveau d'information.....	35
Figure 13: Essences les plus performantes par analyse de choix multivarié et ACP.....	36

- **Liste des photos**

Photo 1: Quelques animaux de la station forestière de Mandraka	7
Photo 2: Quelques plantes de la station.....	8
Photo 3: Dispositif d'expérimentation BING	13
Photo 4: Aspect de la végétation dans la station	27
Photo 5: Exploitation illicite, souches très récentes et feuilles consommées par les insectes.....	31
Photo 6: Feuilles d' <i>Agauria sp.</i>	37
Photo 7: Herbar de <i>Neotina isoneura</i> collecté à Mandraka - Feuilles et fruits	38
Photo 8: Herbar de <i>Nuxia capitata</i> collecté à Mandraka – Feuilles et fleurs.....	39
Photo 9: Herbar de <i>Tambourissa trichophylla</i> collecté à Mandraka - Feuilles et fruit	40
Photo 10: Feuilles de <i>Weinmannia rutenbergii</i>	41

- **Liste des tableaux**

Tableau 1: Paramètres à relever dans chaque compartiment.....	10
Tableau 2: Nombre d'échantillons selon la longueur et les espèces.....	12
Tableau 3: Cadre opératoire : Hypothèses, Sous-hypothèses, Indicateurs, Activités.....	19
Tableau 4: Structure floristique de la forêt naturelle de la Mandraka.....	20
Tableau 5: Indice de Sorensen entre les différents lots de forêts	21
Tableau 6: Structure horizontale des reliquats de forêts primaires	24
Tableau 7: Structure horizontale des groupes phytosociologiques	24
Tableau 8: Structure horizontale de la forêt secondaire	24
Tableau 9: Comparaison de la structure horizontale entre forêts primaires et secondaires	25
Tableau 10: Croissance annuelle de la surface terrière, de la biomasse aérienne, du volume	25
Tableau 11: Hauteur dominante des différentes parcelles et des groupes phytosociologiques.....	26
Tableau 12: Diversité de la régénération par reliquats et par type de forêts	30
Tableau 13: Pressions sur l'écosystème, leurs intensités, leurs localisations et leurs conséquences.....	33
Tableau 14: Essences de l'étage dominant	34
Tableau 15: Essences potentiellement vulnérables de la station.....	35
Tableau 16: Essences choisies pour l'analyse des propriétés du bois.....	36
Tableau 17: Retrait et rétractabilité d' <i>Agauria sp.</i>	37
Tableau 18: Propriétés mécaniques d' <i>Agauria sp.</i>	37
Tableau 19: Retraits et nervosité de <i>Neotina isoneura</i>	38
Tableau 20: Propriétés mécaniques de <i>Neotina isoneura</i>	38
Tableau 21: Retrait et rétractabilité de <i>Nuxia capitata</i>	39
Tableau 22: Propriétés mécaniques de <i>Nuxia capitata</i>	39
Tableau 23: Retrait et nervosité de <i>Tambourissa trichophylla</i>	40
Tableau 24: Propriétés mécaniques de <i>Tambourissa trichophylla</i>	40
Tableau 25: Retrait et nervosité de <i>Weinmannia rutenbergii</i>	41
Tableau 26: Propriétés mécaniques de <i>Weinmannia rutenbergii</i>	41
Tableau 27: Propriétés du bois des 5 essences de la Mandraka par rapport à la bibliographie.....	42
Tableau 28: Utilisations raisonnées des essences étudiées et les essences de propriétés voisines.....	44
Tableau 29: Les variations intra-arbres significatives pour chaque espèce.....	46
Tableau 30: Diversité intra-spécifique des propriétés des bois étudiés.....	46
Tableau 31: Orientations d'aménagement sylvicole de restauration écologique	56
Tableau 32: Choix d'essences pour amélioration de capacité de production et enrichissement.....	57
Tableau 33: Choix d'essences pour la restauration de zone défrichée	59

Liste des annexes

Annexe 1	Récapitulation de l'approche méthodologique	I
Annexe 2	Estimation de la hauteur et projection verticale du houppier	II
Annexe 3	Résumé de façonnage d'éprouvette depuis l'abattage.....	II
Annexe 4	Protocole de manipulation de la densité, des retraits et du PSF	III
Annexe 5	Principe de l'analyse multicritère.....	IV
Annexe 6	Courbe d'équilibre hygroscopique des bois (Trouy-Triboulot & Triboulot, 2012)	V
Annexe 7	Essences inventoriées	VI
Annexe 8	Nombre d'espèces par famille	VII
Annexe 9	Essences des groupes phytosociologiques.....	VII
Annexe 10	L'index PHF	VIII
Annexe 11	Distribution des arbres selon le PHF dans les différents reliquats	IX
Annexe 12	Distribution en hauteur des arbres des parcelles et des groupes phytosociologiques.....	XI
Annexe 13	Position verticale des essences de l'étage dominant	XII
Annexe 14	Essences de l'étage dominant et leur tempérament.....	XVI
Annexe 15	Densité de régénération par reliquats, groupes phytosociologiques et type de forêt....	XVI
Annexe 16	Capacité de régénération des espèces selon les parcelles, groupes et types de forêts .	XVII
Annexe 17	Essences à faible indice de dispersion.....	XXI
Annexe 18	Essences sensibles à la pourriture du cœur.....	XXII
Annexe 19	Essences sensibles à la consommation de feuilles par les phyllophages.....	XXII
Annexe 20	Catégorie des essences	XXII
Annexe 21	Utilisation des essences de valeurs selon Rakotovao <i>et al.</i> (2012).....	XXIII
Annexe 22	Niveau d'informations sur les propriétés du bois autochtones de la station.....	XXIV
Annexe 23	Conversion de dureté Brinell en Monnin	XXIV
Annexe 24	Signification des propriétés mécaniques et physiques du bois	XXV
Annexe 25	Comparaison des propriétés mécaniques avec Rakotovao <i>et al.</i> (2012).....	XXVI
Annexe 26	Utilisation du bois par comparaison de moyenne.....	XXVII
Annexe 27	Essences de propriétés proches à celles étudiées.....	XXIX
Annexe 28	Quantité de défauts sur les éprouvettes	XXIX
Annexe 29	ANOVA sur les effets manipulations sur les résultats issus de BING	XXIX
Annexe 30	ANOVA sur l'effet des défauts sur les propriétés du bois	XXIX
Annexe 31	Effets des bois de tension sur les propriétés du bois de la Mandraka.....	XXX
Annexe 32	Variation due à la distance radiale et à la hauteur	XXXI
Annexe 33	Variation intra-spécifique des propriétés du bois	XXXIII
Annexe 34	CAH sur la qualité acoustique des espèces étudiées	XXXV
Annexe 35	Tempéraments des essences	XXXVI

1 Introduction

Le Monde perd en moyenne 13 millions d'hectares de forêts par an avec une proportion importante dans les pays tropicaux, riches en biodiversité (FAO, 2014). Particulièrement, les forêts tropicales humides de montagne ne représentent que 380 000 km² soit 2,5 % de la superficie de toutes les forêts tropicales (Hamilton, 2009). Pourtant, leurs capacités à remplir leurs fonctions économiques, environnementales et sociales sont sérieusement menacées (Chomitz, 2007; Nellemann & Corcoran, 2010). D'un point de vue spécifique, moins de 400 espèces (FAO, 2014) sur les 80 000 à 100 000 espèces d'arbres du monde (Turok & Geburek, 2000) sont utilisées dans les plantations forestières. En Afrique de l'Est, 99 % des plantations utilisent des espèces introduites (FAO, 2010). De l'autre côté, les essences locales, restent faiblement mises en valeur (Fournier *et al.*, 2003), surexploitées voire, menacées d'extinctions. Appartenant à cette zone, Madagascar dispose d'une large gamme de ligneux (4 220 espèces) (MEF, 2011), très peu connues mais pourrait produire du bois de différentes combinaisons de propriétés physiques et chimiques donc à opportunités d'utilisations multiples. Côté production, la Grande île a fourni 22 millions m³ de bois en 2005 dont seulement 20 % est utilisé comme bois de construction (MEF, 2014). Elle est à la baisse même si la demande en bois au niveau mondial est estimée à la hausse de 40 % les 20 prochaines années (FAO, 2014). Ainsi, avec l'épuisement des ressources dû aux menaces sur la biodiversité, la qualité des produits est très affectée. Particulièrement, à Mandraka, la forêt naturelle une des vestiges des forêts denses humides de montagne. Ce sont des écosystèmes normalement très diversifiés avec 73 espèces mais, menacés par les activités humaines (Rajaonera, 2008). De plus, avec ses fondations pentues (Rakotonanahary, 2008), la production et les éventuelles exploitations restent un défi.

Ces faits montrent que la restauration des forêts comme celles de la Mandraka est primordiale et ce au moyen de l'augmentation de la superficie, l'amélioration de la santé et la productivité avec des essences autochtones. Ainsi, le présent document intitulé « **Prospection sylvicole et étude technologique de quelques essences autochtones en vue d'une restauration écologique. Cas de la station forestière de la Mandraka, Région Analamanga** » va traiter la problématique: **Quelles sont les espèces autochtones, potentielles pour la restauration écologique et la production de bois de qualité dans la station?** A cet effet, deux hypothèses ont été émises : La première concerne la capacité de cette forêt à fournir des informations utilisables pour des écosystèmes forestiers de la zone et des environs. La seconde en analyse la qualité du bois.

Cette étude effectuée d'abord une analyse sylvicole sur l'état et l'évolution de la forêt naturelle de la station puis étudie les propriétés physiques et mécaniques des bois des essences choisies. Elle s'attend à ce que l'écosystème soit suffisamment diversifié et fonctionnel pour être représentatif de la structure de la végétation peu dégradée de la zone. Elle prévoit aussi que le bois des essences choisies ait la qualité suffisante pour améliorer la valeur de la forêt. Ce document est ainsi structuré selon trois parties, à savoir, la méthodologie, les résultats et les discussions.

2 Méthodologie

2.1 Problématique et hypothèses

Des pressions menacent l'intégrité des écosystèmes forestiers de la station de la Mandraka (Rajaonera, 2008). Entre autres, les exploitations illicites de bois et les collectes d'ignames sauvages continuent, d'autre part, des feux incontrôlés de meules de charbons sont enregistrés. A un stade avancé de dégradation, ce type de forêt peut devenir des fragments isolés par une savane pauvre et pyrophyte, comme sur le plateau de Tampoketsa décrits par Rajemison (2010). Pourtant, la végétation est aussi diversifiée que les forêts humides de moyenne altitude (Koechlin *et al.*, 1974). Elle protège le sol contre l'érosion et joue un rôle de capteur d'eau depuis les brouillards (Hamilton, 2009). Les forêts de la Mandraka jouent aussi différents rôles socio-économiques. Il est donc important de maintenir, reconstruire et/ou améliorer la fonctionnalité de ces écosystèmes en effectuant des restaurations avec les essences adéquates, d'où l'intérêt de savoir : « **Quelles sont les espèces autochtones, potentielles pour la restauration écologique et la production de bois de qualité dans la station vu les contraintes anthropiques et écologiques ?** »

Pour résoudre cette problématique, les questions suivantes se posent :

- 1) Quelles sont les caractéristiques sylvicoles des vestiges de la forêt naturelle de Mandraka ?
- 2) Quelles sont les principales menaces et pressions qui affectent la forêt et les essences qui la constituent?
- 3) Quelles sont les espèces potentielles en vue d'une restauration écologique et une production de bois d'œuvre et de service ?
- 4) Quelles propriétés ont les bois des essences ciblées et quelles utilisations leur sont adaptées?
- 5) Quelle stratégie de restauration est à adopter pour une production future de bois d'œuvre et de services de ces espèces ?

Deux hypothèses ont été émises :

- Hypothèse 1 : La forêt naturelle est un écosystème de référence pertinent pour la restauration et amélioration de la forêt de la station et des environs. Sa confirmation dépend de la diversité au niveau écosystème, espèce et gène, la santé de l'écosystème et son intégrité ainsi que son fonctionnement, se basant sur la définition d'un écosystème de référence selon SER & IUCN (2004)

- Hypothèse 2 : Malgré les facteurs topographiques, déterminant la structure de la forêt, les bois des espèces étudiées sont peu hétérogènes dans le sens radial et verticale et les bois de tensions sont peu sévères. Ils peuvent aussi supporter différents types de contraintes et permettent une large gamme d'utilisation. La confirmation de cette hypothèse se base sur la variabilité intra-arbre des propriétés du bois (Fournier *et al.*, 2003), la qualité relative des bois de propriétés connues et l'utilisation raisonnée des essences étudiées (Gueneau, 1969).

2.2 Etat des connaissances

2.2.1 Dégradation, restauration écologique et restauration de paysages forestiers

De multiples facteurs, anthropiques ou naturels entraînent la dégradation des forêts. C'est le processus de réduction de la qualité de ces écosystèmes (Lund, 2009) d'où le besoin de restauration. Cette dernière se définit comme la transformation intentionnelle d'un milieu pour y établir l'écosystème considéré comme indigène et historique défini par sa structure, sa diversité et son dynamique (Aronson *et al.*, 1995). Dans cette branche, la restauration des paysages forestiers (RPF) est un processus planifié qui a pour but de regagner l'intégrité écologique et d'améliorer les conditions de vie des humains vivants dans ces paysages déboisés ou dégradés (RAZAFY FARA, 2004). L'écosystème de référence est la situation de laquelle, s'inspirent les activités. Le chemin que va suivre l'écosystème entre son état dégradé et l'écosystème de référence s'appelle trajectoire. La science qui étudie cette discipline a vu le jour en 1984. Elle vise la maîtrise des processus impliqués pour imiter la nature en créant des systèmes similaires dans leurs principales caractéristiques, leurs fonctionnements et présentant un comportement autorégulé (Barnaud & Chapuis, 2004). Il existe deux types d'approche : passive, qui consiste à atténuer l'effet des impacts négatifs et à laisser primer la résilience des systèmes ; l'approche active utilise des moyens techniques comme la plantation pour réparer les dégâts. Selon l'échelle et le type de sol, sept(7) types de plantations forestières à préconiser peuvent être: 1) le reboisement, 2) l'afforestation, 3) la reforestation, 4) l'enrichissement, 5) l'embroussaillage, 6) les plantations ornementales, 7) l'agroforesterie. Toujours liés à cette discipline, des projets de restauration des paysages forestiers connaissent du succès à Madagascar (Conservation International, 2011).

2.2.2 Analyse sylvicole

L'analyse sylvicole est la démarche intellectuelle du sylviculteur confronté à un peuplement, en une sorte de réflexe automatique. Partant de son observation de l'aspect physionomique actuel, en une appréciation rétrospective et prospective, il vise à préfigurer son évolution. Il la compare ensuite avec ce qui est attendu, compte tenu des objectifs qui étaient assignés et des potentialités de la station. Il prend finalement une *décision sylvicole*

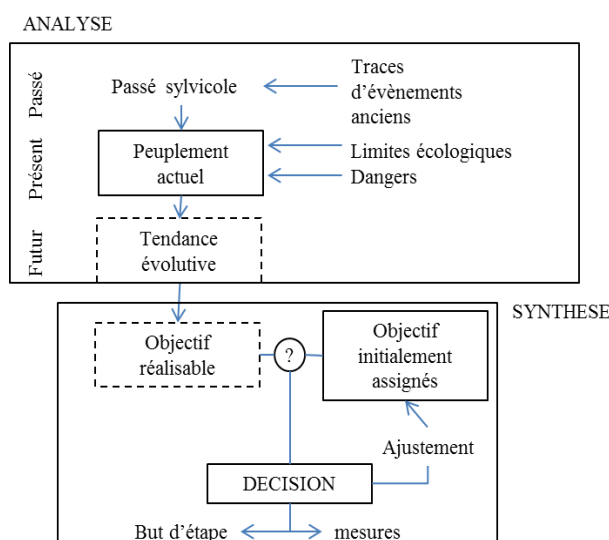


Figure 1: Démarche de l'analyse sylvicole (Schutz, 1990)

qui définit ce qu'il convient de faire et les mesures particulières à prendre (Figure 1) (Schutz, 1990).

Le processus de développement d'un plan d'aménagement et de restauration est important en lui-même parce qu'il requiert la collection et l'organisation d'informations sur la forêt en question et l'expression ferme des objectifs d'aménagement et des besoins. Pourtant, il s'avère que beaucoup des pays tropicaux surtout ne sont pas capables de se fournir ces informations (OIBT, 2012). Selon Rajoelison (1997), dans une forêt naturelle, l'analyse sylvicole étudie les caractères physiologiques et biologiques dont la composition floristique (richesse, diversité,...), les structures (horizontale et verticale) qui renseignent sur la productivité des écosystèmes mais aussi sur l'utilisation de l'espace et des ressources naturelles enfin, la dynamique. Elle permet de faire un diagnostic de l'état du peuplement et conséquemment de réajuster la stratégie.

Selon Favrichon *et al.* (1998), deux grands types de démarches peuvent être adoptées en vue d'acquérir des connaissances sur la dynamique des peuplements forestiers : (i) une démarche de type « enquête », consistant à observer et analyser le plus grand nombre de situations possible, sans intervention sur le milieu ; démarche largement développée par Rajoelison (1997); (ii) une démarche de type « expérimentation », avec manipulation et observation des réactions du peuplement, en référence à une situation non perturbée. Dans tous les cas, l'analyse sylvicole use toujours de différents outils : techniques, logistiques et informatiques.

2.2.3 Généralités sur le bois

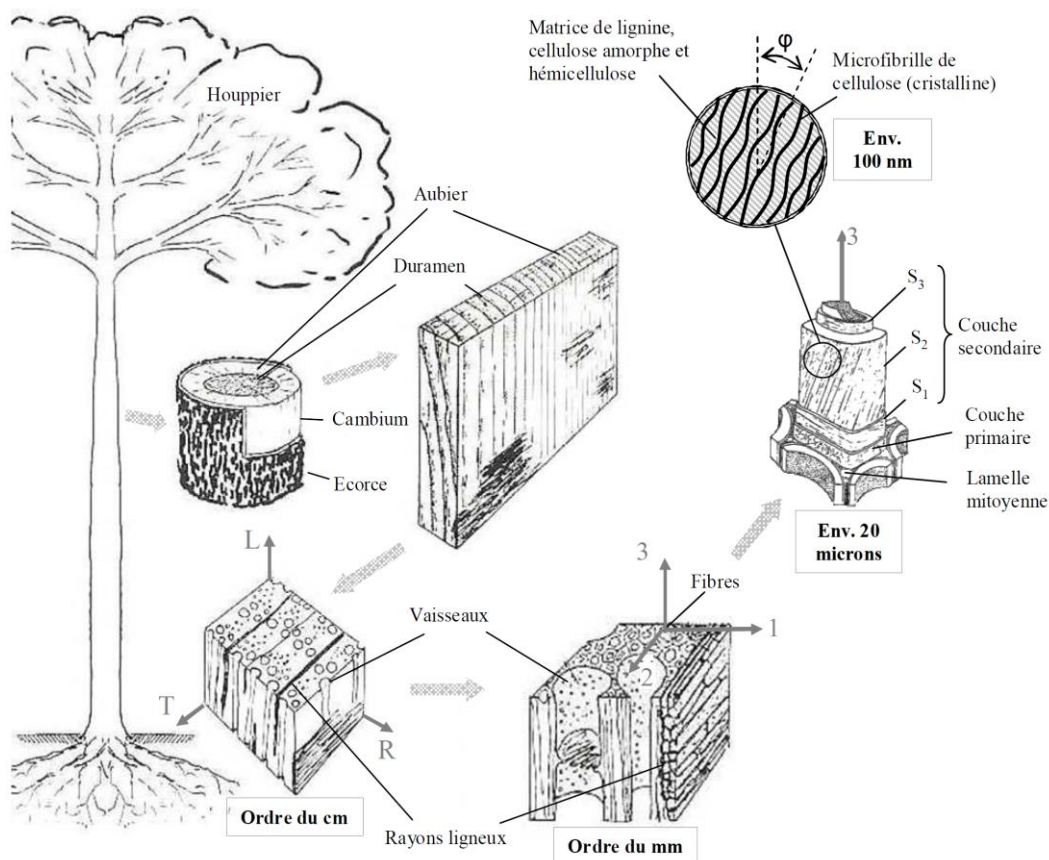


Figure 2: Le bois, formation, structure (Cabriolier, 2007)

- Structure du bois

Le bois prélevé des forêts et autres terres boisées constitue un élément important de la fonction de production des forêts (FAO, 2010). Sa formation résulte de succession de différents processus :

- Croissance en hauteur de l'arbre par l'intermédiaire des méristèmes primaires,
- Multiplication cellulaire au niveau des méristèmes secondaires avec comme ressources, l'énergie et la matière issues de la photosynthèse effectuée par les feuilles,
- Lignification des cellules du bois pour ne plus en donner qu'une cellule sans vie, mais rigide et enrichi en macromolécule lignine et autres extractives qui définissent entre autres les propriétés du bois.

- Propriétés et utilisation du bois

La structure des parois des cellules du bois, la disposition des microfibrilles de cellulose, l'agrégation et la distribution des cellules confèrent au matériau ses propriétés et son caractère anisotrope et hétérogène (Figure 2). Ils varient selon les essences, les stations ou les individus et même dans les individus à différents échelles. Ce sont, la densité qui est la quantité de matière par unité de volume à 12 % d'humidité, les retraits qui sont les variations des dimensions du bois avec son humidité, le module d'élasticité qui définit la déformation d'élément en travaillant en flexion statique suivant la plus grande direction, parallèlement aux fibres (Gérard *et al.*, 1998), le module de cisaillement qui détermine la résistance des matériaux face à deux forces proches parallèles et opposées (Benoit, 2008) et le coefficient de poisson qui permet de calculer les déformations que subit le matériau en contrainte de traction.

L'Homme utilise du bois d'une certaine espèce par habitude, il s'agit de l'utilisation traditionnelle, mais une approche plus rationnelle part de ses propriétés pour en déterminer l'utilisation du bois et les dimensions des pièces.

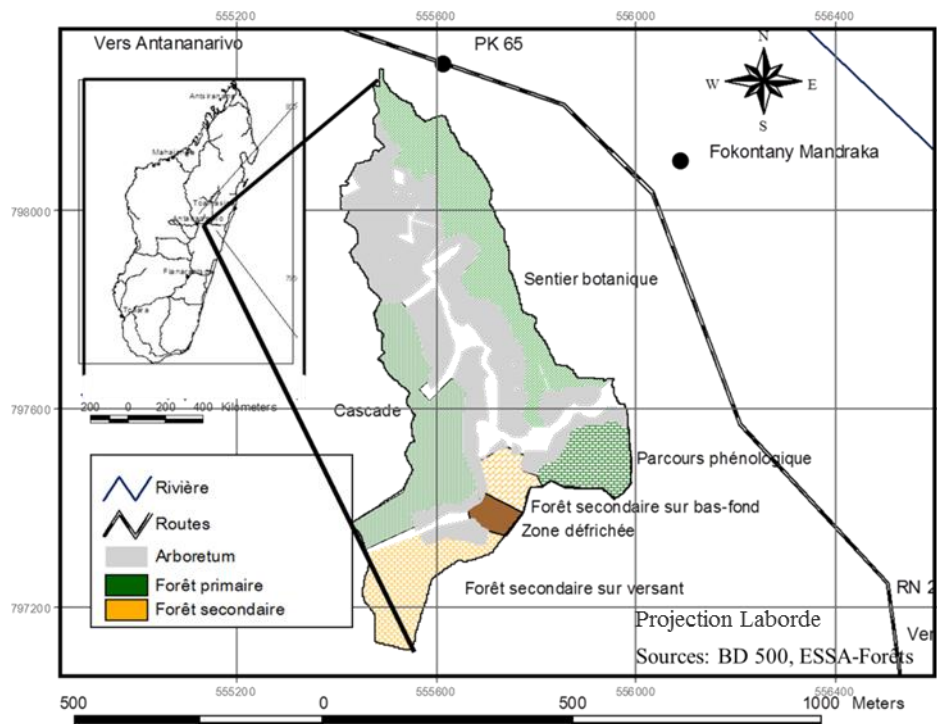
- Qualité du bois

Les critères de qualité du bois les plus importants sont la masse volumique du bois, le taux de croissance, le retrait, la résistance mécanique et la structure anatomique en coupe transversale (Alteyrac, 2005). Pourtant, c'est une notion très subjective. Le point de vue de Fournier *et al* (2003) est beaucoup plus adéquat. Selon eux, la qualité n'est pas un ensemble de propriétés simples et absolues mais elle est intimement liée à l'utilisation et à l'homogénéité interne du bois. Elle considère aussi la commodité d'exploitation, de transport, de transformation jusqu'à son utilisation finale. C'est ainsi que le facteur de qualité de bois utilisé en guise de poteau ou charpente, par exemple est défini par une maximisation de la résistance (E) contre une minimisation de la masse (d) (Trouy-Triboulot & Triboulot, 2012), via le rapport $\sqrt{E/d}$.

2.3 Milieu d'études

2.3.1.1 Localisation

La station forestière de Mandraka se trouve entre les latitudes 18°54'39,02"S et 18°55'18,18"S et les longitudes 47°54'41,36"E et 47°55'6,77"E. L'altitude varie de 1 200 à 1 400 mètres. Les recoupements administratifs la situent dans le Fokontany Mandraka, Commune Rurale Ambatolaona, District Manjakandriana, Région Analamanga, à la limite de l'ex-Province Antananarivo. Par la route nationale n°2, elle se trouve au PK 65 en partant de la capitale.



Carte 1: Localisation de la station forestière

2.3.1.2 Milieu physique

- Climat

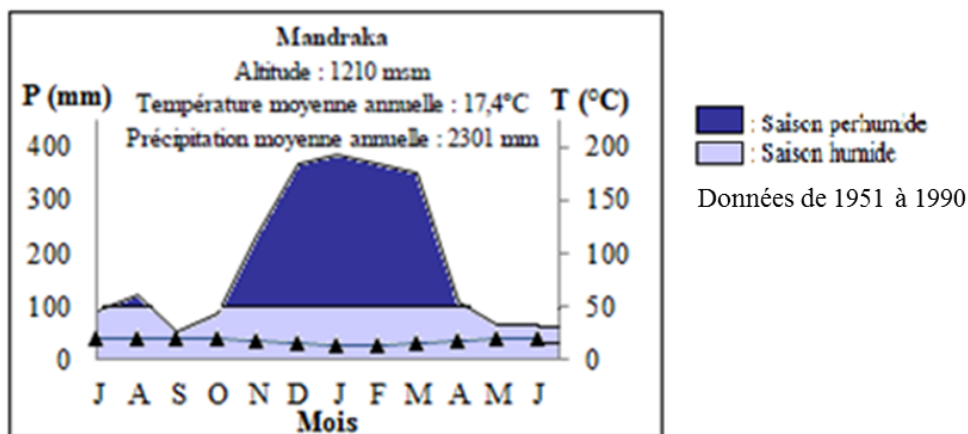


Figure 3: Diagramme climatique de la station (Rajoelison *et al.*, 2007)

Avec une température moyenne de 17,47 °C et une précipitation annuelle de 2 300 mm, le climat est du type tropical humide. Il n'y a pas de mois écossecs (Figure 3). En hiver, le brouillard et les crachins substituent la pluie.

- Topographie

La localité se trouve à la première falaise de Madagascar ce qui fait quelques particularités sur le climat dans ce corridor. Les pentes sont en général supérieures à 60% et peuvent atteindre les 90%. Les vallées sont très étroites et très prononcées.

- Hydrographie

Le principal cours d'eau de la zone est la rivière Mandraka, en aval du lac Mantasoa, lac de barrage construit pour alimenter la centrale hydroélectrique d'Andekaleka. Le bassin versant qui lui est apparenté s'étend sur une superficie de 57 km² et son débit moyen est de 2,8 m³/s (entre 1947 et 1964) (Chaperon *et al.*, 1993). Il existe aussi un réseau important de petits ruisseaux recoupant les reliefs escarpés de cette zone.

- Pédologie

De la pente forte et des précipitations de la zone résultent des types de sols qui ont tendances à un rajeunissement par le phénomène de l'érosion combiné avec le caractère friable du sol. Sous forêt la zone humifère est très épaisse. Différents types de sols y sont rencontrés : Sol ferralitique typique (A sur B) ; Sol ferralitique rajeuni (A sur BC), Ferralitique fortement rajeuni (A sur CB) et Sol peu évolué (A sur C) (Rakotonanahary, 2008)

2.3.1.3 Milieu biologique

Ces caractères écologiques particulières offrent à la zone des caractéristiques biologiques peu communes tant en faune qu'en flore.

- Faune

La station abrite aussi plusieurs espèces animales, de différentes classes, quatre espèces de primates, un insectivore, un carnivore et trois rongeurs. Il y a 19 espèces de reptiles et 15 d'amphibiens. 62 espèces d'oiseaux ont été inventoriées (Rajaonera, 2008)



De gauche à droite : *Tenrec sp.*, *Haplemur griseus*, *Avahi laniger*, *Leptosomus discolor*

Photo 1: Quelques animaux de la station forestière de Mandraka

- Flore

La station s'étend sur une superficie totale de 29 ha dont 12,2 ha d'arboretum, 11,7 ha de forêt primaire et 4,6 ha de forêt secondaire (Robisoa, 2008). De récents aménagements ont remodelé cette stratification selon qu'une partie de la forêt primaire a été dévastée par une série d'incendie ; et d'autre part, une partie de la forêt secondaire a été aménagée pour la plantation d'espèces autochtones. C'est une forêt dense humide de montagne (Koechlin *et al.*, 1974) à série *Weinmannia* et *Tambourissa*. Elle est riche en ligneux, épiphytes, mousses et orchidées ainsi qu'en palmiers et fougères arborescentes. Les environs de la station sont dominés par des plantations d'*Eucalyptus*.



De gauche à droite et de haut en bas: arbres (*Dilobeia thouarsii*, *Weinmannia rutenbergii*, *Syzigium sp.*), palmiers, lianes et mousses

Photo 2: Quelques plantes de la station

2.3.1.4 Milieu humain

- **Démographie**

Le nombre de la population a varié de 812 en 2001, 685 en 2008 et 720 en 2014. Au niveau ménage, il y en a eu 163 en 2008 (Robisoa, 2008) et en 2014, 128 (Fokontany Mandraka).

- **Activités socio-économiques**

La population vit principalement de la production agricole, riz (aliment de base), manioc, maïs (sur tavy), fruits sur versants (bananiers et pêchers) et légumes (sur bas-fonds). Côté élevage, il y a les poules, les porcs et les bovins. Dans le domaine forestier, la production de charbon de bois est abondante ainsi que les bois de services issus des taillis d'*Eucalyptus*. Les travaux d'entretien de la route nationale fournissent aussi un revenu d'appoint pour la population. Dans l'avenir, la proximité des écoles permet d'espérer l'amélioration du niveau d'étude de la population pour le développement de la localité.

2.4 Méthodes

Les méthodes utilisées ont été principalement, l'inventaire forestier, l'inventaire de pressions, l'étude des propriétés du bois et les analyses par ordination.

2.4.1 Cartographie

La cartographie est une technique graphique qui a pour objet l'établissement, la rédaction et l'édition des cartes. Elle a été utilisée pour la localisation de la zone d'étude, puis l'installation des placettes d'inventaires (localisation et orientation des transects). Avec un GPS, cette approche a été d'une grande aide pour la reconnaissance du terrain. Sur la base de la carte de la station qui existe déjà, la distribution de la végétation, des pressions et des menaces ont été représentées.

2.4.2 Observations

En tant qu'études attentives des phénomènes, les observations ont été effectuées afin d'apprécier l'état, la richesse et les qualités de la station. Les différentes pistes décrites dans les cartes de la station ont été suivies ainsi que les bordures vu la faible superficie. Elles consistent notamment à apprécier visuellement les ressources, les menaces et les différentes subtilités de l'écosystème que de personnes n'ayant pas de base en foresterie et en biologie ne voient ou ne s'intéressent pas.

2.4.3 Enquêtes

Les enquêtes sont des sondages d'avis, d'expérience, d'idée ou d'informations de personnes ressources concernant un fait, un phénomène ou un bien. Dans cette étude, le but est de relater certains historiques sur le peuplement forestier mais aussi de collecter des informations sur les essences autochtones. Elles ont été faites de manières informelles en discutant avec les guides, les responsables de la station, les responsables administratives, des travailleurs du bois, etc.

2.4.4 Inventaire

L'inventaire forestier est la collection d'information sur les écosystèmes forestiers et chaque individu qui la compose, surtout les arbres. Il permet d'apprécier de manière objective l'état et la physionomie de la forêt, comparer les caractéristiques des différents types et des parcelles. Il génère des informations sur l'état des ressources. Les travaux ont été effectués en quatre (4) phases : échantillonnage, délimitation, mensuration des arbres et relevé de paramètres écologiques.

- **Echantillonnage**

Un inventaire complet est difficile vu les 16,3 ha de forêt naturelle. Le but de l'échantillonnage est de recueillir le maximum d'informations en un temps limité et des moyens limités de telles sortes qu'il soit représentatif de la zone d'étude. La surface minimale inventoriée correspond à l'aire minimale du taxon considérée dans la zone d'étude. Le mode d'échantillonnage est du type stratifié systématique.

Selon Lamprecht (1981) et Rajoelison (2005), l'aire minimale des forêts tropicales humides sempervirentes est d'environ 1 ha. Pour la forêt primaire, une superficie avoisinante de 1,2 ha a été inventoriée ce qui représente 0,4 ha par reliquat. Pour la forêt secondaire, seule 0,88 ha a été inventoriée. Au total, les inventaires ont été effectués sur 30 placettes de 0,04 ha en forêts primaires et sur 22 en forêts secondaires, ce qui fait un taux d'échantillonnage de 13 %.

- Seuils d'inventaire et paramètres relevés

La délimitation est la matérialisation des limites des placettes d'inventaires. Cette technique permet d'identifier les arbres qui y sont inclus puis les recense et les mesure. Les inventaires sylvicoles ont été effectués dans des placettes carrées de dimension 20 m x 20 m divisées en trois compartiments, caractérisés par leurs surfaces respectives, les seuils de diamètre et les paramètres à relever (Tableau 1).

Tableau 1: Paramètres à relever dans chaque compartiment

Compartiment	Surface	Seuil d'inventaire (cm)	Essence	D	H	Hf	PHF	Santé du fût	Pathologie	Lianes
A	20 m x 20 m	$d \geq 10$	x	x	x	x	x	x	x	x
B	5 m x 5 m	$5 \leq d < 10$	x	x	x	x	x	x	x	x
C	2,5 m*2,5 m	$1 \leq d < 5$	x	x	x			x	x	x

D : Diamètre à 1,30 m du sol, H : hauteur totale de l'arbre, HF, Hauteur du fût

A cause de la faible superficie de la forêt, plusieurs ensembles de 5 placettes successives ont été inventoriés. Cela permet aussi d'apprécier les petites variations de la structure de la végétation entre deux points très proches.

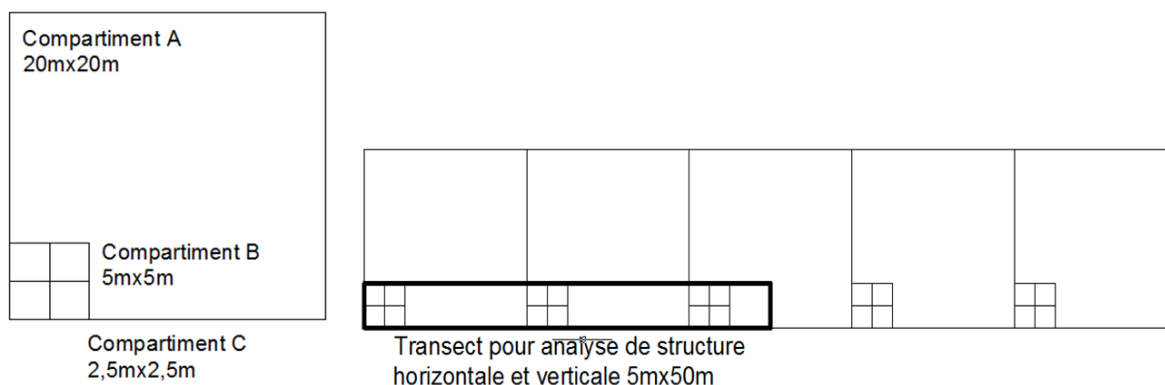


Figure 4: Dispositif d'inventaire

Les informations recueillies pour chaque arbre ont été : le nom vernaculaire dont certains herbiers ont été recoupés avec la collection national de Direction de Recherche Forestière et Piscicole, le diamètre à 1,30 m du sol avec un compas forestier, la hauteur totale et celle du fût qui ont été estimées avec une perche de référence combinée avec un clinomètre (Equation 1)

$$\text{Hauteur totale} = \frac{A - \text{réf}2}{\text{Réf}1 - \text{réf}2} \times 2,5(\text{Hauteur de référence}) \text{ (Équation 1)}$$

Avec A : visée de la cime, B : visée sur haut du fût, Ref : les bouts de la perche de référence

En complément de l'index PHF (Annexe 10), quelques paramètres ont été prélevés, à savoir, la santé du fût dont la plénitude est appréciée par percussion et les défaillances recensées, l'état du feuillage, par sa couleur et la présence de trous sur les feuilles qui indique l'appétence d'insectes phyllophages, enfin la présence de lianes et ses effets sur la qualité de l'arbre et l'esthétique de la forêt.

- Relevé de paramètres écologiques

Il s'agit de la collecte d'informations sur les conditions de développement de la forêt. Il permet de déterminer les facteurs qui peuvent influencer la structure de l'écosystème afin de le manipuler avec le maximum d'assurance. Pour chaque parcelle, la pente et l'orientation, la toposéquence, ainsi que l'épaisseur de la litière ont été mesurées. Cette dernière a été mesurée sur 4 points systématiques.

- Inventaire des pressions

L'inventaire des pressions consistent en recensement des différents types de perturbations, de leur localisation, leurs impacts sur les écosystèmes et les espèces. Le but est d'apprécier l'état de santé de la forêt et mesurer l'implication des activités humaines dans sa dégradation. Dans chaque parcelle, le nombre de souches d'exploitation, de trous de collecte d'ignames sauvages, entre autres, ont été relevées.

- Profil structural

Le profil structural est une représentation plane de la stratification, de l'architecture, du recouvrement et du remplissage de la forêt. Il permet de confronter visuellement les données de la structure horizontale. Tous les arbres et non ligneux de diamètre supérieur à 5 cm dans 4 transects de 5 m x 50 m ont été inventoriés. Les informations collectées ont été : i) les pentes tous les 10 mètres, ii) la direction du transect iii) et pour chaque arbre : la hauteur totale, la hauteur du fût, l'inclinaison, les diamètres axiaux du houppier, les coordonnées axiaux de la souche, la présence/absence de liane.

2.4.5 Expérimentation sur le bois

Seules les propriétés physiques et mécaniques ont été étudiées. Les propriétés anatomiques et chimiques sont intéressantes à analyser mais des études pourront être effectuées ultérieurement.

- Sélection et échantillonnage des arbres

Une fois les essences cibles définies, 5 arbres par espèce ont été sélectionnés depuis la base de données d'inventaire selon différents critères qui déterminent la commodité de processus d'analyse, à savoir : 1) arbres relativement rectilignes, donc avec une forme de fût de 1 à 2 jusqu'à 3, 2) ne présentant pas de défauts apparents (fils torsés, pourriture interne), 3) de diamètre entre 15 et 25 cm, 4) hauteur du fût supérieur à 4 m. 5 arbres par espèces sont suffisants pour prendre en compte la variabilité inter et intra arbre de même espèces des propriétés du bois (Noack, 1972).

- Abattage et débardage

Les arbres sélectionnés ont été préalablement marqués de son côté amont, afin de pouvoir identifier le bois de tension. Chaque arbre a été abattu à la scie passe-partout à hauteur de 20 à 30 cm du sol de telle sorte que la hauteur à 1,30 m du sol se trouve en haut de la première bille. Le débardage s'est fait à dos d'homme jusqu'à une place de dépôt en bord de route.

- Usinages des éprouvettes

Les échantillons prélevés ont été ceux issus de l'axe de la pente marqué lors de l'abattage. Les processus de débitage sont décrits en Annexe 2 et les significations en Annexe 24. Les dimensions des éprouvettes sont :

- 20 mm x 20 mm x 50 mm pour la densité, l'infradensité et les retraits (NF B51-006; NF B51-005)
- Pour la dureté Brinell, la longueur est de 160 mm. Dans la section transversale, la norme NF EN 1534 considère quand même les possibilités d'éprouvettes de largeur inférieure à 40 mm. Ainsi, pour plus de commodité à l'usinage, la section transversale utilisée est la même que pour les autres essais.
- 20 mm x 20 mm x 360 mm pour les différents modules (Brancheriau, 2013)

Tableau 2: Nombre d'échantillons selon la longueur et les espèces

Espèces	36 cm	16 cm	5 cm	informations complètes
<i>Agauria sp.</i>	49	37	53	34
<i>Neotina isoneura</i>	116	115	124	85
<i>Nuxia capitata</i>	73	63	73	55
<i>Tambourissa trichophylla</i>	59	61	68	49
<i>Weinmannia rutenbergii</i>	61	59	74	45
Total	358	335	392	268

La densité a été mesurée avec une balance de précision et le volume a été assimilé à celui d'un parallélépipède rectangle. Les éprouvettes de 5 cm ont été préalablement stabilisées à 20 °C et 65 % d'humidité relative de l'air (Annexe 4).

Pour le retrait, les éprouvettes de 5 cm ont été mesurées et pesées à l'état saturé, 12 % d'humidité et anhydre. Les défauts ont été relevés ainsi que l'angle d'inclinaison des cernes. Pour le Point de Saturation des Fibres, celles de 1 cm de longueur ont été mesurées à l'état saturé, 18 %, 12 %, 6 % d'humidité et à l'état anhydre (Annexe 4).

Avec une machine d'essais Testwell à cadran analogique, l'empreinte d'une bille d'acier de 10 mm soumis à une force de 50 daN a été mesurée sur les éprouvettes de 16 cm de longueur. C'est la moitié de la charge prescrite par la norme NF EN 1534. Elle est utilisée par analogie à la norme NF B 51-013 pour les bois tendres.

- Module d'élasticité et de cisaillement par analyse acoustique

C'est un dispositif ayant vu le jour dans les années 80 par la Centre Technique Forestière Tropicale et qui a subi différentes améliorations au fil des années. Il permet de déterminer le module d'élasticité longitudinale par le modèle de Bernoulli et le module de cisaillement avec le modèle de Timoshenko avec un taux d'incertitude de 5%. Les nouvelles versions donnent cette incertitude pour chaque échantillon. La version 9.0 est utilisée pour le présent document.

Les éprouvettes utilisées ont été celles de dimensions, 20 mm x 20 mm x 360 mm. Elles ont été séchées à 12 % dans une enceinte climatique réglée à 20 °C et 65 % d'humidité jusqu'à ce que la masse soit stable.



Photo 3: Dispositif d'expérimentation BING

Le dispositif de percussion, inspiré de celui d'Aramaki *et al* (2007) dans Brancheriau (2013) a été spécialement mis au point pour cette étude pour assurer une percussion uniforme (Photo 3). Ici, la longueur de la pendule est de 35 cm coupée à 5 cm de la bille pour former la percussion dans le sens vertical. Le percuteur est une bille en acier de 13 g avec un diamètre de 12 mm. Il a été lâché depuis un guide réglé à la perpendiculaire de l'axe verticale du pendule. La norme NF B 51-008 sur les essais en flexion statique préconise l'orientation des cernes parallèles à la force, ici, à la percussion.

2.4.6 Traitement des données

Les inventaires forestiers et les manipulations du bois offrent des informations à l'état brut. Différents types d'analyses ont été nécessaires afin de les synthétiser et en tirer des conclusions pour diagnostiquer l'état de l'écosystème et étudier les caractéristiques biologiques écologiques et sylvicoles des espèces.

- Données cartographiques

La localisation des placettes et des points de pressions ont été marqués sur la carte de la station pour ressortir la distribution des groupes phytosociologiques et la carte de pression. Ces informations ont été traitées à l'aide d'outil SIG, ArcGIS 10.0 et ArcView 3.2.

- Données d'observations et d'enquêtes

Ces informations ont été combinées avec les autres types de données pour comprendre les phénomènes, les pressions et apprécier la valeur des ressources naturelles.

- Données d'inventaires

- Structure floristique

La composition/diversité dans la forêt donne un aperçu de la résilience de celle-ci aux différents types de perturbations. Les informations outputs sont :

- Liste floristique : il s'agit de la liste des essences forestières rencontrées (Annexe 7)
- Coefficient de mélange est l'inverse du nombre moyen d'arbres par espèce. C'est une appréciation facile de la diversité

$$CM = \frac{S}{N} \text{ (Équation 2)}$$

Avec N= nombre de tiges d'arbres et S = nombre d'espèces

- Indice de diversité de Simpson représente la probabilité pour que deux individus pris au hasard dans le peuplement appartiennent à deux espèces différentes et l'Indice d'équitabilité est le rapport entre l'indice de diversité et sa valeur maximale (Favrichon *et al.*, 1998). Son expression en tant que probabilité offre lui offre l'avantage d'être pratique

$$S = 1 - \lambda \text{ Avec } \lambda = \sum_{i=1}^S P_i^2 \text{ (Équation 3)}$$

Avec p_i l'abondance relative de chaque essence

- Indice de diversité bêta de Sorensen : c'est le rapport entre le double du nombre d'espèces communes à deux sites par la somme du nombre d'espèce de chacun d'eux.
- Phytosociologie : Elle vise à la description et la compréhension de la végétation, l'organisation spatiale et temporelle des espèces végétales qui la constitue (Rameau, 1987).

Compte tenu de la quantité d'informations, les méthodes les plus aisées sont celles par ordination. Les informations de bases sont celles du tableau floristique et les méthodes utilisées sont l'AFC et la CAH (Meddour, 2011). Chaque groupe phytosociologique a été localisé et les relations avec les facteurs abiotiques que sont la pente et l'orientation ont été diagnostiquées avec un test de χ^2 .

- Analyse horizontale

La structure étudie l'organisation des arbres dans l'espace et permet d'apprécier l'utilisation des ressources (lumière essentiellement) par les différentes espèces et relater les historiques du peuplement. Plusieurs points ont été étudiés, pour chaque espèce, lot et groupe phytosociologique. L'abondance renseigne sur le nombre d'arbres par hectare, La dominance étudie la surface terrière qui est déterminée en assimilant la section transversale de l'arbre à 1,30 m du bois comme un disque. Le volume de bois exploitable supérieur à la DME (30 cm.) apprécie le pouvoir productif. Le profil structural donne un aperçu de l'utilisation de l'espace et des ressources par les végétaux. La structure totale permet de relater les événements passés du peuplement et ses impacts.

○ **Biomasse**

Le volume (V) de la biomasse a été estimé avec la formule de Dawkins (1961)

$$V = \sum 0,53 \times g \times h \text{ (Équation 4)}$$

Avec g= surface terrière de l'arbre (m²) et h sa hauteur (totale, pour trouver la biomasse aérienne total ou hauteur du fût pour le volume de bois) (m).

La densité de biomasse est calculée par l'équation 5 avec les données d'infradensité du bois dans Rafidimanantsoa (2013) et les données d'inventaires de cette étude.

$$DBA_{est} = 0,0509 \times \rho D^2 H \text{ (Équation 5) (Chave et al., 2005)}$$

Avec DBA_{est} : quantité de biomasse aérienne (kg) ; ρ: Infradensité ; D : Diamètre à 1,30m du sol (cm); H : Hauteur totale de l'arbre (m).

○ **Dynamique**

Selon Rajoelison (1997), La régénération est constituée par les arbres de diamètre entre 1 cm et 5 cm. Les analyses consistent en l'étude de l'abondance et la diversité de ces dernières en fonction des espèces et du type d'écosystème. Le taux de régénération a été déterminé selon la formule

$$Tr (\%) = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \text{ (Rothe, 1964) (Équation 6)}$$

Avec Tr : Taux de régénération, n = nombre de régénération pour une espèce et N:= Nombre de semenciers.

Les essences ont été classées selon que :

- Tr < 100 % : essences à difficulté de régénération,
- Entre 100 % et 1 000 % : essences à bonne régénération,
- Tr > 1 000% : Essences à très bonne régénération.

○ **Principales essences**

- Critères de classement des espèces

Les espèces les plus abondantes et les dominantes ont été d'office considérées comme essences principales, celles de valeurs sont reprises de Rajonshon (2012) qui a étudié le prix des grumes des essences du marché de la capitale. En outre, chaque espèce a été classée selon son aptitude à se développer dans le milieu selon les critères suivants : 1) pour la position sociale : a) La hauteur totale, b) l'index P, c) l'index H ; 2) pour la résistance : a) la proportion d'attaques phyllophages, b) la pourriture du cœur ; 3) pour la quantité de production : a) le diamètre à 1,30 m du sol, b) la hauteur du fût, c) le rapport entre hauteur du fût et hauteur totale de l'arbre, d) l'index F ; 4) Pour le degré de menace : a) l'abondance, b) l'abondance de la régénération, c) la catégorie dans la liste rouge de l'IUCN, 5) pour la valeur de production, a) le fait d'être connue ou peu connue sur le marché du bois, b) la valeur sur le marché se référant à Rajonshon (2012). Les propriétés du bois sont rajoutés pour les recommandations de choix d'autres essences que celles étudiées, à savoir, la dureté, la densité, la rétractabilité, la contrainte de rupture et le module d'élasticité. Ces critères ont été soumis à une méthode d'agrégation partielle en adaptant la méthode ELECTRE III utilisée par Pauwels (2003).

Cette analyse multicritère est du type gamma ce qui signifie un rangement et un classement des scénarios du meilleur au moins bon. Les critères sont comparés avec celui des autres espèces en considérant le seuil d'indifférence (5 % de la différence entre la valeur maximale et minimale), le seuil de préférence et en écartant le seuil de véto. Pour chaque comparaison, un indice de correspondance variant de 0 à 1 est alloué : 0 pour les écarts inférieurs au seuil d'indifférence, 1 pour ceux supérieurs au seuil de préférence et interpolation linéaire entre les deux (Annexe 5). Le choix des espèces faisant objet d'étude de la technologie du bois considère, en addition de ces différents critères, l'absence d'information sur les propriétés du matériau et une abondance supérieure à 30 individus lors des inventaires pour minimiser les impacts sur l'écosystème restant. Toutefois, *Weinmannia* et *Tambourissa* ont été, malgré que leurs propriétés sont déjà connues (Rakotovoao *et al.*, 2012) encore retenues dans la liste par le fait que ce sont les essences caractéristiques de la série de végétation.

- Tempérament des essences

Les affinités avec les facteurs abiotiques du milieu ont été étudiées en usant de leur répartition dans les placettes dont les informations sur la pente et l'orientation sont disponibles. D'autre part, Rollet (1983) révèle des formes de courbes de distribution permettant d'apprécier leur appréciation de la lumière ou tempérament. Elles ont été recoupées avec les résultats de Ramanakoto, 2013. L'étude de ces réponses de la plante aux facteurs biotiques s'appelle l'autécologie (Michelot *et al.*, 2013).

- Propriétés du bois

Malgré les précautions pendant l'usinage des éprouvettes, les côtés de certaines éprouvettes n'ont pas toujours été parfaitement orientés selon les repères poutre/planches (RTL). Aussi, elles ont été ajustées par les formules de Keylwerth (1948) dans (Masseran & Mariaux, 1985) :

$$\begin{aligned} T \cos^2 \varphi + R \sin^2 \varphi &= T_{\varphi} \\ T \sin^2 \varphi + R \cos^2 \varphi &= R_{\varphi} \end{aligned} \text{ (Équation 7)}$$

Avec T et R sont respectivement les valeurs de retraits linéaires ajustés, T_{φ} et R_{φ} sont les retraits mesurés sur l'éprouvette avec une inclinaison de φ .

L'anisotropie est le rapport du retrait tangentiel par le retrait radial (Noack, 1972). La nervosité est la rétractabilité enregistrée chaque fois que l'humidité relative (<PSF) diminue de 1 %. La rétractabilité volumique est la plus utilisée. Elle a été calculée par l'équation 8

$$v\% = \frac{B\%}{PSF} \text{ (Équation 8)}$$

Avec V : Nervosité et B% : Rétractabilité volumique du bois (%)

La dureté du bois évoque sa résistance à l'usure (Gueneau, 1969). La norme NF EN 1534 énonce la méthode de détermination de la résistance au poinçonnement par l'équation 9. La dureté Monnin est estimé par régression créée à partir de l'annexe 1 de la norme NF P 63-202-1 (Annexe 23).

$$HB = \frac{2F}{g\pi[D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \text{ (Équation 9)}$$

Avec F : la contrainte exercée (Kgf/m²) , D et d : diamètres perpendiculaire (cm) des empreintes sur le bois g : accélération de la pesanteur

D'autre part, Le module d'élasticité étant acquis par le procédé, BING, il est possible de faire une estimation du module de rupture en flexion avec le modèle développé par Noack (1972) et l'impédance Z dans Bremaud (2006). En guise d'illustration, les risques de flambement sont donnés par la formule d'Euler.

$$\sigma = 0,0081 \times MOE \text{ (R}^2=0,83) \text{ et } Z = \sqrt{MOE \times Rho} \text{ (Équation 10)}$$

Avec MOE : Module d'élasticité (MPa) et σ = module de rupture en flexion (MPa), Rho : densité

$$F = k\pi^2 \frac{EI}{L^2} \text{ (Équation 11)}$$

Avec F : charge limite (N), k : constante, E : module d'élasticité (MPa) , L : longueur (m), I : Inertie de la section

- Etude de l'homogénéité spatiale des propriétés du bois

- Variations verticale et radiale des propriétés

Les corrélations des différents paramètres (densité, dureté, module d'élasticité, retrait), avec la distance par rapport au cœur ainsi que la hauteur ont d'abord été analysées via le test de corrélation de Pearson. Si elle est significative, un modèle de régression a été établi tout en considérant une généralisation possible à savoir l'édition d'une équation sous la forme

$$Y = C + \alpha_1 H + \alpha_2 Ray \text{ (Équation 12)}$$

Avec Y : la propriété du bois considérée, C : une constante, α_1 et α_2 des coefficients, H (m) et Ray (cm) les positions verticale et radiale des éprouvettes dans l'arbre

Le coefficient de corrélation et la significativité de la tendance par ANOVA permet d'apprécier l'intensité de l'homogénéité. Particulièrement pour le retrait, un modèle de régression permet de faire des estimations des déformations, à savoir le tuilage et le flambement de matériaux.

- Comparaison entre bois de tension et bois opposé

Pour chaque essence, un ANOVA sur chaque paramètre afin d'apprécier l'effet du bois de tension. Chaque propriété a été analysée sur les variances internes des deux types de bois et entre eux. En théorie, le rapport entre le carré moyen inter-échantillon par l'intra-échantillon devrait suivre la loi de Fisher-Snedecor à (n-k ; k-1) de degré de liberté. Ces comparaisons permettent d'évaluer la qualité relative des bois de tension, qui est en général de qualité moindre (Dogu & Grabner, 2010).

- Utilisation raisonnées et classement qualité

L'ouvrage de Rakotovao *et al.* (2010) regroupe les propriétés physiques et mécaniques de 187 essences de bois ainsi que leurs utilisations. Ainsi, une fois les propriétés du bois mesurées, les espèces étudiées ont pu être regroupées avec les espèces d'arbres dans cet ouvrage de référence. La première approche détermine les moyennes des propriétés des bois pour chaque utilisation. Une comparaison de moyenne avec les essences étudiées permettent d'identifier les utilisations auxquelles elles sont conformes voire plus performantes. La seconde a utilisé une CAH et une ACP. Les essences qui sont proches d'un point de vue propriétés ont pu être identifiées. A partir de là, les utilisations potentielles ont été définies en analogie aux utilisations des essences connues. D'autre part, la qualité acoustique a été étudiée en combinant les données avec celles de Bremaud (2006) pour une CAH.

• Les tests statistiques

- ACP et AFC sont des méthodes descriptives multivariées de réduction dimensionnelle qui consiste à une représentation plane de n individus décrits par p variables continues. La différence, ACP utilise la matrice de corrélation, tandis qu'AFC utilise la distance de Khi². L'ACP est utilisé pour la seconde approche sur l'utilisation du bois et l'AFC pour la phytosociologie
- CAH est une agrégation progressive des individus selon leurs ressemblances, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilarité comme la distance de Pearson (Meddour, 2011). Elle permet l'analyse phytosociologique des espèces et l'acoustique du bois.
- Comparaisons de moyenne : Elles se basent sur les équations 13 et 14 et permettent essentiellement les comparaisons des propriétés des essences connues avec les données de Rakotovao *et al.* (2012)

$$N = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \text{ Pour la loi de Normale (Équation 13)}$$

$$St = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}} \text{ avec ddl} = n-1. \text{ Pour la loi de Student (Équation 14)}$$

- Les tests de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis sont tous deux des tests non-paramétriques à la différence que le premier compare deux échantillons et le second en compare plus. Ils comparent entre elles la structure de forêts naturelles.
- ANOVA : c'est une comparaison de la variance due à un modèle et celle résiduel (dans chaque classe) suivant la loi de Fischer-Snedecor pour l'analyse de la sévérité des bois de tensions.
- Test de χ^2 : c'est un test de dépendance entre ligne et colonne d'un tableau de contingence. Il étudie les facteurs déterminants de la phytosociologie

La récapitulation générale de la méthodologie est en Annexe 1.

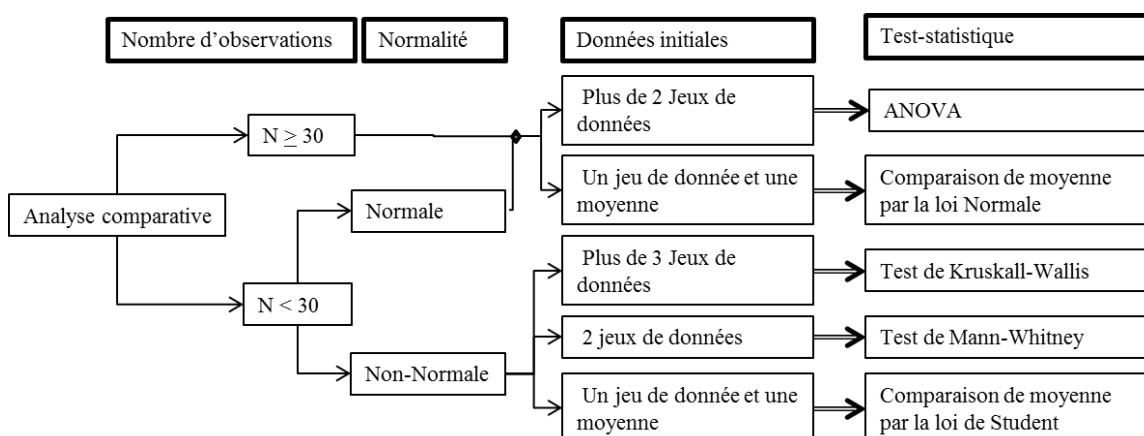


Figure 5: Démarche d'analyse comparative

2.4.7 **Cadre opératoire**

Tableau 3: Cadre opératoire : Hypothèses, Sous-hypothèses, Indicateurs, Activités

Problématique	Hypothèses	Sous-hypothèses	Indicateurs	Activités et outils méthodologiques	
Quelles sont les espèces autochtones, potentielles pour la restauration écologique et de future production de bois d'œuvre et de services dans la station de Mandraka?	La forêt naturelle est un écosystème de référence pour la restauration et amélioration de la forêt de la station et des environs	La station a une bonne diversité	Présence de différents types d'écosystèmes	Inventaire, Analyse sylvicole et étude phytosociologique	
			Nombre d'espèces	Inventaire, Analyse sylvicole	
			Indice de diversité et d'équitabilité de Simpson		
			Indice de diversité Alpha, Gamma		
			Coefficient de Sorensen	Inventaire, Analyse sylvicole	
			Abondance des espèces connues sur le marché du bois		
		La station est en bonne santé et les pressions sont faibles	Diminution du niveau de menace	Etude de pressions	
			Stratification de la forêt	Inventaire, Analyse sylvicole	
			Structure totale		
		la forêt naturelles a un bon fonctionnement	Niveau de diversité (indice de diversité)	Evolution de la biomasse	Analyse sylvicole
				Volume de bois exploitable	
			Nombre d'essences de bonnes propriétés physiques et mécaniques du bois	Inventaire, Analyse sylvicole	
	Malgré les facteurs topographiques, déterminant la structure de la forêt, les bois des espèces étudiées sont peu hétérogènes dans le sens radial et verticale et les bois de tensions sont peu sévères	Les variations intra-arbres des propriétés du bois ne sont pas importantes dans la station	Différences de propriétés entre bois de tension et bois normaux	Analyse de propriétés du bois, ANOVA,	
				Corrélation de la distance par rapport au cœur avec les propriétés du bois	Analyse de corrélation, régressions linéaires multiples corrélation
				Contribution de la position verticale des échantillons sur ses propriétés	
		Le bois de <i>Weinmannia</i> et <i>Tambourissa</i> , sont meilleur que dans la bibliographie	Différences entre les propriétés du bois de la station et celles-fournies par la bibliographie	Analyse de propriétés du bois, Comparaison de moyenne	
		Les bois d'essences évaluées sont utilisables, dans différents types de contraintes	Proximité des caractéristiques mécaniques et physiques avec les essences connues du marché	Etude de propriétés du bois, ACP, CAH	
Densité, module d'élasticité, retrait, nervosité				Etude de propriétés du bois,	
Utilisations raisonnées des essences					

3 Résultats

Les résultats de cette recherche concerne l'évolution des caractéristiques de la forêt naturelles de la station, ses essences principales, les pressions et les menaces et enfin, les propriétés de son bois.

3.1 Caractéristiques sylvicoles des vestiges de la forêt naturelle de la Mandraka

Cette partie étudie, la physionomie de la forêt, via la structure floristique, la structure spatiale et la dynamique. Elle insiste sur l'évolution de la situation entre 2008 et 2014

3.1.1 Structure floristique

- Composition floristique

Au total, 2 392 tiges, 88 espèces, 59 genres et 42 familles ont été inventoriés. 22 espèces ne se trouvent qu'en forêt primaire et 16 espèces sont propres aux forêts secondaires.

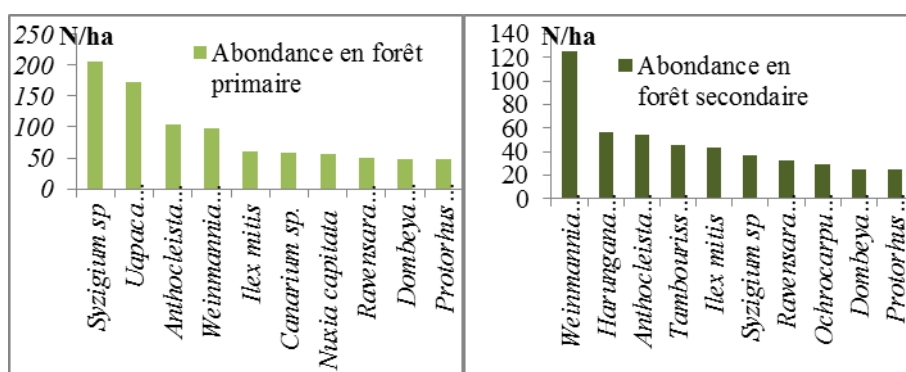


Figure 6: Espèces abondantes en forêts primaires et secondaires

En forêt primaire (Figure 6), l'allure exponentielle négative graduelle du graphe d'abondance montre que *Syzigium sp*, *Uapaca densifolia*, *Anthocleista madagascariensis* et *Weinmannia rutenbergii* sont les plus abondantes. En forêt secondaire, la pente accentué montre la prédominance de *Weinmannia rutenbergii* (125 arbres/ha) alors qu'en seconde position, *Harungana madagascariensis* ne compte que 56 arbres/ha. Dans le Tableau 4, le sentier botanique et la cascade abritent le plus grand nombre d'espèces. Avec moins d'arbres, la cascade enregistre les indices de diversité les plus élevée (CM : 1/6, indice de diversité, 0,96 et indice d'équitabilité 0,98). Le parcours phénologique a la plus forte abondance mais il est moins diversifié avec seulement 35 espèces.

Tableau 4: Structure floristique de la forêt naturelle de la Mandraka

Parcelle	Superficie (ha)	Espèces	Abondance	CM	Indice de diversité de Simpson	Indice d'équitabilité de Simpson
Parcours phénologique	0,4	35	536	1/15	0,87	0,9
Cascade	0,4	54	347	1/6	0,96	0,98
Sentier botanique	0,4	55	408	1/7	0,93	0,95
Forêt primaire	1,2	72	1291	1/18	0,94	0,95
Bas-fonds	0,32	41	237	1/6	0,93	0,96
Versant	0,56	47	424	1/7	0,94	0,96
Forêt secondaire	0,88	66	661	1/10	0,96	0,98

Les indices de diversité élevés en forêt secondaire sont très élevés à cause de la faible abondance (661 arbres/ha contre 1291 arbres par ha en forêt primaire) malgré la fréquence élevée de *Weinmannia rutenbergii* et le nombre d'espèces (66 contre 72 espèces en forêt primaire).

Entre le parcours phénologique et le sentier botanique (0,71) ainsi qu'entre le sentier botanique et la cascade (0,70), les ressemblances sont les plus frappantes (Tableau 5). Les indices de diversité Béta de Sorensen sont toutes moyennes sauf entre forêt secondaire sur bas-fond et parcours phénologique où la toposéquence influence la dispersion des espèces.

Tableau 5: Indice de Sorensen entre les différents lots de forêts

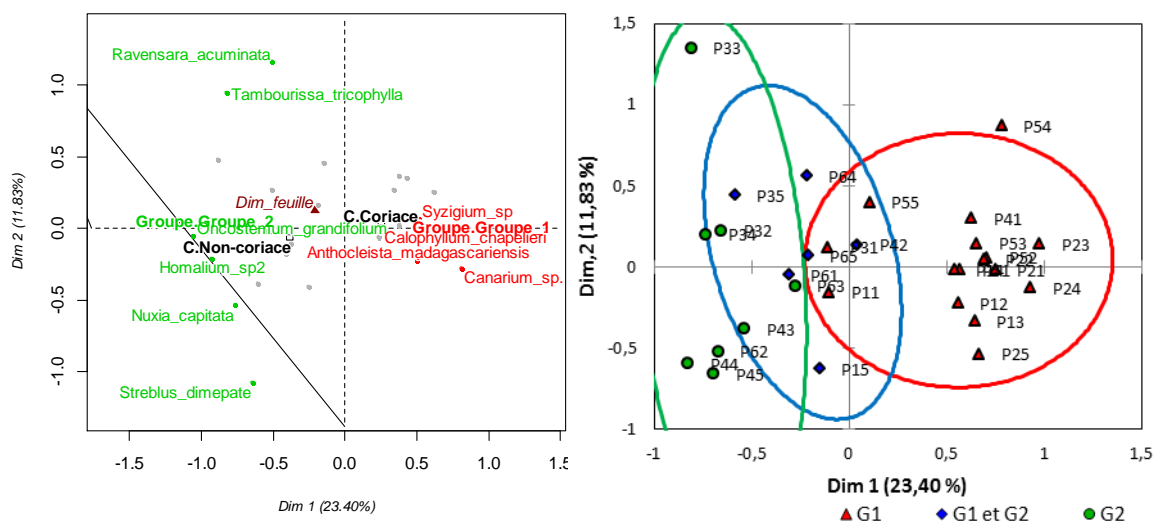
Parcelles	Parcours phénologique	Cascade	Sentier Botanique	FS_ bas-fonds	FS-versant
Parcours phénologique	1,00	0,61	0,71	0,47	0,56
Cascade	Moyenne	1,00	0,70	0,55	0,63
Sentier Botanique	Moyenne	Moyenne	1,00	0,54	0,69
FS_ bas-fonds	Faible	Moyenne	Moyenne	1,00	0,50
FS-versant	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	1,00

FS : Forêt secondaire

Les cinq familles qui sont représentées par le plus d'espèces sont Lauraceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Moraceae et Araliaceae. Niveau espèce, *Weinmannia rutenbergii* et *Anthocleista madagascariensis* ont une large dispersion. Avec *Ravensara crassifolia* et *Ilex mitis*, leurs indices de dispersion sont proches de 1 et plus faible en forêt secondaire (Annexe 17).

• **Groupes phytosociologiques**

Deux groupes phytosociologiques ont été identifiés (Annexe 9), avec un groupe d'intersection. *Anthocleista madagascariensis* est fidèle au Groupe 1 et *Dombeya lucida* au Groupe 2, d'où les dénominations respectives, Groupe à *Anthocleista* et Groupe à *Dombeya lucida*. Le premier groupe concerne 16 parcelles, le second, 8 parcelles et le groupe d'intersection, 6 parcelles.



Dim-feuille : Dimension moyenne des feuilles – Coriace : épaisseur de la limbe

Figure 7: Carte factorielle des groupes phytosociologiques

L'Analyse Factorielle des Correspondances a permis la simplification de la dimension du tableau espèces x parcelles à un niveau d'inertie totale de 1,322 ce qui reflète la présence d'un gradient bien marqué, sans dichotomie complète (Borcard, 1997), d'où l'existence de parcelles de groupe d'intersection. Le premier plan factoriel explique 35,23 % de la variation totale ce qui est une valeur élevée vu les 30 placettes et les 24 espèces considérées dans l'analyse.

Cet axe sépare les deux groupes phytosociologiques. Le Groupe 2 est très dispersée par rapport au Groupe 1. Particulièrement, les trois espèces *Ravensara acuminata*, *Tambourissa trichophylla* et *Macaranga cuspidata* s'isolent du lot du Groupe 2 par l'axe factoriel 2 (Figure 7) par le fait que ce sont les essences les plus abondantes dans la parcelle P33. Cette placette ayant une faible abondance, les observations sur le terrain permettent de dire qu'elle est plus dominée par les palmiers que les ligneux grâce à un microclimat de vallée très humide. D'autre part, les essences du Groupe 1 ont des feuilles plus petites que celles du Groupe 2 avec $\cos^2=0,125$ sur l'axe factorielle 1 (Variable Dim-feuille dans Figure 7). Elles ont aussi tendance à être plus coriaces.

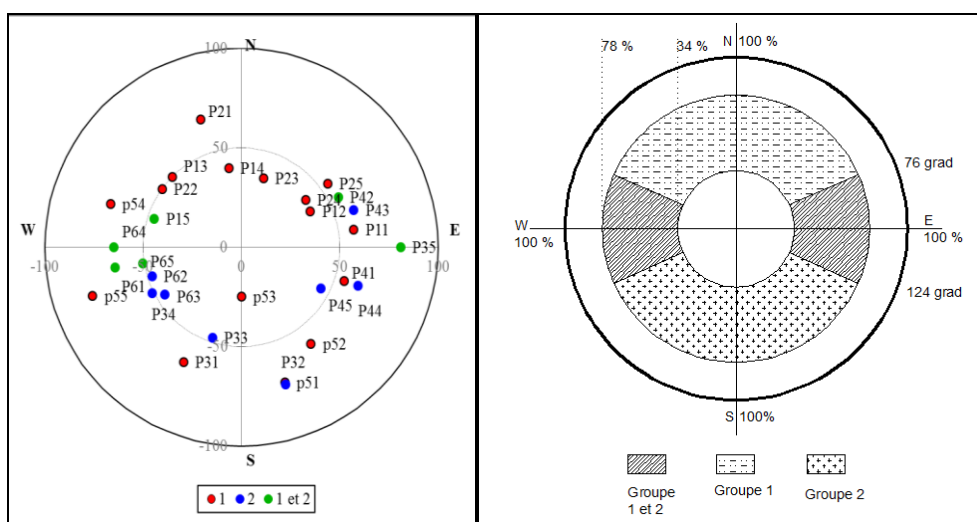
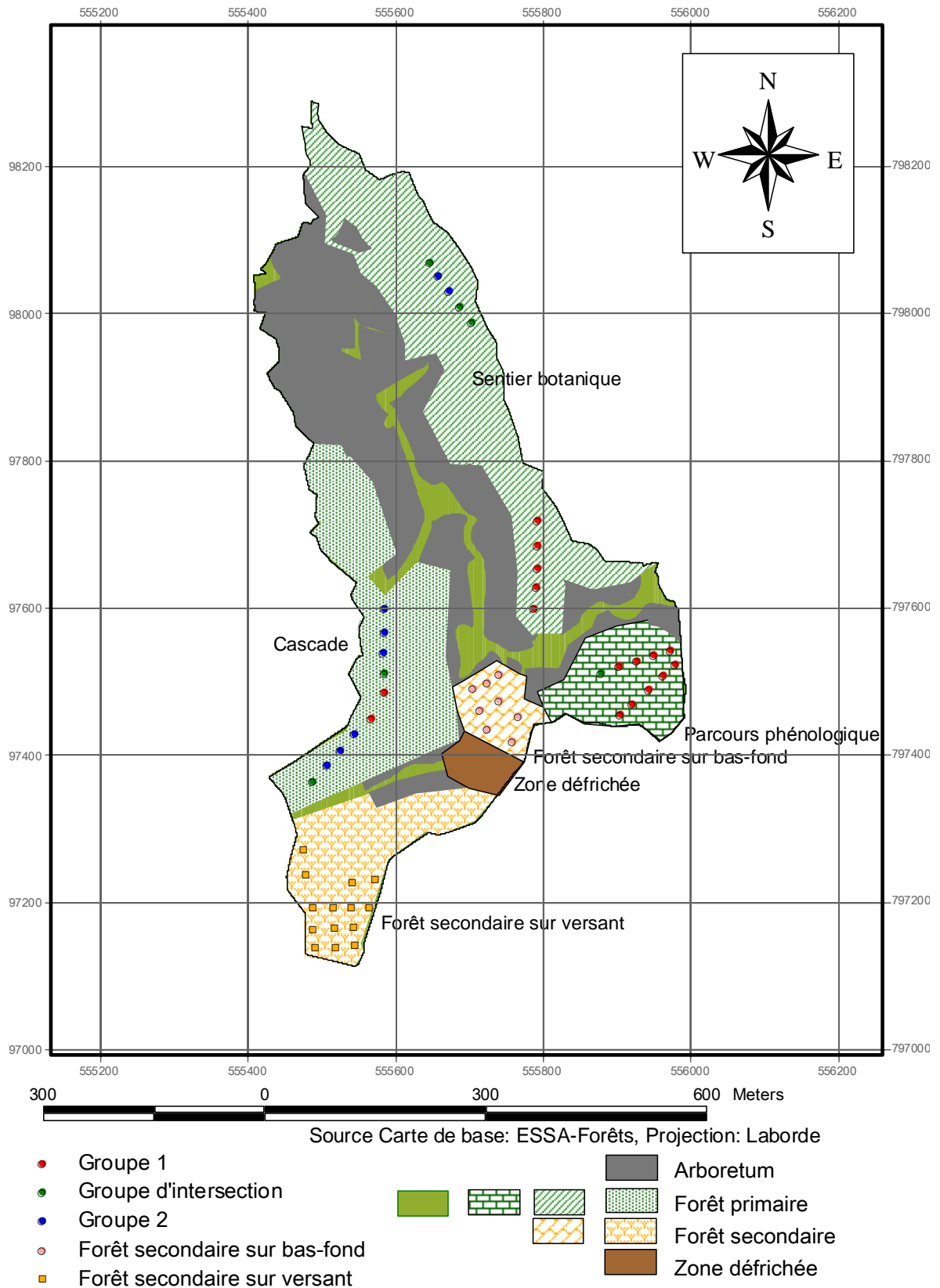


Figure 8: Distribution des groupes phytosociologiques selon l'orientation et la pente du terrain

La distribution de la végétation est tributaire de la topographie du terrain surtout de l'orientation de la pente (Figure 8, comparable au cadran d'une boussole). Par ANOVA, la contribution de l'orientation de la pente avec la distribution de la végétation existe ($p\text{-value}=0,083$). Cela permet d'illustrer le niveau de confinement du Groupe 2 (Groupe à *Dombeya lucida*) dans les pentes orientées dans l'arc Ouest – Sud – Est. D'autre part, la distribution spatiale (Carte 2) montre une forte concentration des parcelles du Groupe 1 dans la partie Sud du sentier botanique et dans le reliquat du parcours phénologique. Le Test de χ^2 montre une dépendance forte entre les groupes phytosociologiques et les groupes placettes étudiés ($p\text{-value}=0,008$). Pourtant, la continuité de la végétation entre les deux transects sur le sentier botanique et la distinction des groupes phytosociologiques de ces dernières permettent de réfuter l'effet de la fragmentation comme facteur de distribution de la végétation.



Carte 2: Distribution des groupes phytosociologiques

3.1.2 Structure spatiale

La structure spatiale est définie par l'organisation horizontale, verticale et la structure totale de l'écosystème et des individus qui le compose.

- Structure horizontale

Tableau 6: Structure horizontale des reliquats de forêts primaires

Parcelles	Abondance (N/ha)	G (m ² /ha)	DBA(tC/ha)	V > DME (m ³ /ha)	V fût DHP > 5 cm_ (m ³ /ha)
Casc.	1 550 ±397	25,53 ±8,31	47 ±19	20,82 ±13,93	81,32 ±29,45
Sentier B.	2 153 ±385	31,95 ±4,66	50 ± 8	13,87 ±8,8	87,68 ±14,73
Parc. phéno	1 705 ±472	25,57 ±4,6	55 ±13	8,47 ±5,47	70,49 ±16,02
p-value	0,063*	0,099*	0,431 NS	0,383 NS	0,26 NS

G : Surface terrière, DBA : Densité de biomasse aérienne (T/ha), V : Volume du fût, *: Différence significative, NS: non-significative

Des différences significatives sont observées entre les reliquats pour les deux premiers paramètres. Le sentier botanique a les valeurs les plus élevés de l'abondance, de la surface terrière et du volume d'arbres de plus de 5 cm de DHP. Ceci pourrait s'expliquer par le nombre plus important d'arbres de petites dimensions contrairement à la cascade où le volume exploitable de 20,82 m³/ha montre que les arbres sont beaucoup plus grand en hauteur et plus gros en diamètre.

Tableau 7: Structure horizontale des groupes phytosociologiques

Groupes phytosociologiques	Abondance (N/ha)	G (m ² /ha)	DBA(tC/ha)	V > DME (m ³ /ha)	V fût DHP > 5 cm_ (m ³ /ha)
Groupe 1	1 884 ±369	27,75 ±5,34	54,14 ±12,14	8,71 ±6,31	75,34 ±15,35
Groupe d'intersection	1 983 ±629	32,34 ±8,48	55,59 ±19,28	18,13 ±16,09	96,81 ±32,37
Groupe 2	1 503 ±416	24,05 ±5,85	40,08 ±11,4	22,93 ±9,32	76,09 ±20,57
p-value	0,23 NS	0,25 NS	0,15 NS	0,07*	0,55 NS

G : Surface terrière, DBA : Densité de biomasse aérienne (T/ha), V : Volume du fût, *: Différence significative, NS: non-significative

Les valeurs les plus élevées des paramètres du Tableau 7 concernent le groupe d'intersection sauf le volume de bois exploitable. Ce volume est de 22,93 m³/ha pour le Groupe 2. Les différences significatives (p-value : 0,07) à ce niveau montrent l'importance de l'association entre ce groupe et les parcelles près de la cascade.

Tableau 8: Structure horizontale de la forêt secondaire

Parcelles	Abondance (N/ha)	G (m ² /ha)	DBA(tC/ha)	V > DME (m ³ /ha)	V fût DHP > 5 cm_ (m ³ /ha)
FS-Bas-fonds	1 178 ±374	19,62 ±6,97	23,8 ± 8,93	14,52 ±9,66	52,55 ±17,3
FS-versant	1 582 ±355	17,02 ±4,96	27,51 ± 8,72	6,13 ±5,96	50,53 ±19,66
p-value	0,094*	0,57 NS	0,57 NS	0,149 NS	0,97 NS

G : Surface terrière, DBA : Densité de biomasse aérienne (T/ha), V : Volume du fût, *: Différence significative, NS: non-significative

Il n'y a de différences significatives de la structure de la forêt secondaire que par l'abondance qui est plus élevée sur les versants (1 582 arbres/ha). La biomasse aérienne y est aussi plus importante (55,02 t/ha). Malgré sa jeunesse, la forêt des versants arrivent relativement à atteindre les performances structurales de celles sur bas-fond, probablement à cause des lianes qui y limitent le développement des arbres.

Tableau 9: Comparaison de la structure horizontale entre forêts primaires et secondaires

Strates	Abondance (N/ha)	G (m ² /ha)	DBA(tC/ha)	V > DME (m ³ /ha)	V fût DHP > 5 cm_ (m ³ /ha)
Forêts primaires	1 803 ±233	27,68 ±3,28	50,68 ±7,26	14,39 ±10,35	79,83 ±21,04
Forêts secondaires	1 435 ±259	17,97 ±3,73	26,16 ±5,98	9,18 ±7,86	51,27 ±18,42
p-value	0,61 NS	0,000*	<0,0001*	0,16 NS	0,0012*

G : Surface terrière, DBA : Densité de biomasse aérienne (T/ha), V : Volume du fût, *: Différence significative, NS: non-significative

Enfin, entre les forêts primaire et secondaire, la structure est très différente. Même si ces dernières essaient de se reconstituer, les arbres sont encore trop petits donnant, une surface terrière et un volume de bois exploitable ainsi que une quantité de biomasse faibles (G.p-value et DBA.p-value < 0,05) (Tableau 9).

Tableau 10: Croissance annuelle de la surface terrière, de la biomasse aérienne, du volume

Parcelles	Abondance (N/ha/an)	G (m ² /ha/an)	DBA (tC/ha/an)	V >DME (m ³ /ha/an)
Cascade	- 42	0,49	2,24	0,09
Sentier botanique	- 114	0,83	1,695	1,98
Parcours phénologique	-105	0,34	1,43	0,94
Forêts primaires	-168	0,65	1,965	1,17

G : Surface terrière, DBA : Densité de biomasse aérienne (T/ha), V : Volume du fût

De nettes diminutions de l'abondance sont observées. Cela pourrait être l'effet des perturbations naturelles et de quelques exploitations illicites. Durant ces 7 dernières années, le sentier botanique a le plus évolué. En perdant 114 arbres par an, la surface terrière et le volume de bois augmente chaque année au moins deux fois plus vite que les autres reliquats. Par contre, près des cascades, le volume de bois exploitable évolue très peu (0,09 m³/ha/an). Les arbres y sont grands et la forêt y aurait peut-être atteint un état de stabilité relative. Ceci montre alors l'importance de quelques pressions naturelles sur la structure de la forêt.

- Index PHF

64 % des arbres inventoriés jouissent d'une bonne position sociale et bénéficient bien de la lumière solaire mais les compétitions pour l'espace font que seulement 30 % des espèces ont un houppier symétrique (H = 10 à 20). Etant encore vivant, moins de 1 % ont perdu complètement leurs feuilles quand 7 % subissent une forte défoliation. Malgré la pente, beaucoup (64 %) sont relativement rectilignes (F = 1 à 2) surtout *Ilex mitis* et *Ochrocarpus parvifolius* (Annexe 11).

En forêts secondaires, *Ochrocarpus parvifolius* et *Ravensara crassifolia* sont en majorité bien placés par rapport à la lumière sur les versants. Leurs houppiers sont bien symétriques et les fûts sont droites et avec peu de branches. Sur bas-fond, les *Trema orientalis*, sont tous bien illuminés, à houppiers bien formés et des tiges droites. Ceci n'altère en rien la qualité des autres essences comme quoi, *Dombeya lucida* et *Albizzia gummifera* ont plus de 80 % d'entre elles dans les PHF respectivement inférieurs ou égales à 222.

- Hauteur

Tableau 11: Hauteur dominante des différentes parcelles et des groupes phytosociologiques

Forêts primaires	Hauteur dominante (m)	Groupes phytosociologiques	Hauteur dominante (m)	Forêts secondaires	Hauteur dominante (m)
Parcours phénologique	10,99	G1	10,13	Bas-fonds	8,60
Cascade	11,08	G-inter	10,10	Versant	8,62
Sentier botanique	8,79	G2	10,31		
Primaire	10,17			Secondaire	8,55

En forêt primaire, la hauteur dominante n'excède pas le seuil des 12 m. En forêt secondaire, cette hauteur tourne autour de 8,50 m. Près de la Cascade, elle est la plus élevée (11,08 m). Elle est très associée au Groupe 2 qui enregistre aussi la plus grande valeur. Les arbres y sont plus grands. Par contre en sentier botanique, les nombreux arbres de petites dimensions font que la hauteur dominante n'est que 8,79 m.

- Structure totale

En forêt primaire, le diamètre maximal est de 72 cm contre 57 cm en forêt secondaire. La distribution des arbres selon la classe de diamètre suit une courbe exponentielle négative (Figure 9).

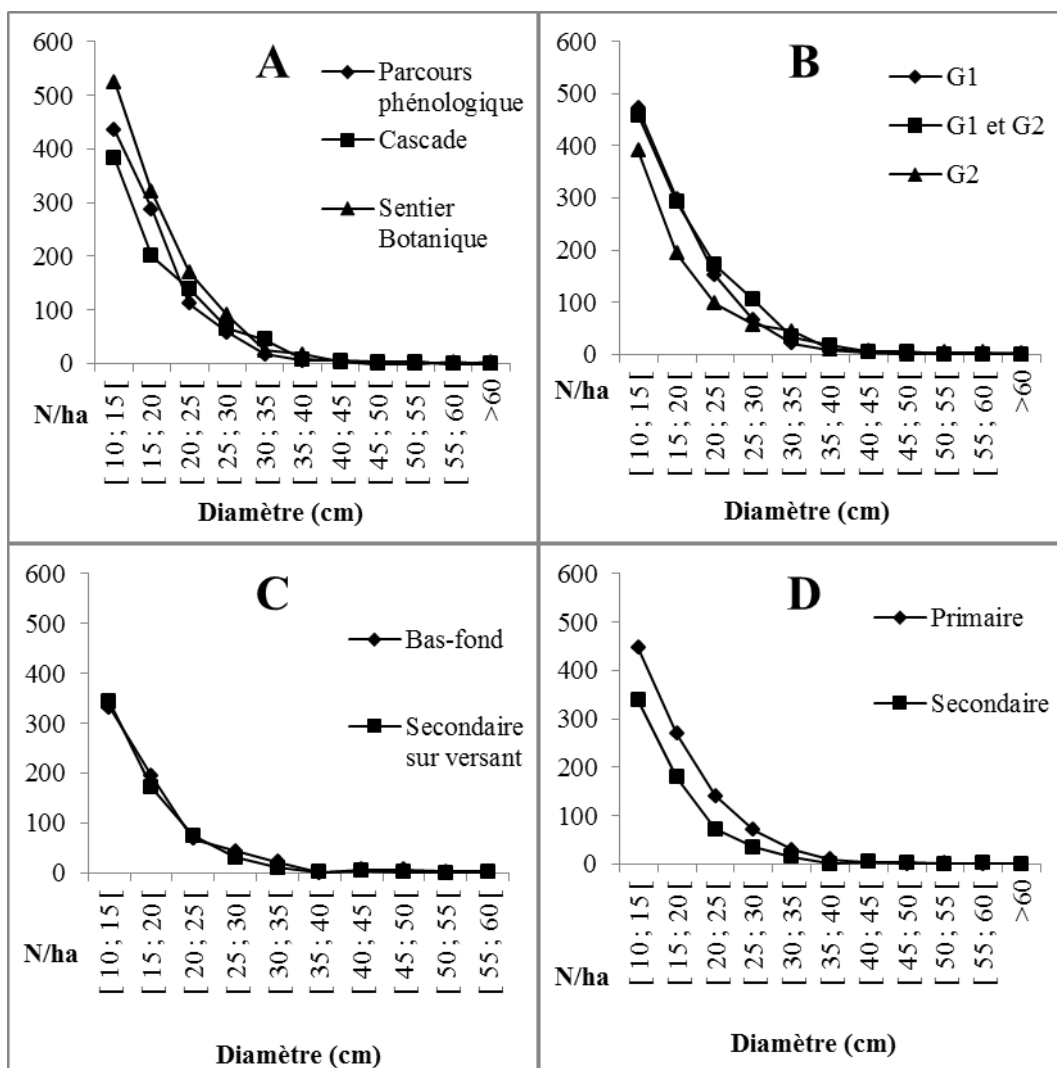


Figure 9: Structures totales de la forêt naturelle de la Mandraka

- Figure 9 – A : La structure totale révèle une diminution soudaine du nombre d'arbres entre 15 cm et 20 cm de diamètre puis entre 25 cm et 30 cm de diamètre près de la cascade. C'est aussi le cas pour le parcours phénologique entre 20 cm et 25 cm de diamètre. Se basant sur ces paramètres, le sentier botanique est la partie la moins perturbée de la forêt naturelle de la station.
- Figure 9 – B : Pour les groupes phytosociologiques, le Groupe 1 présente un nombre important d'arbres de petit diamètre mais qui pique aussitôt à partir de 30 cm de diamètre. Le Groupe 2 par contre, commence par moins d'arbres mais arrive à avoir l'allure exponentielle négative jusqu'à 60 cm de diamètre.
- Figure 9 - C : Entre forêt secondaire, il n'y a pas beaucoup de différence sauf que certaines imperfections de l'allure s'observent sur bas-fond, il y a certaines lacunes entre 20 cm et 25 cm puis 35 cm et 40 cm.
- Figure 9 - D : la forêt secondaire et la forêt primaire sont plus ou moins fidèles à l'allure théorique (Rajoelison, 1997) montrant un faible niveau de pression.

3.1.2.1 Profil structural

Sur les versants, la diversité est grande. Aucune espèce ne domine le couvert contrairement sur les crêtes où la majorité des arbres sont constitués de *Syzigium sp.* Les lianes et les fougères arborescentes sont très abondantes, montrant leurs affinités à l'humidité que procure le milieu. La densité totale de végétation augmente au fur et à mesure de l'ascension vers les crêtes (Figure 10).

Pour la forêt secondaire, les différences entre celles des vallées et des versants sont évidentes. D'abord, il y a moins d'arbres dans les vallées. Les densités relatives des espèces sont plus ou moins constantes. Les arbres sont plus grands mais la majorité d'entre elles sont porteuses de lianes. Les palmiers sont nombreuses et de forte hauteur. Par contre sur les versants, l'effet du passage de feu a permis à une régénération dominée par *Weinmannia rutenbergii* qui forme une couverture très dense. La partie amont se trouve en fait au creux d'une vallée c'est ce qui fait que les palmiers y soient plus abondantes. Elles ont été protégées par le feu mais présente des trouées due à des exploitations illicites de bois (Figure 11).

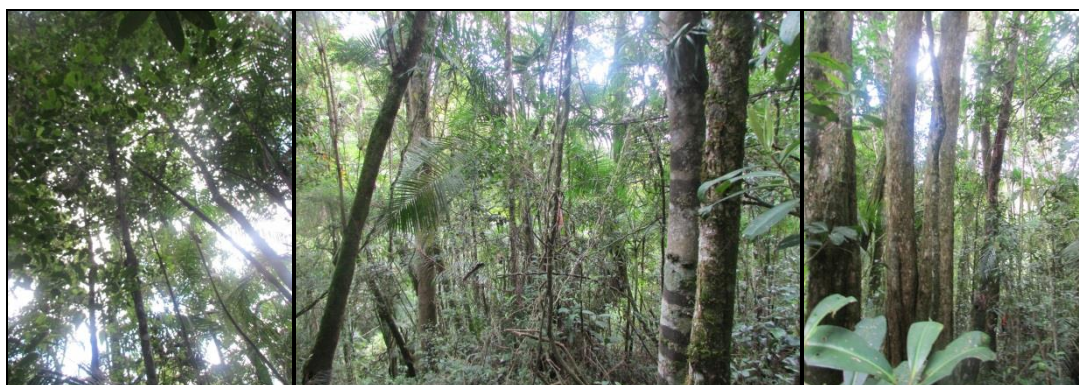
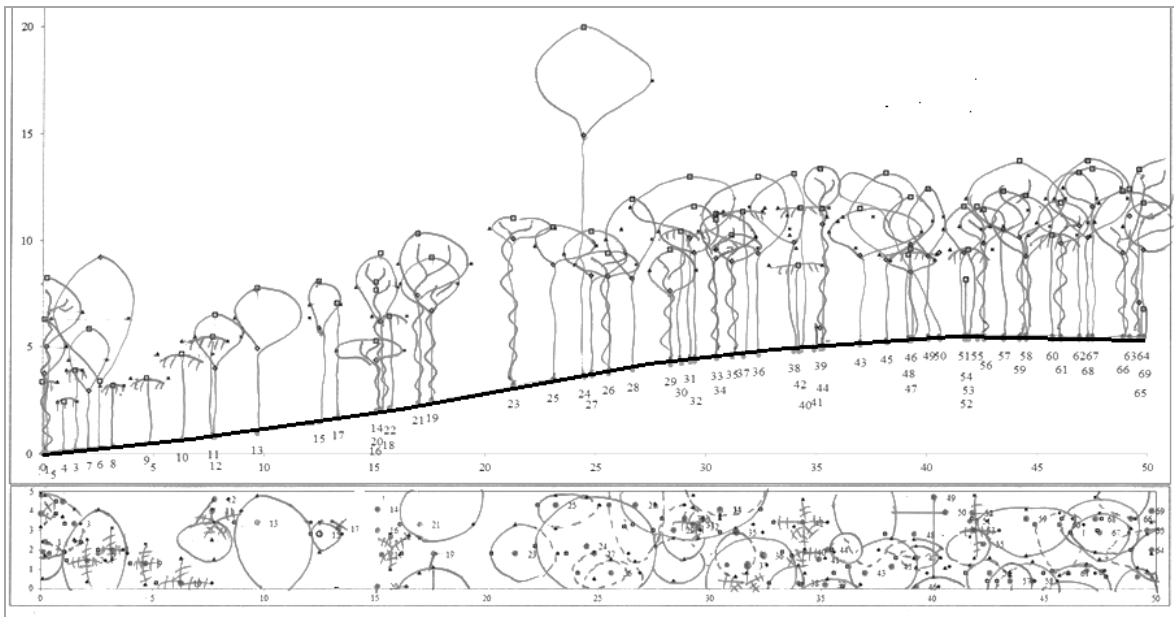
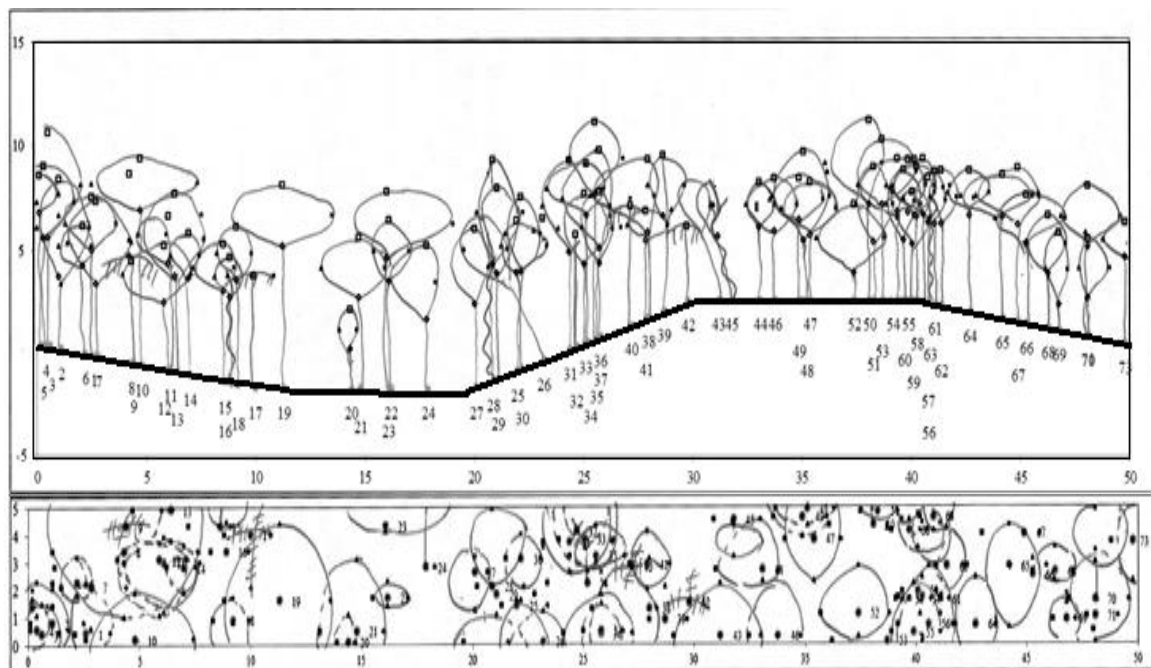


Photo 4: Aspect de la végétation dans la station

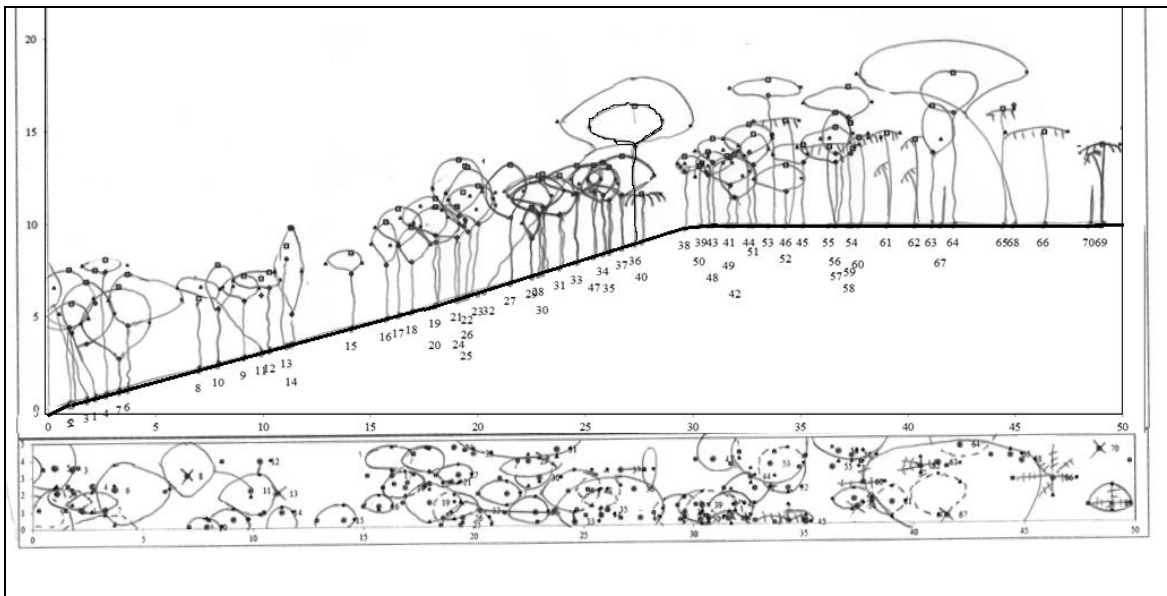


Albizia gummifera (47), *Anthocleista madagascariensis* (51), *Brexiella* sp. (39), *Calophyllum chapelieri* (25), *Canarium* sp. (14, 64, 68), *Cyathea* sp. (3, 4, 5, 8, 9, 10), *Dombeya lucida* (2, 26), *Dypsis* sp. (11, 22, 30, 37, 40, 42, 48, 53, 60), *Fantsikahitra* (43), *Gambeya boiviniana* (13, 15, 23), *Homalium* sp2 (28), *Ilex mitis* (20, 21), *Macaranga cuspidata* (18, 19, 38), *Mapouria* sp. (12), *Mort* (41, 52, 54, 55), *Nuxia capitata* (36), *Ochrocarpus parvifolius* (33), *Ravensara crassifolia* (17, 24, 31, 57, 66, 67), *Schefflera* sp2 (7), *Schefflera vantsilana* (49, 65), *Streblus dimepate* (1), *Syzigium* sp. (6, 27, 69), *Tambourissa madagascariensis* (16), *Uapaca densifolia* (32, 34, 35, 44, 45, 50, 56), *Vernonia* sp. (46, 59), *Weinmannia minutiflora* (29, 58, 61, 62, 63)

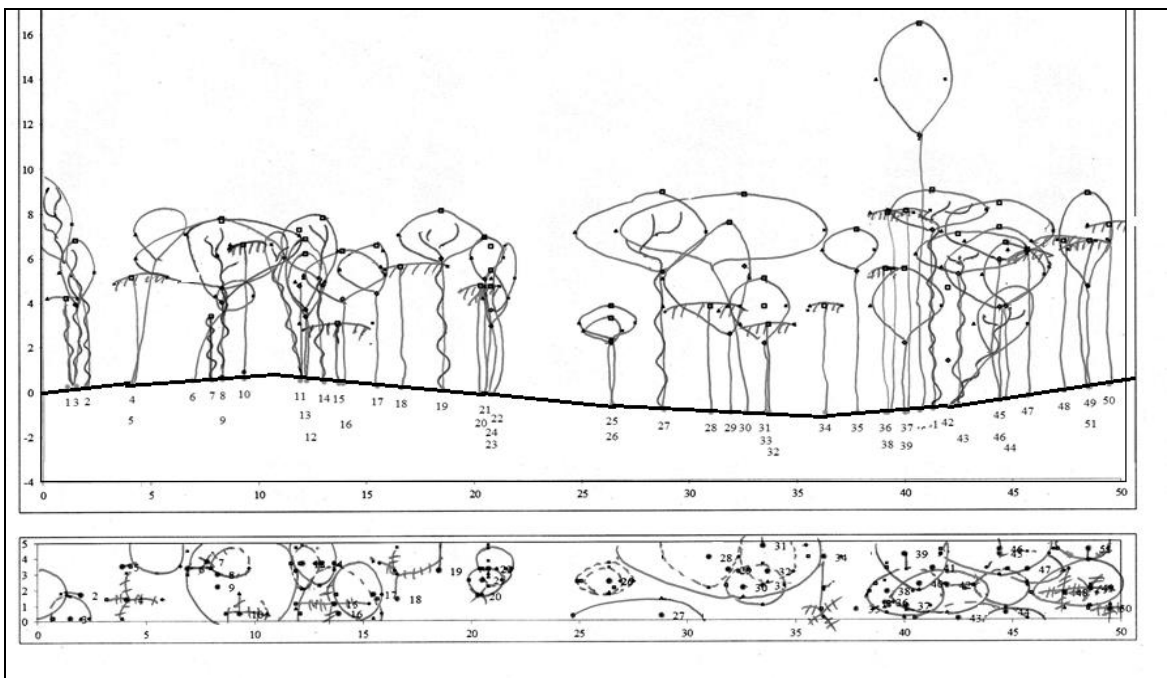


Aphloia theaformis (6), *Calophyllum chapelieri* (5), *Canarium* sp. (7), *Cyathea* sp. (17), *Dombeya lucida* (22), *Elaeocarpus serisseus* (47), *Mapouria* sp. (50, 68), *Mort* (32, 40, 42), *Neotina isoneura* (26, 33), *Ochrocarpus parvifolius* (34, 38, 51, 70), *Protorhus ditimena* (2, 71), *Ravensara acuminata* (16), *Ravensara aromatica* (67), *Ravensara crassifolia* (15), *Schefflera* sp2 (60), *Schefflera vantsilana* (24), *Syzigium* sp. (1, 3, 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 66, 69, 72), *Uapaca densifolia* (61, 62, 73), *Weinmannia minutiflora* (9)

Figure 10: Profil structural des versants (en haut) et des crêtes (en bas) en forêt primaire



Agauria sp. (3, 21, 54, 55), *Anthocleista madagascariensis* (8, 32), *Aphloia theaformis* (38), *Brexiella* sp. (48), *Canarium* sp. (6, 7), *Cassinopsis madagascariensis* (11), *Dypsis* sp. (39, 40, 49, 50, 52, 60, 61, 62, 65, 66, 69), *Ficus mormorata* (57), *Harungana madagascariensis* (12, 13, 19, 23, 31, 42), *Homalium* sp2 (51), *Maesa* sp. (46), *Ochrocarpus parvifolius* (9, 34), *Oncostemum grandifolium* (59), *Protorhus ditimena* (53, 68), *Psiadia altissima* (14, 47), *Ravensara crassifolia* (4, 58), *Schefflera vantsilana* (25, 26, 64), *Syzigium* sp. (1), *Vernonia pectoralis* (29, 33, 35), *Vernonia* sp. (16, 63), *Weinmannia minutiflora* (2, 5, 10, 15, 17, 18, 20, 22, 24, 27, 28, 30, 36, 37, 41, 43, 44, 45, 56, 67, 70)



Albizia gummifera (2, 11, 16), *Breonia louvelii* (21, 22, 23, 24), *Cyathea* sp. (15, 28, 32, 33, 36, 37, 38), *Dombeya lucida* (45, 46), *Dombeya* sp. (27), *Dypsis* sp. (1, 4, 10, 18, 34, 47, 48, 49, 50), *Ficus soroceoides* (5, 29), *Harungana madagascariensis* (19), *Oncostemum verticillatum* (12, 13, 25, 26, 39), *Macaranga cuspidata* (51), *Mapouria* sp. (6, 7, 20, 42), *Ocotea trichophlebia* (8, 17), *Ravensara crassifolia* (9, 43), *Schefflera* sp2 (35, 41, 44), *Tambourissa madagascariensis* (3, 14, 31), *Trema orientalis* (30), *Weinmannia minutiflora* (40)

Figure 11: Profil structural sur versant (à haut) et dans les vallées (en bas) en forêt secondaire

3.1.3 Dynamique

L'évaluation de la quantité et de la qualité de la régénération étudie l'avenir du peuplement essentiellement par sa densité et sa diversité. Il y a au moins plus de 8 fois de régénération que de semenciers dans la forêt naturelle de la Mandraka (Annexe 15). Entre les reliquats de forêt primaire, le sentier botanique et la cascade ont les indices de diversité et d'équitabilité les plus élevés. Le taux de régénération est très élevé dans la forêt secondaire sur versant (2 880 %) mais elle est dominée par *Weinmannia rutenbergii* (42 %) (Tableau 12 – Suite). Entre les groupes phytosociologiques, le Groupe 1 a le plus grand nombre d'espèces et le taux de régénération est élevé. Il est probable qu'un certain niveau d'ensoleillement l'ait favorisé et a permis la prolifération d'une essence héliophile, *Trema orientalis* avec une abondance relative de 26 %. D'autre part, le groupe d'intersection a le coefficient de mélange et les indices de diversité les plus élevés à cause du taux de régénération moins grand.

Tableau 12: Diversité de la régénération par reliquats et par type de forêts

Parcelles	Nombre d'espèces	Taux de régénération	Coefficient de mélange	Indice de diversité de Simpson	Indice d'équitabilité de Simpson
Parcours phénologique	21	1297%	1/3	0,89	0,93
Cascade	26	1487%	1/3	0,93	0,96
Sentier botanique	27	1152%	1/3	0,93	0,96
Bas-fonds	18	1180%	1/2	0,92	0,97
Versant	29	2880%	1/5	0,78	0,8
Forêts primaires	42	1295%	1/6	0,94	0,96
Forêts secondaires	40	2239%	1/5	0,86	0,88
Groupe 1	30	1389%	1/4	0,91	0,94
Groupe d'intersection	19	862%	1/2	0,93	0,98
Groupe 2	22	1494%	1/3	0,88	0,93

Tableau 12 – Suite : Diversité de la régénération par reliquats et par type de forêts

Forêt	Essences de la régénération
Parcours phénologique	<i>Ochrocarpus parvifolius</i> (20 %) et <i>Syzigium sp.</i> (17 %)
Cascade	<i>Oncostemum verticillatum</i> (12,7%), <i>Urophylla lialii</i> (12 %), <i>Aphloia theaformis</i> (10 %) et <i>Protorhus ditimena</i> (10 %)
Sentier botanique	<i>Oncostemum verticillatum</i> (12,7 %), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (11,6 %) et <i>Syzigium sp.</i> (10,5 %)
G1	<i>Trema orientalis</i> (26 %) et <i>Ocotea sp.</i> (26 %).
G-inter	<i>Vaccinium sp.</i> (8,5 %), <i>Ocotea sp.</i> (6,8 %) et <i>Mapouria sp.</i> (6,8 %)
G2	<i>Phyllarthron</i> , (18,7 %) <i>Vernonia pectoralis</i> (12 %), <i>Aphloia theaformis</i> (10,6 %) et <i>Ravensara acuminata</i> (6 %)
Bas-fonds	<i>Aphloia theaformis</i> (6,5 %) et <i>Mapouria sp.</i> (5,4 %)
Versant	<i>Weinmannia rutenbergii</i> (43 %)

En se basant sur l'échelle de Rothe (1964), 13 espèces ont du mal à se régénérer comme *Calophyllum chapelieri*, et *Potameia antevatrata*. La liste des essences par classe par capacité de régénération se retrouve en Annexe 16.

En somme, cette partie a montré que la forêt naturelle de la Mandraka est très diversifiée tant en écosystèmes qu'en espèces. Plusieurs types d'écosystèmes s'y rencontrent avec des végétations à différents stades d'évolution. Selon la pente, deux groupes de végétations sont représentés sur les versants. Entre chaque groupe, il y a une tendance de distinction morphologique surtout sur les caractéristiques des feuilles. Côté performance, le Groupe 2 (Groupe à *Dombeya lucida*) regroupe beaucoup plus de gros d'arbres alors que l'autre abrite plus d'arbres de petite et moyenne dimension. Sur une échelle temporelle, il peut sembler que la forêt n'évolue pas (statique) et pourtant la situation évaluée il y a 7 ans de cela n'est statistiquement plus celle qui s'observe aujourd'hui. Donc, la forêt évolue, elle est homéostatique. La partie suivante évalue les menaces qui pèsent sur les écosystèmes et leurs conséquences.

3.2 Etat des pressions

Etant donné que la station est très proche des zones de fortes activités anthropiques (habitation, routes, zones de cultures,...), divers types de pressions en sont très liés, modifiant les conditions de prospérité de l'écosystème et limitant ses capacités à satisfaire ses fonctions. Les pressions peuvent être classées en deux catégories :

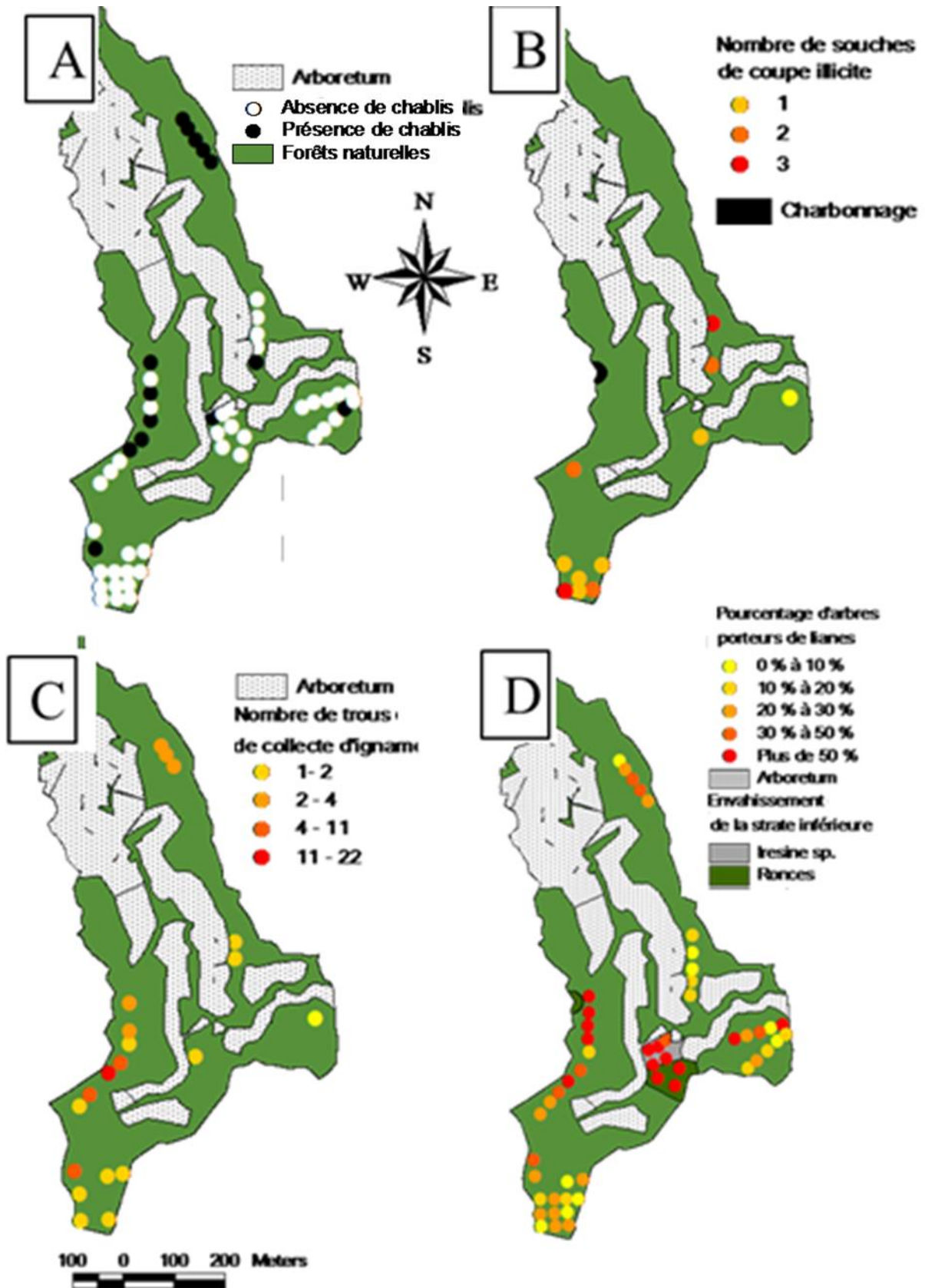
- Celles qui sont liées directement aux activités de l'Homme, à savoir : les exploitations illicites de bois, la collecte d'ignames sauvages, les feux, la collecte de miel sauvage,

- Les perturbations naturelles : l'envahissement des lianes, la pourriture du cœur des arbres, la perforation des feuilles par les insectes. A certains seuils, elles ne sont pas nocives, par contre bénéfiques. Elles devraient quand même être évaluées de temps en temps. Quoique portant l'appellation naturelles, elles ne sont pas indépendantes des activités humaines qui créent des conditions de faiblesses à l'écosystème qui devient ainsi vulnérable (Lund, 2009).

La situation, 7 ans de cela a déjà été évaluée pour la majorité d'entre eux. Ceci permet d'en avoir l'aperçu de l'évolution.



Photo 5: Exploitation illicite, souches très récentes et feuilles consommées par les insectes



A : Chablis, B : Coupes illicites, C : Collecte d'ignames, D : Lianes
 Carte 3: Cartes des pressions et menaces s'exerçant sur la forêt naturelle de la station

Tableau 13: Pressions sur l'écosystème, leurs intensités, leurs localisations et leurs conséquences

Pressions	Intensité	Localisation et affinités spécifiques	Conséquences
Chablis et dégâts dû à la chute d'arbres (Carte 3-B)	Affecte 13 placettes sur les 52 inventoriées	- Sentier botanique : Arbres brisés à mi-hauteur - En bordure de la parcelle près de la cascade : dû à la chute d'arbres de parcelles en amont	- Etouffe la régénération - Charges et/ou blessures sur les grands arbres Asymétrie des houppiers de certains arbres
Exploitations illicites (Carte 3 - B)	17 souches inventoriées contre 61 en 2008 une meule de charbon très récente	- Forte concentration en forêt secondaire sur versant à cause de l'éloignement des sentiers écotouristiques et la proximité de sentier de desserte vers Ambatolaona - Arbres allant de 15 à 25 cm de diamètre (Figure 9) - Affecte <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Protorhus ditimena</i>	- Ouverture de la canopée et développement de lianes et de ronces - Sous-exploitation de la ressource : coupe à hauteur de 50 cm voire plus, une grande partie de l'arbre laissée sur le parterre - Dégâts sur le peuplement restant : Abattage de l'arbre support en cas d'encrouages - Atteinte sur l'esthétique du paysage
Collecte d'ignames sauvages (Carte 3 -C)	80 trous inventoriés contre 43 en 2008	- En bordure des parcelles près de la cascade par les exploitants forestiers des parcelles privées en amont - En forêt secondaire sur versant à cause de la proximité de la route vers Ambatolaona et de l'éloignement du village où habitent les membres de l'association protectrice de la forêt	- Taxisement de la ressource - Dégradations de l'esthétique de la forêt
Collecte de miel sauvage	1 essaim sur 5 inventoriés	Dans la forêt secondaire à l'extrême Sud de la station	- Abattage de l'arbre support de l'essaim pour la collecte du miel qui se trouve en haut de celui-ci
Feu	Aucun feu enregistré entre 2008 et 2014, résultat de l'implication des locaux dans la gestion de la station	Les parties fraîchement brûlées sont sensibles à de nouveaux feux à cause de l'abondance d'espèce pyrophyte : <i>Erica sp.</i> Le charbonnage est une pratique courante et les risques de feux accidentels ne sont pas minimes.	
Lianes (Carte 3 -D)	Affecte 725 arbres sur les 2 392 inventoriés soit 30 %, causées par l'ouverture trop importante de la canopée	Près de la cascade et en forêt secondaire sur bas-fond Envahissement de ronces ou d' <i>Iresine sp.</i> dans les vallées	- Etouffement de la régénération - Déformation des fûts - Asymétrie voire résorption du houppier par ensevelissement
Pourriture du cœur de l'arbre et défauts du bois	8,73 % des arbres présentent la pourriture du cœur, par blessure de l'arbre puis la formation de gouttière ou par la colonisation des fourmis et 15 arbres présentent des loupes	<i>Elaeocarpus</i> , <i>Agauria</i> , <i>Anthocleista madagascariensis</i> (Annexe 18)	- Atteinte à la productivité et à la qualité du bois
Consommations de feuilles par les insectes	13 % des arbres	<i>Syzigium sp.</i> , <i>Dombeya lucida</i> (80 % des arbres sont atteints) (Annexe 19)	- Réduction de la surface foliaire donc de la capacité de production

Ainsi, l'Homme n'est jamais exclu des facteurs de déséquilibre de l'écosystème. Directement, les coupes illicites sont moins fréquentes que les dernières évaluations mais les collectes d'ignames sauvages se sont accrues. Quoiqu'il en soit, le niveau de dégradation des écosystèmes de la station est faible selon l'échelle de Lund (2009). En combinant alors les informations d'analyses de la structure et des pressions sur la forêt, la partie suivant étudiée en plus, les essences qui pourraient être intéressantes pour l'amélioration et la restauration des écosystèmes de la station et ses environs.

3.3 Essences principales

La station est riche en ligneux. Cette partie cherche à catégoriser ces derniers et à déterminer leurs importances, tout d'abord, en étudiant la position sociale, la valeur commerciale et la vulnérabilité de chaque espèce. Les tempéraments sont présentés en Annexe 35.

3.3.1 Edifices

Chaque type d'écosystème a une composition floristique particulière de l'étage dominant comme décrit dans le Tableau 14. Que ce soit en forêts secondaires ou en forêt primaire, l'étage dominant est toujours dominé par les héliophiles (*Trema orientalis*, *Weinmannia rutenbergii*). Seules quelques édicatrices ont été recensées. Ainsi, les perturbations ont quand même des impacts sur la structure de la forêt. Les listes complètes sont en Annexe 14.

Tableau 14: Essences de l'étage dominant

Parcelles	Essences de l'étage dominant et tempérament entre parenthèses (Annexe 13)
Secondaire bas-fonds	<i>Ficus tiliifolia</i> (2), <i>Trema orientalis</i> (3), <i>Dombeya sp.</i> (3), <i>Tambourissa trichophylla</i> (4).
Secondaire-Versant	<i>Agauria sp.</i> (2), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Canarium sp.</i> (3), <i>Weinmannia rutenbergii</i> (3)
Groupe 1	<i>Uapaca densifolia</i> (4), <i>Calophyllum chapelieri</i> (4), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Weinmannia rutenbergii</i> (3), <i>Neotina isoneura</i> (3)
Groupe 2	<i>Potameia obovata</i> (4), <i>Harungana madagascariensis</i> (3), <i>Erythroxylum corimbozum</i> (4), <i>Nuxia capitata</i> (3),
Groupe 1 et 3	<i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Neotina isoneura</i> (3), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3),

Tempérament des essences : 1 : héliophile, 2 : pionnier, 3, nomade, 4 : édicatrices, 5 : sous-bois

3.3.2 Essences commerciales et essences de valeur

22 espèces sont présentes sur le marché, neuf (9) sont considérées par Rajonshon (2014) comme essences de valeur et représentent 15 % des arbres inventoriés. Ce sont *Uapaca densifolia* (173 |7,26 %), *Tambourissa trichophylla* (68 |2,85 %¹), *Dilobeia thouarsii* (41 |1,72 %), *Ocotea trichophlebia* (26 |1,09 %). *Calophyllum chapelieri* (14 |0,59 %), *Ocotea spp.* (12 |0,5 %), *Faucherea sp.* (7 |0,29 %), *Breonia louvelii* (7 |0,29 %), *Phyllarthron sp.* (5 |0,21 %), *Ocotea sp.* (2 |0,08 %), *Potameia obovata* (1 |0,04 %) avec leurs abondances. Les autres qui sont connues sur le marché sont *Psiadia altissima* (Sp²), *Gambeya boiviniana* (Sp), *Harungana madagascariensis* (Sp), *Ilex mitis* (Sp), *Weinmannia rutenbergii* (G), *Potameia obovata* (G), *Faucherea sp.* (G), *Canarium sp.* (G), *Syzigium sp.* (G), *Ravensara spp.* (G), *Breonia louvelii* (G), *Aphloia theaformis* (Sp), *Uapaca densifolia* (G).

¹ Sous la forme (Nombre d'arbre inventoriés| Abondance relative)

² Niveau d'information sur le bois ; Sp ; Espèces, G : Genre

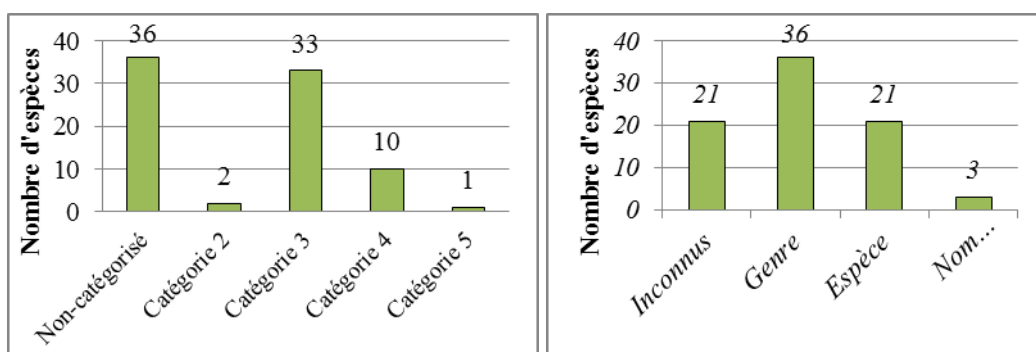


Figure 12: Essences de la Mandraka selon la catégorie et le niveau d'information

Trente-six (36) espèces restent non-catégorisées et de propriétés inconnues comme : *Nuxia capitata*, *Agauria sp.* (Étudiées dans la partie suivante), *Ochrocarpus parvifolius*. Trente-trois (33) autres sont dans les catégories des bois, selon l'arrêté du 17 novembre 1930 sur les catégories du bois de Madagascar. Ce sont des bois en général ordinaire mais peuvent être utilisés comme bois de construction. 36 autres essences n'ont de correspondances dans Rakotovao *et al.* (2012) que par le genre quand 21 ne sont connues que par leurs noms vernaculaires (Figure 12). Ainsi, les essences autochtones de la station restent encore peu connues.

3.3.3 Essences vulnérables

23 espèces ont été identifiées comme potentiellement vulnérables. Treize (13) ont des difficultés de régénérations (*Calophyllum chapelieri*, *Potameia antevaratra*) selon l'échelle de (1964). Vingt-deux (22) ont une abondance relative faible sur l'échelle de Braun-Blanquet (1969). Quatre (4) sont classées vulnérables dans la liste rouge de l'IUCN.

Tableau 15: Essences potentiellement vulnérables de la station

Espèces	Régénération	Abondance	Liste rouge IUCN
<i>Diospyros sp.</i>			Vu
<i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Dombeya sp</i>	x	x	Vu
<i>Memecylon spp.</i> ,	x	x	Vu
<i>Drypetes ambigua</i> , <i>Erythroxylum spp.</i> , <i>Ficus marmorata</i> , <i>Ficus tiliifolia</i> , <i>Myroxylum aethiopicum</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Plagioscyphus jumellei</i> , <i>Potameia antevaratra</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i>	x	x	
<i>Bivinia jalberti</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Chloroxylum faho</i> , <i>Ficus grevei</i> , <i>Ficus pachyclada</i> , <i>Helicrysum gymnocephalum</i> , <i>Homalium spp.</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Vernonia pectoralis</i>		x	

3.3.4 Classement par méthode de choix multicritère

Les scores des essences varient de 21 (*Mapouria sp.*) à 111 (*Ocotea racemosa*). *Gambeya boiviniana* et *Ravensara crassifolia* de tempérament nomade ont les meilleures positions sociales. Sur la quantité de production, *Trema orientalis* a le meilleur score. Ces arbres sont de grandes diamètre et hauteur, le fût est bien droit et les premières branches sont hautes avec 70 % en moyenne de la hauteur totale qui est constitué de fût. *Gambeya*, *Calophyllum* et *Phyllarthron* ont une faible régénération et nécessite des multiplications. Enfin, 7 de 10 premières essences de d'évaluation sont bien connues sur le marché et trois (3) sont de valeurs élevées.

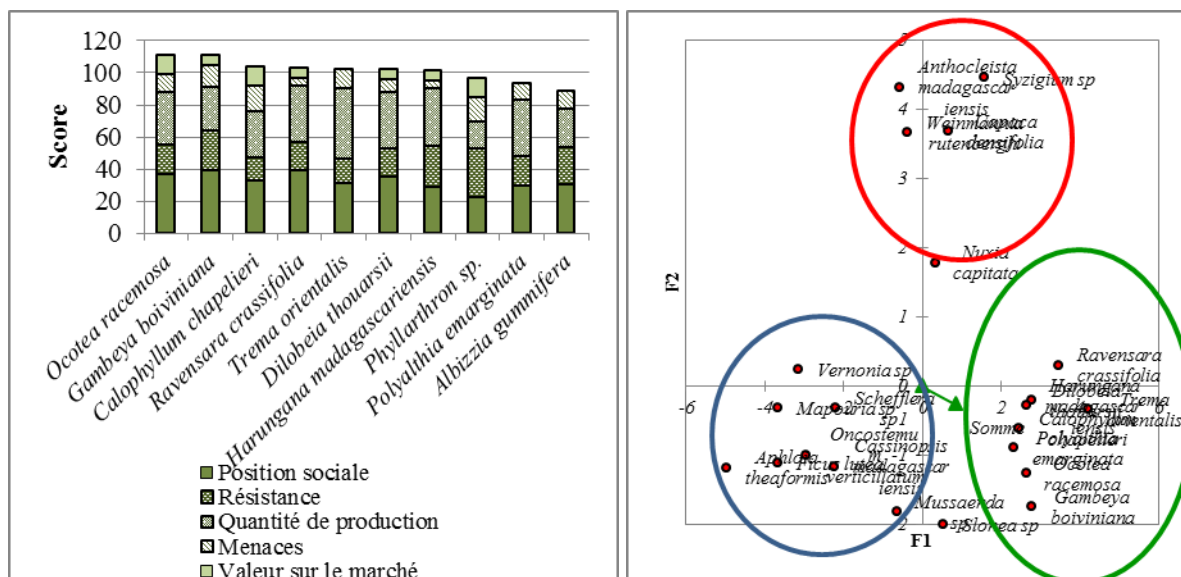


Figure 13: Essences les plus performantes par analyse de choix multivarié et ACP

En général, les essences qui ont une meilleure évaluation sont celles qui dominent la canopée, ainsi, elles ont une meilleure place pour profiter de la lumière et sont mieux aptes à séquestrer du carbone et à produire du bois (Figure 13). L’ACP avec les mêmes données démontrent une inertie totale de 12 qui révèle de forte diversité de caractéristiques des essences de la station. Avec une \cos^2 élevé (0,772), le score isole les 10 essences de l’histogramme dans valeurs supérieures de l’axe F1.

Bref, la canopée est dominée par des essences en majorité héliophiles. Les essences autochtones de la station sont peu connues par la législation et ont été très peu étudiées. Les essences de valeurs sont abondantes et pourrait satisfaire un marché si la production est soutenue.

3.4 Evaluation des propriétés des bois de la station

La partie suivante fournit des informations sur les bois de la station. Elle donne les valeurs numériques des propriétés et leurs significations. Ensuite, elle étudie les utilisations rationnelles des essences étudiées ainsi que les variations intra et inter-arbres des paramètres. Les cinq essences ciblées sont *Agauria sp.*, *Neotina isoneura*, *Nuxia capitata*, *Weinmannia rutenbergii*, qui sont héliophiles et *Tambourissa trichophylla*, une edificatrice (Tableau 16). Les propriétés du bois d’*Agauria* et *Nuxia* ne sont pas encore connues. D’autre part, *Tambourissa* et *Weinmannia* représentent la série écologique de végétation, caractéristique des forêts denses humides de montagne.

Tableau 16: Essences choisies pour l’analyse des propriétés du bois

Nom scientifique	Correspondance dans Rakotovao et al. (2012)	Individus inventoriés	Score	Tempérament	Autres observations
<i>Agauria sp.</i>	Inconnu	35	37	Pionnier	
<i>Neotina isoneura</i>	Espèce	42	74	Nomade	Cible d’exploitation illicite
<i>Nuxia capitata</i>	Inconnu	74	57	Nomade	
<i>Tambourissa trichophylla</i>	Genre	68	53	Edificatrice	Genre typique de la série
<i>Weinmannia rutenbergii</i>	Espèce	223	45	Nomade	Genre typique de la série

3.4.1 Essences ciblées

3.4.1.1 Agauria sp. Benth & Hook, 1876

- Présentation de l'espèce

<u>Règne</u>	: Plantae
<u>Classe</u>	: Equisetopsida
<u>Sous-classe</u>	: Magnolidae
<u>Super-ordre</u>	: Asteranea
<u>Ordre</u>	: Ericales
<u>Famille</u>	: Ericaceae
<u>Nom scientifique</u>	: <i>Agauria sp.</i>
<u>Nom vernaculaire</u>	: Angavodina

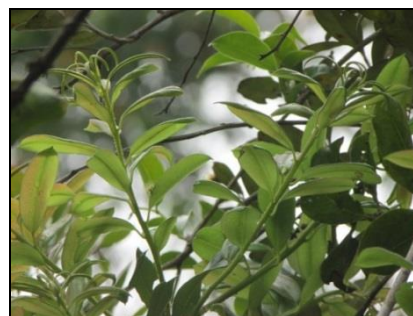


Photo 6: Feuilles d'Agauria sp.

Agauria sp. est très répandue dans la zone, sur les bords de la route et dans les *savokas*. Ses feuilles coriaces lui permettent de mieux supporter les saisons sèches et fraîches des Hautes Terres.

- Propriétés physiques et mécaniques du bois

Son bois est mi-lourd avec une densité de $0,721 \pm 0,02$. Avec un PSF élevé de $38,6 \% \pm 1,9$, les retraits vont de moyen à fort.

Tableau 17: Retrait et rétractabilité d'Agauria sp.

Retrait	Moyenne	Echelle	Nervosité	Moyenne	Echelle
Radiale %	$5,975 \pm 0,559$	Moyen	Radiale % /%	$0,155 \pm 0,014$	
Tangentielle %	$11,33 \pm 0,709$	Fort	Tangentielle % /%	$0,294 \pm 0,018$	
Longitudinale %	$0,311 \pm 0,075$		Volumique % /%	$0,437 \pm 0,022$	Moyennement nerveux
S transversale %	$16,624 \pm 0,859$				
Volumique %	$16,886 \pm 0,845$	Fort			
Anisotropie transverse	$2,296 \pm 0,606$				

L'anisotropie ($2,296$) montre un risque élevé de déformation en tuilage des pièces avivées en cas de variations de l'humidité, la rétractabilité moyenne permet d'atténuer cet effet en utilisant essentiellement le bois en intérieur et de l'usiner sec à l'air. Au poinçonnement, le bois est tendre sur l'échelle de Brinell, $2,988 \pm 0,179$ avec une estimation de $2,235 \pm 0,144$ sur l'échelle Chalais-Meudon.

Tableau 18: Propriétés mécaniques d'Agauria sp.

Propriétés mécaniques	Moyenne	Echelle
MOE (MPa)	$12\,792 \pm 905$	Moyen
MOC (MPa)	869 ± 84	
Rupture (MPa)	104 ± 7	Moyenne

En guise d'illustration, le module d'élasticité montre la nécessité d'utiliser un plus gros diamètre ($18,8$ cm supérieur à la valeur minimale, 17 cm) pour être conforme aux spécifications mécaniques des poteaux BT de classe A- 7M. Cette valeur a été donnée par la formule d'Euler.

3.4.1.2 Neotina isoneura Capuron, 1969

- Présentation de l'essence

<u>Règne</u>	: Plantae
<u>Classe</u>	: Equisetopsida
<u>Sous-classe</u>	: Magnolidae
<u>Super-ordre</u>	: Rosanae
<u>Ordre</u>	: Sapindales
<u>Famille</u>	: Sapindaceae
<u>Genre</u>	: <i>Neotina</i>
<u>Espèces</u>	: <i>isoneura</i>
<u>Nom vernaculaire</u>	: Felamborona, Ramaindafy
<u>Synonyme</u>	: <i>Tina isoneura</i> , <i>Tinopsis isoneura</i>



Photo 7: Herbar de *Neotina isoneura* collecté à Mandraka - Feuilles et fruits

- Propriétés physiques et mécaniques du bois

Le bois est lourd $0,854 \pm 0,01$ avec un point de saturation des fibres normal de $26,1 \% \pm 0,65$.

Tableau 19: Retraits et nervosité de *Neotina isoneura*

Retrait	Moyenne	Echelle	Nervosité	Moyenne	Echelle
Radiale %	$5,901 \pm 0,247$	Moyen	Radiale % /%	$0,226 \pm 0,009$	
Tangentielle %	$10,559 \pm 0,317$	Fort	Tangentielle % /%	$0,405 \pm 0,012$	
Longitudinale %	$0,458 \pm 0,075$		Volumique % /%	$0,621 \pm 0,014$	Très nerveux
S transversale %	$15,834 \pm 0,364$				
Volumique %	$16,22 \pm 0,368$	Fort			
Anisotropie transverse	$1,648 \pm 0,422$				

Malgré les retraits et la nervosité élevés (volumique : 16,22 %) qui rend délicate l'utilisation en zone à forte variation d'humidité, l'anisotropie faible à moyenne montre que seules les dimensions des avivées varient mais la forme est stable. Le bois est tendre à mi-dur, sur l'échelle Brinell, la moyenne est de $3,868 \pm 0,229$ et l'estimation de l'échelle Chalais-Meudon est de $2,796 \pm 0,126$.

Tableau 20: Propriétés mécaniques de *Neotina isoneura*

Propriétés mécaniques	Moyenne	Echelle
MOE (MPa)	$19\ 642 \pm 592$	Elevé
MOC (MPa)	$1\ 297 \pm 53$	
Rupture (MPa)	159 ± 6	Elevée

Avec les diamètres minimaux des poteaux électriques BT classe A- 7 m, ce module d'élasticité met en évidence la résistance mécanique conforme à ce type d'utilisation avec une charge maximale de 405 MPa. La charge d'essai est de 395 MPa.

3.4.1.3 *Nuxia capitata* Baker 1882

- Présentation de l'essence

<u>Règne</u>	: Plantae
<u>Classe</u>	: Equisetopsida
<u>Sous-classe</u>	: Magnolidae
<u>Super-ordre</u>	: Asteranae
<u>Ordre</u>	: Lamiales
<u>Famille</u>	: Stilbaceae
<u>Genre</u>	: <i>Nuxia</i>
<u>Espèces</u>	: <i>capitata</i>
<u>Nom vernaculaire</u>	: Valanirana



Photo 8: Herbar de *Nuxia capitata* collecté à Mandraka – Feuilles et fleurs

Son tronc a une section transversale cannelée. Elle est appréciée sur les Hautes Terres comme bois de chauffe (Andriamparanony, 2012).

- Propriétés physiques et mécaniques du bois

Le bois est lourd avec une densité de $0,885 \pm 0,017$. Avec un point de saturation des fibres normal de $25,08 \% \pm 0,62$, les retraits linéaires vont respectivement de moyen à fort pour l'axe radial et tangentiel.

Tableau 21: retrait et rétractabilité de *Nuxia capitata*

Retraits	Moyenne	Echelle	Nervosité	Moyenne	Echelle
Radiale %	$5,559 \pm 0,388$	Moyen	Radiale % /%	$0,222 \pm 0,015$	
Tangentielle %	$10,134 \pm 0,428$	Fort	Tangentielle % /%	$0,404 \pm 0,017$	
Longitudinale %	$0,307 \pm 0,111$		Volumique % /%	$0,614 \pm 0,0228$	Très nerveux
S transversale %	$15,13 \pm 0,535$				
Volumique %	$15,386 \pm 0,572$	Fort			
Anisotropie transverse	$1,964 \pm 0,14$				

Le bois est mi-dur avec une dureté de $4,541 \pm 0,253$ sur l'échelle Brinell soit par estimation $3,227 \pm 0,132$ sur l'échelle Chalais-Meudon. Le Module de Young est élevé ainsi que la contrainte de rupture en flexion.

Tableau 22: Propriétés mécaniques de *Nuxia capitata*

Propriétés mécaniques	Moyenne	Echelle
MOE (MPa)	$18\ 280 \pm 481$	Elevé
MOC (MPa)	$1\ 239 \pm 56$	
Rupture (MPa)	148 ± 3	Elevée

La charge maximale pour un poteau de diamètre 17 cm (dimension minimale, de Classe A-7m) est de 385 MPa très proche de la charge d'essai préconisée.

3.4.1.4 Tambourissa trichophylla Baker 1883

- Présentation de l'essence

<u>Règne</u>	:	Plantae
<u>Classe</u>	:	Equisetopsida
<u>Sous-classe</u>	:	Magnolidae
<u>Super-ordre</u>	:	Magnolianaes
<u>Ordre</u>	:	Laurales
<u>Famille</u>	:	Monimiaceae
<u>Genre</u>	:	<i>Tambourissa</i>
<u>Espèces</u>	:	<i>trichophylla</i>
<u>Nom vernaculaire</u>	:	Ambora



Photo 9: Herbier de *Tambourissa trichophylla* collecté à Mandraka - Feuilles et fruit

La forme typique de son fruit, semblable à un couvercle de marmite, la distingue des autres espèces. C'est aussi une des genres de la série de végétation de la région étudiée. Son bois est de réputation acquise, même dans les adages.

- Propriétés physiques et mécaniques du bois

C'est un bois très léger $0,586 \pm 0,015$ avec, un point de saturation des fibres moyen de $27,4 \% \pm 1,02$.

Tableau 23: Retrait et nervosité de *Tambourissa trichophylla*

Retrait	Moyenne	Echelle	Nervosité	Moyenne	Echelle
Radiale %	$4,12 \pm 0,315$	Moyen	Radiale % /%	$0,15 \pm 0,011$	
Tangentielle %	$8,581 \pm 0,461$	Moyen	Tangentielle % /%	$0,313 \pm 0,017$	
Longitudinale %	$0,204 \pm 0,103$		Volumique % /%	$0,457 \pm 0,019$	Moyennement nerveux
S transversale %	$12,341 \pm 0,522$				
Volumique %	$12,522 \pm 0,51$	Moyen			
Anisotropie transverse	$2,317 \pm 0,228$				

Elle offre un bois tendre de $2,37 \pm 0,089$ (HB) soit $1,687 \pm 0,093$ (Chalais-Meudon) par estimation. Son module d'élasticité est moyen. Si l'envie venait un jour d'utiliser cette essence comme poteaux électrique de classe A-7m, mieux vaut avoir un diamètre minimal de 19, 1 cm plus grand que celui préconisé par le guide d'électrification à Madagascar.

Tableau 24: Propriétés mécaniques de *Tambourissa trichophylla*

Propriétés mécaniques	Moyenne	Echelle
MOE (MPa)	$11\ 911 \pm 450$	Moyen
MOC (MPa)	611 ± 46	
Rupture (MPa)	96 ± 4	Moyenne

3.4.1.5 Weinmannia rutenbergii Engler, 1880

- Présentation de l'essence

<u>Règne</u>	: Plantae
<u>Classe</u>	: Equisetopsida
<u>Sous-classe</u>	: Magnolidae
<u>Super-ordre</u>	: Rosanae
<u>Ordre</u>	: Oxalidales
<u>Famille</u>	: Cunoniaceae
<u>Genre</u>	: <i>Weinmannia</i>
<u>Espèces</u>	: <i>rutenbergii</i>
<u>Nom vernaculaire</u>	: Lalona, lanona



Photo 10: Feuilles de *Weinmannia rutenbergii*

- Propriétés physiques et mécaniques du bois

C'est un bois mi-lourd à lourd (densité= $0,829 \pm 0,024$). Le retrait est moyen et la nervosité aussi avec un Point de Saturation des Fibres moyen de $28,59 \% \pm 1,19$.

Tableau 25: Retrait et nervosité de *Weinmannia rutenbergii*

Retrait	Moyenne	Echelle	Nervosité	Moyenne	Echelle
Radiale %	$5,626 \pm 0,463$	Moyen	Radiale % /%	$0,197 \pm 0,016$	
Tangentielle %	$9,161 \pm 0,342$	Moyen	Tangentielle %/%	$0,32 \pm 0,012$	
Longitudinale %	$0,339 \pm 0,042$		Volumique %/%	$0,509 \pm 0,017$	Moyen
S transversale %	$14,263 \pm 0,483$				
Volumique %	$14,553 \pm 0,489$	Moyen			
Anisotropie transverse	$1,585 \pm 0,34$				

Elle offre un bois tendre à mi-dur : $2,79 \pm 0,165$ (Estimation Monnin) ou $3,844 \pm 0,324$ (Dureté Brinell).

Le module de Young est élevé, $15\ 339 \pm 800$ MPa plus élevé que *W. minutiflora* mais plus faible que *W. rutenbergii* dans Rakotovao *et al.* 2012. Quoiqu'il en soit, un diamètre minimal de 17,8 cm est préférable pour une utilisation en poteaux BT classe A-7m, en tenant compte de ce module d'élasticité.

Tableau 26: Propriétés mécaniques de *Weinmannia rutenbergii*

Retrait	Moyenne	Echelle
MOE (MPa)	$15\ 339 \pm 800$	Elevé
MOC (MPa)	$1\ 204 \pm 93$	
Rupture (MPa)	124 ± 6	Moyenne

3.4.1.6 Comparaison des propriétés avec Rakotovao et al (2012)

Neotina isoneura, *Tambourissa sp.* et *Weinmannia rutenbergii* ont déjà des données de comparaisons dans Rakotovao et al. (2012).

Tableau 27: Propriétés du bois des 5 essences de la Mandraka par rapport à la bibliographie

Espèces	<i>Neotina isoneura</i>				<i>Tambourissa trichophylla</i>			
	Atlas	Cette étude	N	p-value	Atlas	Cette étude	N	p-value
Densité	0,92	0,854 ± 0,01	13,8	0,000*(-)	0,65	0,586 ± 0,015	8,64	0,000*(-)
PSF	30	26,1 % ± 0,65	11,79	0,000*(-)	30	27,4 % ± 1,02	4,98	0,000*(-)
R	6,7	5,901 ± 0,247	6,41	0,000*(-)	3,9	4,12 ± 0,315	1,39	0,152NS
T	10,5	10,559 ± 0,317	0,37	0,373NS	9,1	8,581 ± 0,461	2,25	0,032*(-)
Retrac Vol.	0,59	0,621 ± 0,014	4,41	0,000*(+)	0,47	0,457 ± 0,019	1,39	0,152NS
Dureté	10,9	2,796 ± 0,126	60,84	0,000*(-)	2,1	1,687 ± 0,093	6,08	0,000*(-)
MOE	15 255	19 642 ± 592	14,67	0,000*(+)	10 000	11 911 ± 450	8,51	0,000*(+)
Contrainte de rupture	1 880	1582 ± 46	12,91	0,000*(-)	1 100	986 ± 35	6,59	0,000*(-)

N: Comparaison de moyenne par la loi normale, R et T : retrait tangentielle et radiale

*: Différence significative, NS: non-significative

Tableau 27: Propriétés du bois des 5 essences de la Mandraka par rapport à la bibliographie (Suite)

Espèces	<i>Weinmannia rutenbergii</i>						
	Cette étude	Comparé à <i>W. rutenbergii</i>			Comparé à <i>W. minutiflora</i>		
Atlas		N	p-value	Atlas	N	p-value	
Densité	0,829 ± 0,024	0,97	11,76	0,000*(-)	0,8	2,44	0,020*(+)
PSF	28,59 % ± 1,19	24	7,55	0,000*(+)	28	0,97	0,17NS
R	5,626 ± 0,463	1,84	1,84	0,073NS	3,56	3,56	0,001*(+)
T	9,161 ± 0,342	10,12	10,12	0,000*(-)	1,39	1,39	0,152NS
Retrac Vol.	0,509 ± 0,017	0,65	16,44	0,000*(-)	16,44	6,88	0,000*(-)
Dureté	2,79 ± 0,165	7,7	23,83	0,000*(-)	5,2	8,38	0,000*(-)
MOE	15 339 ± 800	16 429	2,73	0,010*(-)	14 286	2,63	0,013*(+)
Contrainte de rupture	1 250 ± 62	2 000	25,57	0,000*(-)	1 200	0,88	0,271NS

D'abord pour *Neotina isoneura*, le bois est moins dense mais a une résistance plus grande, le retrait radial est faible, avec du côté tangentiel, équivalent à celui de Rakotovao et al. (2012) donc l'anisotropie est plus grande (Tableau 27). Pour *Tambourissa trichophylla*, avec une densité plus faible mais un module d'élasticité plus élevé, un retrait radial équivalent, mais côté tangentiel, moins élevé, le bois est moins lourd mais plus résistant, aussi beaucoup plus stable.

Weinmannia quant à elle semble se rapprocher plus de *Weinmannia minutiflora* avec une densité plus grande, un retrait radial plus élevé, mais tangentiel constant, qui atténue les déformations en tuilage des avivés. Le bois est moins nerveux et beaucoup plus résistant. Par rapport, à *W. minutiflora*, elle est équivalente à bonne performance mais par rapport *W. rutenbergii*, elle est moins préférable (Tableau 27- suite).

3.4.2 Utilisations raisonnées

3.4.2.1 Utilisation en général

La première approche qui consiste à déterminer les moyennes et les écart-types des propriétés des utilisations du bois dans Rakotovao *et al.*, (2012) ensuite les comparer avec les propriétés des bois étudiés permet de retenir les utilisations possibles dans le Tableau 28. Chaque espèce a ses performances :

- *Agauria sp.*, en tant qu'éléments non-apparents de meubles et le revêtement intérieur, démontre des performances particulières du point de vue de la densité, dureté et le module d'élasticité (Annexe 26- A). D'ailleurs, elle offre aussi l'atout d'avoir la même texture (disposition des parenchymes) que *Tambourissa* qui pourrait faire office de décors pour les meubles.
- Pour *Neotina isoneura*, sa couleur vive (jaune à rosée) et la texture qu'offre l'alternance de couches vives lui sont des atouts importants comme éléments décoratifs. Mais cette essence présente la contrainte de fendre facilement à l'abattage et au séchage.
- *Nuxia capitata* a une couleur jaune vive chaleureuse mais présente la contrainte d'avoir une tige cannelé comparable à celle de *Baudouinia sp.* plus connue sous le nom de *manjakabenitany* réduit considérablement le rendement d'utilisation. Ses propriétés physiques et mécaniques sont proches des mêmes espèces que *Neotina isoneura*,
- Pour *Tambourissa trichophylla*, la réputation de ce genre n'est plus à faire. Pour la majorité de ces utilisations, le module d'élasticité des *Tambourissa* de la Mandraka sont plus élevées (Annexe 26 - D).
- *Weinmannia rutenbergii* est un genre déjà très connue, sa couleur rouge vive lui donne beaucoup de valeur. Cela renforce son importance en tant qu'éléments apparents et décoratifs comme les ustensiles de cuisine, la menuiserie ou l'habillage. Avec *Neotina isoneura* et *Nuxia capitata*, son adéquation en tant que charpente, matériau sous-tension est intéressante. Ces espèces ont toutes le module d'élasticité beaucoup plus élevé que la moyenne pour cette utilisation qui de 13 600 MPa (10 680 en charpente légère et 15 830 MPa en charpente lourde).

Dans l'approche 2, avec une inertie totale de 8 qui est une valeur très élevée (Borcard, 1997), l'ACP donne certaines failles à cause d'un nombre essences important. Quoiqu'il en soit, *Agauria sp* avec les mêmes caractéristiques anatomiques que *Tambourissa* a aussi des propriétés qui lui sont similaires (Coefficient de corrélation de 0,89). Les 5 essences les plus proches de *Neotina isoneura* et *Nuxia capitata* sont les mêmes. D'autre part, la corrélation entre *Tambourissa* étudiée celle de Rakotovao *et al.* (2012) n'affiche que 0,79 et 0,20 pour *Weinmannia*.

Tableau 28: Utilisations raisonnées des essences étudiées et les essences de propriétés voisines

Espèces	Approche 1	Approche 2	Essences à propriétés voisines (coefficient de corrélation)
<i>Agauria sp.</i>	Ustensiles de cuisine, menuiserie ordinaire intérieur, menuiserie ordinaire extérieur, revêtement intérieur, instrument de musique, éléments non apparents de meubles, intérieur de contreplaque, semelles de chaussures orthopédiques, placage déroulé.	Ponts hors contact avec le sol ou l'eau, parquet industriel, fonds de véhicule, traverses, ouvrage génie civil, platelage, parquet courant/ ordinaire	<i>Eucalyptus acmenoïde</i> (0,97), <i>Eucalyptus X Marovitsika</i> (0,94), <i>Tambourissa spp.</i> (0,89), <i>Protium madagascariense</i> (0,89), <i>Eugenia spp.</i> (0,88), <i>Syzygium spp.</i> (0,87), <i>Uapaca spp.</i> (0,87), <i>Delonix leucantha</i> (0,83), <i>Chaetachme aristata</i> (0,82), <i>Schefflera vantsilana</i> (0,82)
<i>Neotina isoneura</i>	Revêtement intérieur, habillages, charpentes.	Menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, lambris, revêtement extérieurs, charpente lourde/ forte, meubles courants, fonds de véhicule, parquet, travaux hydrauliques, ponts en contact avec le sol et/ou l'eau, poteaux, ponts hors contact avec le sol ou l'eau, parquet industriel, bois de mine, moulures, habillages	<i>Eucalyptus eugenoïdes</i> (0,89), <i>Eucalyptus urophylla</i> (0,76), <i>Bembicia uniflora</i> (0,71), <i>Strychnos madagascariensis</i> (0,7), <i>Breonia louvelii</i> (0,66)
<i>Nuxia capitata</i>	Ustensiles de cuisine, menuiserie ordinaire extérieur, revêtement intérieur, habillages, éléments non apparents de meubles, charpentes, embarcation fluviales, intérieur de contreplaque, placage déroulée.	intérieur: aménagement intérieure, ossature, traverses, ouvrage génie civil, parquet courant/ ordinaire, carrosserie	<i>Eucalyptus eugenoïdes</i> (0,9), <i>Bembicia uniflora</i> (0,75), <i>Eucalyptus urophylla</i> (0,73), <i>Strychnos madagascariensis</i> (0,64), <i>Breonia louvelii</i> (0,63)
<i>Tambourissa trichophylla</i>	Ustensile de cuisine, menuiserie ordinaire intérieure, menuiserie ordinaire extérieur, emballage, éléments de meubles, instrument de musique, pâte à papier, maquette, éléments non apparents de meubles, menuiserie ordinaire, allumettes, âme de contreplaque, semelles de chaussures orthopédiques, placage déroulé.	Panneaux lattés, moulures, caisserie, panneaux de fibres et de particules, lambris, coffrage, construction navale, isolation phonique , isolation thermique, flotteurs, menuiserie intérieur, modélisme, meubles courants, menuiserie extérieur, charpente légère, habillages intérieur, baguette d'encadrement, ossature, revêtement extérieurs, bardeaux, marqueterie, embarcation légère	<i>Ephippiandra spp.</i> (0,8), <i>Tambourissa spp.</i> (0,79), <i>Hildergardia spp.</i> (0,77), <i>Ilex mitis</i> (0,76), <i>Beilschmiedia velutina</i> (0,74)
<i>Weinmannia rutenbergii</i>	Ustensiles de cuisine, menuiserie ordinaire intérieure, menuiserie ordinaire extérieur, revêtement intérieur, instrument de musique, habillages, éléments non apparents de meubles, allumettes, charpentes, intérieur de contreplaque, placage déroulé	Moulures, lambris, revêtement extérieurs, menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, parquet, travaux hydrauliques, poteaux, fonds de véhicule, panneaux lattés, meubles courants, caisserie, coffrage, traverses, voliges, baguette d'encadrement, ossature, bardeaux, éléments de meubles, parquet industriel, marqueterie, bois de mine	<i>Eucalyptus eugenoïdes</i> (0,81), <i>Eucalyptus X Marovitsika</i> (0,78), <i>Eucalyptus acmenoïdes</i> (0,71), <i>Ficus pachyclada</i> (0,63), <i>Tambourissa spp.</i> (0,62)

3.4.2.2 Qualités acoustiques

D'un point de vue acoustique, en se référant aux paramètres de Bermaud (2006), la matrice de proximité avec les essences de la Mandraka montre certaines affinités particulières pour :

- *Agauria sp.* : avec *Charme*(1), *Palissandre d'inde*(0,997), *Weinmannia* (0,996), *Cormier* (0,995)
- *Neotina isoneura* : *Nuxia*(0,997), *Palissandre Rio* (0,997), *Palissandre d'inde* (0,995)
- *Nuxia capitata* : *Neotina*(0,997), *Divida*(0,995), *Palissandre de Rio*(0,993), *Weinmannia* (0,992)
- *Tambourissa trichophylla* : *Agauria* (0,986), *Charme* (0,983), *Palissandre d'Inde* (0,982), *Laricio* (0,978)
- *Weinmannia rutenbergii* : avec *Cormier* (0,999), *Charme* (0,997), *Agauria* (0,996), *Palissandre d'Inde* (0,993).

Les *Tambourissa* sont parmi les bois légers à module spécifique moyen et relativement amortissant (Classe 12 dans Bermaud, 2006). Les autres se retrouvent dans un groupe qui combine à la fois, les classes 7 et 14 (Annexe 34). Ce sont des bois qui ont des amortissements intrinsèques élevés. Spécifiquement, pour les instruments à corde, surtout le violon, même si Foulhe *et al* (2012) démontre que les musiciens, ont tendance à apprécier une densité, une module d'élasticité et une impédance élevée, ainsi qu'un amortissement plus grand. Avec une densité pas trop faible, *Agauria*, *Neotina*, *Nuxia* et *Weinmannia* pourraient peut-être servir aux corps du violon.

3.4.3 Variation intra-arbre

3.4.3.1 Effets des bois de tension

En général, les bois de tension ont très peu d'effets sur les propriétés du bois (p-value ANOVA supérieure à 0,1). Il n'y a d'effet significative que pour le retrait tangentielle, longitudinale et volumique de *Neotina isoneura*, le module de cisaillement de *Tambourissa trichophylla* et le retrait longitudinale de *Weinmannia rutenbergii* (Annexe 31). Pour *Neotina*, ces effets s'atténuent à partir du deuxième mètre seulement alors que pour *Tambourissa*, ils continuent jusqu'à 3 m de hauteur.

3.4.3.2 Variation radiale et en hauteur des propriétés du bois étudiées

Pour toutes les variations, la qualité de la représentation est toujours très faible. Dans l'axe radial, seule *Tambourissa trichophylla* représente une diminution de la densité alors que les autres augmentent légèrement. Le retrait radial tend à diminuer alors que la tangentielle évolue peu, ce qui augmente l'anisotropie du bois. Il est le plus marqué sur *Nuxia capitata* (0,22 %/cm). Il est suffisant pour réduire aussi le retrait volumique. Mécaniquement, *Neotina isoneura* et *Nuxia capitata* présentent une légère augmentation du module d'élasticité. Ceci pourrait s'expliquer par l'importance de bois juvénile surtout chez les essences héliophiles qui ont du bois à fort retrait radial et à faible module d'élasticité. D'autre part, en hauteur, la densité diminue pour toutes les essences, mais elle n'est significative que pour *Neotina isoneura* et *Tambourissa trichophylla*. Malgré les diminutions marquées des retraits tangentiels, les variations de l'anisotropie ne sont pas significatives vue que R

% et T% évoluent dans la même direction. Par contre, elle affecte les retraits volumiques qui diminuent chez *Neotina isoneura* et *Nuxia capitata*. Mécaniquement, corrélations significatives du module d'élasticité ne sont que pour ces deux essences. Elles se représentent par une diminution marquée (respectivement, 693 MPa/m et 328 MPa/m) (Tableau 29). Ainsi, ces deux essences sont les essences les moins homogènes parmi celles étudiées.

Tableau 29: Les variations intra-arbres significatives pour chaque espèce

<ul style="list-style-type: none"> • <u><i>Agauria sp.</i></u> MOC= 570+ 82H+ 13Ray (R²= 0,3) • <u><i>Neotina isoneura</i></u> Rho= 0,88-1,05E-02H+ 1,58E-03Ray (R²= 0,14) T%= 11,71-4,04E-01H+ 9,32E-03Ray (R²= 0,17) L%= 0,28+ 1,51E-02H+ 1,54E-02Ray (R²= 0,09) S % = 17,59-3,94E-01H-7,24E-02Ray (R²= 0,13) V % = 17,82-3,80E-01H-5,92E-02Ray (R²= 0,12) MOE= 21787-693H+ 118Ray (R²= 0,21) MOC= 1298+ 28H-16Ray (R²= 0,08) 	<ul style="list-style-type: none"> • <u><i>Nuxia capitata</i></u> R % = 7,07-1,84E-01H-2,20E-01Ray (R²= 0,15) T % = 11,46-3,86E-01H-3,35E-02Ray (R²= 0,15) S % = 17,75-5,31E-01H-2,30E-01Ray (R²= 0,25) V % = 18,11-5,50E-01H-2,40E-01Ray (R²= 0,26) MOE= 18543-328H+ 231Ray (R²= 0,19) • <u><i>Tambourissa trichophylla</i></u> Rho= 0,64-9,91E-03H-6,69E-03Ray (R²= 0,23) • <u><i>Weinmannia rutenbergii</i></u> R % = 6,74-5,35E-03H-2,66E-01Ray (R²= 0,22) Anis= 1,4-6,00E-02H+ 1,05E-01Ray (R²= 0,26)
---	---

Rho : densité, R, T, S, V : Retraits radial, tangentiel, surface et volume, H : hauteur et Ray : distance radiale

Les équations de régressions pour chaque espèce et pour chaque paramètre sont en Annexe 32.

3.4.4 Variation inter-arbre

Tableau 30: Diversité intra-spécifique des propriétés des bois étudiés

Différences significatives en surbrillance

Espèces	Densité	R %	T %	Anis	L %	S %	V %	Brinell	MOE	MO C
<i>Agauria sp.</i>	0,001	0,009	0,001	0,651	0,389	<0,000	<0,000	0,009	0,001	0,228
<i>Neotina isoneura</i>	0	<0,000	<0,000	<0,000	0,969	0,013	0,012	<0,000	0,11	0
<i>Nuxia capitata</i>	<0,000	0,013	0,42	0,206	0,882	0,007	0,013	<0,000	<0,000	0,001
<i>Tambourissa trichophylla</i>	0,153	0,316	0,017	0,017	0,726	0,075	0,12	0,054	0,106	0,103
<i>Weinmannia rutenbergii</i>	<0,000	0,039	0,002	0,005	0,26	0,001	0	0,002	<0,000	0,082

Rho : densité, R, T, S, V : Retraits radial, tangentiel, surface et volume, H : hauteur et Ray : distance radiale

Pour, *Agauria sp.*, *Neotina isoneura*, *Nuxia capitata* et *Weinmannia rutenbergii*, les paramètres sauf le retrait longitudinal ont une forte dépendance à l'arbre dont les échantillons sont issus. Ceci permet d'affirmer que ces essences sont diversifiées au niveau intra-spécifique. Les voies d'amélioration sont larges avec les sélections adéquates. Par contre, les propriétés du bois de *Tambourissa trichophylla* ne varient pas beaucoup entre les différents arbres (Tableau 30) sauf pour le retrait tangentiel et l'anisotropie (p=0,017). Aussi, que ce soit dû à, une faible diversité intra-spécifique ou à la faible dispersion de l'espèce, ce sont tous deux des raisons pour multiplier *Tambourissa trichophylla*.

Chaque essence a ses forces et sa faiblesse, tout dépend de l'utilisation à laquelle elle est assignée. L'hétérogénéité interne n'est pas grande et la diversité intra-spécifique permet d'espérer un avenir prometteur pour ces essences.

4 Discussions

4.1 Sur la méthodologie

Cette partie confronte les approches et les résultats avec celles d'autres auteurs pour en vérifier la véracité et la cohérence. Elle étudie aussi les confirmation/infirmation des hypothèses.

4.1.1 Analyse sylvicole

4.1.1.1 Les inventaires

En 2008, des inventaires sur 4 compartiments de forme rectangulaire, de longueur constante de 125 m ont été utilisés (Rajaonera, 2008). Quoiqu'il soit intéressant que cette étude utilise les mêmes parcelles et les mêmes compartiments pour une meilleure fiabilité des informations sur l'évolution et la croissance annuelle de la biomasse (Favrichon *et al.*, 1998), plus les unités de sondages sont petites, meilleure est la précision (FAO, 1981). Inventorier plus d'arbres dans chaque parcelle donne aussi plus d'éléments d'analyse surtout au niveau phytosociologique. Avec une dimension de 20 cm x 20 cm, elle est assez grande pour fournir des informations intéressantes, vu qu'il est recommandé que la superficie de chaque placette étudiée soit entre 0,01 ha et 0,05 ha (Andrianjaka, 1998).

4.1.1.2 Aspect analytique de l'analyse sylvicole

D'un point de vue floristique, les analyses des groupements phytosociologiques peuvent se faire par classification ou par analyse factorielle (Meddour, 2011). Cette étude combine l'utilisation des deux. Une CAH a l'avantage d'être facile à utiliser, quant à l'AFC, outre, les informations numériques, elle donne un aperçu en deux dimensions des données et permet d'étudier des paramètres et observations supplémentaires. Sur la structure spatiale, une analyse ANOVA montre que ne pas utiliser les valeurs d'infradensité sous-estime la biomasse aérienne (p-value : 0,009). L'estimation de Chave *et al* (2005), tient compte en effet, du rôle de la biodiversité dans la séquestration de carbone.

4.1.2 Analyse des propriétés des bois

4.1.2.1 Essences cibles et qualité des échantillons de bois

Quoique la norme NF B51-003 préconise l'utilisation d'éprouvette sans défauts, certaines contraintes ont fait que certains échantillons n'étaient pas très parfaits (Annexe 28). Les raisons, une des caractéristiques d'une forêt dense humide de montagne est que les arbres sont en général tortueux et courts (White, 1986). Les galeries d'insectes dans le bois d'*Agauria sp.* et les cannelures de *Nuxia capitata* font que beaucoup d'éprouvettes rendent les cernes plus complexes. Les analyses montrent qu'effectivement, la qualité de l'éprouvette a des effets sur le module d'élasticité (p-value : 0,004, ANOVA) qui se caractérise par une valeur plus faibles pour celles de moindre qualité (Annexe 29). En théorie, cet effet se caractérise par une diminution proportionnelle à la surface transversale de fissure isotrope mais une diminution plus complexe pour celles anisotropes (QI, 2009).

4.1.2.2 Utilisation du logiciel BING

Conçu depuis, 1986 ce procédé permet d'estimer le module d'élasticité, le module de cisaillement et autres paramètres sans détruire l'échantillon d'où l'appellation, Beam Identification by Non Destructive Grading. Cette méthode est depuis très utilisée par plusieurs auteurs comme, Ruelle (2007), Fouilhé *et al.* (2012), Aramaki *et al.* (2007), même à Madagascar. Comme limite, pour une éprouvette, de 20 mm x 20 mm x 360 mm, le niveau d'incertitude est de 5 %. Des échantillons témoins ont été introduits dans les lots qui ont été mesurés à différentes dates faites de matériels. Il n'y a pas d'effets sur les résultats (p-value ANOVA supérieur à 0,9) (Annexe 29).

4.1.2.3 Dureté Brinell versus Dureté Monnin

La dureté Monnin sur l'échelle, Chalais-Meudon, est la plus utilisée et des valeurs de références sont largement publiées (Gueneau, 1969; Rakotovao *et al.*, 2012). La dureté Brinell permet par contre, d'avoir un aperçu de l'utilisation du bois comme parquets ou plancher. Sur son application, avec une force nominale de 1 kN (NF EN 1534), la bille s'enfonce totalement dans le bois. Aussi, elle a été divisée par deux par analogie avec les essais en dureté Monnin (NF B 51-013).

4.1.3 Analyse multicritère pour le choix des essences

Avec des logiciels comme CAPSIS, AFFOREST ou SDSS, l'opérateur peut modéliser la structure la station plusieurs années plus tard et proposer des stratégies d'intervention (Michelot *et al.*, 2013). Mais pour cela, il faudrait connaître la croissance des espèces et leur autécologie. D'un autre côté, avec l'insuffisance d'information sur les espèces, Pedraza & Williams-Linera (2001) ont évalué eux-mêmes la croissance de 4 espèces cibles pour la restauration de forêts tropicales montagnardes mexicaines mais les contraintes de temps ne permettent pas d'utiliser les mêmes approches. A Madagascar, en basant le choix des essences sur la phytosociologie, la dispersion des graines et la catégorie du bois, le projet TAMS avec le procédé mycorhization enregistre un taux de réussite de plus de 80 % avec plus d'une centaine d'espèces (Conservation International, 2011). Dans cette étude, des critères supplémentaires relatifs à l'insertion de l'écosystème dans le paysage et l'amélioration de la structure et de la productivité des forêts restaurées ont été utilisées, y compris, l'orientation de la pente, son inclinaison, la toposéquence et l'état du couvert pour des écosystèmes de références, comme préconisé par Martinez (2003).

Dans le domaine de la sylviculture, les méthodes de choix multicritère sont surtout utilisées pour comparer différentes stratégies sylvicoles comme celles effectuées par Pauwels (2003). L'agrégation partielle du type gamma (cf. page 15) offre l'avantage de ne pas poser de problèmes sur les critères qui sont déjà étalonnés au niveau international (index PHF), en considérant, non les valeurs mais plutôt les différences. Elle compare un à un les valeurs des critères pour chaque essence. Trois indices sont en général utilisés par cette méthode, mais tenant compte qu'aucune espèce autochtone ne peut être éliminée, au risque de la condamner à une extinction, aucun seuil de veto n'a été utilisé.

4.2 Sur les résultats

4.2.1 Structure floristique

Globalement, aucune espèce ne couvre plus de 25 % de la densité relative totale, même si c'est le cas dans certaines parcelles d'inventaire comme le cas d'*Uapaca densifolia*. Les Aires Protégées environnantes qui ont un indice de diversité de Simpson très grande (entre 0,91 et 0,97, avec le nombre d'espèces variant entre 309 et 1035) (Birkinshaw *et al.*, 2007). Similairement, avec ses 88 espèces, la station enregistre, les mêmes valeurs, ce qui représente plus de 90 % de la valeur maximale pour le même nombre d'espèce. Ce taux est déterminé par l'indice d'équitabilité. Rajaonera (2008) accuse l'abondance élevée d'arbres de faible hauteur sur les crêtes et la prédominance d'*Uapaca densifolia* et *Syzigium sp.* Ce ne sont pas les seules espèces, mais tout un groupe. Les résultats montrent que le Groupe à *Anthocleista* a une tendance à avoir des feuilles plus coriaces que l'autre groupe. C'est un phénomène qui est déjà bien marqué entre 1200 et 1600 m d'altitude (Koechlin *et al.*, 1974). Elle s'accompagne aussi d'une diminution de la dimension des feuilles décrites par Guillaumet (1983) et Hamilton (2009). Ce groupe certes s'adapte à tout type d'orientation, mais elle seule domine les adrets de la station et s'étend sur les versants Nord. Le Groupe à *Dombeya lucida* ne se retrouve par contre que sur les ubacs. Ceci confirme l'importance de la topographie dans la structure de la forêt. La proximité entre les parcelles de deux groupes différentes est la raison de l'absence de dichotomie complète, la présence de variations graduelles de la végétation d'où le groupe d'intersection.

4.2.2 Structure spatiale et son évolution

Actuellement, la surface terrière de la forêt naturelles de la Mandraka (27,68 m²/ha) est plus faible que la forêt humide d'altitude d'Antenina, 37,00m²/ha pour les parcelles peu dégradées (Andriamparanony, 2012) mais largement plus élevée qu'en forêts peu dégradées de Tampoketsa (13,84 m²/ha) (Rajemison, 2010). Elle grandit de 0,65 m²/ha/an, deux fois plus vite qu'une forêt tropicale humide aménagée en Côte d'Ivoire avec seulement, 0,38 m²/ha/an sur les parcelles à forte éclaircie (Durrieu de Madron *et al.*, 1998). Mandraka, avec ses 101,36 T/ ha de biomasse soit 50,68 tC/ha de carbone est similaire à des travaux dans le corridor Forestier Ankeniheny Zahamena où Andriamalala *et al.* (2011) retrouvent une fourchette de 15,67 à 82,08 tC/ha et à la moyenne en Afrique de l'Est, 58,9 tC/ha (FAO, 2010). Ce sont des valeurs très inférieures aux moyennes en forêts humide de basse et moyenne altitude (respectivement de 308 et 209 tC/ha) (www.pnae.mg). Ceci est, d'une part, dû à la diminution de la capacité de stockage de carbone des forêts tropicales humides suivant l'altitude (Leuschner *et al.*, 2013) et d'autre part, la synusie considérée qui est les ligneux seulement. Cette faible valeur peut aussi expliquer une partie de l'augmentation des paramètres structurales des forêts (surface terrière, volume de bois exploitable et densité de biomasse) et révèle la prospérité des écosystèmes qui est le résultat des activités d'aménagement (contrôle des activités humaines sur l'état de la forêt).

4.2.3 Dynamique de reconstitution de la forêt

La forêt de la Mandraka évolue, même après des perturbations (dues à l'homme surtout), elle essaye de se reconstituer, à certaines limites mais pas de la même manière. Les schémas de successions dépendent en premier lieu des caractéristiques des perturbations (Turner *et al.*, 1998; Cordonnier, 2004) et de la toposéquence. Face aux feux, les hauts de versants et les crêtes subissent d'importants dégâts, ils sont très peu résistants, le feu consume à la fois les arbres et la litière ne laissant qu'une couche très pauvre en semence. Après quoi, les héliophiles à graines légères emportées (*Weinmannia*, *Agauria*,...) par le vent repoussent et poursuit la succession végétale. Suite à des coupes, la régénération se développe plus rapidement. Les vallées sont plus résistantes mais moins résilientes. L'humidité limite l'effet du feu qui laisse très peu de dégâts sur le peuplement. Mais lorsque la perturbation est trop importante (feux et coupe), la régénération ligneuse qui grandissent moins vite que les ronces, sont rapidement ensevelis sous, un feuillage dense, très peu survivent voire aucun (Wehrle, 1985). Des interventions périodiques sont alors sollicitées pour dégager ces envahisseurs. A-t-il jadis été le cas ? Ou cette modification de trajectoire est-elle due aux changements du climat ?

4.2.4 Propriétés physiques et mécaniques du bois

La première essence étudiée est *Agauria sp.* C'est une essence de forêt secondaire, de tempérament héliophile pionnier, à croissance rapide. Les essences de forêt secondaire sont de moindre qualité (Finegan, 1992), mais d'un point de vue mécanique, les propriétés de cette espèce ne sont pas aussi mauvaises. Avec la même structure anatomique, que le bois de *Tambourissa*, avec une couleur beaucoup plus orangée et un bois plus résistant, elle pourrait être intéressante pour la fabrication de meubles. Ce serait une essence d'une certaine valeur si elle était moins vulnérable aux fourmis lorsque les arbres sont encore dans les forêts. *Nuxia capitata* est très appréciée comme bois de feu (Andriamparany, 2012) mais avec un module d'élasticité élevé, elle pourrait être intéressante si le problème de tronc cannelé était atténué. Quant à *Neotina isoneura* et *Tambourissa trichophylla*, elles sont au moins aussi performantes que ce qu'affirme Rakotovo *et al.* (2012). Ce qui n'est pas le cas pour *Weinmannia rutenbergii*. Quoiqu'il en soit, elle reste d'une qualité élevée avec sa couleur vive, sa stabilité en extérieur et la résistance mécanique.

D'autre part, la station étant établie sur un terrain très pentu cela génère du bois de tension qui peut détériorer la qualité des produits (Dogu & Grabner, 2010). Les principaux problèmes associés à l'utilisation de ce type de bois sont des retraits et des défauts dès l'abattage de l'arbre jusqu'à son utilisation en passant par le séchage et l'usinage (Jourez, 1997; Sultana & Rahman, 2013). Effectivement, les arbres forment du bois de tension contre l'effet de la pente. La proportion est grande chez *Neotina isoneura*. Malgré tout, les résultats ne montrent pas beaucoup de différences entre bois de tension et bois normal ce qui en diminue très peu la qualité. D'un point de vue anatomique, les parois cellulaires des bois de tension sont doublées d'une couche dite gélatineuse (Couche G) composée de microfibrilles de cellulose et souvent plus riches en extractibles (plus sombre) (Hoffmeyer,

1987) pouvant ainsi augmenter la densité. Par contre, les trois facteurs suivants semblent la diminuer : la couche G peut aussi remplacer les parois secondaires S2 et S3 des cellules, la *croissance* de l'arbre est plus grande dans la partie sous tension enfin, la lignification est plus faible (Hoffmeyer, 1987; Pilate *et al.*, 2004; Sultana & Rahman, 2013).

Toujours sur les variations intra-arbres, les variations radiales sont plus importantes que les variations longitudinales (Braido dos Santos *et al.*, 2014). Les déterminismes statistiques de l'effet de la hauteur et la position radiale de l'échantillon sur les propriétés physico-mécaniques du bois sont faibles, mais horizontalement il y a une légère tendance à la diminution du retrait radial et une très légère augmentation du retrait tangentielle au fur et à mesure que l'échantillonnage s'éloigne du cœur (Constant, 1995; Alteyrac, 2005). Les essences de la Mandraka suivent cette tendance sauf, *Weinmannia rutenbergii* où le retrait radial peut varier jusqu'à 3 % entre deux éprouvettes distant de 10 cm. En effet, étant héliophile, les individus ont beaucoup jouis de la lumière en leur temps et ont produit beaucoup de bois juvénile (à fort retrait radial) (Alteyrac, 2005). Emphase avec les résultats de Ramanakoto (2012), la densité du bois varie peu avec la distance au cœur des échantillons, quoique celle des 4 essences héliophiles présente une légère augmentation alors que pour *Tambourissa trichophylla*, elle diminue. Au fur et à mesure que la position longitudinale de l'échantillonnage est élevée, la diminution des contraintes mécaniques liées au poids de l'arbre et des effets du vent fait que le bois est moins dense et moins anisotrope. La variation de la densité du bois en fonction de la hauteur peut même être plus grande que la variation inter-arbre de ce paramètre surtout dans un peuplement dense (Alteyrac, 2005). Sur l'utilisation, malgré que les corrélations entre propriétés mécaniques et physiques avec les utilisations sont majoritairement, fort (p -value $<0,05$, Test de corrélation de Pearson), les résultats des deux approches sont très différents.

Les faibles variabilités intra-arbre des propriétés du bois semblent être dues aux caractéristiques de la forêt. Vu que la variation de la densité dépend de la hauteur de l'arbre, de son diamètre et de sa position verticale (Woodcock & Shier, 2003), les arbres qui sont en général, courts, les contraintes qui s'exercent sur le bois de tension ne sont pas très élevées, le bras-de levier de la gravité ou d'autres facteurs de chute de l'arbre est faible. D'autre part, le peuplement est dense, aussi, l'agencement des houppiers crée un effet de collectif sur la stabilité des arbres et minimise les différences de contraintes entre amont et aval.

Confinée sur la première falaise de l'Est, la végétation est unique. Pourtant des menaces liées directement ou indirectement aux activités de l'Homme limitent son développement au point d'en modifier la dynamique. Pour l'instant, elle est encore capable de constituer un refuge pour la biodiversité, de protéger le sol, fournir du travail à la population locale, stocker et séquestrer du carbone, produire du bois, etc. Son avenir dépend de ce que l'Homme va en faire. Ces quelques points résument la situation de la Mandraka par rapport aux priorités de conservation qui sont, le caractère distinctif, le degré de menace et l'utilité (Primack & Ratsirarson, 2005).

4.3 Sur les hypothèses

- Hypothèse 1 : Diversité, état de santé et fonctionnement de la forêt naturelle de la Mandraka

La première hypothèse s'énonce comme suit : *La forêt naturelle est un écosystème de référence pour la restauration et amélioration de la forêt de la station et des environs* La confirmation/infirmation de cette hypothèse se base sur l'évaluation de la diversité (écosystème, espèce et gène), de son état de santé et enfin de son fonctionnement.

La station possède plusieurs parcelles de forêts qui se distinguent de différents points de vue, historique (aménagement, pressions, âge de succession), écologique (toposéquence, ensoleillement, sol), floristique (groupes de végétation). Il s'agit d'un atout important pour l'éducation environnementale sur la succession végétale sur les Hautes Terres, mais aussi source importante d'informations sur la structure et l'évolution des forêts tropicales humides montagnardes. La station abrite aussi beaucoup d'espèces de différents tempéraments, des indices de diversité élevée et une végétation qui lui est propre (distincte de l'AP Anjozorobe-Angavo). Les essences connues sur le marché du bois sont abondantes et les variations intra-spécifiques des propriétés des bois des essences étudiées sont élevées sauf pour *Tambourissa trichophylla*. Ceci permet de conclure l'importance de la diversité à tous les niveaux dans la station.

Sur leur état de santé, Lund (2009) considère qu'une perturbation est faible si les perturbations n'occasionnent pas plus de dégâts que pourrait engendrer les perturbations naturelles. La quantité d'héliophile dans la régénération en forêt primaire est faible. Les forêts secondaires quant à elles, montrent qu'elles sont en train de se reconstituer. D'ailleurs, les courbes de structures totales le confirment. Elles ont toutes une allure très proche de l'exponentielle négative.

En tant que habitat de la biodiversité, les espèces animales et végétales prospèrent dans la station. Elle abrite un certain nombre d'espèces sensibles. Pour l'approvisionnement, il est vrai que les prélèvements sont règlementés mais elle enregistre une croissance annuelle de 1,17 m³/ha/an de bois exploitable. La forte densité de la végétation protège le sol sensible à l'érosion de par sa texture et le relief. Face aux changements climatiques, la quantité de carbone dans la biomasse aérienne est équivalente à la moyenne en Afrique de l'Est et celle du CAZ, faible par rapport aux forêts humide malagasy de basse et moyenne altitude mais elle a une tendance à l'augmentation de 1,96 tC/ha/an.

Tout ceci permet de confirmer que *La forêt naturelle est un écosystème de référence pour la restauration et amélioration de la forêt de la station et des environs*

- Hypothèse 2 : Qualité des bois de la Mandraka

La deuxième hypothèse s'énonce comme suit : *Malgré les facteurs topographiques, déterminant la structure de la forêt, les bois des espèces étudiées sont peu hétérogènes dans le sens radial et verticale et les bois de tensions sont peu sévères*

La forêt de Mandraka est établie sur un socle fortement pentu. Seule *Neotina isoneura* montre de variations significatives entre les propriétés des bois de tension et bois opposé. Les retraits tangentiels et longitudinaux de cette espèce sont beaucoup plus importants pour le bois de tension avec respectivement 0,9 % et 0,12 % de différence. D'autre part, même avec une différence de 1 000 MPa sur le module d'élasticité, la variance du paramètre ne permet qu'un écart très faible de la valeur observée par rapport à la valeur critique. Toujours sur la variation intra-arbres des propriétés du bois, les retraits diminuent avec la hauteur surtout au niveau tangentielle, le module d'élasticité aussi. Toutefois, une diminution du retrait tangentiel offre une meilleure stabilité au bois en réduisant l'anisotropie. Horizontalement, il n'y a pas beaucoup de variation. Pour toutes ces variations, les coefficients de détermination sont très faibles, ceci permet d'affirmer l'existence d'une certaine homogénéité du bois.

Par rapport à Rakotovao *et al* (2012), les *Tambourissa* de la Mandraka sont moins dense, plus dure, légèrement plus stable et plus résistants (mécaniquement). Quant à *Weinmannia*, elle est moins dure, aussi dense, aussi stable, plus résistant en flexion que *Weinmannia minutiflora* mais largement moins performant que *Weinmannia rutenbergii* dans ce même ouvrage.

Par leurs propriétés physiques et mécaniques, les essences étudiées sont similaires à certaines espèces d'*Eucalyptus*, surtout avec *Agauria sp.* La matrice de corrélation montre aussi une forte proximité avec *Uapaca sp.* et *Syzigium sp.*, bien connues par les transformateurs de bois. Peu connue et peu utilisée, *Agauria sp.* offre donc différentes possibilités d'utilisation, surtout que le bois a la même texture que la fameuse *Tambourissa*.

Parmi les essences étudiées, *Tambourissa trichophylla* est la seule ayant un module d'élasticité moyenne soit, une résistance moyenne au flambement. Elle est aussi la seule à être très légère. Comme *Agauria sp.*, *T. trichophylla* a un bois tendre. Pour les autres, le bois est mi-dur à dur, mi-lourd à lourd et résistant au flambement. Les retraits sont en général forts sauf pour *Tambourissa* et *Weinmannia*. Ainsi, les essences de la Mandraka, à priori celles qui sont étudiées peuvent faire, office d'une large gamme d'utilisation surtout celles exerçant certaines contraintes mécaniques en flexion comme poteaux de lignes ou poutres de pont (sous-réserve de conformité de la durabilité naturelle).

Ainsi, il est confirmé que, ***malgré les facteurs topographiques, déterminant la structure de la forêt, les bois des espèces étudiées sont peu hétérogènes dans le sens radial et verticale et les bois de tensions sont peu sévères Ils peuvent aussi supporter plusieurs types de contraintes et permettre une large gamme d'utilisation.***

4.4 Recommandations

4.4.1 Apport à la recherche

Vu la carence en informations sur la croissance et le développement ainsi que les besoins des essences forestières tropicales, une analyse multicritère permet d'avoir des éléments de départ pour initier des activités de restauration et plantations de ces essences avec des données ponctuelles au lieu d'attendre d'avoir toutes les informations et risquer l'extinction de ces espèces.

Les contraintes topographiques ne permettent pas de définir que la forêt est de faible valeur de production, au risque de défavoriser l'économie de certaines zones. La qualité de production (propriétés, homogénéité et anisotropie du bois, sévérité des bois de tension,) doit être étudiée. La confirmation de l'hypothèse 2, permet d'affirmer qu'une forêt dense humide de montagne peut être aussi enviable aux autres forêts surtout quand le peuplement est dense et que les arbres sont courts.

4.4.2 Mise en valeur des essences étudiées pour des restaurations écologiques

Le sol étant rarement dépourvu de forêt et vu la superficie de la station, les opérations sylvicoles visant à améliorer la structure de la végétation ligneuse et restaurer ses fonctionnalités consistent à la reforestation et à l'enrichissement. Les essences étudiées peuvent être utilisées dans les deux cas.

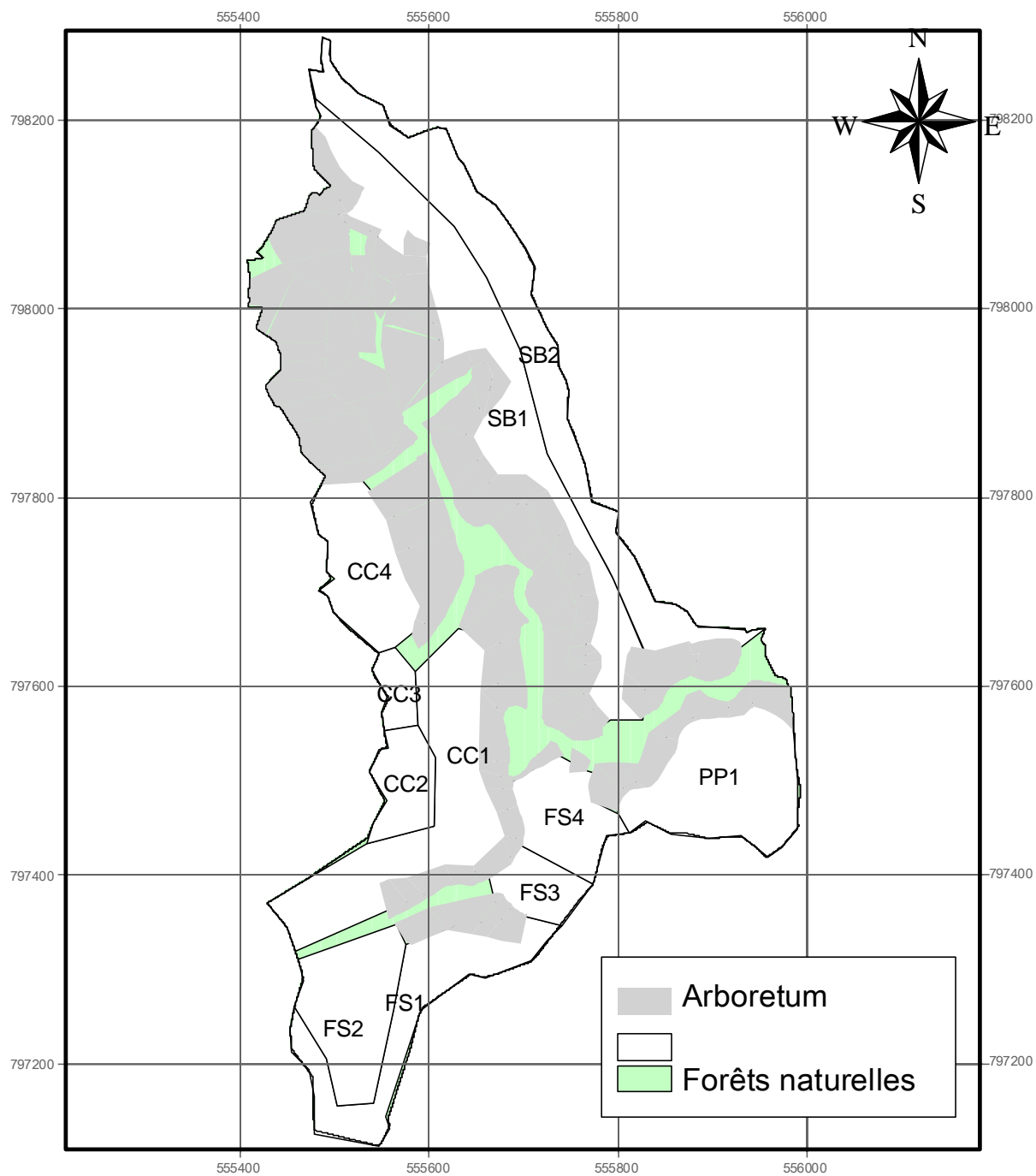
Agauria sp. est de tempérament héliophile pionnier. Bien exposée au soleil, elle fournit un bois rectiligne et semble avoir une croissance et un recouvrement rapide du sol. Elle pourrait être une essence de substitution pour *Tambourissa* Elle est idéale pour des reforestations (Zone FS3, FS1, CC3).

- *Nuxia capitata* est déjà très appréciée bois de feu, mais elle pourrait être intéressante en tant que bois d'œuvre et de service si la génétique pouvait résoudre le problème de forme cannelée du tronc. Avec, *Agauria sp.* elle est peut être utilisée pour des reforestations (FS1, FS3, CC3).

Weinmannia rutenbergii réussit bien à minimiser la quantité de bois de tension qui n'a donc que très peu d'effets sur sa qualité. Elle a aussi l'avantage de se répandre très vite grâce à ses graines de petites tailles donc à coloniser rapidement les zones nues (FS1, FS3, CC3). De par sa valeur, des enrichissements sont aussi envisageables (PP1, SB2, SB1, FS2).

Neotina isoneura tolère bien l'ombrage avec beaucoup de semis sous les arbres. Le fût est souvent rectiligne. Le bois peut atteindre de fortes hauteurs et gros diamètres surtout avec une bonne exposition (FS3, FS2, CC3). Elle peut aussi faire office d'enrichissement (zone CC1, PP1, SB2, SB1)

- *Tambourissa* est beaucoup plus exigeant. Elle a besoin de beaucoup d'humidité et d'un certain ombrage, elle est idéale pour des enrichissements en zone de bas-pente. (FS4 et CC1).



Source: ESSA-Forêts,
Projection Laborde

Avec SB : Sentier botanique (1 : versant, 2 : crête), PP1 : Parcours Phénologique, CC : Cascade (1 et 4 : versant, 2 : crête, 3 : brûlée) , FS1 et FS 2 Forêt secondaire sur versant, FS 3, FS 4 : Forêt secondaire sur bas-fond

Carte 4: Parcelles d'aménagements

4.4.3 Trajectoire d'amélioration et de restauration

Pour la restauration, amélioration ou la réhabilitation de forêt comme celle de la Mandraka, il est plus recommandé, si besoin de faire de coupes polycycliques que monocycliques. Elles permettent de maintenir l'ambiance forestière mais aussi, d'éviter l'envahissement par les ronces et les lianes dus à une ouverture trop importante de la forêt. L'installation des essences sciaphiles de meilleure valeur commerciale requiert aussi un certain ombrage. Les propositions de calendriers du Tableau 31 découlent de l'adaptation du type de conversion (Philippines et Indonesian, selective logging systems) dans Dupuy (1998).

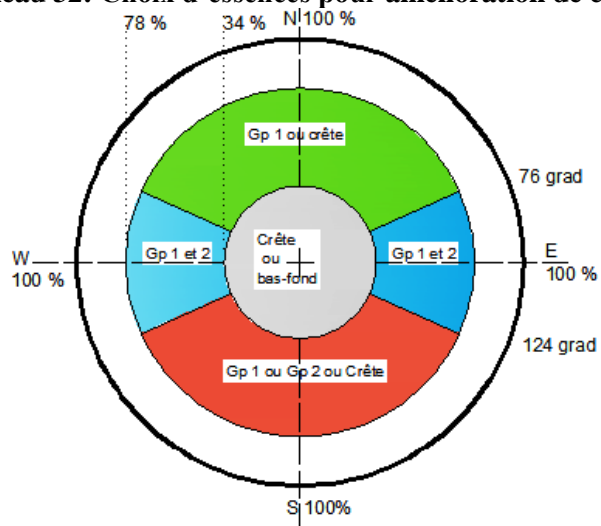
Tableau 31: Orientations d'aménagement sylvicole de restauration écologique

Moment d'interventions	Interventions
Année 0	- Inventaires de peuplement restant - Elimination de ronces et délianage surtout dans les vallées
Année 1 à 5	- Inventaire et entretien de la régénération - Regarnissage pour amélioration de la diversité - Maintien de la végétation d'Ericaceae et de <i>Pteridium aquilinum</i> , mais seulement des ouvertures des layons pour l'installation des essences héliophiles
Hauteur dominante ≈ 7 m	- Amélioration de la structure floristique du couvert - Eclaircie sélective sur les essences héliophiles et la plupart des individus malformés - Sélection de semenciers par espèces surtout des essences commerciales
Hauteur dominante ≈ 9 m	- Amélioration de la valeur de production - Enrichissement en layons - Eclaircie sélective sur les essences héliophiles

4.4.4 Choix d'essences

La confirmation de la première hypothèse permet d'utiliser les informations de la station forestière pour faire des restaurations écologiques, non seulement pour elle-même mais aussi pour les savoka des environs. Différentes recommandations sont fournies par les auteurs. D'abord, la restauration écologique suppose la reconstituer de la composition taxonomique intégrale de l'écosystème (Aronson *et al.*, 1995) en utilisant le maximum d'espèces pour minimiser le taux d'échec (Nellemann & Corcoran, 2010). Pour être efficace, l'installation de nouveaux individus doivent pouvoir s'intégrer à la sociologie biologique locale et aux conditions abiotiques du milieu. Elles doivent s'adapter aux conditions climatiques futures. Le choix doit contribuer à l'amélioration de la résilience de l'écosystème. Il doit considérer l'importance de la conservation de la biodiversité et surtout, dans le cas de la station, la fidélité de la structure et de la composition de la végétation (Keenleyside *et al.*, 2012). Ainsi, en appui, à la stratégie proposée dans le Tableau 31 ; le Tableau 32 et le Tableau 33 propose le choix d'essences dans différentes situations et objectifs, en se basant comme critères de choix principal, la topographie et l'état du couvert.

Tableau 32: Choix d'essences pour amélioration de capacité de production et enrichissement



Groupe de végétation	Pente	Orientation
Groupe 1	Entre 34 % et 78 %	Indifférent
Groupe 2	Entre 34 % et 78 %	Entre 124 et 276 grad
Groupe d'intersection	Entre 34 % et 78 %	Entre 76 et 124 grad puis 276 et 324 grad
Bas-fond	Inférieure à 34 %	Indifférent
Versant	Inférieure à 34 %	Indifférent

C : Essence commerciale

V : Essence de valeur

Vu : Essence potentiellement vulnérable

NE : Non-évaluée

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe d'intersection	Bas-fond
Edifices (Densité > 250 pieds par ha)	<i>Calophyllum chapelieri</i> (1, C, V), <i>Dilobeia thouarsii</i> (3, V), <i>Ocotea trichophlebia</i> (4, C, V), <i>Uapaca densifolia</i> (7, C, V), <i>Syzigium sp.</i> (11, C)	<i>Polyalthia emarginata</i> (4), <i>Oncostemum grandifolium</i> (9), <i>Brexiella sp.</i> (11, Vu), <i>Ilex mitis</i> (13, Vu, C), <i>Dombeya lucida</i> (14)	<i>Phyllarthron sp.</i> (1, C, V), <i>Calophyllum chapelieri</i> (2, C, V), <i>Ocotea racemosa</i> (3, C, V), <i>Dilobeia thouarsii</i> (4, V), <i>Ocotea trichophlebia</i> (6, C, V), <i>Polyalthia emarginata</i> (7), <i>Uapaca densifolia</i> (10, C, V), <i>Protorhus ditimena</i> (13), <i>Ilex mitis</i> (20, Vu, C), <i>Syzigium sp.</i> (21, C)	<i>Streblus dimepate</i> (1), <i>Polyalthia emarginata</i> (2), <i>Albizia gummifera</i> (4, Vu), <i>Oncostemum verticillatum</i> (5), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (7), <i>Tambourissa trichophylla</i> (8, C, V), <i>Ilex mitis</i> (10, Vu, C), <i>Syzigium sp.</i> (11, C), <i>Dombeya lucida</i> (12)
Essences commerciales	<i>Calophyllum chapelieri</i> (1, V), <i>Ocotea racemosa</i> (2, V), <i>Ocotea trichophlebia</i> (4, V), <i>Uapaca densifolia</i> (7, V), <i>Aphloia theaformis</i> (10), <i>Syzigium sp.</i> (11)	<i>Phyllarthron sp.</i> (1, V), <i>Ocotea trichophlebia</i> (3, V), <i>Aphloia theaformis</i> (8), <i>Tambourissa trichophylla</i> (10, V), <i>Ilex mitis</i> (13, Vu)	<i>Phyllarthron sp.</i> (1, V), <i>Calophyllum chapelieri</i> (2, V), <i>Ocotea racemosa</i> (3, V), <i>Streblus dimepate</i> (4, V), <i>Ocotea trichophlebia</i> (6, V), <i>Uapaca densifolia</i> (10, V), <i>Aphloia theaformis</i> (14), <i>Tambourissa trichophylla</i> (16, V), <i>Ilex mitis</i> (20), <i>Syzigium sp.</i> (21)	<i>Tambourissa trichophylla</i> (8, V), <i>Ilex mitis</i> (10, Vu), <i>Syzigium sp.</i> (11)

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe d'intersection	Bas-fond
Espèces potentiellement vulnérables	<i>Albizzia gummifera</i> (5, Vu)	<i>Albizzia gummifera</i> (6), <i>Brexiella sp.</i> (11), <i>Ilex mitis</i> (13, C)	<i>Albizzia gummifera</i> (9), <i>Brexiella sp.</i> (18), <i>Ilex mitis</i> (20, C)	<i>Albizzia gummifera</i> (4), <i>Ilex mitis</i> (10, C)
Essences d'enrichissement	<i>Calophyllum chapelieri</i> (1, E), <i>Dilobeia thouarsii</i> (2, E), <i>Ocotea racemosa</i> (3), <i>Ocotea trichophlebia</i> (4, E), <i>Uapaca densifolia</i> (5, E)	<i>Phyllarthron sp.</i> (1), <i>Ocotea trichophlebia</i> (2), <i>Tambourissa trichophylla</i> (3)	<i>Phyllarthron sp.</i> (1, E), <i>Calophyllum chapelieri</i> (2, E), <i>Ocotea racemosa</i> (3, E), <i>Streblus dimepate</i> (4), <i>Dilobeia thouarsii</i> (5, E), <i>Uapaca densifolia</i> (6, E), <i>Ocotea trichophlebia</i> (7, E), <i>Tambourissa trichophylla</i> (8)	<i>Ocotea trichophlebia</i> (1), <i>Tambourissa trichophylla</i> (2, E)
Autres	<i>Oncostemum verticillatum</i> (6), <i>Protorhus ditimena</i> (8), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (9), <i>Mapouria sp.</i> (12)	<i>Streblus dimepate</i> (2), <i>Oncostemum verticillatum</i> (5), <i>Slonea sp.</i> (7), <i>Ficus lutea</i> (12), <i>Ficus soroceoides</i> (15), <i>Mapouria sp.</i> (16)	<i>Oncostemum verticillatum</i> (8), <i>Slonea sp.</i> (11), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (12), <i>Oncostemum grandifolium</i> (15), <i>Ficus lutea</i> (17), <i>Dombeya lucida</i> (19), <i>Ficus soroceoides</i> (22), <i>Mapouria sp.</i> (23)	<i>Slonea sp.</i> (6), <i>Oncostemum grandifolium</i> (9), <i>Ficus soroceoides</i> (13), <i>Mapouria sp.</i> (14)
Non-évaluée	<i>Bivinia jalberti</i> (Vu), <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> (Vu), <i>Diospyros sp.</i> (Vu), <i>Ravensara sp1</i> (Vu), <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i> (Vu)	<i>Diospyros sp.</i> (Vu), <i>Drypetes ambigua</i> (Vu), <i>Erythroxylum spp.</i> (Vu), <i>Faucherea sp.</i> (), <i>Ficus marmorata</i> (Vu), <i>Homalium spp.</i> , <i>Mapouria parkeri</i> , <i>Mystroxylon aethiopicum</i> , <i>Potameia antevaratra</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Urophylla lialii</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i>	<i>Bosqueia sp.</i> (Vu), <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> (Vu), <i>Diospyros sp.</i> (Vu), <i>Faucherea sp.</i> (), <i>Homalium spp.</i> (Vu), <i>Mapouria parkeri</i> (), <i>Ravensara sp.</i> (Vu), <i>Urophylla lialii</i> ()	<i>Bosqueia sp.</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> , <i>Erythroxylum spp.</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Ficus marmorata</i>

Tableau 33: Choix d'essences pour la restauration de zone défrichée

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe d'intersection	Bas-fond
Edifices (Densité > 250 pieds par ha)	<i>Ravensara aromatica</i> (4, C), <i>Ravensara crassifolia</i> (5, C), <i>Neotina isoneura</i> (7), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (10, Vu), <i>Weinmannia rutenbergii</i> (11, C), <i>Schefflera sp1</i> (14)	<i>Harungana madagascariensis</i> (2, Vu, C), <i>Homalium sp2</i> (3, Vu), <i>Orfilea sp.</i> (4, Vu), <i>Ravensara acuminata</i> (5, Vu), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (6), <i>Nuxia capitata</i> (8), <i>Schefflera vantsilana</i> (9)	<i>Ravensara crassifolia</i> (5, C), <i>Harungana madagascariensis</i> (6, Vu, C), <i>Neotina isoneura</i> (10), <i>Nuxia capitata</i> (14), <i>Weinmannia rutenbergii</i> (17, C), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (18, Vu), <i>Canarium sp.</i> (19, Vu, C)	<i>Trema orientalis</i> (2), <i>Ravensara crassifolia</i> (3, C), <i>Harungana madagascariensis</i> (4, Vu, C), <i>Orfilea sp.</i> (5, Vu), <i>Dombeya sp.</i> (7, Vu), <i>Erythroxylum corimbosum</i> (8, Vu), <i>Ravensara acuminata</i> (9, Vu), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (10), <i>Weinmannia rutenbergii</i> (11, C), <i>Macaranga cuspidata</i> (12), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (13, Vu), <i>Croton mongue</i> (16)
Autres	<i>Agauria sp.</i> (16), <i>Canarium sp.</i> (12, Vu, C), <i>Cassinopsis madagascariensis</i> (8), <i>Croton mongue</i> (13), <i>Erythroxylum corimbosum</i> (6, Vu), <i>Gambeya boiviniana</i> (1, Vu, C), <i>Mussaenda sp.</i> (2, Vu), <i>Schefflera sp2</i> (9), <i>Trema orientalis</i> (3), <i>Vernonia sp.</i> (15)	<i>Mussaenda sp.</i> (1, Vu), <i>Macaranga cuspidata</i> (7)	<i>Gambeya boiviniana</i> (1, Vu, C), <i>Trema orientalis</i> (2), <i>Mussaenda sp.</i> (3, Vu), <i>Ravensara aromatica</i> (4, C), <i>Homalium sp2</i> (7, Vu), <i>Orfilea sp.</i> (8, Vu), <i>Erythroxylum corimbosum</i> (9, Vu), <i>Ravensara acuminata</i> (11, Vu), <i>Cassinopsis madagascariensis</i> (12), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (13), <i>Macaranga cuspidata</i> (15), <i>Schefflera sp2</i> (16), <i>Schefflera sp1</i> (20), <i>Croton mongue</i> (21), <i>Schefflera vantsilana</i> (22), <i>Vernonia sp.</i> (23), <i>Agauria sp.</i> (24)	<i>Gambeya boiviniana</i> (1, Vu, C), <i>Homalium sp2</i> (6, Vu), <i>Schefflera sp1</i> (15), <i>Schefflera sp2</i> (14)
Non-évaluée	<i>Phyllarthron sp.</i> (Vu), <i>Plagioscyphus jumellei</i> (Vu), <i>Vaccinium sp.</i> , <i>Vernonia pectoralis</i>	<i>Breonia louvelii</i> (NE), <i>Phyllarthron sp.</i> (NE, Vu)	<i>Phyllarthron sp.</i> (Vu), <i>Pittosporum verticillatum</i> ()	<i>Helicrysum gymnocephalum</i> (NE), <i>Memecylon spp.</i> (NE), <i>Phyllarthron sp.</i> (NE), <i>Pittosporum verticillatum</i> (NE), <i>Plagioscyphus jumellei</i> (NE), <i>Psiadia altissima</i> (NE), <i>Vaccinium sp.</i> (NE)

4.4.5 Plan d'actions

Objectif spécifique 1 : Optimiser l'état et la productivité de la forêt

Sous-objectifs	Résultats attendus	Actions	Responsables	Indicateurs	Moyens de vérification	Echéance
Améliorer la productivité et la résistance de l'écosystème	L'abondance et le volume d'essences commerciales et de valeurs augmente	Enrichir les forêts	Association-Gestionnaire-Visiteurs	Nombre de plants mis en terre	Journal d'activité	LT
		Evaluer périodiquement l'évolution de sa structure	Gestionnaire	Base de données	Consultation des bases de données	LT
Minimiser les pressions	Les pressions directement liées aux activités anthropiques sont à un niveau zéro	Matérialiser les limites de la station	Association-Gestionnaire	Panneaux installés dans les zones de litiges	Visites	CT
		Renforcer les rondes dans les parcelles les plus sensibles	Gestionnaire	Fréquence de rondes effectuées	Journal	LT
		Condamner les activités illicites	Association	Nombre et fréquence des infractions	Journal	LT
		Former les membres de l'association à la plaidoyerie	Gestionnaire	Effectivité des formations et pourcentage des membres présents	Fiche de présence	CT
		Faire des interventions sylvicoles	Association	Surface entretenue	Estimation visuelle ou rapport d'activité	LT
Optimiser les stratégies d'aménagement	Les informations nécessaires pour des optimisations des stratégies d'aménagement sont à dispositions	Modéliser l'évolution de la structure de la forêt	Etudiant	Informations sur l'état de la forêt dans plusieurs années en fonction des interventions effectuée	Document de recherche	CT
		Analyser la succession de la végétation dans des écosystèmes similaires	Etudiant	Existence du document	Document de recherche	CT

Objectif spécifique 2 : Mettre en valeur les essences autochtones de manière durable

Sous-objectifs	Résultats attendus	Actions	Responsables	Indicateurs	Moyens de vérification	Echéance
Développer la plantation d'essences natives	Les essences malagasy sont aussi enviable que les autres espèces de reboisement tant sur la croissance que sur la qualité	Appuyer l'association à la production de plants autochtones	Gestionnaire	Nombre de plants produits	Visites de pépinière	LT ³
		Etudier leur croissance et leur autoécologie	Gestionnaire	Existence du document	Document de recherche	MT
		Effectuer des sélections intra-spécifiques	Gestionnaire	Nombre de géniteurs sélectionnés	Visites	MT et LT
Minimiser la vulnérabilité des espèces	Aucune des espèces natives n'est classée sensible	Etudier les facteurs limitants de la régénération des certaines essences	Gestionnaire	Existence du document	Document de recherche	LT
		Faire le regarnissage avec les espèces sensibles	Association-Gestionnaire-Visiteurs	Nombre de plants mis en terre	Visites	CT

Objectif spécifique 3 : Diversifier et améliorer l'offre en bois de la zone tant en quantité qu'en qualité

Sous-objectifs	Résultats attendus	Actions	Responsables	Indicateurs	Moyens de vérification	Echéance
Diversifier le marché	La localité maîtrise la production de bois d'essences natives dans les conditions de la station	Spéculer les essences d'intérêts du marché futur	Gestionnaire	Superficie aménagées	Enquêtes sur le marché du bois	CT
		Faire des recherches sur les techniques à moindre effort pour l'exploitation de bois sur forte pente	Gestionnaire	Existence du document	Document de recherche	CT
Assurer un marché rentable pour les bois d'essences autochtones de la zone	Une norme de qualité est établie	Etudier les utilisations raisonnées des bois autochtones	Gestionnaire			CT
		Identifier des marqueurs de bonnes propriétés du bois sans abattre l'arbre potentiellement générateur	Gestionnaire			CT
	Sa production et son exploitation sont reconnues comme durables	Appuyer les producteurs locaux à la certification de produits forestiers	Gestionnaire	Nombre de producteurs certifiés	Label	LT
		Analyser l'évolution du prix valeur du bois des essences	Gestionnaire	Evolution du prix du bois par essence	Document de recherche	LT

³ LT : Long-Terme, MT : Moyen Terme, CT : Court Terme

5 Conclusion

La forêt naturelle de la Mandraka, en tant que vestiges des forêts denses humides de montagne de Madagascar sont encore riches en écosystèmes, espèces et gènes. Deux groupes phytosociologiques ont été identifiés. Ils se distinguent par l'orientation des pentes où ils se trouvent ainsi que par la morphologie foliaire des espèces qui les composent. D'un point de vue structural, même si l'abondance totale diminue, la production de bois et le stock de carbone augmentent. Ce sont des écosystèmes évolutifs et dynamiques. Particulièrement, la forêt secondaire présente des caractéristiques proches de la forêt primaire. Ceci montre qu'elles sont en train de se reconstituer. Pourtant, des activités humaines détériorent la physionomie de ces habitats, directement via les exploitations illicites entre autres et indirectement via la prolifération des lianes et des ronces. Le niveau de pression est faible sur l'échelle de Lund (2009) mais il nécessite des suivis récurrents. Quoiqu'il en soit, les essences qui s'y trouvent révèlent des qualités particulières. *Agauria sp.* (Ericaceae), une essence de forêts secondaires et à croissance probablement rapide, peut constituer du bois de substitution à *Tambourissa trichophylla* (Monimiaceae). Ces deux essences sont idéales en menuiserie quant à *Neotina isoneura* (Sapindaceae), *Nuxia capitata* (Stilbaceae) et *Weinmannia rutenbergii* (Cunoniaceae) sont efficace en tant qu'élément sous-tension. Les variabilités intra-arbre des propriétés du bois sont faibles, les bois de tension sont peu prononcés, les variabilités intra-spécifiques sont élevées sauf pour *Tambourissa trichophylla* appuyant ainsi l'intérêt de la conserver.

En réponse, à la problématique, parmi les quatre (4) héliophiles, *Agauria*, *Nuxia* et *Weinmannia* peuvent être utilisées pour des reforestations afin de rétablir rapidement la couverture végétale. La dernière avec *Neotina* peuvent aussi faire office d'enrichissement. Quant à *Tambourissa* des multiplications sont nécessaires via des enrichissements. A plus forte raison, le choix d'essences dépend du site d'implantation, du niveau de succession ou du niveau de développement de la forêt et bien sûr des objectifs de plantations. Pour une meilleure efficacité, il est conseillé d'utiliser le plus possible d'essences et avoir beaucoup de patience car, les activités de restauration peuvent durer plus d'une centaine d'années (Nellemann & Corcoran, 2010).

Enfin, les objectifs (nationaux et internationaux) de gestion de l'environnement passent tous, par l'impératif de la restauration des écosystèmes dégradés sans tarder ainsi que l'intérêt de la recherche. Etudier la domestication, la croissance, l'écologie, l'utilisation, la multiplication et l'amélioration des essences autochtones est primordiale sinon il serait difficile de corriger certaines contraintes de la gestion des forêts naturelles et de la biodiversité de Madagascar qui resteront un sérieux handicap. Parmi les problématiques qui s'y apparentent peut-être : Comment se comportent ces cinq (5) essences et leur bois en plantations ? Dans leurs situations actuelles, elles peuvent encore avoir de l'avenir si des actions sont entreprises. Ainsi, peut-être les essences malagasy pourront fournir une production soutenue et de qualité sans nuire à la biodiversité et permettre un marché efficace tant au niveau national qu'international.

6 Bibliographie

1. AFNOR (1942), *NF B51-002 - Bois-caractérisation physiques et mécanique du bois*, p. 16.
2. AFNOR (1985), *NF B51-003- Bois-Conditions générales d'essais*, p. 4.
3. AFNOR (1985), *NF B51-005 - bois-Détermination de la masse volumique*, p. 5.
4. AFNOR (1985), *NF B51-006 - Bois-Détermination du retrait*, Norme française, p. 6.
5. AFNOR (1985), *NF B51-013 - Détermination de la dureté Monnin*, Norme Française, p. 5.
6. AFNOR (1987), *NF B51-016 - Bois-Flexion statique détermination du module d'élasticité en flexion statique de petites éprouvettes sans défauts*, Normes française, p. 6.
7. AFNOR (1995), *NF P63-202-1, Parquets - Parquets collés - Partie 1: cahier de clauses techniques*, p. 26.
8. AFNOR (2000), *NF EN 1534 - Parquets et planchers en bois, détermination de la résistance au poinçonnement (Brinell)*, Norme Européenne - Norme Française, p. 8.
9. Alteyrac, J (2005), *Influence de la densité du peuplement et de la hauteur dans l'arbre sur les propriétés physico-mécaniques du bois d'épinette noire (Picea mariana (Mill.) B.S.P)*, Ulaval, Québec, p. 126.
10. Andriamalala, F, Ranaivoarimanana, S, Rakotomalala, FA, Roger, E, Faramalala, MH, Rabarison, H, Rakotondraompiana, S, Rakotoniaina, S & Riéra, B (2011), *Outils pour la caractérisation des milieux forestiers et de leur diversité végétale*, p. 9.
11. Andriamparanony, I (2012), *Etude des potentialités floristiques de la forêt naturelle d'Antenina en vue de l'élaboration d'un plan d'aménagement*, DEA, ESSA-forêts, Univ. Tanà, p. 59.
12. Andrianjaka, M (1998), *Guide d'inventaire forestier*, Antananarivo, p. 30.
13. Aramaki, A, Baillères, H, Brancheriau, L, Kronland, R & Ystad, S (2007), *Sound Quality assessment of wood for xylophone bars*, Journal of the Acoustical Society of America, pp. 2407-2420.
14. Aronson, J, FLoret, C, Le FLoc'h, E, Ovalle, C & Pontanier, R (1995), *Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. le vocabulaire et les concepts*, in *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait?*, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 11-29.
15. Barnaud, G & Chapuis, J-L (2004), *Ingénierie écologique et écologie de la restauration: Spécificités et complémentarités*, Ingénieries N°spécial, pp. 123-138.
16. Benoit, Y (2008), *Le Guide des essences de bois*, Eyrolles, FCBA, p. 143.
17. Birkinshaw, C, Rabehevitra, D, Rakotonirina, N & Raharimampionona, J (2007), *Flore (Plantes vasculaire) du couloir forestier d'Anjozorobe, dans Inventaires de la faune et de la flore du couloir forestier d'Anjozorobe - Angavo*, Série Sciences biologiques n°24, pp. 47-75.
18. Borcard, D (1997), *Quelques notes sur l'interprétation d'une analyse factorielle ou canonique des correspondances*, LEVP, p. 11.
19. Braido dos Santos, DV, Koubaa, A & Bergeron, Y (2014), *Variation intra-arbre de la qualité du bois d'épinette noire (Picea mariana) avant et après coupe partielles*, 6th , CRMR, p. 2.
20. Brancheriau, L (2013), *Caractérisation acoustique et ultrasonore des produits bois et composites*, Mechanics of materials , Sciences et TEchnique du Languedoc, Université Montpellier II, p. 122.

21. Braun-Blanquet (1964), *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde*, 3rd , Springer, Wein-
New York, p. 865.
22. Bremaud, I (2006), *Diversité des bois utilisés ou utilisables en facture d'instruments de musique. Etude expérimentale des propriétés vibratoires en direction axiale de types de bois contrastés en majorité tropicaux. Relations à des déterminants de microstructure et de comp*, Mechanics. Université Montpellier II - Sciences et Techniques de Languedoc, p. 274.
23. Cabriolier (2007), *Description et comportement mécanique des bois contrefilés*, Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier II, p. 36.
24. Chaperon, P, Danloux, J & Ferry, L (1993), *Fleuves et rivières de Madagascar*, ORSTOM, DMH, CNRE , Paris, p. 874.
25. Chave, H, Andalo, C, Brown, S, Cairns, MA, Chambers, JQ, Eamus, D, Fölster, H, Fromard, F, Higuchi, N, Kira, T, Lescure, JP, Nelson, BW, Ogawa, H, Puig, H & B., R (2005), *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*, Oecologia, pp. 87-99.
26. Chomitz, KM (2007), *At Loggerheads? Agricultural expansion, poverty, and environment in the tropical forest.*, the international Bank for Reconstruction and Development/the World Bank, Washington.
27. Conservation International (2011), *Restauration forestières à Madagascar: document de capitalisation des expériences en vue de l'élaboration d'un Plan d'Action de Restauration*, Conservation international Madagascar, MacArthur Foundation, p. 66.
28. Constant, T (1995), *Modélisation des déformations des pièces de bois au séchage et influence de la structure interne de l'arbre*, Revue Forestière Française, pp. 141-145.
29. Cordonnier, T (2004), *Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers*.
30. Dawkins, HC (1961), *Estimating total volume of some Caribbean trees*, Carribean Forester, pp. 62-63.
31. Dogu, A & Grabner, M (2010), *A staining method for determining severity of tension wood*, Turk J Agric For 34 , pp. 381-392.
32. Dupuy (1998), *Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine*, FORAFRI, p. 322.
33. Durrieu de Madron, L, Favrichon, V, Dupuy, B, Bar Hen, A & Maitre, H (1998), *Croissance et productivité en forêt dense humide : Bilan des expérimentations dans le dispositif d'Irobo côte d'Ivoire (1978 - 1990)*, FORAFRI, Montpellier, p. 55.
34. FAO (1981), *Manuel d'inventaire forestier*, 27th , Rome, p. 200.
35. FAO (2010), *Evaluation des ressources forestière mondiales*, Rome, p. 348.
36. FAO (2014), *The State of The world's Forest Genetic Resources*, Rome, p. 274.
37. Favrichon, V, Gourlet-Fleury, S, Bar-Hen, A & Dessard, H (1998), *Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide: Eléments pour une méthodologie d'analyse des données*, 14th , CIRAD, CIFOR, Coopération française, p. 67.

38. Finegan, B (1992), *The management potential of neotropical secondary lowland rain forest*, Forest Ecology and management 47, pp. 295-321.
39. Fouilhé, E, Houssay, A & Bremaud, I (2012), *Dense and Hard woods in musical instruments making: Comparison of mechanical properties and perceptual quality grading*, Société Française d'Acoustique, Acoustics 2012, Nantes, France, pp. 1-6.
40. Fournier, M, Amusant, N, Beauchêne, J & Mouras, S (2003), *Qualité des bois de Guyane*, Rev. For. Fr, LV - Numéro spécial, pp. 340-351.
41. Gérard, J, Edi Kouassi, A, Daigremont, C, Détienne, P, Fouquet, D & Vernay, M (1998), *Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains*, 11th, Montpellier, France, p. 185.
42. Gueneau (1969), *Propriétés physiques et mécaniques des bois malgaches*, Antananarivo, p. 14.
43. Guillaumet, J-L (1983), *Forêts et fourrés de montagne à Madagascar*, pp. 481-502.
44. Hamilton, LS (2009), *Les forêts et l'eau*, FAO - Forêts 155, Rome, pp. 23-61.
45. Hoffmeyer, P (1987), *The role of grain angle, knots, tension wood, compression wood and other anomalies of the mechanical properties of wood*, Building Materials Laboratory, Denmark, p. 75.
46. Jourez, B (1997), *Le bois de tension, 1. Définition et distribution dans l'arbre*, Biotechnol. Agron. Soc. Environ., pp. 100-112.
47. Keenleyside, KA, Dudley, N, Cairns, S, Hall, CM & Stolton, S (2012), *Ecological Restoration for Protected Areas: Principles, Guidelines and Best practices*, IUCN, Gland, Switzerland, p. 120.
48. Keylwerth (1948), *Cité dans Masseran & Mariaux, 1985*.
49. Koechlin, J, Guillaumet, J-L & Morat, P (1974), *Flore et végétation de Madagascar*, Flore et végétation Mundi, p. 687.
50. Leuschner, C, Zach, A, Moser, G, Homeier, J, Graefe, S.HD, Wittich, B, Soethe, N, Lost, S, Röderstein, M, Horna, V & Wolf, K (2013), *The carbon balance of tropical mountain forests along an altitudinal transect*, Ecological Studies 221, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 117-139.
51. Lund, MF (2009), *What is degraded forest?*, FAO, p. 42.
52. Martinez, D (2003), *Introduction to Holistic Restoration Forestry, Forested Landscapes of Southwestern Oregon and Northern California*, p. 65.
53. Masseran, C & Mariaux, A, (1985), *Anisotropie de retrait et structure du bois: recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres*, BFT, pp. 35-47.
54. Meddour, R (2011), *La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanquet-Tüxenienne*, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Département des Sciences Agronomiques, p. 40.
55. MEF (2011), *Quatrième Rapport National de la Convention sur la Diversité Biologique*, Antananarivo, p. 120.
56. MEF (2014), *Cinquième rapport national de la convention sur la diversité biologique, Madagascar*, MEF, UNEP, p. 136.

57. Michelot, A, Gachet, S, Legay, M & Landmann, G (2013), *L'autécologie des essences forestières et son intégration dans les outils d'aide à la décision*, ECOFOR, AFORCE, CDC, France, p. 44.
58. Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures (!), *Guide de l'Electrification rurale à Madagascar*, p. 245.
59. Nellemann, C & Corcoran, E (2010), *Dead planet, living PPlanet - Biodiversity and Ecosystem restoration for Sustainable Development. A rapid Response Assessment*, United Nations Environment Programme, Grid Arendal, p. 109.
60. Noack, D (1972), *Evalutaion des propriétés des bois tropicaux*, Bois et Forêts des Tropiques, N°144, pp. 55-65.
61. OIBT (2012), *Annual review and assessment of the world timber situation 2012*, Division of Economic Information and Market Intelligence, Yokohama, p. 182.
62. Pauwels, D (2003), *Conception d'un système d'aire à la décision pour le choix d'un scénario sylvicole: application aux peuplements de mélèze en Région Wallone*, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, p. 236.
63. Pedraza, RA & Williams-Linera, G (2003), *Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest*, New Forests 26, Netherlands, pp. 83-99.
64. Pilate, G, Chabbert, B, Cathala, B, Yoshinaga, A, Leplé, J, Laurans, F, Lapierre, C & Ruel, K (2004), *Lignification and tension wood*, 327th , Elsevier, pp. 889-901.
65. Primack, RB & Ratsirarson, J (2005), *Principe de base de la conservation de la biodiversité*, CITE, ESSA, Antananarivo, p. 294.
66. QI, B (2009), *Influence de l'endommagement sur les propriétés d'élasticité des matériaux modèles: Approche numérique et expérimentale*, Laboratoire du Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, Limoges, p. 131.
67. Rafidimanantsoa, HP (2013), *Estimation de la biomasse aérienne des arbres en forêts: Quelques données d'infradensité du bois utiliser? cas de la foret naturelle de Mandraka*, ESSA-Forêts, p. 37.
68. Rajaonera, ML (2008), *Mise en place d'une état de référence et d'un plan de suivi écologique permanent des vestiges de forêts primaires de la station forestière de Mandraka*, ESSA-Forêts, , Antananarivo, p. 84.
69. Rajemison, A (2010), *TYpologie de la végétation rémanente en vue d'une restaurationécologique. cad du site d'Ankafobe- Tampoketsa d'Ankazobe - hautes terres de Madagascar*, DEA ESSA-Forêts, Antananarivo, p. 63.
70. Rajoelison, LG (1997), *Etude d'un peuplement sylvicole*, ESSA-Forêts, Antananarivo, p. 26.
71. Rajoelison, LG (2005), *Les forêts littorales de la région orientale de Madagascar: vestiges à conserver et à valoriser*, DESS, ESPA, génie Industriel , Antananarivo, p. 268.
72. Rajoelison, L, Randriamboavonjy, J, Razafindramanga, M:RF & Rakoto Ratsimba, H (2007), *Aménagement participatif d'un bassin versant à Mandraka*, ESAPP-ESSA forêts, p. 41.
73. Rajonshon, HM (2014), *Meilleure connaissance des propriétés des bois utilisées à Antananarivo, pour une valorisation durable des essences autochtones*, ESSA-Forêts, Antananarivo.

74. Rakotonanahary, TC (2008), *Etude des relations entre la pluie, le sol, le relief, la couverture végétale et l'érosion dans la région de Mandraka*, Mém , ESSA-Forêts , Antananarivo, p. 70.
75. Rakotovao, G, Rabevohitra, AR, Collas De Chatelperron, P & Guibal, D (2012), *Atlas des bois de Madagascar*, Quae, p. 418.
76. Ramanakoto, M (2013), *Etude de la variabilité radiale de la densité du bois des essences autochtones dans la station forestières de Mandraka*, DEA ESSA-Forêts, Antananarivo, p. 58.
77. Rameau, JC (1987), *Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Application aux forêts du Nord-Est de la France*, Univ.de Besançon, p. 344.
78. RAZAFY FARA, L (2004), *Rapport sur les expériences sur la restauration des paysages forestiers et les projets clés travaillant dans le domaine*, p. 31.
79. Robisoa, MA (2008), *Définition d'un état zéro et mise en place d'un système de suivi Ecologique permanent de l'arboretum de la station forestière de Mandraka*, p. 82.
80. Rollet, B (1983), *La régénération naturelles dans les trouées: un processus général de la dynamique des forêts tropicales humides*, Revue Bois et Forêts des Tropiques n° 201, p. 31.
81. Rothe, PL (1964), *Régénération naturelle en forêt tropicale : le Diptérocarpus dyeri (Dau) sur le versant Cambodgien du golfe du Siam*, Bois et Forêts des tropiques, pp. 386-397.
82. Schutz (1990), *Sylviculture I: Principe d'éducation des forêts*, Presses polytechniques et universitaires Normandes.
83. Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2010), *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi*, Japon.
84. SER; IUCN (2004), *Ecological Restoration, A means of Conserving biodiversity and sustaining livelihoods*, Tucso, Arizona, USA, p. 8.
85. Sultana, RS & Rahman, M (2013), *A review on structures of secondary wall in reaction wood fiber of hardwood species*, 1st , Plant, pp. 54-59.
86. Trouy-Triboulot, M-C & Triboulot, P (2012), *Matériau bois: Structure et caractéristiques*, pp. C 925:1-23.
87. Turner, M, Baker, WL, C.J., P & Peet, RK (1998), *Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbance*, 1st , pp. 511-523.
88. Turok, J & Geburek, T (2000), *International collaboration on forest genetic resources: the role of Europe. Proceeding of the Second EUFORGEN Steering Committee meeting*, Rome.
89. Wehrle, L (1985), *La ronce (Rubus fruticosus, L. Agg) en forêt*, RFF XXXVII , Biologie et Forêt, pp. 288-304.
90. White, F (1986), *La végétation d'Afrique: Mémoire accompagnant la carte de la végétation de l'Afrique UNESCO\AETFAT\UNSO, 20384th* , ORSTOM, Paris, France, p. 384.
91. Woodcock, DW & Shier, AD (2003), *Does canopy position affect wood specific gravity in temperate forest tree*, Annals of botany 91, pp. 529-537.
92. www.pnae.mg), *Rapport d'activités 1.1, Quantification sommaire du stock de carbone du pays*, Consulté 20 juin 2015.

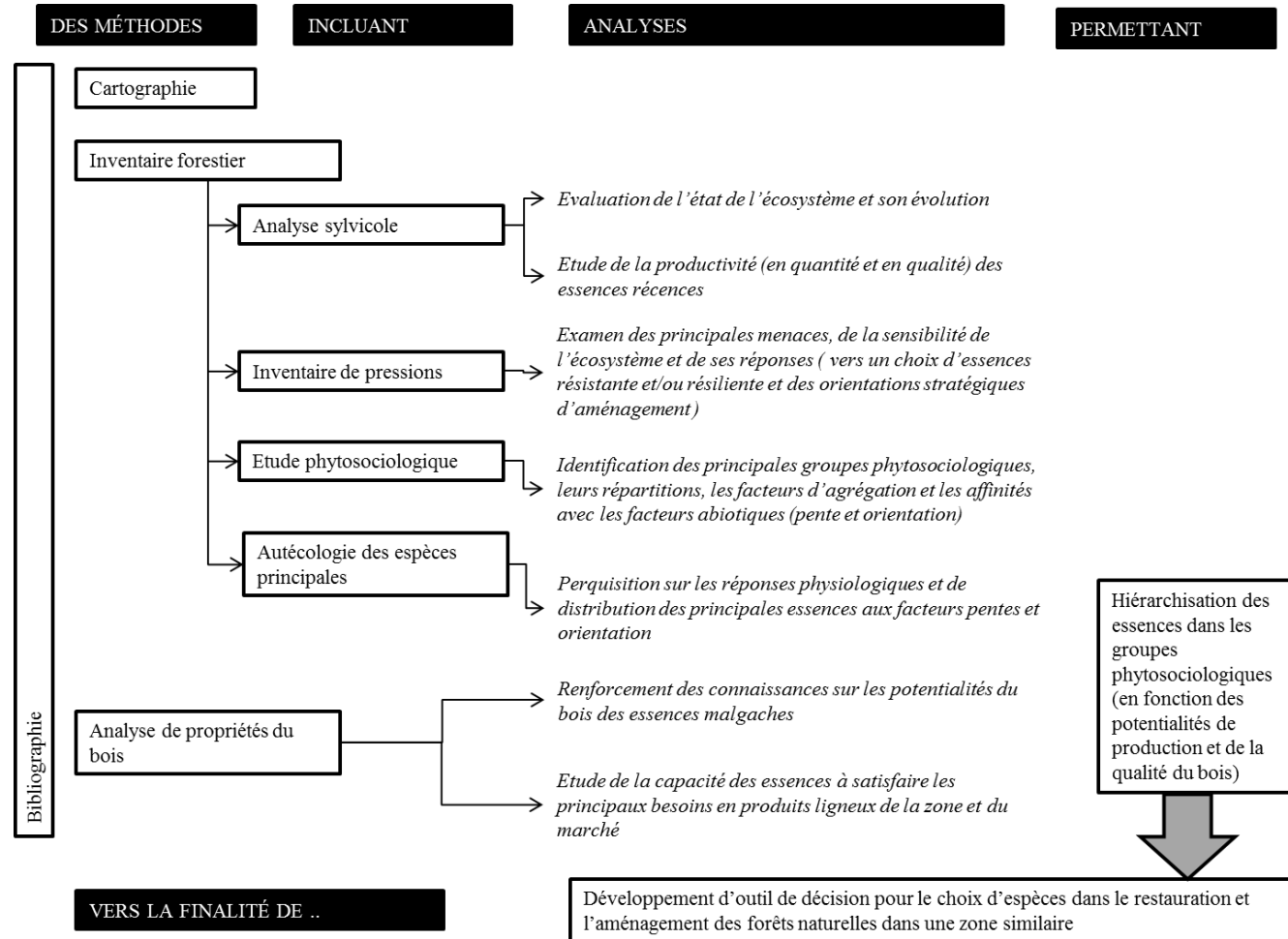


ANNEXES

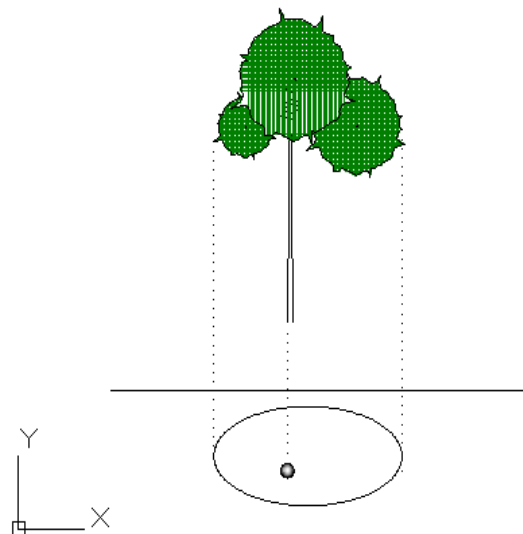
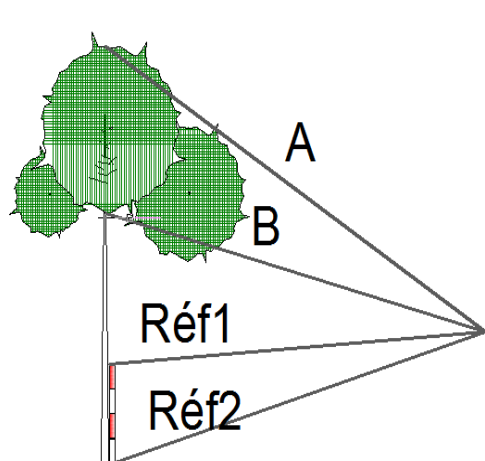


7 Annexes

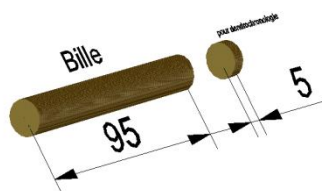
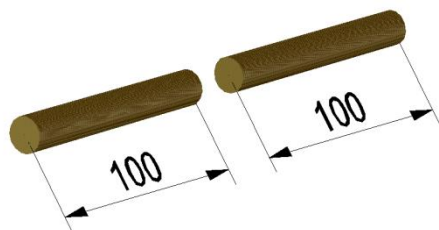
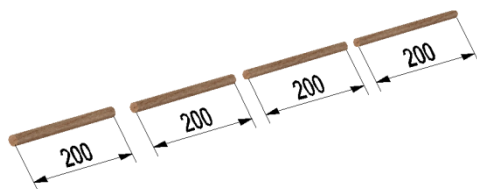
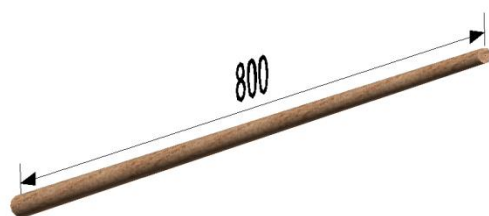
Annexe 1 Récapitulation de l'approche méthodologique



Annexe 2 Estimation de la hauteur et projection verticale du houppier



Annexe 3 Résumé de façonnage d'éprouvette depuis l'abattage

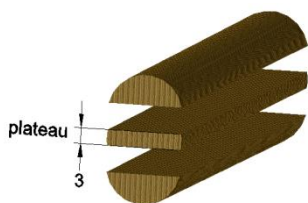


Par exemple un arbre de 80 de fût est abattu. Aucun écorçage n'est effectué afin de minimiser la gerçure.

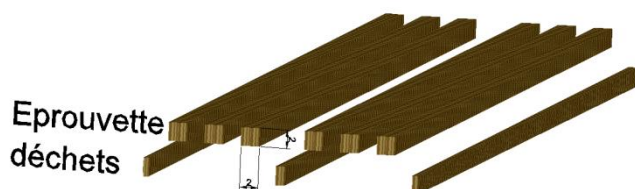
La grume est sectionnée en billons de 2 m chacun pour faciliter le débardage, le stockage et accélérer le séchage

Une fois séché, chaque billon est divisé en deux de 1 mètre chacun.

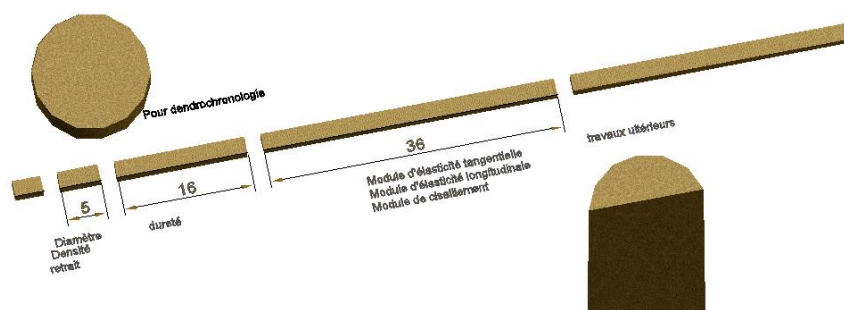
Sur chaque mètre est prélevé un disque de 5 cm de diamètre. ceci servira à des études dendrochronologies



Sur le reste, un plateau de 3 cm est prélevé sur la partie centrale dans l'axe de la pente, identifié par la peinture de marquage de l'arbre.



Les plateaux ont été ensuite débités en plusieurs liteaux carrés de 25 mm de largeurs; le tous est façonné à la raboteuses pour éliminer les défauts provoqués par la scie



Annexe 4 Protocole de manipulation de la densité, des retraits et du PSF

- Epreuves de 2 cm x 2 cm x 5 cm
 - Les épreuves sont tracées à un certain niveau qui sera la position de mesure tout au long des manipulations.
 - Elles sont immergées dans l'eau pendant 48 h puis mesurée (dimensions radiale, tangentielle et longitudinale)
 - Elles sont ensuite stabilisées à 20 °C et 65 % d'humidité relative en enceinte climatique jusqu'à ce que la masse se stabilise (différence de moins de 0,5%) pendant 24h,
 - Elles sont mesurées (Masse, dimension radiale, tangentielle et longitudinale)
 - Elles sont introduites en étuve à 103 °C jusqu'à ce que la masse se stabilise en plus de 4 heures
 - Elles sont mesurées de la même manière pour avoir la masse et les dimensions anhydres.
- Epreuve de dimension 2 cm x 2 cm x 1 cm
 - Elles sont immergées dans l'eau pendant 48 h puis mesurées (R, T)

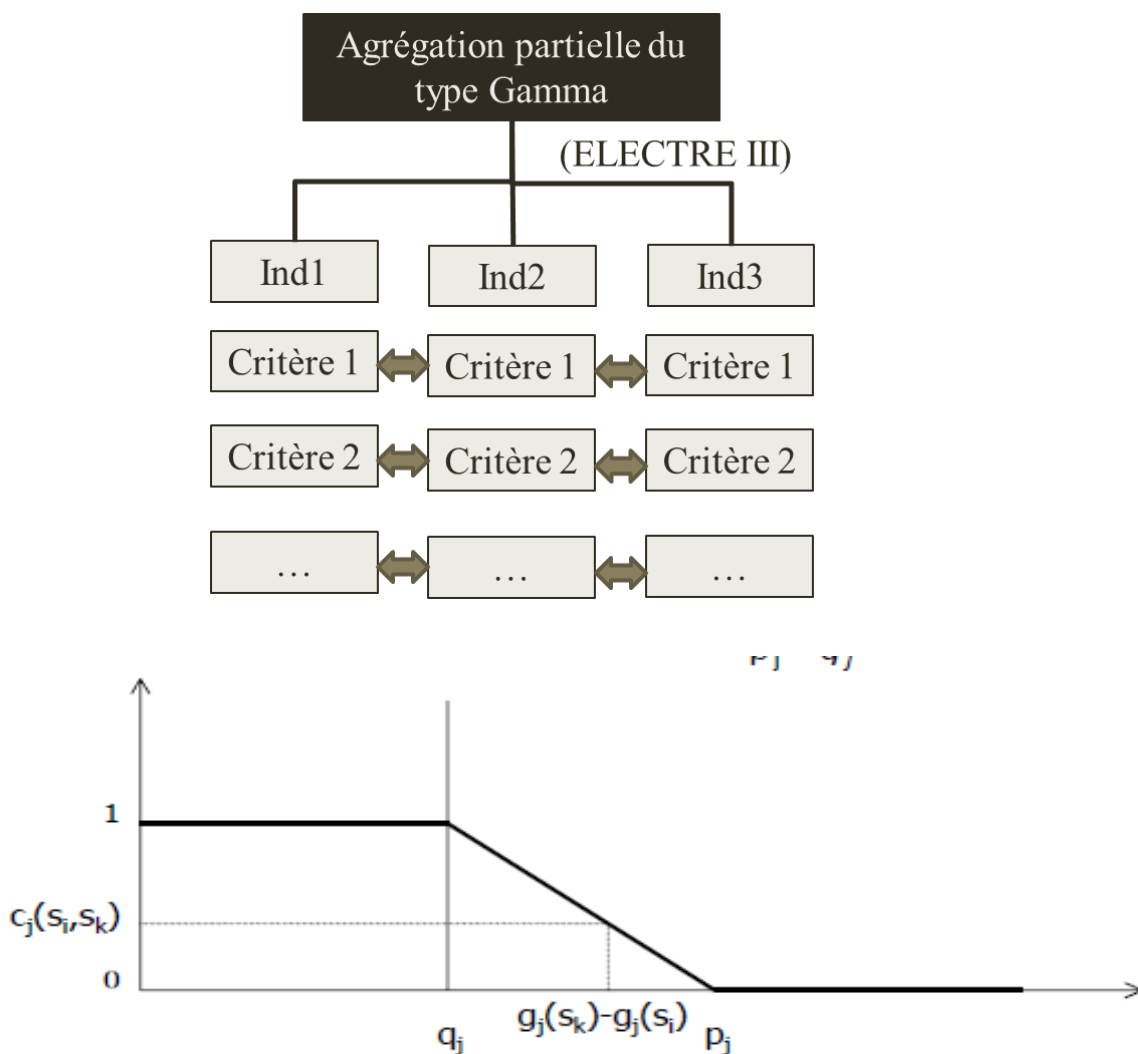
- Ensuite, elles sont successivement placées en enceinte climatique jusqu'à ce que la masse soit stable : d'abord à 20 °C, 85 % HR puis, 20 °C, 65 % HR, 45 °C, 35 % HR pour avoir respectivement les humidités de 18 %, 12 % et 6 %. Entre chaque étape, les dimensions R, T sont mesurées.

- Enfin, elles sont séchées jusqu'à l'état anhydre en étuve à 103 °C puis mesurées.

- La régression de la variation de dimension selon l'humidité du bois donne le point de saturation des fibres

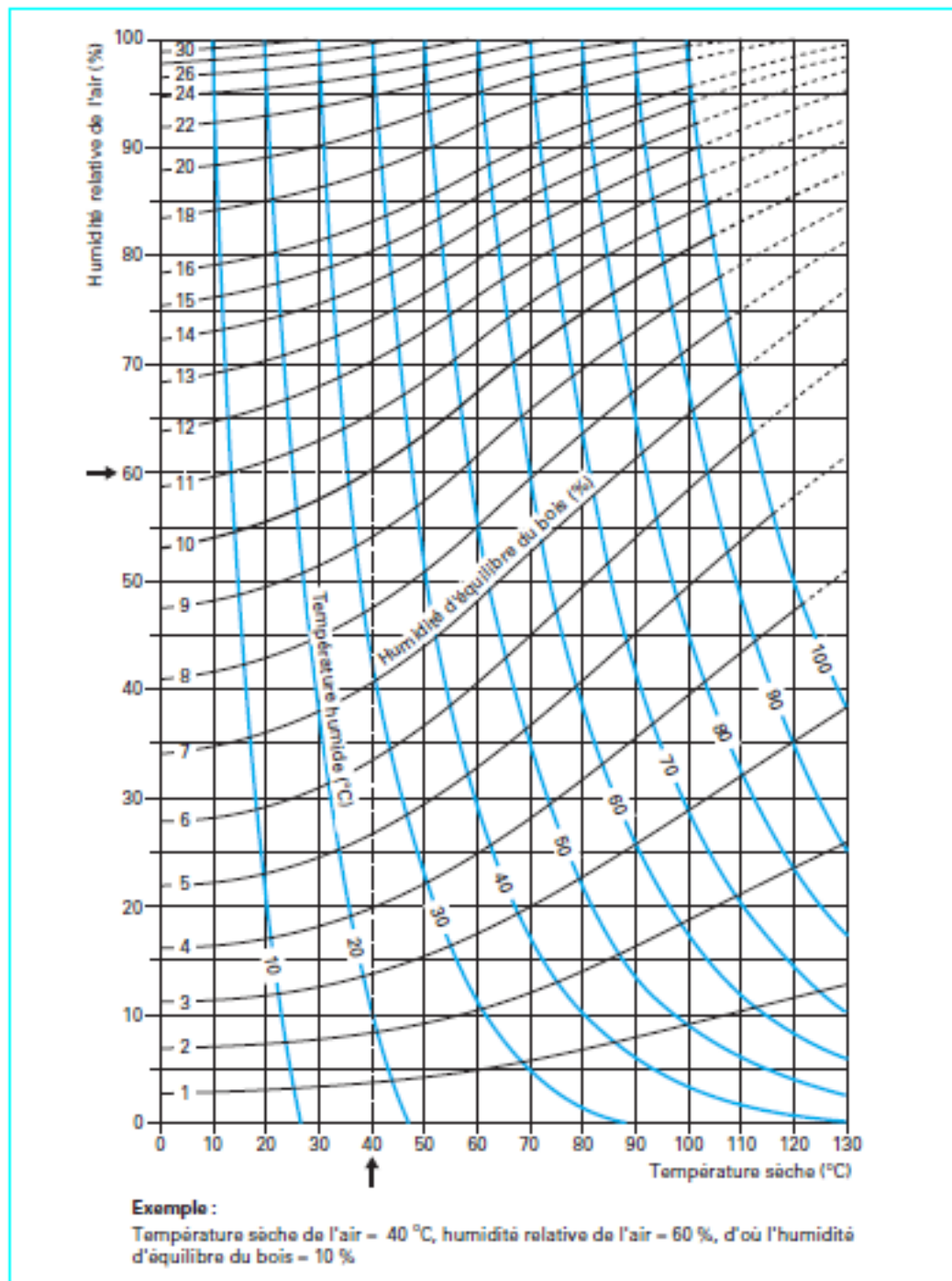
Annexe 5 Principe de l'analyse multicritère

Celle utilisée est l'agrégation partielle du type gamma.



Source : (Pauwels, 2003)

Annexe 6 Courbe d'équilibre hygrosopique des bois (Trouy-Triboulot & Triboulot, 2012)



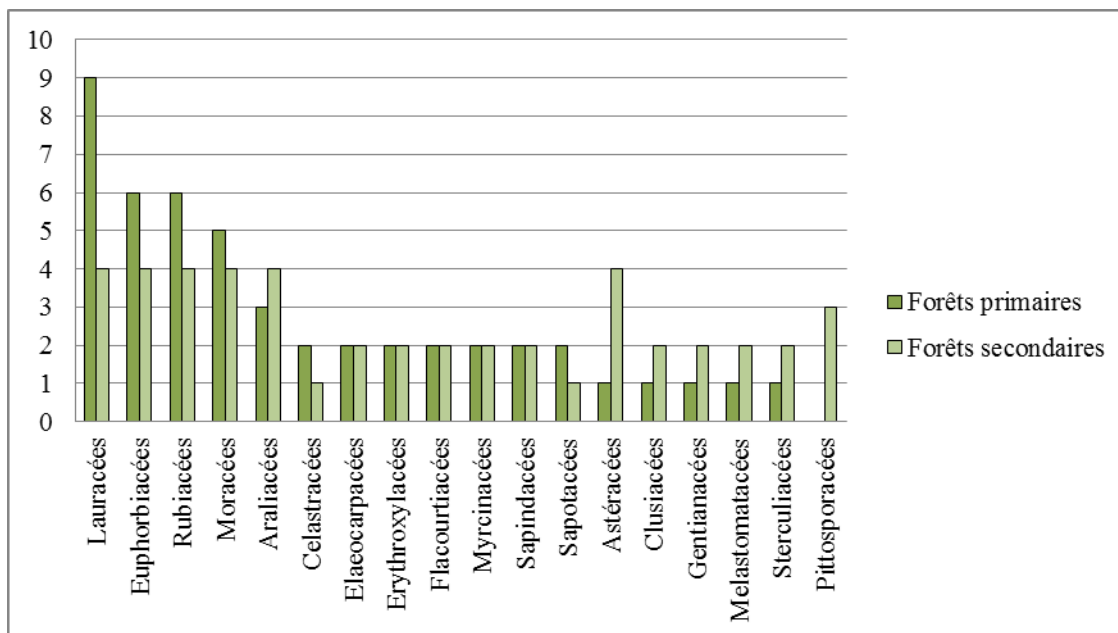
Annexe 7 Essences inventoriées

<i>Nom scientifique</i>	<i>Nom vernaculaire</i>	<i>Nom scientifique</i>	<i>Nom vernaculaire</i>
<i>Agauria sp.</i>	Angavo	<i>Memecylon spp.</i>	Tsimahamasatsokina
<i>Albizzia gummifera</i>	Volomborona	<i>Mussaenda sp</i>	Felambarika
<i>Anthocleista madagascariensis</i>	Varia	<i>Mussaenda sp</i>	Fatora
<i>Anthocleista madagascariensis</i>	Lendemy	<i>Mystroxyton aethiopicum</i>	Fanzava
<i>Aphloia theaformis</i>	Voafotsy, dontomana	<i>Neotina isoneura</i>	Felaborona
<i>Bivinia jalberti</i>	Hazoambo	<i>Nuxia capitata</i>	Valanirana
<i>Bosqueia sp.</i>	Taimboalavoala	<i>Ochrocarpus parvifolius</i>	Kija
<i>Breonia louvelii</i>	Valimpangady	<i>Ochrocarpus parvifolius</i>	Kininina
<i>Breonia louvelii</i>	Molompangady	<i>Ocotea racemosa</i>	varongyfotsy
<i>Brexiella sp.</i>	Ranga	<i>Ocotea racemosa</i>	varongy
<i>Calophyllum chapelieri</i>	Vintanina	<i>Ocotea sp</i>	Varongymaintso
<i>Canarium sp.</i>	ramymainty	<i>Ocotea trichophlebia</i>	varongymavo
<i>Cassinopsis madagascariensis</i>	Fandrianakanga	<i>Oncostemum grandifolium</i>	Elatrandgina
<i>Chloroxylon faho</i>	Maitroririnina	<i>Oncostemum verticillatum</i>	Hazotoho
<i>Croton mongue</i>	Mongolahy	<i>Orfilea sp</i>	Karambitro
<i>Croton mongue</i>	Molanga	<i>Phyllarthron sp.</i>	Zahana
<i>Croton mongue</i>	Sily	<i>Pinus sp</i>	Kesika
<i>Dichaetanthera oblongifolia</i>	Tsikotroka	<i>Pittosporum verticillatum</i>	Ambovitsika
<i>Dilobeia thouarsii</i>	Vivaona	<i>Plagioscyphus jumellei</i>	Volanary
<i>Diospyros sp.</i>	Maintiampototra	<i>Polyalthia emarginata</i>	Ambavy
<i>Dombeya lucida</i>	Hafobalo	<i>Potameia antevavatra</i>	Antavavatra
<i>Dombeya lucida</i>	Afobalo	<i>Potameia obovata</i>	Longotra
<i>Dombeya sp</i>	Bonetaka	<i>Protorhus ditimena</i>	Ditimena
<i>Drypetes ambigua</i>	Tsilaitra	<i>Aphloia theaformis</i>	mangidikely
<i>Elaeocarpus serisseus</i>	Sana	<i>Psiadia altissima</i>	Dingadingana
<i>Erica sp</i>	anjavidy	<i>Ravensara acuminata</i>	Tavolopika
<i>Erythroxyton corimbosum</i>	hoditrovy	<i>Ravensara aromatica</i>	Tavolomanitra
<i>Erythroxyton spp.</i>	Menahihy	<i>Ravensara crassifolia</i>	Tavolomalama
<i>Faucherea sp</i>	Nanto	<i>Ravensara sp</i>	Tavolo
<i>Ficus grevei</i>	Ampaly	<i>Ravensara sp1</i>	Tavolomavo
<i>Ficus lutea</i>	Amontana	<i>Schefflera sp1</i>	Voantsilambato
<i>Ficus marmorata</i>	Nonoka	<i>Schefflera sp2</i>	Voantsilamboanjo
<i>Ficus pachyclada</i>	Hampana	<i>Schefflera vantsilana</i>	voantsilanaratsanakoho
<i>Ficus soroceoides</i>	Hafomerika	<i>Slonea sp</i>	Voanana
<i>Ficus tiliifolia</i>	Voara	<i>Streblus dimepate</i>	Dipaty
<i>Gambeya boiviniana</i>	Famelona	<i>Syzigium sp</i>	Rotra
<i>Gastonia sp</i>	Tokatovo	<i>Tambourissa trichophylla</i>	Ambora
<i>Harungana madagascariensis</i>	Harongana	<i>Trema orientalis</i>	Andrarezina
<i>Helicrysum gymnocephalum</i>	Rambiazina	<i>Uapaca densifolia</i>	Voapaka
<i>Homalium sp2</i>	Marefolena	<i>Urophylla lialii</i>	Fanala

<i>Homalium spp.</i>	Hazombato	<i>Vaccinium sp</i>	Voaramontsina
<i>Ilex mitis</i>	Hazondrano	<i>Vernonia pectoralis</i>	Sakatavilotra
<i>Macaranga cuspidata</i>	Mokaranana	<i>Vernonia sp</i>	Ramanjavona
<i>Mapouria parkeri</i>	Bararaka	<i>Weinmannia rutenbergii</i>	Lanona
<i>Mapouria sp</i>	Kafeala	<i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i>	Tsihaniamposa

Celles qui n'ont pas été identifiées sont, Hazompaty, Maheriravina, fantsikahitra, Tsipatikavaoa, rafy, Hafobintanina, Zahandriry, Ririhazo, Mpiandrivavala, Tomenjy

Annexe 8 Nombre d'espèces par famille



Annexe 9 Essences des groupes phytosociologiques

	Groupe 1 (Groupe à <i>Anthocleista</i>)	Groupe 2 (Groupe à <i>Dombeya lucida</i>)
Essences à abondance moyen à élevée	<i>Syzigium sp.</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Vernonia sp.</i>	<i>Ilex mitis</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Oncostemum grandifolium</i> , <i>Polyalthia emarginata</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Streblus dimepate</i>
Essences de faible abondance	<i>Agauria sp.</i> , <i>Erythroxylum corimbosum</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Ravensara aromatica</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i>	<i>Ficus lutea</i> , <i>Phyllarthron sp.</i>
Essences rares dans le groupe	<i>Erythroxylum spp.</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Plagioscyphus jumellei</i> , <i>Ficus marmorata</i> , <i>Drypetes ambigua</i>	<i>Mapouria parkeri</i> , <i>Vaccinium sp</i> , <i>Diospyros sp.</i> , <i>Mystroxydon aethiopicum</i> , <i>Potameia antevaratra</i> , <i>Breonia louvelii</i> , <i>Homalium spp.</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Potameia obovata</i>

Annexe 10 **L'index PHF**

Le PHF est un index de 3 chiffres qui résume qualitativement l'état d'un arbre d'une certaines essences forestières dans un peuplement.

Le premier chiffre, position du houppier (P) exprimé par les valeurs 100, 200, 300, 400, 500, décrit l'intensité d'insolation sur le houppier.

Le deuxième chiffre forme du houppier, exprimé par les valeurs 10, 20, 30, 40, 50 tient compte de la projection du houppier et la masse foliaire d'un arbre qui déterminent la capacité de son fonctionnement.

Le troisième chiffre forme du fût (F) exprimé par les valeurs 1 à 6 donne des indications sur la qualité probable du bois lors d'une exploitation.

On utilise l'index PHF dans des inventaires de forêts primaires, secondaires et même des peuplements équiennes, il permet combiné aux données quantitatives, une interprétation sylvicole plus détaillée. Le PHF se révèle intéressant pour les parcelles permanentes d'accroissement pour juger à long terme la concurrence entre les différents arbres ou espèces.

Le PHF peut être utilisé sans tenir compte de la dimension du fût ou du houppier de l'arbre choisi.

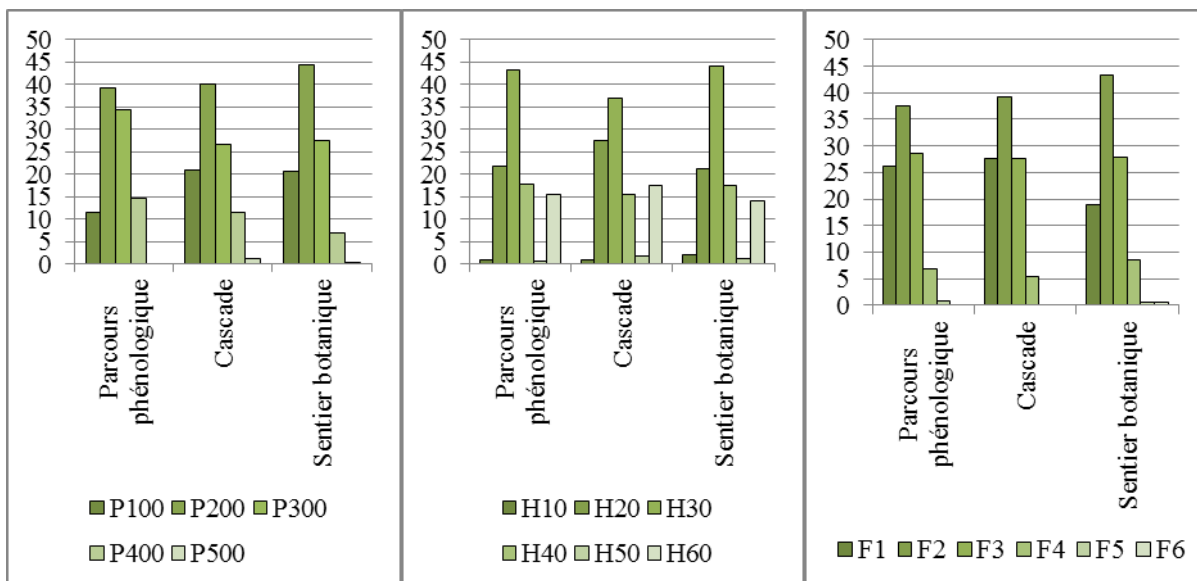
Exemples PHF

232 : arbre dont le houppier est bien ensoleillé d'en haut avec une forme de houppier tolérable et dont le fût est de qualité supérieure

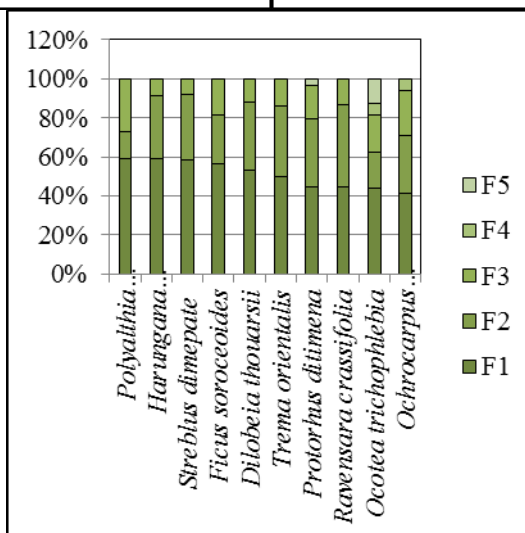
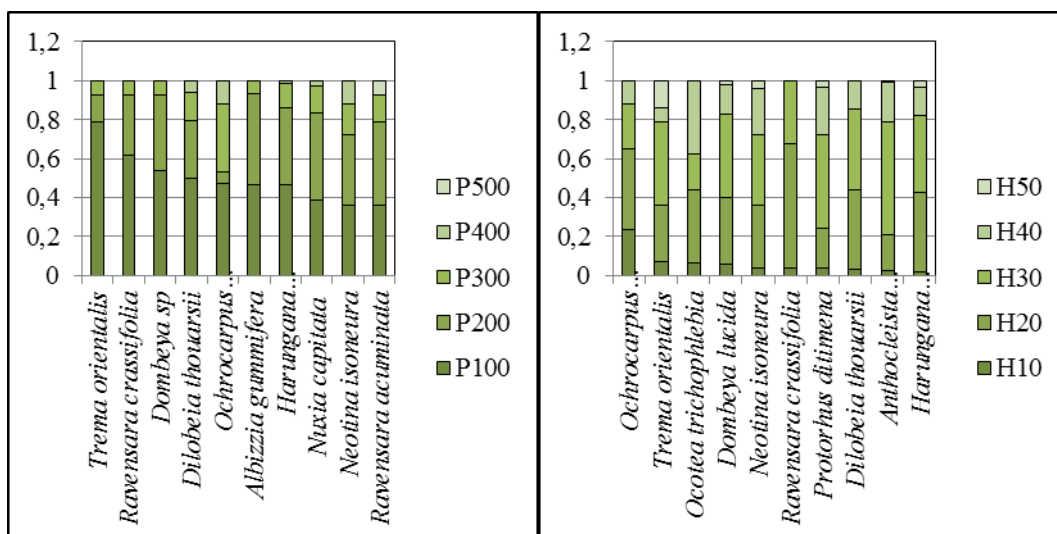
546 : arbre du sous-bois dont le houppier est insuffisamment développé et dont le bois peut servi, lors d'une exploitation uniquement comme bois d'énergie.

Des tableaux de contingence à 3 chiffres (espèces ou peuplement) combiné avec un test de Pearson (Test de χ^2) permettent une mise en valeur du PHF pour une essence dans un peuplement pour tout un peuplement.

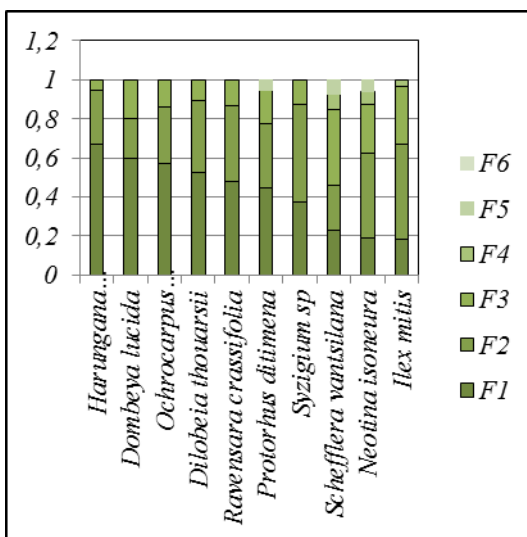
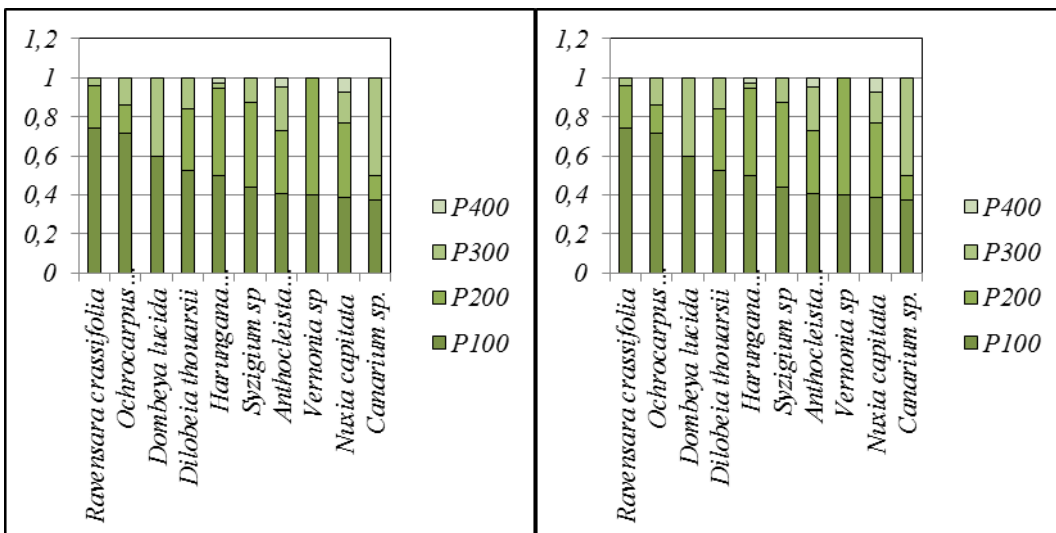
Annexe 11 Distribution des arbres selon le PHF dans les différents reliquats



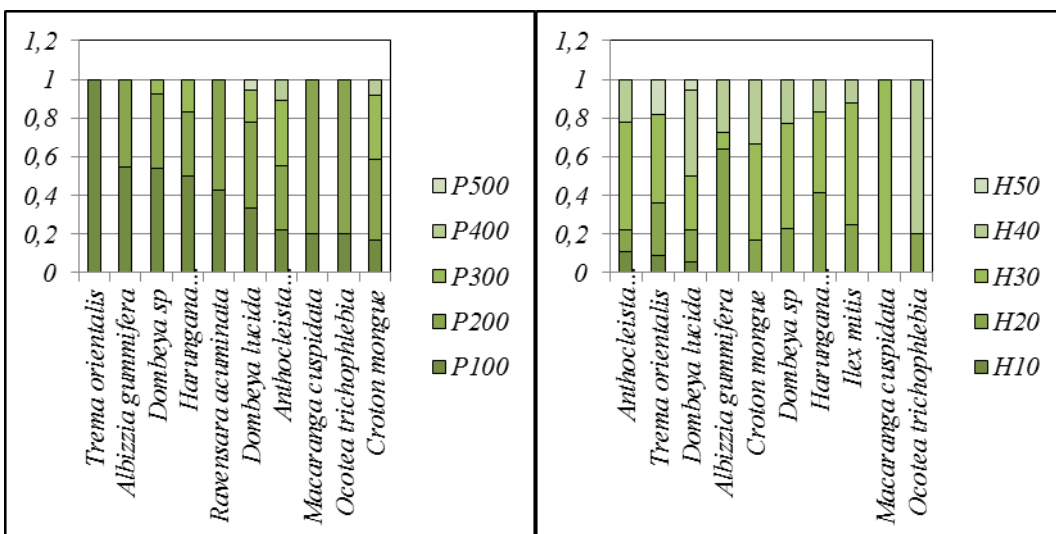
• **Forêts primaires**

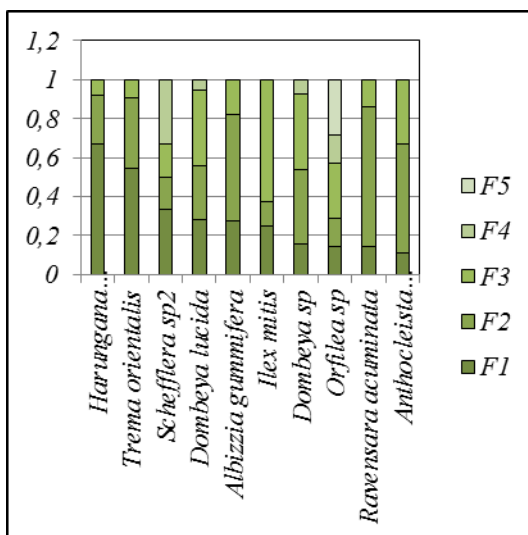


• **En forêts secondaires sur versant**

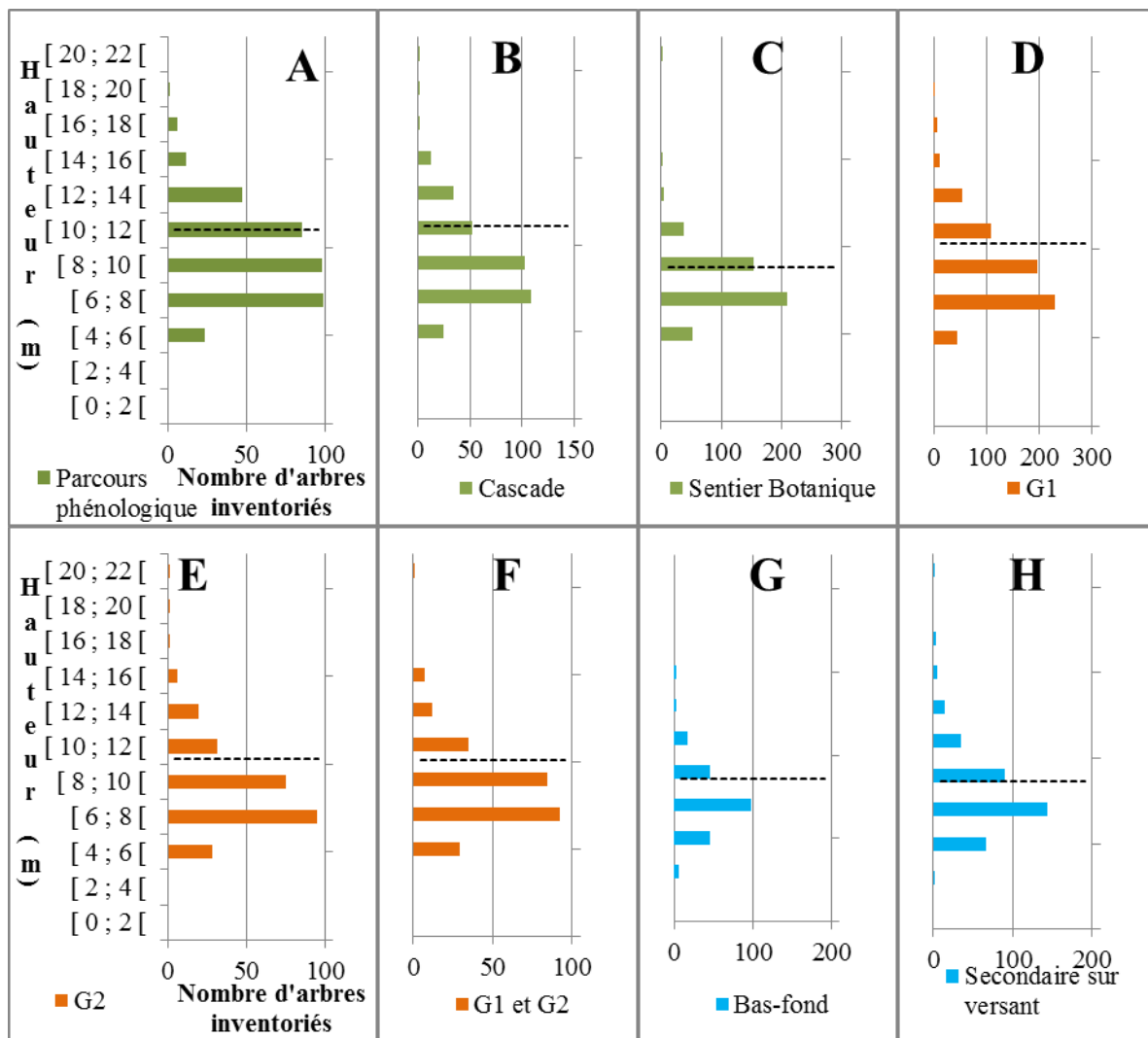


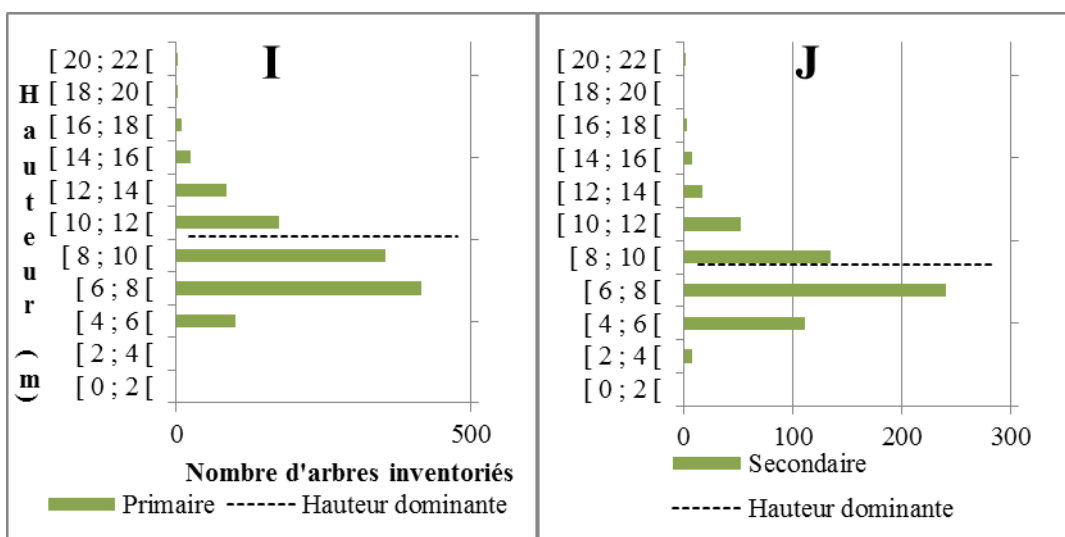
• **Forêts secondaires sur bas-fond**



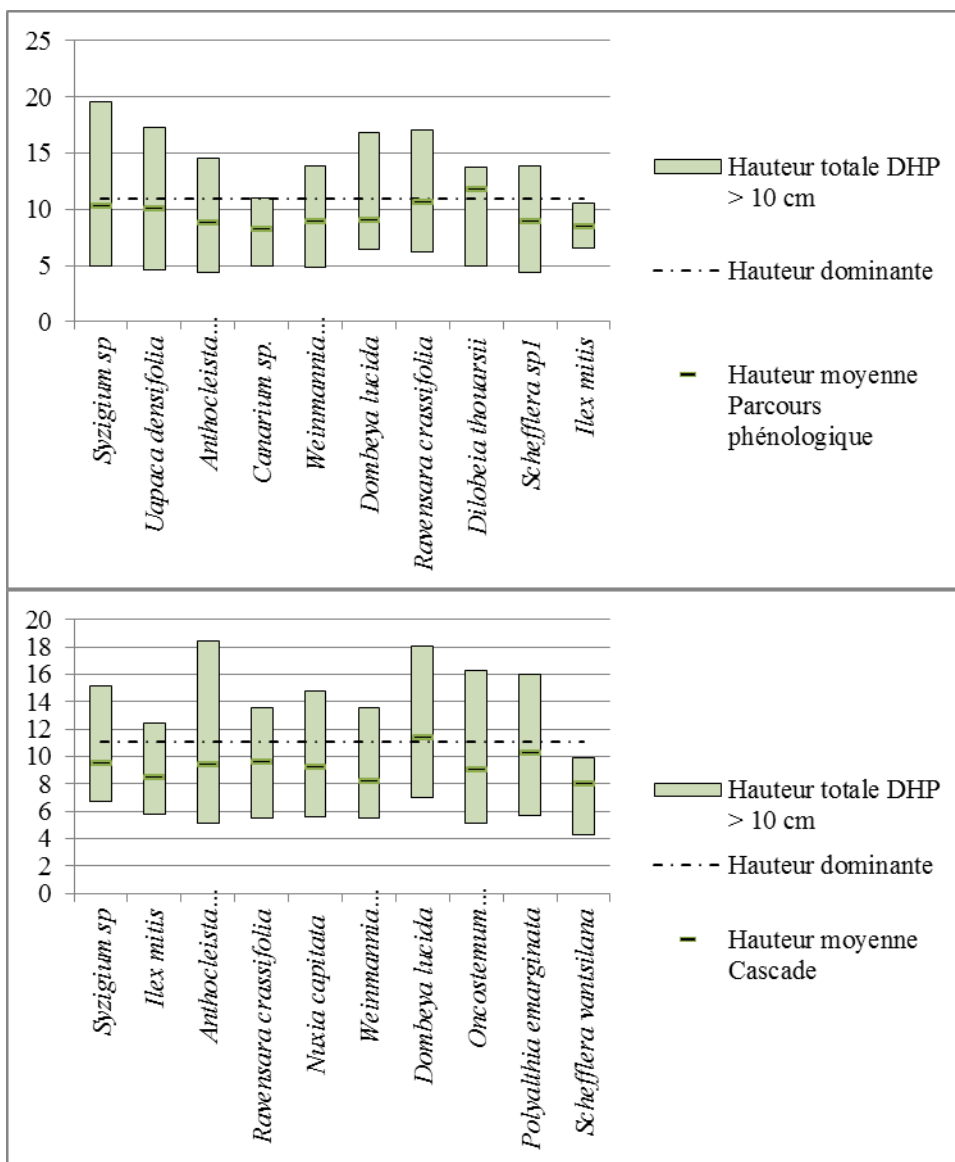


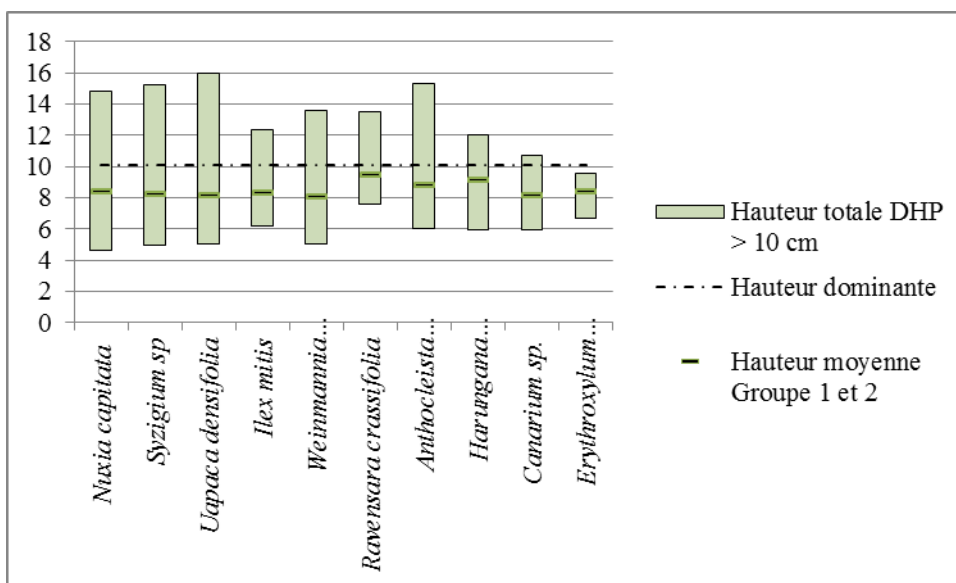
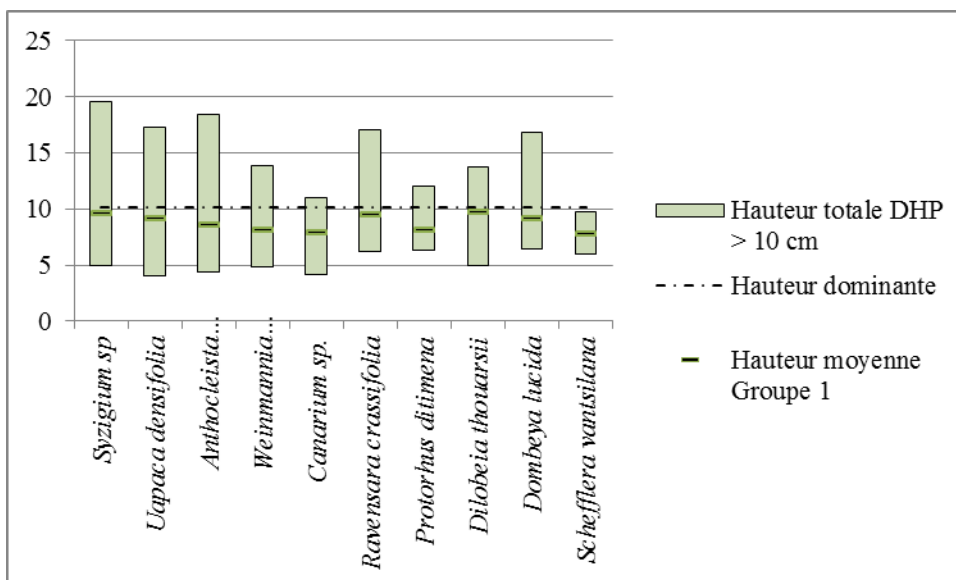
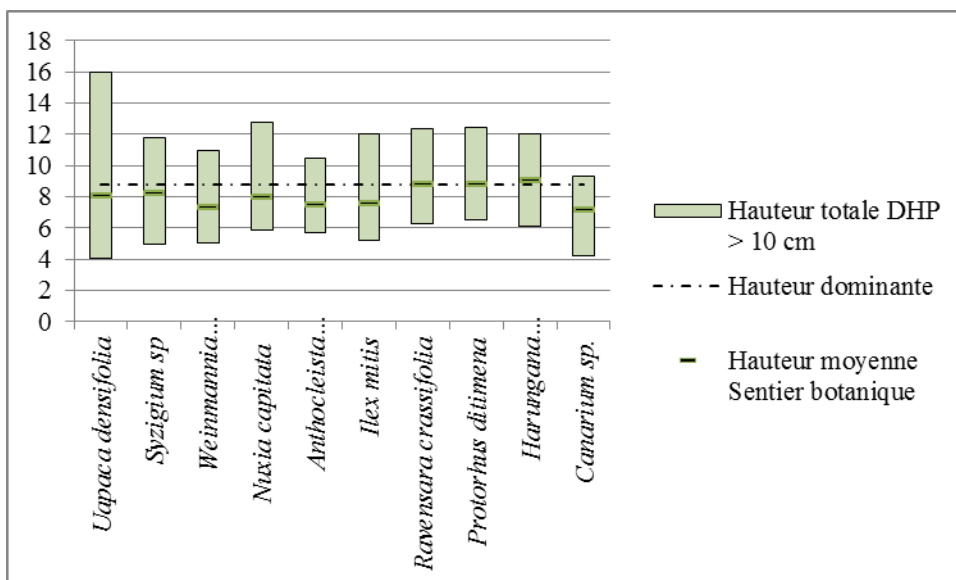
Annexe 12 Distribution en hauteur des arbres des parcelles et des groupes phytosociologiques

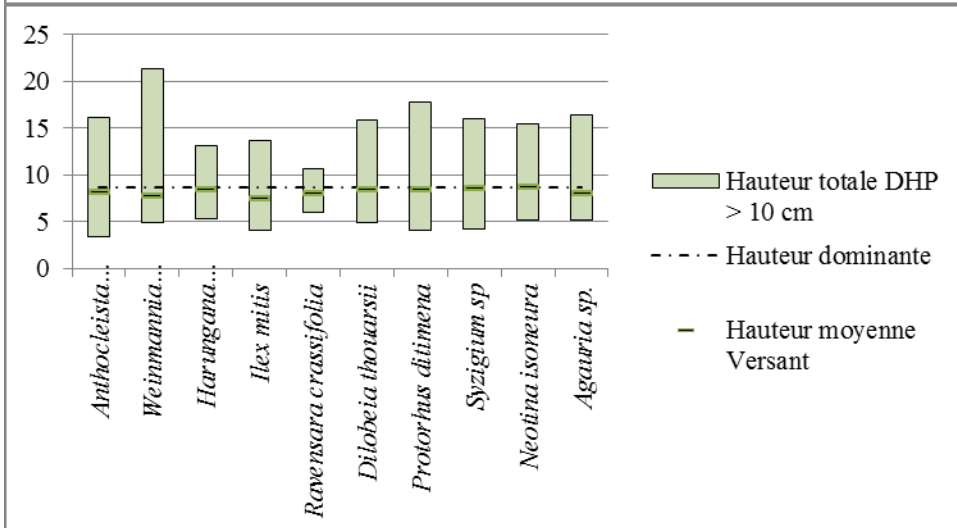
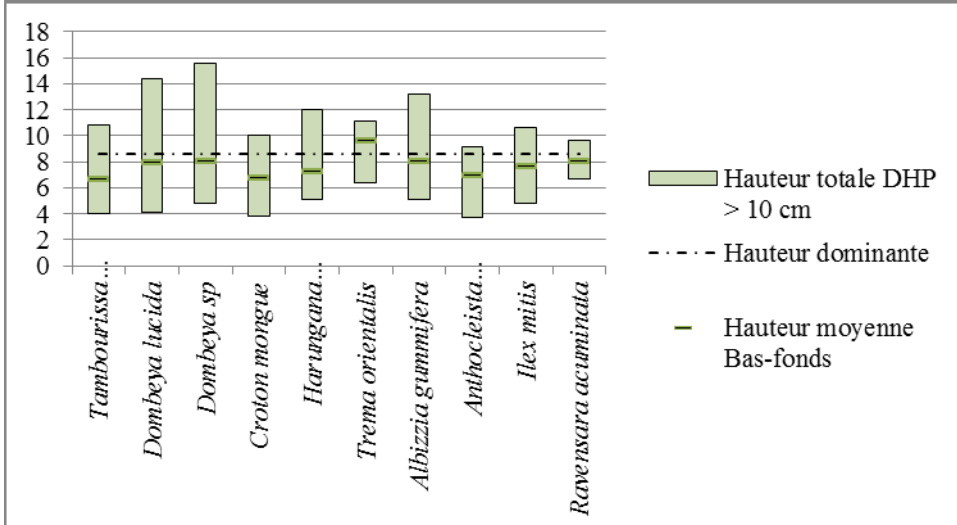
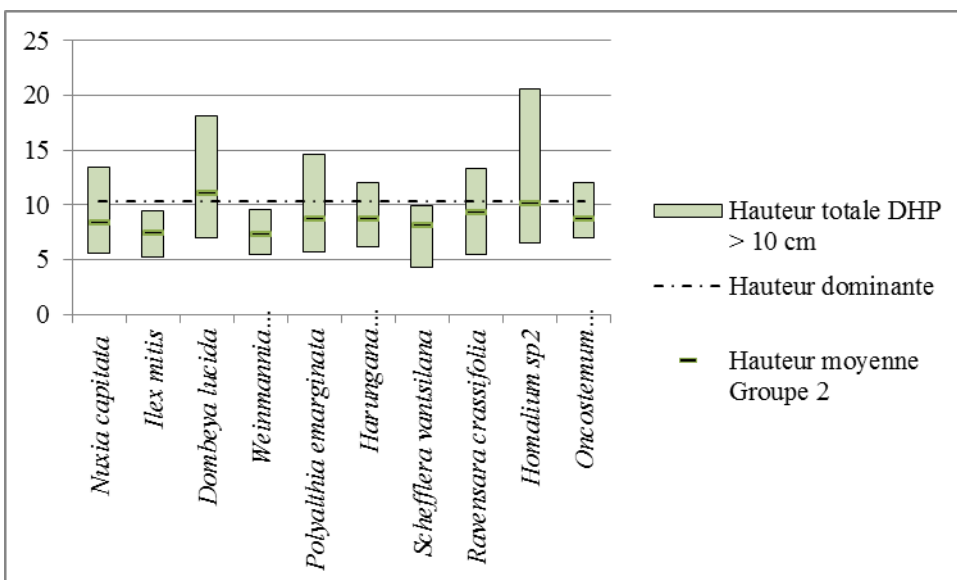


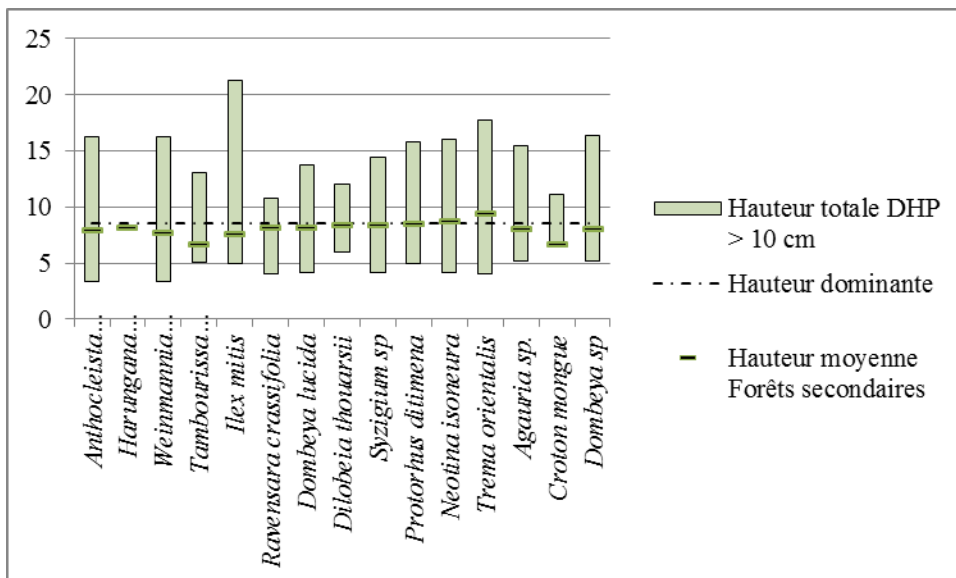
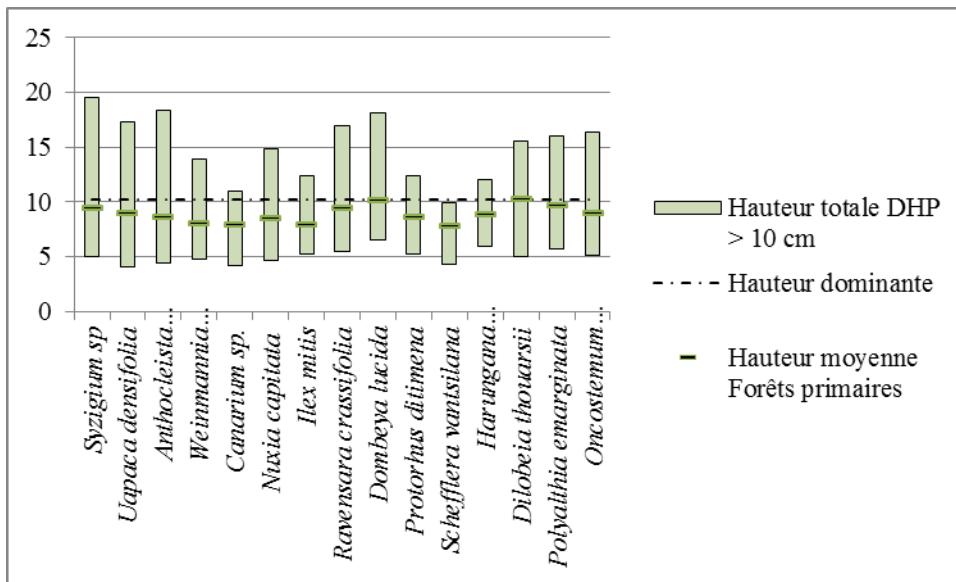


Annexe 13 Position verticale des essences de l'étage dominant









Annexe 14 Essences de l'étage dominant et leur tempérament

Strates	Essences de l'étage dominante et leur tempérament
Bas-fond	<i>Ficus tiliifolia</i> (2), <i>Trema orientalis</i> (3), <i>Dombeya sp.</i> (3), <i>Tambourissa trichophylla</i> (4), <i>Albizzia gummifera</i> (4), <i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Dombeya lucida</i> (4), <i>Harungana madagascariensis</i> (3), <i>Syzigium sp.</i> (4), <i>Ilex mitis</i> (4), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Oncostemum verticillatum</i> (4), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (3), <i>Macaranga cuspidata</i> (3), <i>Streblus dimepate</i> (4), <i>Weinmannia rutenberghi</i> (3), <i>Ravensara acuminata</i> (3), <i>Orfilea sp.</i> (3), <i>Polyalthia emarginata</i> (4), <i>Croton mongue</i> (2), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (4), <i>Erythroxylum corimbosum</i> (3), <i>Ocotea sp.</i> (4)
Forêts secondaire sur versant	<i>Agauria sp.</i> (2), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Canarium sp.</i> (3), <i>Protorhus ditimena</i> (4), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (3), <i>Neotina isoneura</i> (3), <i>Ilex mitis</i> (4), <i>Ochrocarpus parvifolius</i> (4), <i>Dilobeia thouarsii</i> (4), <i>Syzigium sp.</i> (4), <i>Weinmannia rutenberghi</i> (3), <i>Harungana madagascariensis</i> (3), <i>Dombeya lucida</i> (4), <i>Erythroxylum spp.</i> (4), <i>Schefflera vantsilana</i> (3), <i>Nuxia capitata</i> (3)
Groupe 1	<i>Uapaca densifolia</i> (4), <i>Calophyllum chapelieri</i> (4), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Dilobeia thouarsii</i> (4), <i>Syzigium sp.</i> (4), <i>Nuxia capitata</i> (3), <i>Ilex mitis</i> (4), <i>Ravensara aromatica</i> (3), <i>Weinmannia rutenberghi</i> (3), <i>Neotina isoneura</i> (3), <i>Polyalthia emarginata</i> (4), <i>Slonea sp.</i> (4), <i>Brexiella sp.</i> (5), <i>Schefflera sp1</i> (3), <i>Ocotea trichophlebia</i> (4)
Groupe d'intersection	<i>Ravensara crassifolia</i> (3), <i>Neotina isoneura</i> (3), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Polyalthia emarginata</i> (4), <i>Harungana madagascariensis</i> (3), <i>Syzigium sp.</i> (4), <i>Dilobeia thouarsii</i> (4), <i>Nuxia capitata</i> (3), <i>Phyllarthron sp.</i> (4), <i>Ilex mitis</i> (4), <i>Weinmannia rutenberghi</i> (3), <i>Protorhus ditimena</i> (4), <i>Ocotea racemosa</i> (4), <i>Uapaca densifolia</i> (4), <i>Ocotea trichophlebia</i> (4), <i>Homalium spp.</i> (3), <i>Canarium sp.</i> (3), <i>Calophyllum chapelieri</i> (4)
Groupe 2	<i>Potameia obovata</i> (4), <i>Ravensara sp1</i> (3), <i>Drypetes ambigua</i> (3), <i>Harungana madagascariensis</i> (3), <i>Erythroxylum corimbosum</i> (3), <i>Nuxia capitata</i> (3), <i>Homalium sp2</i> (3), <i>Anthocleista madagascariensis</i> (3), <i>Dombeya lucida</i> (4), <i>Orfilea sp.</i> (3), <i>Elaeocarpus serisseus</i> (3), <i>Protorhus ditimena</i> (4), <i>Ilex mitis</i> (4), <i>Polyalthia emarginata</i> (4), <i>Schefflera vantsilana</i> (3), <i>Weinmannia rutenberghi</i> (3), <i>Dilobeia thouarsii</i> (4), <i>Ravensara acuminata</i> (3), <i>Syzigium sp.</i> (4), <i>Oncostemum grandifolium</i> (4), <i>Brexiella sp.</i> (5), <i>Ocotea racemosa</i> (4), <i>Ravensara crassifolia</i> (3)

Annexe 15 Densité de régénération par reliquats, groupes phytosociologiques et type de forêt

Densité de régénération (N/ha)	Comp A	Comp B	Comp C	Rapport C/A
Parcours phénologique	925	1560	12000	12,973
Cascade	850	1400	12640	14,8706
Sentier botanique	1153	2000	13280	11,5178
Groupe 1	1022	1725	14200	13,8943
Groupe d'intersection	1083	1800	9333	8,61773
Groupe 2	803	1400	12000	14,944
Forêts primaires	976	1653	12640	12,951
Bas-fond	678	1000	8000	11,7994
Forêts secondaires sur versants	639	1886	18400	28,795
Forêts secondaires	653	1564	14618	22,386

Annexe 16 Capacité de régénération des espèces selon les parcelles, groupes et types de forêts

• **Forêts primaires**

	Parcours phénologique	Cascade	Sentier botanique
Difficile	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i>	<i>Brexiella sp.</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Ficus lutea</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Slonea sp.</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i>	<i>Agauria sp.</i> , <i>Albizia gummifera</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Mussaenda sp.</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Ravensara aromatica</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Vernonia sp</i>
Bonne	<i>Uapaca densifolia</i>	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Nuxia capitata</i>	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i>
Très bonne	<i>Dombeya lucida</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Syzigium sp</i>	<i>Aphloia theaformis</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Oncostemum grandifolium</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Urophylla lialii</i>	<i>Aphloia theaformis</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Erythroxylum corimbosum</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Syzigium sp</i>

• **Groupes phytosociologiques**

	G1	G-inter	G2
Difficile	<i>Albizzia gummifera</i> , <i>Aphloia theaformis</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Mussaenda sp.</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Pittosporum verticillatum</i> , <i>Potameia antevatrata</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i> , <i>Agauria sp.</i>	<i>Agauria sp.</i> , <i>Albizzia gummifera</i> , <i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i> , <i>Croton mongue</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Ficus lutea</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Homalium spp.</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Pittosporum verticillatum</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i>	<i>Agauria sp.</i> , <i>Albizzia gummifera</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Drypetes ambigua</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Ficus lutea</i> , <i>Ficus marmorata</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Mussaenda sp.</i> , <i>Mystroxylon aethiopicum</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Pinus sp.</i> , <i>Pittosporum verticillatum</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Psiadia altissima</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Urophylla lialii</i> , <i>Vaccinium sp</i>
Bonne	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Vaccinium sp</i>	<i>Ocotea racemosa</i> , <i>Trema orientalis</i>	
Très bonne	<i>Brexiella sp.</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i> , <i>Croton mongue</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Erythroxylum corimbosum</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Slonea sp.</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Trema orientalis</i>	<i>Aphloia theaformis</i> , <i>Erythroxylum corimbosum</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Phyllarthron sp.</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Vaccinium sp</i>	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Aphloia theaformis</i> , <i>Diospyros sp.</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Erythroxylum corimbosum</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Uapaca densifolia</i>

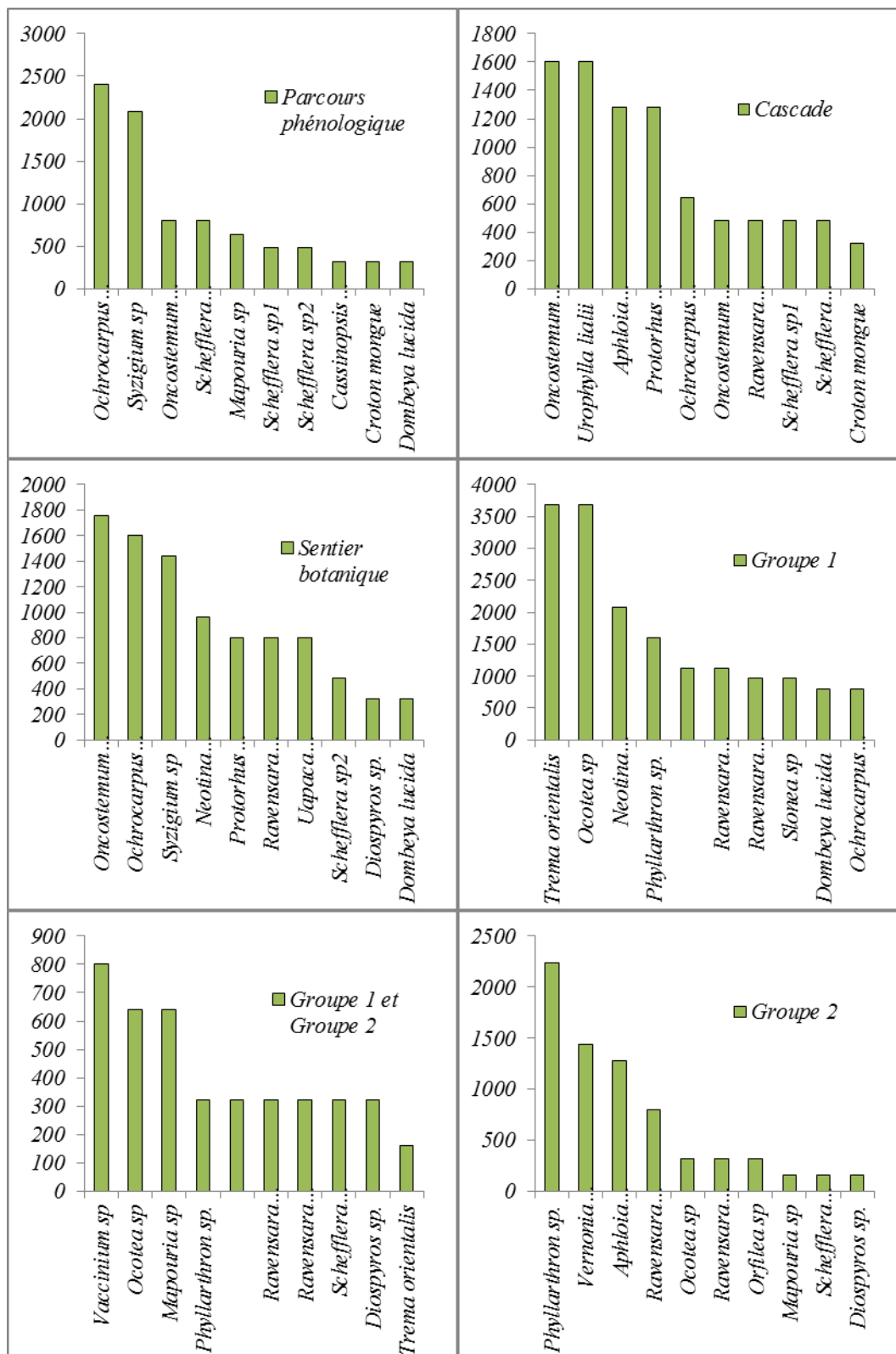
- **Entre forêts secondaires**

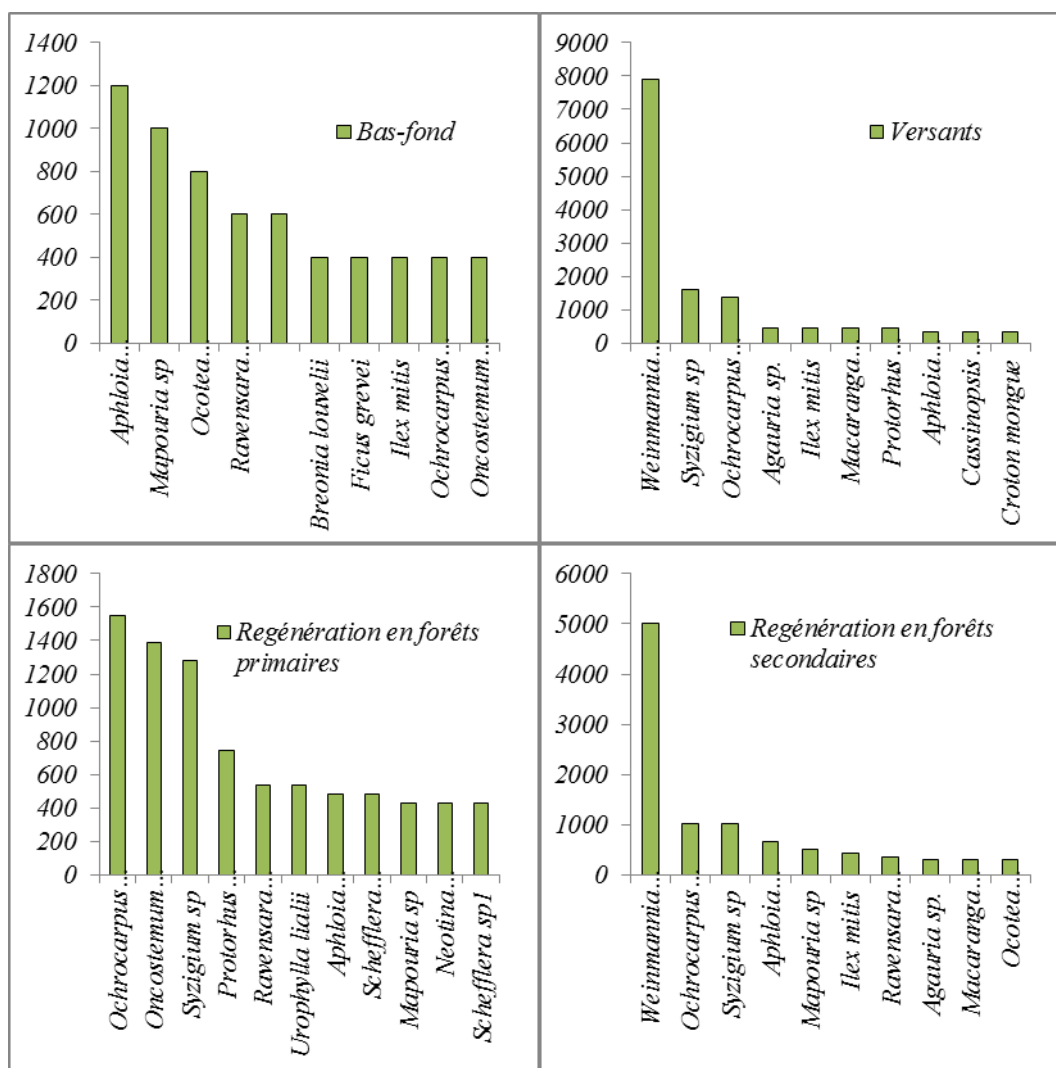
	Bas-fonds	Versant
Difficile	<i>Albizzia gummifera, Anthocleista madagascariensis, Croton mongue, Dombeya lucida, Dombeya sp., Gastonia sp., Harungana madagascariensis, Macaranga cuspidata, Orfilea sp., Schefflera sp1, Schefflera sp2, Slonea sp., Trema orientalis, Weinmannia rutenbergii</i>	<i>Anthocleista madagascariensis, Dilobeia thouarsii, Neotina isoneura</i>
Bonne	<i>Tambourissa trichophylla,</i>	<i>Harungana madagascariensis, Nuxia capitata</i>
Très bonne	<i>Aphloia theaformis, Breonia louvelii, Ilex mitis, Mapouria sp., Ochrocarpus parvifolius, Ocotea trichophlebia, Oncostemum verticillatum, Ravensara acuminata, Streblus dimepate</i>	<i>Agauria sp., Aphloia theaformis, Canarium sp., Cassinopsis madagascariensis, Croton mongue, Dombeya lucida, Homalium sp2, Ilex mitis, Macaranga cuspidata, Mapouria sp., Ochrocarpus parvifolius, Oncostemum grandifolium, Protorhus ditimena, Ravensara acuminata, Ravensara crassifolia, Schefflera vantsilana, Syzigium sp., Vernonia sp., Weinmannia rutenbergii</i>

- **Entre forêt primaire et secondaire**

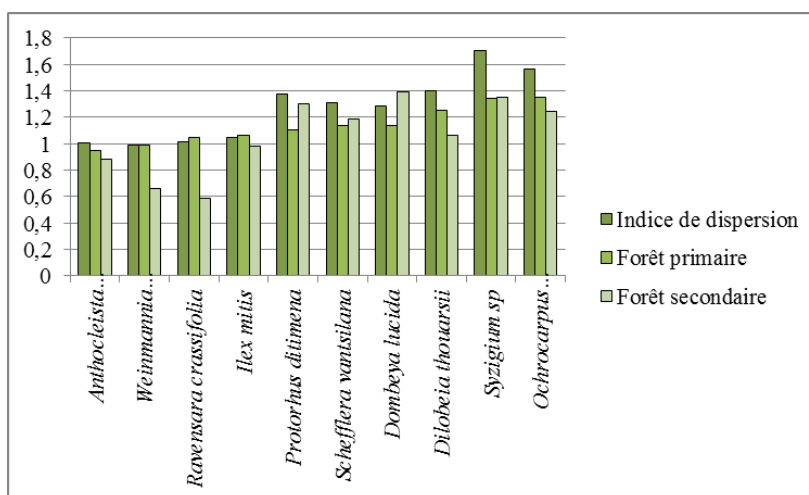
	Forêts primaires	Forêts secondaires
Difficile	<i>Agauria sp., Albizzia gummifera, Calophyllum chapelieri, Ficus lutea, Ficus soroceoides, Gambeya boiviniana, Harungana madagascariensis, Homalium sp2, Mussaenda sp., Ocotea trichophlebia, Polyalthia emarginata, Ravensara aromatica, Ravensara sp1, Slonea sp</i>	<i>Albizzia gummifera, Anthocleista madagascariensis, Dilobeia thouarsii, Dombeya sp., Elaeocarpus serisseus, Ficus soroceoides, Gastonia sp., Neotina isoneura, Orfilea sp., Pinus sp., Polyalthia emarginata, Schefflera sp1, Schefflera sp2, Slonea sp., Trema orientalis</i>
Bonne	<i>Anthocleista madagascariensis, Brexiella sp., Canarium sp., Dilobeia thouarsii, Ilex mitis, Nuxia capitata, Ravensara crassifolia, Uapaca densifolia, Vernonia sp., Weinmannia rutenbergii</i>	<i>Harungana madagascariensis, Nuxia capitata, Tambourissa trichophylla</i>
Très bonne	<i>Aphloia theaformis, Cassinopsis madagascariensis, Croton mongue, Diospyros sp., Dombeya lucida, Elaeocarpus serisseus, Erythroxylum corimbosum, Faucherea sp., Macaranga cuspidata, Mapouria sp., Neotina isoneura, Ochrocarpus parvifolius, Ocotea racemosa, Oncostemum grandifolium, Oncostemum verticillatum, Protorhus ditimena, Ravensara acuminata, Schefflera sp1, Schefflera sp2, Schefflera vantsilana, Streblus dimepate, Syzigium sp., Tambourissa trichophylla</i>	<i>Agauria sp., Aphloia theaformis, Canarium sp., Cassinopsis madagascariensis, Croton mongue, Dombeya lucida, Homalium sp2, Ilex mitis, Macaranga cuspidata, Mapouria sp., Ochrocarpus parvifolius, Ocotea trichophlebia, Oncostemum grandifolium, Oncostemum verticillatum, Protorhus ditimena, Ravensara acuminata, Ravensara crassifolia, Schefflera vantsilana, Streblus dimepate, Syzigium sp., Vernonia sp., Weinmannia rutenbergii</i>

• Abondance relative de la régénération de chaque espèce

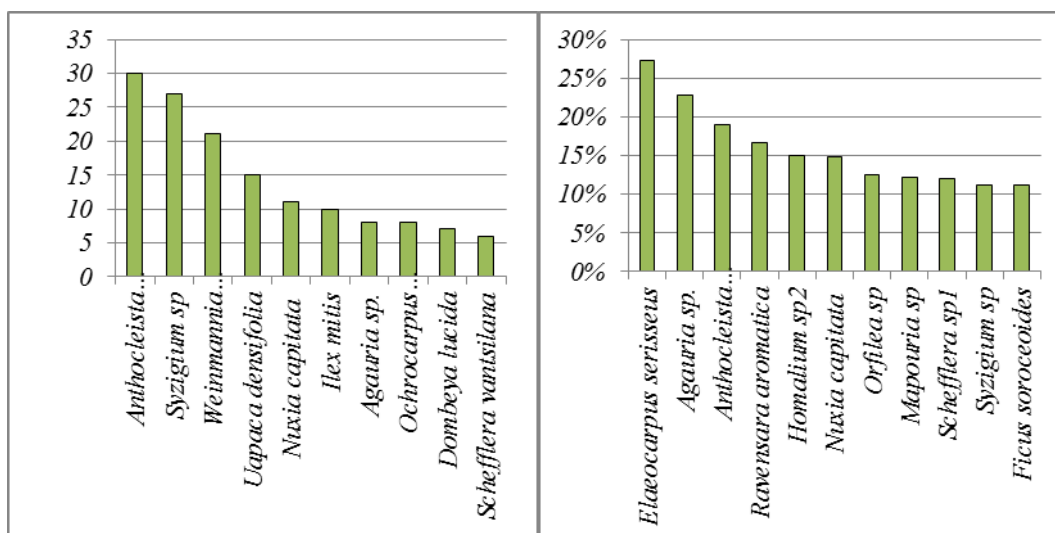




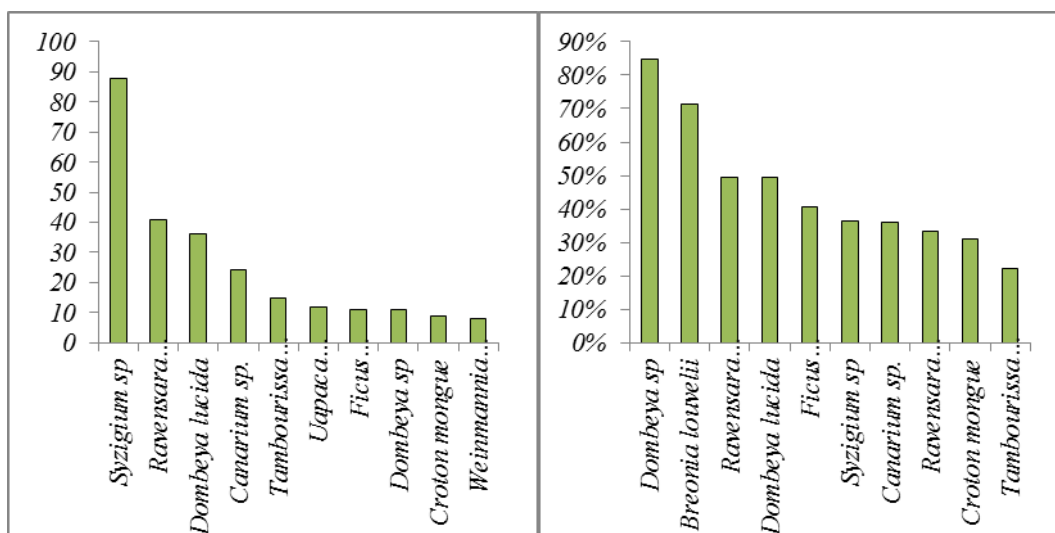
Annexe 17 Essences à faible indice de dispersion



Annexe 18 Essences sensibles à la pourriture du cœur



Annexe 19 Essences sensibles à la consommation de feuilles par les phyllophages



Annexe 20 Catégorie des essences

Catégories	Espèces
Non-catégorisé	<i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Croton mongue</i> , <i>Ficus mormorata</i> , <i>Helicrysum gymnocephalum</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Gastonia sp.</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> , <i>Drypetes ambigua</i> , <i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Vaccinium sp.</i> , <i>Plagioscyphus jumellei</i>
Catégorie 2	<i>Diospyros sp.</i> , <i>Ocotea sp</i>
Catégorie 3	<i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Potameia antevaratra</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Oncostemum grandifolium</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i> , <i>Homalium sp.</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Chloroxylon faho</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Erythroxyllum spp.</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Ravensara aromatica</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Zanthoxylum tshanihimposa</i> , <i>Memecylon spp.</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Breonia louvelii</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Slonea sp.</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Albizzia gummifera</i> , <i>Phyllarthron sp.</i>
Catégorie 4	<i>Ficus grevei</i> , <i>Agauria sp.</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Erythroxyllum corimbosum</i> , <i>Vernonia sp.</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Aphloia theaformis</i> , <i>Ficus tiliifolia</i>
Catégorie 5	<i>Vernonia pectoralis</i>

Annexe 21 Utilisation des essences de valeurs selon Rakotovao *et al.* (2012)

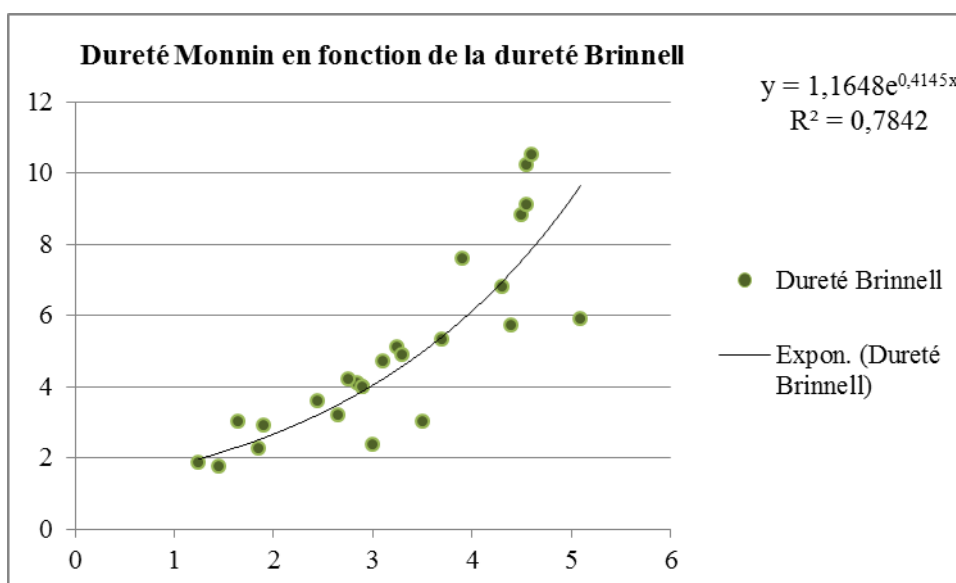
Nom scientifique	Utilisation (Rakotovao <i>et al.</i> , 2012)	Nombre d'individus inventoriés
<i>Uapaca densifolia</i>	Meubles courants, menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, moulures, fonds de véhicule, traverses, ouvrage génie civil	173
<i>Tambourissa trichophylla</i>	Panneaux lattés, menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, habillages intérieur: aménagement intérieure, caisserie, panneaux de fibres et de particules, moulures, lambris, coffrage	68
<i>Dilobeia thouarsii</i>	Menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, lambris, ossature, revêtements extérieurs, travaux hydrauliques en eau douce ou en eau saumâtre, ponts en contact avec le sol et/ou l'eau, parquet industriel, fonds de véhicule, traverses	41
<i>Ocotea trichophlebia</i>	Panneaux lattés, meubles courants, menuiserie intérieur, charpente légère, panneaux contreplaqué, moulures, lambris, baguette d'encadrement, parquet, fonds de véhicule	26
<i>Calophyllum chapelieri</i>	Menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, lambris, revêtements extérieurs, construction navale, ébénisterie, parquet, article cintres, articles tournés, travaux hydrauliques en eau douce ou en eau saumâtre, ponts en contact avec le sol et/ou l'eau, poteaux support de ligne poteaux et perches, parquet industriel, lamelle colle	14
<i>Ocotea spp.</i>	Panneaux lattés, meubles courants, menuiserie intérieur, charpente légère, panneaux contreplaqué, moulures, lambris, baguette d'encadrement, parquet, fonds de véhicule	12
<i>Faucherea sp</i>	Menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, lambris, ossature, revêtements extérieurs, construction navale, ébénisterie, articles tournés, poteaux support de ligne poteaux et perches, parquet traditionnel, parquet industriel, fonds de véhicule	7
<i>Breonia louvelii</i>	Meubles courants, menuiserie intérieur, menuiserie extérieur, charpente lourde/ forte, moulures, lambris, ossature, revêtements extérieurs, poteaux support de ligne poteaux et perches, ponts hors contact avec le sol ou l'eau, parquet industriel, fonds de véhicule	7
<i>Phyllarthron sp.</i>	Charpente lourde/ forte, construction navale, article cintres, poteaux support de ligne poteaux et perches, traverses, manche outils, ouvrage génie civil	5
<i>Ocotea sp</i>	Panneaux lattés, meubles courants, menuiserie intérieur, charpente légère, panneaux contreplaqué, moulures, lambris, baguette d'encadrement, parquet, fonds de véhicule	2
<i>Potameia obovata</i>	Panneaux lattés, meubles courants, voliges, menuiserie intérieur, charpente légère, caisserie, panneaux de fibres et de particules, moulures, coffrage, revêtement intérieur	1

Annexe 22 Niveau d'informations sur les propriétés du bois autochtones de la station

Inconnus	<i>Agauria sp.</i> , <i>Aphloia theaformis</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i> , <i>Gastonia sp.</i> , <i>Helicrysum gymnocephalum</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Mussaenda sp.</i> , <i>Mystroxydon aethiopicum</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Pittosporum verticillatum</i> , <i>Psiadia altissima</i> , <i>Urophylla lialii</i> , <i>Vaccinium sp.</i> , <i>Vernonia pectoralis</i> , <i>Vernonia sp</i>
Genre	<i>Phyllarthron sp.</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Homalium spp.</i> , <i>Diospyros sp.</i> , <i>Memecylon spp.</i> , <i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Syzgium sp.</i> , <i>Erythroxyllum corimbosum</i> , <i>Erythroxyllum spp.</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Plagioscyphus jumellei</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Drypetes ambigua</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Slonea sp.</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Albizzia gummifera</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Dombeya sp.</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Ficus lutea</i> , <i>Ficus marmorata</i> , <i>Ficus pachyclada</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Ficus tiliifolia</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i>
Espèce	<i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Weinmannia rutenbergii</i> , <i>Chloroxydon faho</i> , <i>Breonia louvelii</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Bivinia jalberti</i> , <i>Ravensara aromatica</i> , <i>Potameia antevaratra</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i> , <i>Polyalthia emarginata</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Croton mongue</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Ficus grevei</i>
Nom vernaculaire	<i>Oncostemum grandifolium</i> , <i>Mapouria parkeri</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i>

Annexe 23 Conversion de dureté Brinell en Monnin**Donnés de base**

Espèces	Dureté Monnin	Dureté Brinell	Espèces	Dureté Monnin	Dureté Brinell
Angélique	5,7	4,4	Jatoba	10,5	4,3 à 4,9
Bouleau	2,7 à 4,5	2,2 à 2,7	Merbau	8,8	4,1 à 4,9
Bubinga	10,2	4,1 à 5	Merisier	4	2,9
Charme	5,1	2,9 à 3,6	Moabi	6,8	4,1 à 4,5
Chataignier	2,9	1,5 à 2,3	Metenye	5,9	5,1
Chêne	3,5 à 4,5	2,4 à 3,4	Noyer d'Europe	3,2	2,5 à 2,8
Doussié	7,4 à 7,8	3,8 à 4	Orme	4,9	2,8 à 3,8
Epicéa	1 à 2,7	1,2 à 1,3	Pin maritime	2 à 2,7	2 à 4
Erable	4,7	2,7 à 3,5	Pin sylvestre	1,4 à 3,1	1,4 à 2,3
Frêne	5,3	3,3 à 4,1	Sapin	1,1 à 2,4	1,3 à 1,6
Hêtre	1,5 à 4,5	2,8 à 4,2	sipo	3	1,5 à 1,8
Iroko	4,1	2 à 3,7	Teck	4,2	2,3 à 3,2
			Wengé	9,1	4 à 5,1

Graphes et formule de régression**Annexe 24 Signification des propriétés mécaniques et physiques du bois**

Densité	Echelle
$D < 0,6$	Très léger
$0,60 < D < 0,65$	Légers
$0,65 < D < 0,80$	mi-lourd
$0,80 < D < 1,00$	Lourd
$D > 1,00$	Très lourd

PSF (%)	Echelle	Radial (%)	Echelle	Tangentiel (%)	Echelle
$PSF < 25 \%$	Faible	$R < 6,5 \%$	Faible	$T < 6,5 \%$	Faible
$25 \% < PSF < 35 \%$	Moyen	$6,50 \% < R < 10,00 \%$	Moyen	$6,50 \% < T < 10,00 \%$	Moyen
$PSF > 35 \%$	Fort	$R > 10,00 \%$	Elevé	$T > 10,00 \%$	Elevé

Rétractabilité (%)	Echelle	Coefficient de rétractabilité	Echelle
$5 \% < V < 10 \%$	Faible	$0,15 < V \%/ \% < 0,35$	Peu nerveux
$10 \% < V < 15 \%$	Moyen	$0,35 < V \%/ \% < 0,55$	Nerveux
$15 \% < V < 20 \%$	Fort	$0,55 < V \%/ \% < 1,00$	Très nerveux

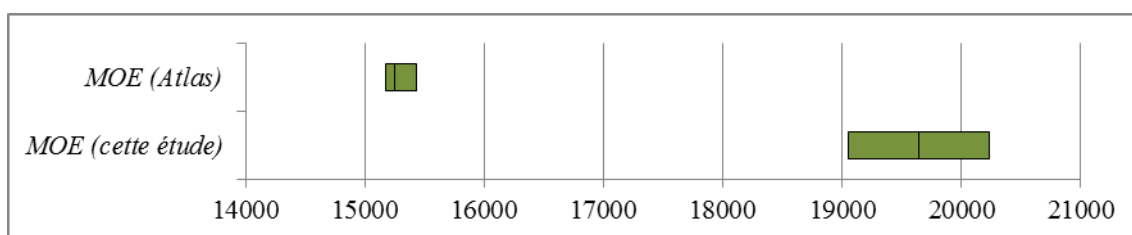
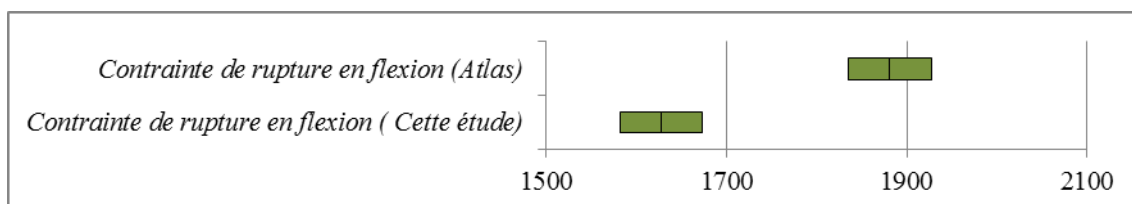
Dureté Monnin	Echelle
$D < 1,5$	Très tendre
$1,50 < D < 3,00$	Tendre
$3,00 < D < 6,00$	Mi-dur
$6,00 < D < 9,00$	Dur
$D > 9,00$	Très dur

Module d'Elasticité (kg/m ²)	Module d'Elasticité (MPa)	Echelle
MOE < 100 000 kg/m ²	MOE < 9 800 MPa	Faible
100 000 kg/m ² < MOE < 150 000 kg/m ²	9 800 MPa < MOE < 14 700 MPa	Moyen
MOE > 150 000 kg/m ²	MOE > 14 700 kg/m ²	Elevé

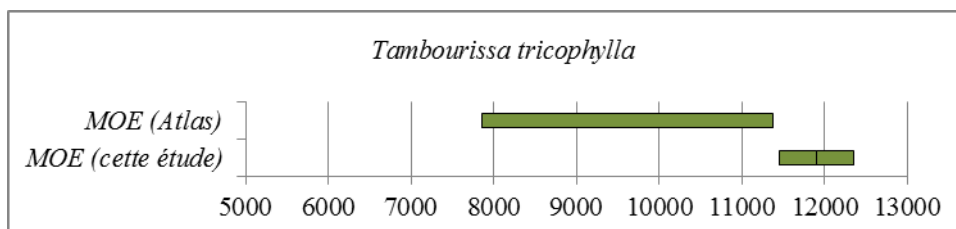
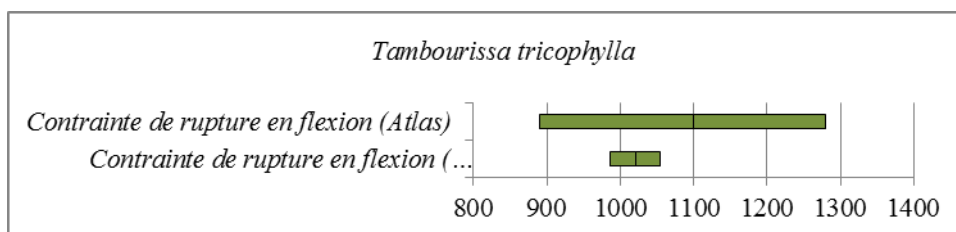
Module de rupture en flexion (kg/m ²)	Module de rupture en flexion (Mpa)	Echelle
Rupture < 1 100 kg/m ²	Rupture < 108 Mpa	Faible
1 100 kg/m ² < Rupture < 1 800 kg/m ²	108 Mpa < Rupture < 176 Mpa	Moyen
Rupture > 1 800 kg/m ²	Rupture > 176 kg/m ²	Fort

Annexe 25 Comparaison des propriétés mécaniques avec Rakotovao *et al.* (2012)

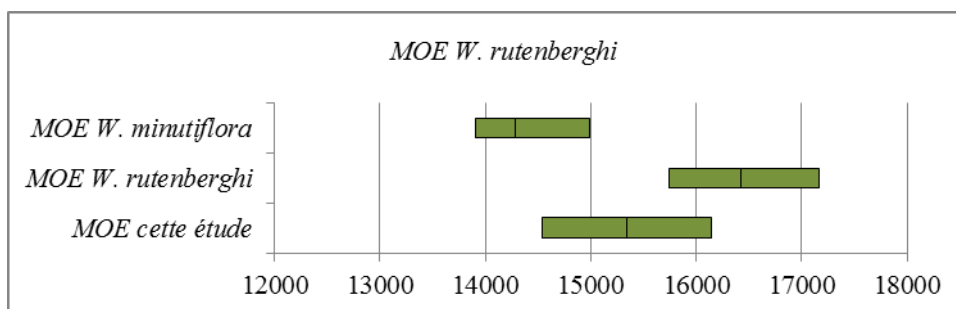
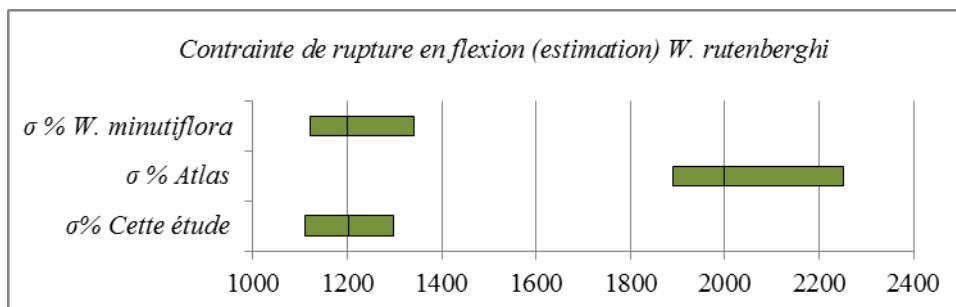
- *Neotina isoneura*



- *Tambourissa trichophylla*



- *Weinmannia rutenbergii*



Annexe 26 Utilisation du bois par comparaison de moyenne

- *A. Agauria sp.*

Utilisation ⁴	Densité	Dureté	Retrac	T	R	σ	MOE
Ustensiles de cuisine	0,00(B)	0,00(B)	0,05(B)	0,08(E)	0,07(E)	0,00(B)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire intérieur	0,00(B)	0,01(B)	0,49(E)	0,08(E)	0,13(E)	0,01(B)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire extérieur	0,16(E)	0,05(B)	0,34(E)	0,19(E)	0,15(E)	0,00(B)	0,00(B)
Revêtement intérieur	0,12(E)	0,14(E)	0,05(E)	0,12(E)	0,19(E)	0,05(E)	0,00(B)
Instrument de musique	0,00(B)	0,01(B)	0,45(E)	0,12(E)	0,13(E)	0,34(E)	0,00(B)
Eléments non apparents de meubles	0,10(E)	0,14(E)	0,39(E)	0,47(E)	0,20(E)	0,49(E)	0,00(B)
Intérieur de contreplaqué	0,02(B)	0,02(B)	0,25(E)	0,42(E)	0,39(E)	0,33(E)	0,00(B)
Semelles de chaussures orthopédiques	0,00(B)	0,00(B)	0,49(E)	0,07(E)	0,06(E)	0,02(B)	0,00(B)
Placage déroulé	0,02(B)	0,02(B)	0,25(E)	0,46(E)	0,39(E)	0,46(E)	0,00(B)

- *B. Neotina isoneura*

Utilisation	Densité	Dureté	Retrac	T	R	σ	MOE
Revêtement intérieur	0,00(B)	0,41(E)	0,25(E)	0,11(E)	0,11(E)	0,29(E)	0,00(B)
Habillages	0,01(B)	0,14(E)	0,23(E)	0,28(E)	0,26(E)	0,32(E)	0,00(B)
Charpentes	0,07(E)	0,13(E)	0,12(E)	0,33(E)	0,26(E)	0,46(E)	0,00(B)
Embarcation fluviales	0,27(E)	0,36(E)	0,08(E)	0,49(E)	0,36(E)	0,29(E)	0,00(B)

⁴ B : Meilleur que la moyenne de l'utilisation, E : Equivalente à la moyenne de l'utilisation

- *C. Nuxia capitata*

Utilisation	Densité	Dureté	Retrac	T	R	σ	MOE
Ustensiles de cuisine	0,00(B)	0,00(B)	0,33(E)	0,10(E)	0,06(E)	0,00(B)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire extérieur	0,00(B)	0,01(B)	0,07(E)	0,29(E)	0,16(E)	0,00(B)	0,00(B)
Revêtement intérieur	0,00(B)	0,17(E)	0,32(E)	0,17(E)	0,21(E)	0,41(E)	0,00(B)
Habillages	0,02(B)	0,25(E)	0,30(E)	0,37(E)	0,37(E)	0,48(E)	0,00(B)
Eléments non apparents de meubles	0,00(B)	0,02(B)	0,06(E)	0,23(E)	0,22(E)	0,00(B)	0,00(B)
Charpentes	0,06(E)	0,24(E)	0,20(E)	0,42(E)	0,37(E)	0,21(E)	0,00(B)
Embarcation fluviales	0,18(E)	0,41(E)	0,14(E)	0,40(E)	0,46(E)	0,06(E)	0,00(B)
Intérieur de contreplaqué	0,00(B)	0,00(B)	0,10(E)	0,36(E)	0,46(E)	0,00(B)	0,00(B)
Placage déroulé	0,00(B)	0,00(B)	0,10(E)	0,21(E)	0,46(E)	0,00(B)	0,00(B)

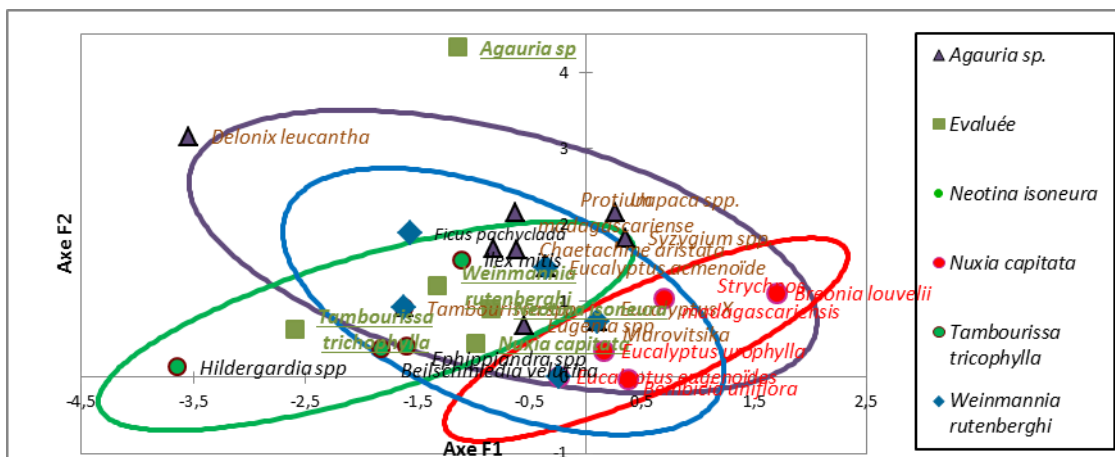
- *D. Tambourissa trichophylla*

Utilisation	Densité	Dureté	Retrac	T	R	σ	MOE
Ustensiles de cuisine	0,00(B)	0,00(B)	0,07(E)	0,34(E)	0,19(E)	0,00(B)	0,00(B)
Meubles (éléments non apparents)	0,47(E)	0,15(E)	0,07(E)	0,28(E)	0,31(E)	0,08(E)	0,07(E)
Menuiserie ordinaire intérieure	0,21(E)	0,04(B)	0,39(E)	0,34(E)	0,38(E)	0,00(B)	0,00(B)
Menuiserie ORDINAIRE extérieur	0,15(E)	0,22(E)	0,43(E)	0,39(E)	0,43(E)	0,00(B)	0,00(B)
Emballage	0,21(E)	0,50(E)	0,33(E)	0,39(E)	0,45(E)	0,08(E)	0,02(B)
Eléments de meubles	0,00(B)	0,01(B)	0,33(E)	0,06(E)	0,11(E)	0,18(E)	0,07(E)
Instrument de musique	0,09(E)	0,03(B)	0,35(E)	0,43(E)	0,37(E)	0,40(E)	0,00(B)
Pate a papier	0,23(E)	0,31(E)	0,16(E)	0,05(E)	0,38(E)	0,06(E)	0,03(B)
Maquette	0,00(B)	0,00(B)	0,17(E)	0,07(E)	0,16(E)	0,00(B)	0,00(B)
Eléments non apparents de meubles	0,24(E)	0,47(E)	0,48(E)	0,06(E)	0,44(E)	0,31(E)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire	0,35(E)	0,28(E)	0,10(E)	0,11(E)	0,05(E)	0,09(E)	0,03(B)
Allumettes	0,10(E)	0,16(E)	0,24(E)	0,17(E)	0,15(E)	0,06(E)	0,02(B)
Intérieur de contreplaqué	0,46(E)	0,09(E)	0,33(E)	0,12(E)	0,16(E)	0,39(E)	0,00(B)
Semelles de chaussures orthopédiques	0,00(B)	0,00(B)	0,41(E)	0,29(E)	0,17(E)	0,00(B)	0,00(B)
Placage déroulé	0,46(E)	0,09(E)	0,33(E)	0,06(E)	0,16(E)	0,37(E)	0,00(B)

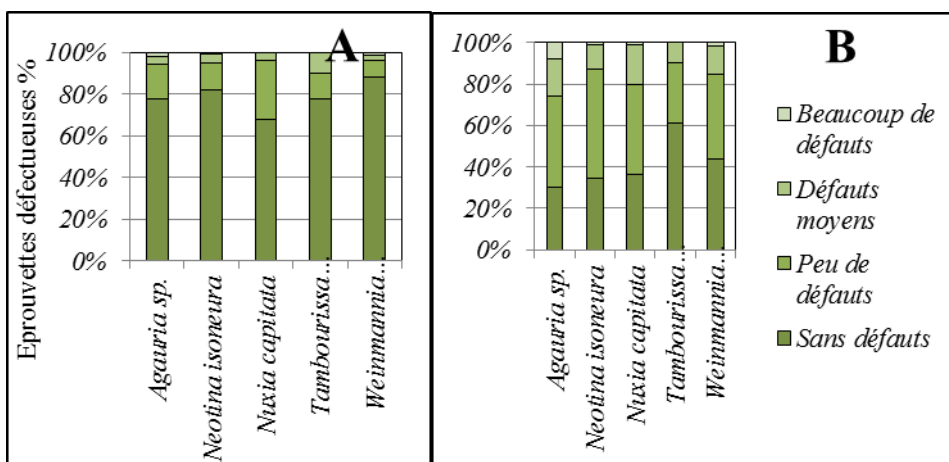
- *E. Weinmannia rutenbergii*

Utilisation	Densité	Dureté	Retrac	T	R	σ	MOE
Ustensiles de cuisine	0,00(B)	0,01(B)	0,20(E)	0,18(E)	0,09(E)	0,00(B)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire intérieure	0,00(B)	0,05(B)	0,16(E)	0,17(E)	0,17(E)	0,00(B)	0,00(B)
Menuiserie ordinaire extérieur	0,04(B)	0,08(E)	0,30(E)	0,48(E)	0,19(E)	0,00(B)	0,00(B)
Revêtement intérieur	0,03(B)	0,41(E)	0,21(E)	0,29(E)	0,24(E)	0,21(E)	0,00(B)
Instrument de musique	0,00(B)	0,04(B)	0,13(E)	0,27(E)	0,17(E)	0,11(E)	0,00(B)
Habillages	0,18(E)	0,13(E)	0,23(E)	0,40(E)	0,38(E)	0,18(E)	0,00(B)
Eléments non apparents de meubles	0,03(B)	0,12(E)	0,25(E)	0,06(E)	0,25(E)	0,20(E)	0,00(B)
Allumettes	0,00(B)	0,00(B)	0,06(E)	0,36(E)	0,07(E)	0,03(B)	0,00(B)
Charpentes	0,29(E)	0,13(E)	0,39(E)	0,34(E)	0,38(E)	0,07(E)	0,00(B)
Intérieur de contreplaqué	0,01(B)	0,06(E)	0,40(E)	0,13(E)	0,45(E)	0,11(E)	0,00(B)
Semelles de chaussures orthopédiques	0,00(B)	0,01(B)	0,17(E)	0,13(E)	0,09(E)	0,00(B)	0,00(B)
Placage déroulé	0,01(B)	0,06(E)	0,40(E)	0,05(B)	0,45(E)	0,18(E)	0,00(B)

Annexe 27 Essences de propriétés proches à celles étudiées



Annexe 28 Quantité de défauts sur les éprouvettes



A : éprouvettes de 2 cm x 2cm x 5 cm et B éprouvettes de 2 cm x 2 cm x 36 cm.

Annexe 29 ANOVA sur les effets manipulations sur les résultats issus de BING

Effets des différentes entrées en enceinte climatique par ANOVA	F	p-value
Densité	0,008	0,992 (NS)
Module d'élasticité	0,016	0,984 (NS)
Module de cisaillement	0,090	0,914 (NS)

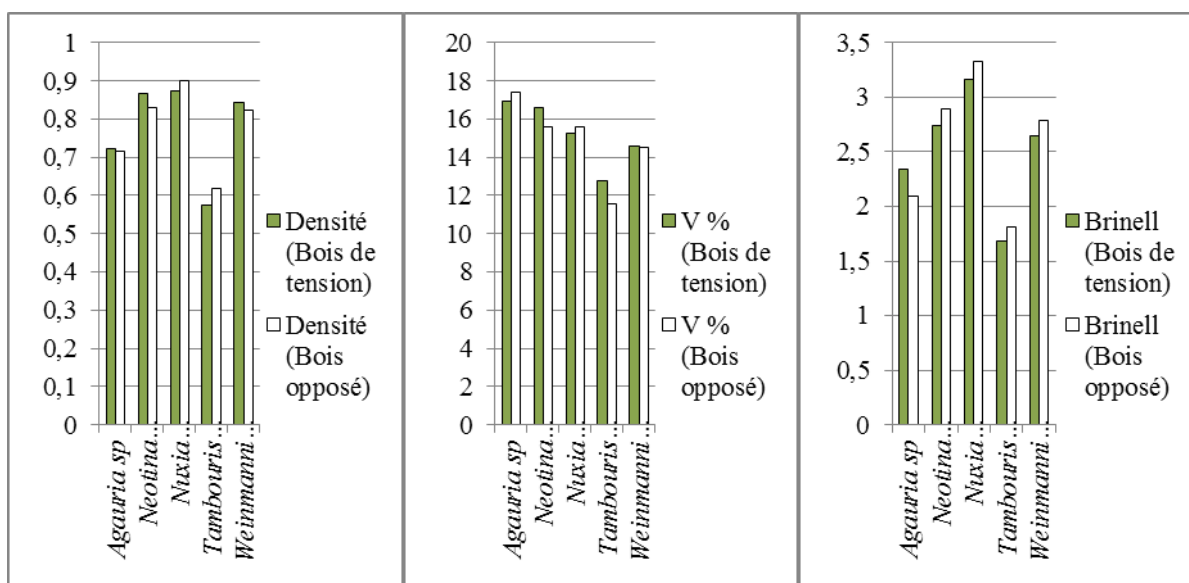
Annexe 30 ANOVA sur l'effet des défauts sur les propriétés du bois

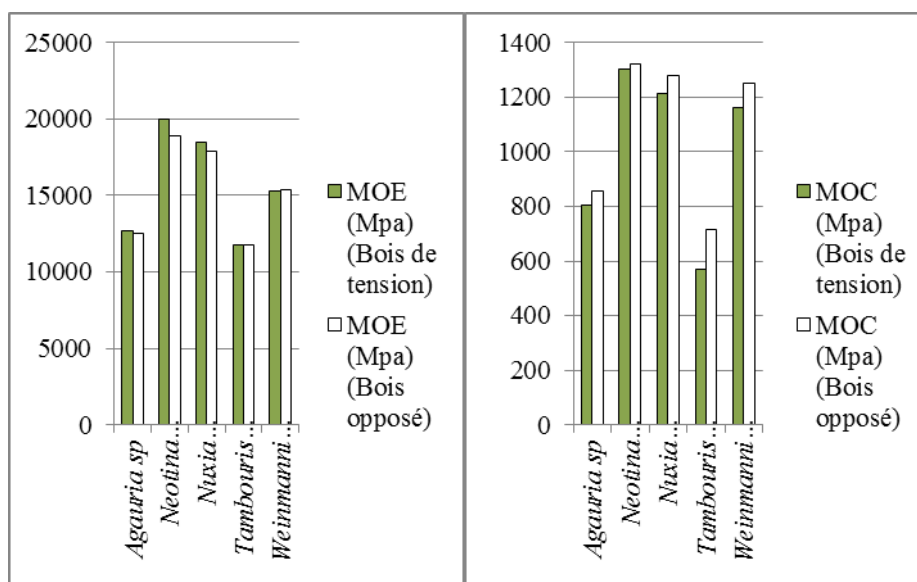
Source	MOE	MOC	Densité	R %	T %	%	Surface	Volumique
Qualité	0,004	0,750	0,087	0,434	0,204	0,872	0,432	0,471
Cœur	0,913	0,649	0,518	0,095	0,129	0,768	0,923	0,908
Déformation	0,718	0,326	0,368	0,805	0,287	0,821	0,497	0,491
Ecorce	0,360	0,649	0,131	0,701	0,894	0,52	0,926	0,892
Fente	0,821	0,012	0,794	0,056	0,07	0,644	0,006	0,006
Fibre torse	0,151	0,141	-	-	-	-	-	-
Insecte	0,733	0,326	-	-	-	-	-	-
Nœud	0,787	0,678	0,321	0,392	0,174	0,745	0,304	0,278
Trous	0,331	0,261	0,002	0,258	0,032	0,818	0,06	0,056

(En surbrillance sombre, les probabilités significatives et moins claire, celles se rapprochant de la valeur critique)

Annexe 31 Effets des bois de tension sur les propriétés du bois de la Mandraka

	Densité	R	T	Anisotropie	L	V	Brinell	MOE	MOC
<i>Agauria sp.</i>	0,68	0,67	0,97	0,56	0,52	0,80	0,16	0,91	0,15
Bois opposés	0,716	6,14	11,68	2,62	0,34	17,38	2,09	1256	856
Bois de tension	0,721	5,86	11,52	4,21	0,23	16,93	2,34	1271	803
<i>Neotina isoneura</i>	0,68	0,62	0,01	0,56	0,02	0,01	0,20	0,08	0,80
Bois opposés	0,831	5,94	9,93 A	1,79	0,36 A	15,59 A	2,89	1887	1322
Bois de tension	0,868	6,08	10,77 B	1,84	0,48 B	16,6 B	2,74	1997	1302
<i>Nuxia capitata</i>	0,20	0,22	0,47	0,38	0,58	0,72	0,34	0,16	0,14
Bois opposés	0,900	6,01	9,88	1,81	0,34	15,58	3,33	1792	1282
Bois de tension	0,875	5,29	10,30	2,04	0,29	15,29	3,16	1849	1213
<i>Tambourissa trichophylla</i>	0,22	0,14	0,27	0,75	0,39	0,06	0,23	0,58	0,02
Bois opposés	0,620	3,58	8,15	2,53	0,11	11,53	1,81	1177	716 A
Bois de tension	0,574	4,20	8,70	2,23	0,25	12,74	1,68	1178	569 B
<i>Weinmannia rutenbergii</i>	0,65	0,43	0,95	0,36	0,03	0,29	0,74	0,90	0,38
Bois opposés	0,824	5,50	9,27	1,79	0,29 A	14,49	2,78	1537	1252
Bois de tension	0,845	5,63	9,16	1,39	0,35 B	14,57	2,64	1532	1162





En surbrillance les valeurs significatives

Annexe 32 Variation due à la distance radiale et à la hauteur

- La distance radiale prise isolément

Distance radiale	<i>Agauria sp.</i>	<i>Neotina isoneura</i>	<i>Nuxia capitata</i>	<i>Tambourissa trichophylla</i>	<i>Weinmannia rutenbergii</i>
D	$D = 0,0005r + 0,7164$ ($R^2=0$)	$D = 0,003r + 0,8397$ ($R^2=0,031$)	$D = 0,0032r + 0,8717$ ($R^2=0,013$)	$D = -0,0061r + 0,6181$ ($R^2=0,111$)	$D = 0,0045r + 0,8155$ ($R^2=0,009$)
R %	$R \% = -0,098r + 6,417$ ($R^2=0,008$)	$R \% = -0,081r + 6,471$ ($R^2=0,035$)	$R \% = -0,192r + 6,376$ ($R^2=0,086$)	$R \% = -0,045r + 4,267$ ($R^2=0,018$)	$R \% = -0,41r + 7,66$ ($R^2=0,256$)
T %	$T \% = -0,112r + 12,078$ ($R^2=0,008$)	$T \% = 0,017r + 10,398$ ($R^2=0,001$)	$T \% = 0,076r + 9,818$ ($R^2=0,011$)	$T \% = -0,084r + 8,991$ ($R^2=0,022$)	$T \% = 0,054r + 8,941$ ($R^2=0,006$)
(T/R)	$(T/R) = 0,075r + 1,624$ ($R^2=0,069$)	$(T/R) = 0,016r + 1,739$ ($R^2=0,01$)	$(T/R) = 0,074r + 1,646$ ($R^2=0,097$)	$(T/R) = 0r + 2,311$ ($R^2=0$)	$(T/R) = 0,113r + 1,192$ ($R^2=0,254$)
L %	$L \% = 0,014r + 0,26$ ($R^2=0,025$)	$L \% = 0,022r + 0,329$ ($R^2=0,065$)	$L \% = -0,008r + 0,347$ ($R^2=0,005$)	$L \% = 0,02r + 0,177$ ($R^2=0,048$)	$L \% = -0,006r + 0,358$ ($R^2=0,007$)
S %	$S \% = -0,207r + 17,801$ ($R^2=0,018$)	$S \% = -0,056r + 16,194$ ($R^2=0,008$)	$S \% = -0,101r + 15,566$ ($R^2=0,013$)	$S \% = -0,122r + 12,87$ ($R^2=0,041$)	$S \% = -0,308r + 15,736$ ($R^2=0,105$)
V %	$V \% = -0,191r + 17,969$ ($R^2=0,016$)	$V \% = -0,036r + 16,458$ ($R^2=0,003$)	$V \% = -0,11r + 15,863$ ($R^2=0,015$)	$V \% = -0,102r + 12,953$ ($R^2=0,03$)	$V \% = -0,311r + 16,036$ ($R^2=0,105$)
HB	$HB = 0,024r + 2,121$ ($R^2=0,012$)	$HB = -0,041r + 3,013$ ($R^2=0,041$)	$HB = 0,015r + 3,162$ ($R^2=0,005$)	$HB = -0,018r + 1,81$ ($R^2=0,037$)	$HB = -0,054r + 2,957$ ($R^2=0,061$)
MOE	$MOE = -358r + 14178$ ($R^2=0,053$)	$MOE = 100r + 19058$ ($R^2=0,01$)	$MOE = 325r + 16933$ ($R^2=0,155$)	$MOE = 12r + 11716$ ($R^2=0$)	$MOE = -280r + 16690$ ($R^2=0,037$)
MOC	$MOC = -14r + 887$ ($R^2=0,023$)	$MOC = -22r + 1430$ ($R^2=0,065$)	$MOC = -16r + 1303$ ($R^2=0,027$)	$MOC = -8r + 655$ ($R^2=0,025$)	$MOC = -38r + 1380$ ($R^2=0,053$)

- La hauteur prise isolément

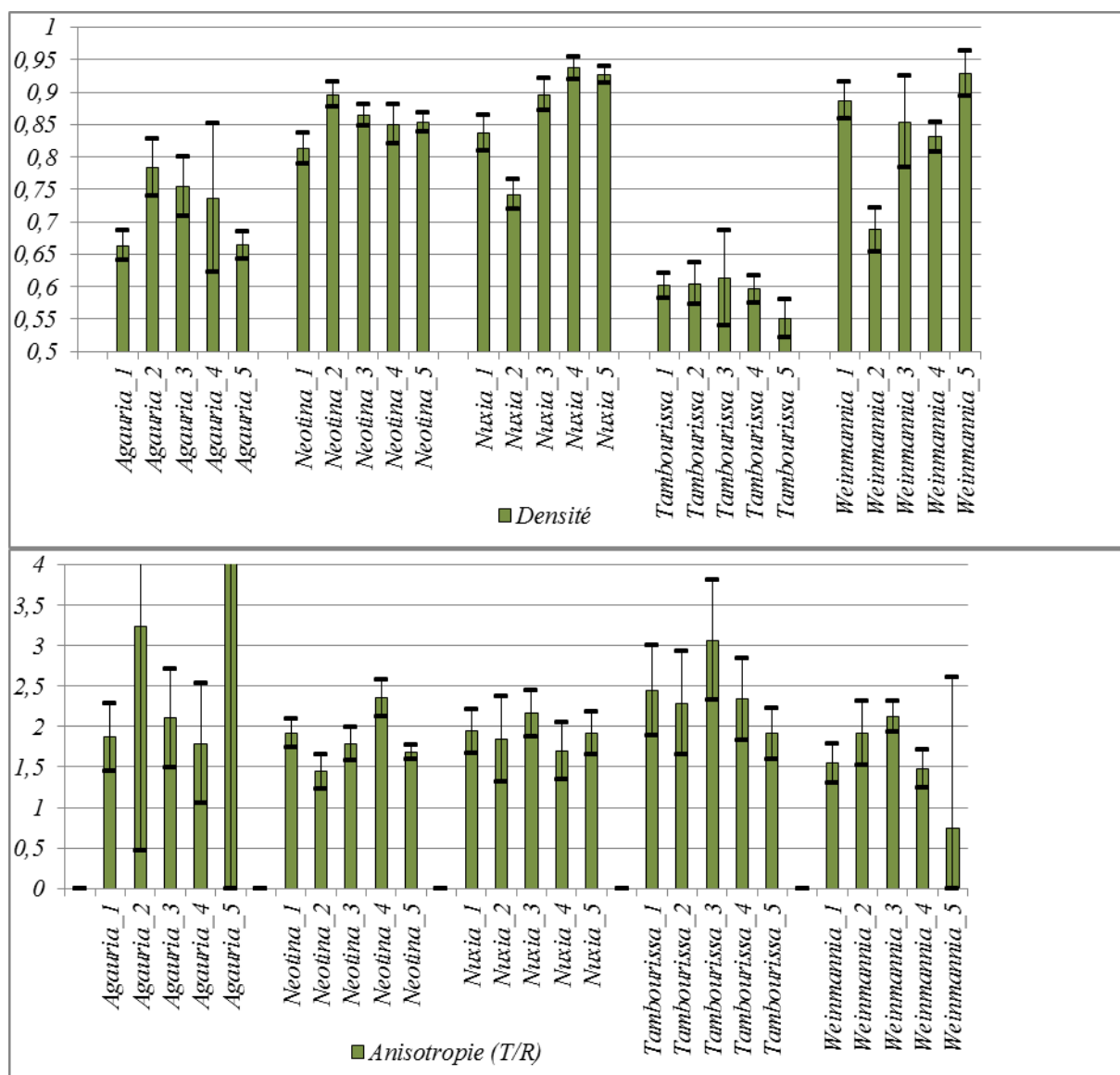
Haut eur H	<i>Agauria sp.</i>	<i>Neotina isoneura</i>	<i>Nuxia capitata</i>	<i>Tambourissa trichophylla</i>	<i>Weinmannia rutenbergii</i>
D	$D = -0,0113H + 0,7462$ ($R^2=0,053$)	$D = -0,0099H + 0,8888$ ($R^2=0,123$)	$D = -0,0092H + 0,9142$ ($R^2=0,05$)	$D = -0,0094H + 0,6099$ ($R^2=0,052$)	$D = -0,0138H + 0,8788$ ($R^2=0,05$)
R %	$R \% = -0,319H + 6,777$ ($R^2=0,045$)	$R \% = -0,013H + 6,078$ ($R^2=0$)	$R \% = -0,016H + 5,635$ ($R^2=0$)	$R \% = 0,111H + 3,75$ ($R^2=0,022$)	$R \% = 0,177H + 5,159$ ($R^2=0,028$)
T %	$T \% = -0,177H + 12,031$ ($R^2=0,011$)	$T \% = -0,393H + 11,806$ ($R^2=0,153$)	$T \% = -0,399H + 11,4$ ($R^2=0,158$)	$T \% = -0,613H + 10,1$ ($R^2=0,232$)	$T \% = -0,169H + 9,713$ ($R^2=0,037$)
(T/R)	$(T/R) = -0,068H + 2,11$ ($R^2=0,029$)	$(T/R) = -0,052H + 1,998$ ($R^2=0,031$)	$(T/R) = -0,07H + 2,173$ ($R^2=0,044$)	$(T/R) = -0,216H + 2,855$ ($R^2=0,146$)	$(T/R) = -0,064H + 1,927$ ($R^2=0,048$)
L %	$L \% = -0,009H + 0,344$ ($R^2=0,005$)	$L \% = 0,021H + 0,378$ ($R^2=0,018$)	$L \% = -0,016H + 0,365$ ($R^2=0,01$)	$L \% = -0,001H + 0,284$ ($R^2=0$)	$L \% = -0,008H + 0,354$ ($R^2=0,008$)
S %	$S \% = -0,427H + 17,957$ ($R^2=0,044$)	$S \% = -0,378H + 17,159$ ($R^2=0,113$)	$S \% = -0,392H + 16,394$ ($R^2=0,098$)	$S \% = -0,484H + 13,454$ ($R^2=0,126$)	$S \% = -0,026H + 14,336$ ($R^2=0$)
V %	$V \% = -0,422H + 18,181$ ($R^2=0,045$)	$V \% = -0,356H + 17,456$ ($R^2=0,098$)	$V \% = -0,401H + 16,683$ ($R^2=0,099$)	$V \% = -0,49H + 13,657$ ($R^2=0,134$)	$V \% = -0,032H + 14,637$ ($R^2=0,001$)
HB	$HB = -0,036H + 2,31$ ($R^2=0,011$)	$HB = 0,005H + 2,777$ ($R^2=0$)	$HB = -0,005H + 3,242$ ($R^2=0$)	$HB = -0,022H + 1,769$ ($R^2=0,01$)	$HB = 0,06H + 2,514$ ($R^2=0,042$)
MO E	$MOE = 96H + 12407$ ($R^2=0,002$)	$MOE = -762H + 22152$ ($R^2=0,192$)	$MOE = -408H + 19576$ ($R^2=0,117$)	$MOE = 230H + 11195$ ($R^2=0,036$)	$MOE = -189H + 15916$ ($R^2=0,01$)
MO C	$MOC = 27H + 762$ ($R^2=0,05$)	$MOC = 29H + 1211$ ($R^2=0,038$)	$MOC = -10H + 1271$ ($R^2=0,005$)	$MOC = -6H + 626$ ($R^2=0,003$)	$MOC = 40H + 1076$ ($R^2=0,033$)

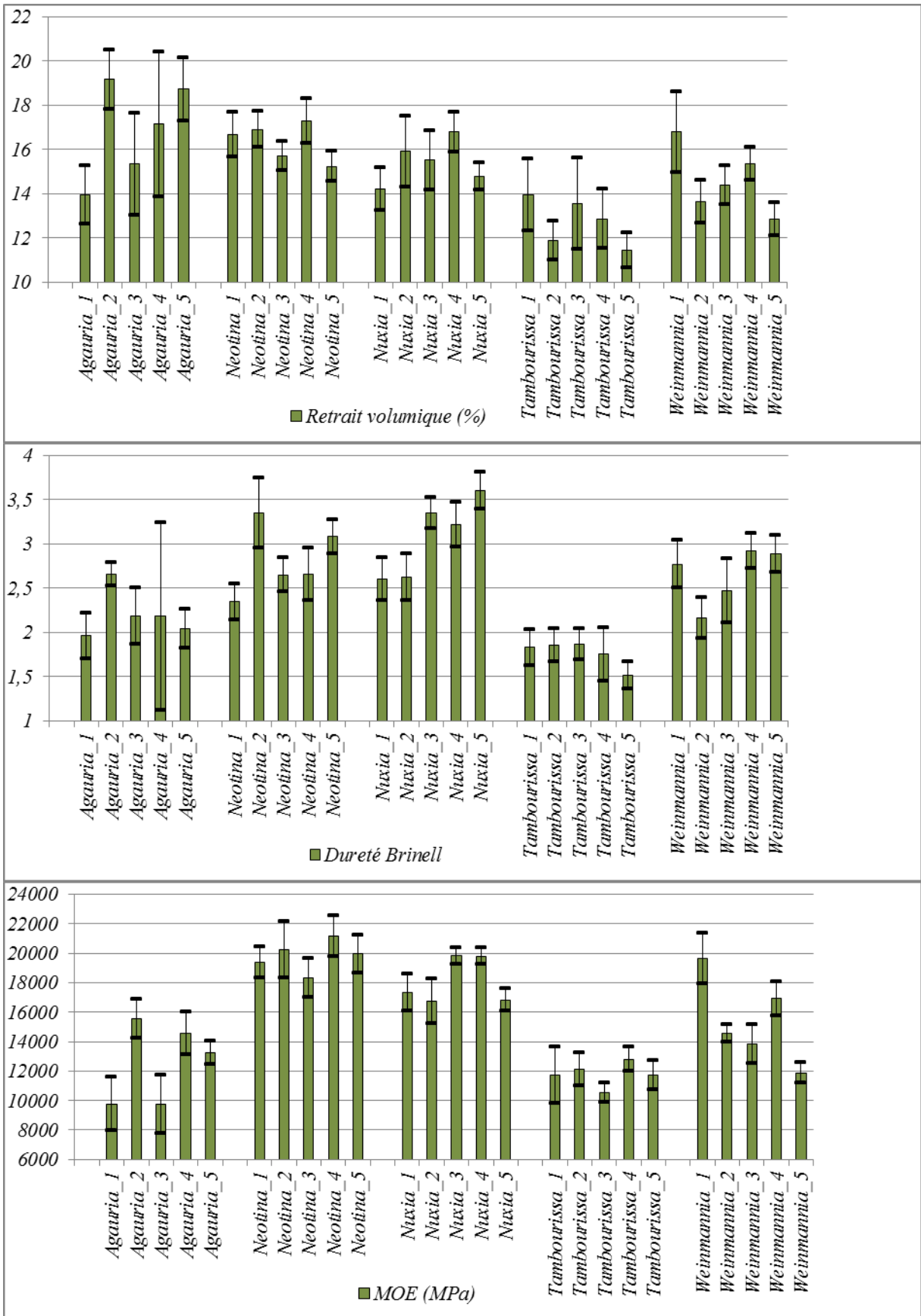
- Les deux paramètres

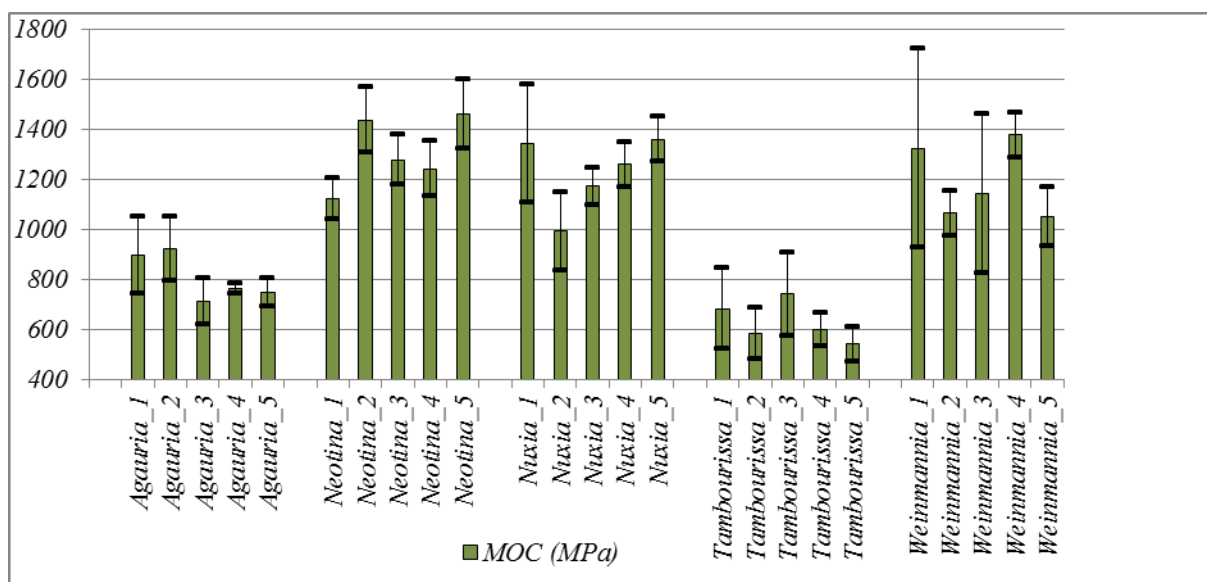
Espèce	<i>Agauria sp.</i>	<i>Neotina isoneura</i>	<i>Nuxia capitata</i>	<i>Tambourissa trichophylla</i>	<i>Weinmannia rutenbergii</i>
Rho	$Rho = 0,715 - 5,56E-03H + 9,55E-05Ray$ ($R^2 = 0,01$)	$Rho = 0,881 - 1,05E-02H + 1,58E-03Ray$ ($R^2 = 0,14$)	$Rho = 0,929 - 1,09E-02H - 2,82E-04Ray$ ($R^2 = 0,07$)	$Rho = 0,641 - 9,91E-03H - 6,69E-03Ray$ ($R^2 = 0,23$)	$Rho = 0,851 - 1,51E-02H + 5,46E-03Ray$ ($R^2 = 0,07$)
R %	$R \% = 7,27 - 2,95E-01H - 1,97E-01Ray$ ($R^2 = 0,07$)	$R \% = 6,66 - 1,98E-02H - 9,18E-02Ray$ ($R^2 = 0,04$)	$R \% = 7,07 - 1,84E-01H - 2,20E-01Ray$ ($R^2 = 0,15$)	$R \% = 3,92 + 5,13E-02H - 2,39E-03Ray$ ($R^2 = 0,01$)	$R \% = 6,74 - 5,35E-03H - 2,66E-01Ray$ ($R^2 = 0,22$)
T %	$T \% = 11,65 - 3,58E-01H + 7,39E-02Ray$ ($R^2 = 0,06$)	$T \% = 11,71 - 4,04E-01H + 9,32E-03Ray$ ($R^2 = 0,17$)	$T \% = 11,46 - 3,86E-01H - 3,35E-02Ray$ ($R^2 = 0,15$)	$T \% = 9,71 - 3,89E-01H - 7,35E-02Ray$ ($R^2 = 0,14$)	$T \% = 9,1 + 4,04E-02H + 1,09E-02Ray$ ($R^2 = 0$)
Anis	$Anis = 1,7 + 1,19E-02H + 7,72E-02Ray$ ($R^2 = 0,08$)	$Anis = 1,87 - 5,24E-02H + 1,88E-02Ray$ ($R^2 = 0,05$)	$Anis = 1,73 - 1,67E-02H + 6,21E-02Ray$ ($R^2 = 0,1$)	$Anis = 2,6 - 1,34E-01H - 1,39E-02Ray$ ($R^2 = 0,07$)	$Anis = 1,4 - 6,00E-02H + 1,05E-01Ray$ ($R^2 = 0,26$)
L %	$L \% = 0,331 - 1,31E-02H + 2,16E-03Ray$ ($R^2 = 0,01$)	$L \% = 0,28 + 1,51E-02H + 1,54E-02Ray$ ($R^2 = 0,09$)	$L \% = 0,446 - 2,58E-02H - 1,29E-02Ray$ ($R^2 = 0,03$)	$L \% = 0,148 + 7,60E-03H + 2,20E-02Ray$ ($R^2 = 0,05$)	$L \% = 0,355 - 1,50E-02H + 2,63E-03Ray$ ($R^2 = 0,03$)

Espèce	<i>Agauria sp.</i>	<i>Neotina isoneura</i>	<i>Nuxia capitata</i>	<i>Tambourissa trichophylla</i>	<i>Weinmannia rutenbergii</i>
S %	S % = 18,08-6,03E-01H-1,07E-01Ray (R ² = 0,06)	S % = 17,59-3,94E-01H-7,24E-02Ray (R ² = 0,13)	S % = 17,75-5,31E-01H-2,30E-01Ray (R ² = 0,25)	S % = 13,24-3,28E-01H-7,17E-02Ray (R ² = 0,09)	S % = 15,19+3,82E-02H-2,30E-01Ray (R ² = 0,11)
V %	V % = 18,35-6,13E-01H-1,04E-01Ray (R ² = 0,06)	V % = 17,82-3,80E-01H-5,92E-02Ray (R ² = 0,12)	V % = 18,11-5,50E-01H-2,40E-01Ray (R ² = 0,26)	V % = 13,36-3,19E-01H-5,22E-02Ray (R ² = 0,08)	V % = 15,49+2,54E-02H-2,27E-01Ray (R ² = 0,1)
Hb	Hb= 2,07-1,24E-03H+3,47E-02Ray (R ² = 0,03)	Hb= 3,09-1,86E-02H-4,32E-02Ray (R ² = 0,04)	Hb= 3,22-8,95E-03H+ 1,19E-02Ray (R ² = 0,01)	Hb= 1,85-2,23E-02H-2,15E-02Ray (R ² = 0,06)	Hb= 2,67+ 5,21E-02H-3,40E-02Ray (R ² = 0,07)
MOE	MOE= 13547+185H-217Ray (R ² = 0,04)	MOE= 21787-693H+ 118Ray (R ² = 0,21)	MOE= 18543-328H+ 231Ray (R ² = 0,19)	MOE= 11561+281H-44Ray (R ² = 0,06)	MOE= 17156-92H-286Ray (R ² = 0,04)
MO C	MOC= 570+82H+ 13Ray (R ² = 0,3)	MOC= 1298+28H-16Ray (R ² = 0,08)	MOC= 1451-27H-22Ray (R ² = 0,08)	MOC= 667-13H-5Ray (R ² = 0,02)	MOC= 1291+47H-44Ray (R ² = 0,12)

Annexe 33 Variation intra-spécifique des propriétés du bois







Annexe 34 CAH sur la qualité acoustique des espèces étudiées

Classe	Espèces codage correspondant à Bremaud (2006)
1	Xody, Omwo, Canel, BocoA, BocoD, Amou, Amou, AmouFr, Gree, Gren, Mang, CoraPa, CoraA, CoraD, CoraSp., Palo
2	OmwoA, OmwoD, Bubi, Maha, Difo, Amar, MacaUl, Padou, Dous, Sati, Pern, P.Man, Divi, Pao
3	Eben,
4	Noye, PinSBN, CyprSp
5	Ac.Cail, EpiBC, ErAm, IfA, IfZT, IfD
6	EpiLut, PinPat, PeupT, Sapi
7	EpiBN, Lari, Taki, Cedr, Ac.Brés, Faha, Tambourissa
8	PinCar, PinSBC, ErFr, From
9	PinMBN, CyprI
10	PinMBC,
11	Vèn,
12	UmukA, IfD2, Bubi?, Cham
13	UmukD, Char, P.Ind, P.Rio, Corm, Chak, Agauria, Neotina, Nuxia, Weinmannia
14	Buis,
15	Coco,
16	P.Bah,

Annexe 35 Tempéraments des essences

Tempérament	Essences
Essences pionnières	<i>Agauria sp.</i> , <i>Cassinopsis madagascariensis</i> , <i>Croton mongue</i> , <i>Ficus tiliifolia</i> , <i>Helicrysum gymnocephalum</i> , <i>Memecylon spp.</i> , <i>Psiadia altissima</i> , <i>Vernonia pectoralis</i> , <i>Zanthoxylum tsihanihimposa</i>
Essences nomades	<i>Anthocleista madagascariensis</i> , <i>Canarium sp.</i> , <i>Dombeya sp.</i> , <i>Drypetes ambigua</i> , <i>Elaeocarpus serisseus</i> , <i>Erythroxyllum corimbosum</i> , <i>Gambeya boiviniana</i> , <i>Harungana madagascariensis</i> , <i>Homalium sp2</i> , <i>Homalium spp.</i> , <i>Macaranga cuspidata</i> , <i>Mussaenda sp.</i> , <i>Neotina isoneura</i> , <i>Nuxia capitata</i> , <i>Orfilea sp.</i> , <i>Pittosporum verticillatum</i> , <i>Plagioscyphus jumellei</i> , <i>Ravensara acuminata</i> , <i>Ravensara aromatica</i> , <i>Ravensara crassifolia</i> , <i>Ravensara sp.</i> , <i>Ravensara sp1</i> , <i>Schefflera sp1</i> , <i>Schefflera sp2</i> , <i>Schefflera vantsilana</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Vernonia sp.</i> , <i>Weinmannia rutenberghi</i>
Edificatrices	<i>Albizzia gummifera</i> , <i>Bosqueia sp.</i> , <i>Calophyllum chapelieri</i> , <i>Dilobeia thouarsii</i> , <i>Dombeya lucida</i> , <i>Erythroxyllum spp.</i> , <i>Faucherea sp.</i> , <i>Ilex mitis</i> , <i>Ochrocarpus parvifolius</i> , <i>Ocotea racemosa</i> , <i>Ocotea sp.</i> , <i>Ocotea trichophlebia</i> , <i>Oncostemum grandifolium</i> , <i>Oncostemum verticillatum</i> , <i>Phyllarthron sp.</i> , <i>Polyalthia emarginata</i> , <i>Potameia antevatrata</i> , <i>Potameia obovata</i> , <i>Protorhus ditimena</i> , <i>Slonea sp.</i> , <i>Streblus dimepate</i> , <i>Syzigium sp.</i> , <i>Tambourissa trichophylla</i> , <i>Uapaca densifolia</i> , <i>Vaccinium sp</i>
Sous-bois	<i>Aphloia theaformis</i> , <i>Bivinia jalberti</i> , <i>Breonia louvelii</i> , <i>Brexiella sp.</i> , <i>Dichaetanthera oblongifolia</i> , <i>Diospyros sp.</i> , <i>Ficus lutea</i> , <i>Ficus mormorata</i> , <i>Ficus soroceoides</i> , <i>Gastonia sp.</i> , <i>Mapouria parkeri</i> , <i>Mapouria sp.</i> , <i>Mystroxyllum aethiopicum</i> , <i>Urophylla lialii</i>

En se basant sur les allures de distributions d'arbres de Rollet (1983), la station forestière dispose de différentes essences de chaque tempérament. Les pionnières et les nomades se rencontrent surtout dans les forêts secondaires sur versant avec quelques individus, isolées dans les parties moins dégradées de la forêt. Pour les sous-bois, l'abondance relative est en général faible.

