



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS
Promotion « AMBIOKA »
(2008-2013)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme d' Ingénieur en Sciences Agronomiques
Option EAUX et FORETS

CARACTERISATION DES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BAMBOUS MALGACHES EN VUE DE LEUR VALORISATION

(Cas de: *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*)

Soutenu par : RAKOTOSOLONIAINA Andry Nantenaina Thierry

Le 16 Décembre 2013

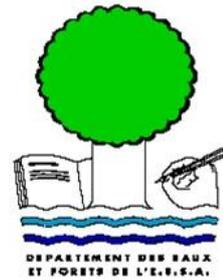
Devant le jury composé de :

Président : Pr. RAMAMONJISOA Bruno Salomon

Rapporteur : Dr. RAMANANANTOANDRO Tahiana

Examineurs : M. RATOVOMBOAHANGY Bruno

Pr. RANDRIANOELINA Benjamin



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS

Promotion « AMBIOKA »

(2008-2013)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme d' Ingénieur en Sciences Agronomiques

Option EAUX et FORETS



**CARACTERISATION DES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BAMBOUS
MALGACHES EN VUE DE LEUR VALORISATION**

(Cas de: *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*)

Soutenu par : RAKOTOSOLONIAINA Andry Nantenaina Thierry

Le 16 Décembre 2013

Devant le jury composé de :

Président : Pr. RAMAMONJISOA Bruno Salomon

Rapporteur : Dr. RAMANANANTOANDRO Tahiana

Examineurs : M. RATOVOMBOAHANGY Bruno

Pr. RANDRIANOELINA Benjamin

**« Recommande à Dieu tes œuvres et tes
projets se réaliseront (Proverbe 16,3) »**

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je tiens à remercier Dieu Père, Fils et Saint -Esprit sans qui nous ne serions pas là aujourd'hui. Pour sa bonté et sa bénédiction je Lui rends grâce. Que l'on voit en moi et à travers mes actes le reflet de son Amour.

À l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincu que le mémoire est loin d'être un travail solitaire. Je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance. Je remercie spécialement :

✿ Monsieur Bruno Salomon RAMAMONJISOA, Professeur d'enseignement supérieur et de recherche à l'École Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Chef de Département des Eaux et Forêts qui n'a pas ménagé ses efforts pour assurer notre formation et m'a fait l'honneur de présider le Jury de ce mémoire malgré ses nombreuses préoccupations.

✿ Madame Tahiana RAMANANANTOANDRO, Chef de l'UFR « Sciences du bois », Maître de Conférences au Département des Eaux et Forêts à l'ESSA, tutrice du présent mémoire, pour m'avoir confié ce travail de recherches, et m'avoir aidé, encadré, le long du travail, ainsi que pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

✿ Monsieur Bruno RATOVOMBOAHANGY, Enseignant chercheur au Département des Eaux et Forêts à l'ESSA pour ses aides, ses précieux conseils, et sa bienveillance d'accepter favorablement à notre sollicitation de siéger parmi les membres de Jury.

✿ Monsieur RANDRIANOELINA Benjamin Professeur chercheur à l'École Supérieure Polytechnique Antananarivo, qui a bien voulu siéger parmi les membres de Jury en tant qu'examineur en dépit de ses nombreuses responsabilités.

✿ Monsieur Jean Jacques RANDRIANARIMANANA, Doctorant au Département des Eaux et Forêts à l'ESSA sans qui, les travaux de terrain et de laboratoire n'auraient pas été réalisables et qui a également bien voulu m'encadrer et m'appuyer durant mes travaux.

✿ Monsieur Mano, Responsable du laboratoire de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui m'a apporté son aide au cours des travaux de laboratoire.

✿ Tous les personnels du département des « Eaux et Forêts » ainsi que ceux du CDI-ESSA sans exception avec qui, la collaboration fut plus que probante.

✿ Tous les enseignants de l'ESSA pour toutes les formations qu'ils ont prodiguées, depuis la première année jusqu'à la réalisation de ce mémoire.

Je termine mes remerciements par une pensée aux personnes qui me sont les plus proches. Ma famille (Dada, Neny, Vero, Hanitra, Fify) qui a subi les derniers moments de la rédaction de ce mémoire, les sauts d'humeur, les absences, mais malgré tout, m'a toujours soutenu aussi bien sur le plan affectif que financier. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma sincère gratitude et affection.

Enfin, que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Andry Nantenaina Thierry RAKOTOSOLONIAINA

RESUME

Pour promouvoir l'utilisation des bambous à Madagascar, il est indispensable d'avoir des informations sur les propriétés technologiques des espèces et de connaître les types de valorisations qui leurs sont adéquates. Cependant, jusqu'à aujourd'hui, ces informations sont encore insuffisantes et ne permettent pas d'apprécier les potentialités technologiques réelles des ressources existant à Madagascar. La présente recherche se propose alors de caractériser les propriétés technologiques des espèces de bambous les plus utilisées à Madagascar telles que *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata* et d'en déduire les types de valorisations adéquates à chacune des espèces étudiées. Les propriétés ayant été caractérisées ont été la densité, les retraits dimensionnels, le module d'élasticité, le module de rupture et la durabilité en service. L'étude a ressorti que les espèces étudiées sont équivalentes à des matériaux légers ou mi-lourds (densité de 0,5 à 0,8). Elles ne sont en général pas stables en service, car leurs retraits sont importants surtout sur le plan tangentiel ($R_T \geq 10\%$) et sur le plan radial ($R_R \geq 6,5\%$), mais elles possèdent un module d'élasticité et un module de rupture leur conférant une bonne résistance à la flexion et à la rupture ($MOE \geq 10000$ MPa et $MOR \geq 140$ MPa). Par ailleurs, ces espèces sont durables ou moyennement durables, car elles ne sont pas sensibles aux attaques des agents de dégradations. Les résultats ont aussi montré que les propriétés des bambous varient selon la hauteur de prélèvement des échantillons. Ces résultats peuvent alors contribuer au choix de la valorisation de : *Dendrocalamus asper* en tant que substitut des matériaux bois dans l'ameublement, la menuiserie, l'ébénisterie, la parqueterie, la charpenterie, la construction, la fabrication des panneaux, et des ouvrages de génie civil comme les ponts et les poutres ; *Dendrocalamus giganteus* dans la menuiserie, la parqueterie, la charpenterie, le charbonnage, la fabrication des panneaux, de poteaux et des papiers ; *Bambusa vulgaris constrictinoda*, et *Bambusa vulgaris striata* dans la fabrication de papiers, de panneaux dérivés, de parquets, de charpentes, et de poteaux.

Mots clés : Bambous, Madagascar, propriétés physiques, propriétés mécaniques, durabilité naturelle

ABSTRACT

To promote the use of bamboo in Madagascar, it is essential to have information on the technological properties of the species and to know the types of their appropriate valorization. However, until now, this information is still insufficient and does not assess the full technological potential of the resources existing in Madagascar. This research is then proposed to characterize the technological properties of bamboo species most used in Madagascar as *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*, and to deduce the types of appropriate valorization of each species studied. Properties have been characterized are the density, the dimensional shrinkage, the modulus of elasticity, the modulus of rupture, and the natural durability. The study came out that species that were studied are equivalent of light to medium-heavy materials (density 0.5 to 0.8). They are not generally stable in service because their dimensional shrinkage are important, especially in the tangential plane ($R_T \geq 10\%$) and in the radial plane ($R_R \geq 6.5\%$), but they have a modulus of elasticity and modulus of rupture their conferring resistance to bending and breakage ($MOE \geq 10000$ Mpa and $MOR \geq 140$ MPa). In addition, these species are not susceptible to attack by agents of degradation because they have high or moderate durability.

These results can then contribute to the choice of valorization of : *Dendrocalamus asper* as a substitute for wood materials in the manufacture of furniture, flooring, lumber, panels, and civil engineering works such as bridges and beams and construction; of *Dendrocalamus giganteus* in carpentry, in the manufacture of flooring, lumber, coal, panels, posts and papers; of *Bambusa vulgaris constrictinoda* and *Bambusa vulgaris striata* in the manufacture of paper, based panels, wooden floors, roofs, and poles.

Keywords: Bamboo, Madagascar, physical properties, mechanical properties, natural durability

FAMINTINANA

Ho fampivoarana ny fomba fampiasana ny volo eto Madagasikara, dia ilaina ny fahafantarana ny toetoetra teknolojika izay hananany sy ny fifehezana ireo fahaiza-manao momba ny fampiasana azy. Mandrak'ankehitry anefa dia mbola vitsy dia vitsy ny fahalalana mahakasika ireo zava-maniry ireo eto amin-tsika, ary hita fa tsy ampy velively hamaritana sy hamantarana ny tombontsoany. Natao àry ity asa fikarohana ity mba hamantarana ny toetoetra teknolojika izay hananan'ireo volo izay fampiasa matetika eto Madagasikara dia : ny *Dendrocalamus asper* (fantatra amin'ny hoe Volobe ambivahitra), ny *Dendrocalamus giganteus* (Volobe mavo) , ny *Bambusa vulgaris constrictinoda* (Volomaitso), ary ny *Bambusa vulgaris striata* (volo mavo) . Izany no atao dia mba ahafahana mamantatra sy manome lanja ny fampiasana azy ireo araka ny tokony ho izy. Ireo toetra ho faritana etoana dia ny lanja isam-betin-kadiry, ny fihenany refy, ny joron'ny fievotra, ny joron'ny fahatapahana, ary ny faharetana natoraly. Ny vokatry ny asa fikarohana natao dia nahafahana nilaza fa manana lanja isam-beti-kadiry ambony izay mahatratra 0,5 ka hatramin'ny 0,8 ireo karazam-bolo afatra ireo. Manaraka izany dia azo lazaina fa mora miovaova refy ireo volo ireo rehefa ampiasaina satria ambony ny isanjaton'ny fihenandrefy ananany indrindra manaraka ny kasika (10%) sy manaraka sy ny tana (6.5%). Mahazaka tsara ny fievorana sy ny fahatapahana kosa anefa izy ireo satria mihoatra ny 10000 MPa ny joron'ny fievotra ananan'izy ireo, ary mihoatra ny 100 MPa ny joron'ny fahatapahana . Raha ny faharetana natoraly indray, dia azo lazaina fa maharitra ary azo ampiasana tsara any ivelan'ny trano ny volo. Ireo voka-pikarohana ireo dia manampy amin'ny fisafidianana izay mety ampiasana ireo karazam-bolo ireo ho solon' ny hazo : ny *Dendrocalamus asper* dia mety amin'ny asa fandrafetana fanaka sy kojakoja amin'ny fanorenan-trano toy ny varavarana, gorodona, takelaka, ary ny fitaovana ilaina amin'ny fanamboarana tetezana sy andry. Ny *Dendrocalamus giganteus* kosa dia mety ho an'ny rafitra sy ny gorodona ,hanamboarana arina , takelaka, andry sy famokarana taratasy .Farany, ny *Bambusa vulgaris constrictinoda*, sy *Bambusa vulgaris striata* dia mety amin' ny fanamboarana taratasy, takelaka, gorodona ary andry.

Teny fototra: Volo, Madagasikara, toetoetra fizika, toetoetra mekanika, faharetana natoraly

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	A
RESUME	C
ABSTRACT.....	D
FAMINTINANA	E
LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES.....	H
LISTE DES ANNEXES	I
LISTE DES CARTES.....	I
LISTE DES EQUATIONS	I
LISTE DES FIGURES	J
LISTE DES PHOTOS	K
LISTE DES TABLEAUX	K
DEFINITIONS DES TERMES SPECIFIQUES ET SCIENTIFIQUES.....	M
PARTIE 1. INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE 2. MATERIELS ET METHODES.....	4
2 1. DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.....	4
2 2. FORMULATION DES HYPOTHESES	5
2 3. CONCEPTION DES METHODES POUR LA VERIFICATION DES HYPOTHESES	6
2-3- 1. <i>Préparation des échantillons</i>	6
2-3-1- 1. Prélèvement du matériel végétal	6
2-3-1- 2. Production des éprouvettes	10
2-3- 2. <i>Détermination des valeurs des indicateurs de vérification des hypothèses</i>	12
2-3-2- 1. Cas de l'hypothèse 1	13
2-3-2- 2. Cas de l'hypothèse 2	15
2-3-2- 3. Cas de l'hypothèse 3	18
2 4. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES	25
2 5. VERIFICATION DES HYPOTHESES	26
2-5-1. <i>Cas de l'hypothèse 1</i>	27
2-5-2. <i>Cas de l'hypothèse 2</i>	27
2-5-3. <i>Cas de l'hypothèse 3</i>	27
2 6. CADRE OPERATOIRE	29
2 7. RESUME METHODOLOGIQUE.....	30
PARTIE 3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	31

3- 1. PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BAMBOUS ETUDIES	31
3-1- 1. <i>Propriétés physiques</i>	31
3-1- 2. <i>Propriétés mécaniques</i>	32
3-1- 3. <i>Durabilité naturelle</i>	33
3- 2. EFFET DE LA POSITION VERTICALE DES ENTREŒUDS SUR LES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES	35
3-2- 1. <i>Effet sur les propriétés physico-mécaniques</i>	35
3-2- 2. <i>Effets sur la durabilité naturelle</i>	38
PARTIE 4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	39
4- 1. DISCUSSIONS.....	39
4- 1-1. <i>Discussions sur les résultats et sur les hypothèses</i>	39
4- 1-1-1. Comparaison des propriétés technologiques entre les quatre espèces et entre les différentes parties des entreœuds	39
4- 1-1-2. Comparaison des bambous étudiés avec les espèces de bois malgaches	42
4- 1-1-3. Comparaison des bambous étudiés avec les autres espèces de bambous déjà étudiées	47
4- 1-1-4. Vérification des hypothèses	51
4- 1-2. <i>Discussions sur l'approche méthodologique</i>	54
4- 1-2-1. Collecte	54
4- 1-2-2. Production des éprouvettes	55
4- 1-2-3. Choix des propriétés à étudier.....	55
4- 1-2-4. Expérimentations	55
4- 1-2-5. Choix du terrain pour effectuer le test.....	56
4- 1-2-6. Durabilité naturelle et classe d'emploi.....	56
4- 2. RECOMMANDATIONS.....	57
4- 2-1. <i>Sur l'approche méthodologique</i>	57
4- 2-1. <i>Sur les résultats</i>	58
CONCLUSION	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	67
ANNEXES	I

LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES

Δm : Perte de masse

ACP : Analyse des Composantes Principale

ANOVA : ANalyse Of VAriance

b : Largeur de l'éprouvette

Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda*

Bs : *Bambusa vulgaris striata*

D : Densité

D₀ : Dimensions de l'éprouvette dans la direction considérée (Longitudinale, Radiale, ou Tangentielles) à l'état anhydre.

Da : *Dendrocalamus asper*

Dg : *Dendrocalamus giganteus*

Ds : Dimensions de l'éprouvette dans la direction considérée (Longitudinale, Radiale, ou Tangentielles) à l'état saturé

DVRN : Direction de la valorisation des Ressources Naturelles au niveau de la Ministère de l'Environnement et des Forêts à Madagascar.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

F_{max} : Force maximale de rupture

h : Epaisseur de l'éprouvette

IC : Indice de Conservation

INF : Position inférieure

IOV : Indicateur Objectivement Vérifiable

K : Rapport entre l'accroissement de l'effort F appliqué au matériau et l'accroissement de l'allongement du matériau dû à l'effort (flèche),

L : Portée de la flexion ou distance entre les appuis,

m_f : masse finale

m_i : masse initiale

MOE : Module d'élasticité

MOR : Module de rupture

MOY : Position moyenne

NF : Norme Française

OS : Objectif spécifique

PSF : Point de saturation des fibres

R : Retrait

RA : Résultat attendu

RL : Retrait longitudinal

RR : Retrait radial

RT : Retrait tangentiel

SUP : Position supérieure

TDR : Terme de référence

INSTAT : Institut National pour la STATistique

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DE LA DENSITE MOYENNE DES ESPECES ETUDIEES.....	I
ANNEXE 2 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES RETRAITS MOYENS DES ESPECES ETUDIEES.....	I
ANNEXE 3 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES MOE ET MOR MOYENS DES ESPECES ETUDIEES	II
ANNEXE 4 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES INDICE DECONSERVATIONS MOYENS ET DES PERTES DE MASSES MOYENNES DES ESPECES ETUDIEES.....	II
ANNEXE 5 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DE LA DENSITE MOYENNE PAR POSITION	III
ANNEXE 6 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES RETRAITS MOYENS PAR POSITION	IV
ANNEXE 7 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DU MOE ET MOR MOYENS PAR POSITION	V
ANNEXE 8 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES INDICES DE CONSERVATIONS MOYENS ET DES PERTES DE MASSE MOYENNE PAR POSITION	VI
ANNEXE 9 : DIAMETRE DU CHAUME SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENOEUDS	VII
ANNEXE 10 : DISPOSITION DES ECHANTILLONS SUR LE TERRAIN D'EXPERIMENTATION LORS DU TEST DE DURABILITE NATURELLE	VIII
ANNEXE 11 : PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BOIS MALGACHES ET LEURS UTILISATIONS POTENTIELLES	IX
ANNEXE 12 : LEGENDES ANNEXE 11	VIII
ANNEXE 13 : PRESENTATION DE LA REGION ANALAMANGA.....	X
ANNEXE 14 : PRESENTATION DE LA REGION ANTSINANANA.....	X

LISTE DES CARTES

CARTE 1: LOCALISATION DU LIEU DE COLLECTE DES ECHANTILLONS	8
CARTE 2: CARTE DE LOCALISATION DE ANOSY AVARATRA.....	20

LISTE DES EQUATIONS

EQUATION 1 : DENSITE A 12%	13
----------------------------------	----

EQUATION 2 : DENSITE MOYENNE PAR ESPECE	14
EQUATION 3 : RETRAIT DIMENSIONNEL.....	14
EQUATION 4 : RETRAIT MOYEN PAR ESPECE	15
EQUATION 5 : MODULE D'ELASTICITE	16
EQUATION 6 : MOE D'UNE ESPECE	17
EQUATION 7 : MODULE DE RUPTURE MOYEN	17
EQUATION 8 : MOR D'UNE ESPECE	18
<u>EQUATION 9</u> : PERTE DE MASSE MOYENNE	23
EQUATION 10 :PERTE DE MASSE D'UNE ESPECE.....	23
EQUATION 11 : IC D'UNE ESPECE	25

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: COUPE LONGITUDINALE D'UN CHAUME DE BAMBOU	7
FIGURE 2 : DISTINCTION DE L'AGE PAR RAMIFICATION	9
FIGURE 3: PARTIES DU CHAUME PRELEVEES	10
FIGURE 4 : DIMENSION ET FORME DES EPROUVETTES	12
FIGURE 5: ESSAI DE FLEXION STATIQUE	16
FIGURE 6 : RESUME DE LA DEMARCHE STATISTIQUE D'ANALYSE DES DONNEES	26
FIGURE 7 : RESUME METHODOLOGIQUE	30
FIGURE 8: DENSITE A 12% DES ESPECES DE BAMBOUS ETUDIEES	31
FIGURE 9 : RETRACTABILITES DIMENSIONNELS DES ESPECES ETUDIEES	32
FIGURE 10: MODULE D'ELASTICITE EN FLEXION STATIQUE DES ESPECES ETUDIEES	32
FIGURE 11: MODULE DE RUPTURE EN FLEXION STATIQUE DES ESPECES ETUDIEES	33
FIGURE 12 : PERTE DE MASSE MOYENNE PAR ESPECE	34
FIGURE 13: INDICE DE CONSERVATION PAR ESPECE	35
FIGURE 14 : VARIATION DE LA DENSITE SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENEUDS.....	36
FIGURE 15 : VARIATION DU MOE ET DU MOR SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENEUDS	36
FIGURE 16 : VARIATION DES RETRAITS SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENEUDS.....	37
FIGURE 17: VARIATION DE LA PERTE DE MASSE SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENEUDS	38
FIGURE 18: VARIATION DE L'INDICE DE CONSERVATION SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES ENTRENEUDS	38
FIGURE 19 : VARIATION SUIVANT LA HAUTEUR DE L'EPaisseur DES PAROIS DES FIBRES ET DU NOMBRE DE TISSUS VASCULAIRE POUR LE GENRE BAMBUSA	40
FIGURE 20 : COMPARAISON DE LA DENSITE DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELLE DES BOIS MALGACHES	43
FIGURE 21 : COMPARAISON DU RETRAIT TANGENTIEL DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DES BOIS MALGACHES.....	44
FIGURE 22 : COMPARAISON DU RETRAIT RADIAL DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DES BOIS MALGACHES	44

FIGURE 23 : COMPARAISON DU MOE DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DES BOIS MALGACHES	45
FIGURE 24 : COMPARAISON DU MOR DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DES BOIS MALGACHES	46
FIGURE 25 : COMPARAISON DE LA DENSITE DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELLE DE LA BIBLIOGRAPHIE.....	47
FIGURE 26 : COMPARAISON DU RETRAIT TANGENTIEL DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DE LA BIBLIOGRAPHIE	48
FIGURE 27 : COMPARAISON DU RETRAIT RADIAL DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELUI DE LA BIBLIOGRAPHIE	48
FIGURE 28 : COMPARAISON DES VALEURS DU MOE DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CEUX DE LA BIBLIOGRAPHIE	49
FIGURE 29 : COMPARAISON DES VALEURS DU MOR TROUVES AVEC CEUX DE LA BIBLIOGRAPHIE	50

LISTE DES PHOTOS

PHOTO 1: CHAUME DES QUATRE ESPECES ETUDIEES	9
PHOTO 2 : MARQUAGE ET STOCKAGE DES CHAUMES.....	10
PHOTO 3 : PROCEDES D'USINAGE DES CHAUMES	12
PHOTO 4 : PROCEDES DE MESURE DE LA DENSITE	14
PHOTO 5: PROCEDES DE MESURE DU RETRAIT	15
PHOTO 6: MESURE DU MOE PAR LA MACHINE DY25.....	17
PHOTO 7: MESURE DU MOR PAR LA MACHINE DY25.....	18
PHOTO 8: TEST DE DURABILITE NATURELLE DES BAMBOUS AU LABORATOIRE	19
PHOTO 9: GRAVEYARD TEST	20
PHOTO 10: CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DES EPROUVETTES POUR LE TEST DE DURABILITE NATURELLE	21
PHOTO 11 : GRAVEYARD TEST EN SUIVANT LA METHODE D'ASHAARI ET MAMAT, (2000)	22
PHOTO 12 : EXTRACTION DES ECHANTILLONS TESTES HORS DU TERRAIN D'EXPERIMENTATION	22
PHOTO 13 : ETAT GENERAL DES EPROUVETTES APRES LEUR SOUMISSION DURANT 6 MOIS A LA CLASSE D'EMPLOI 4	34

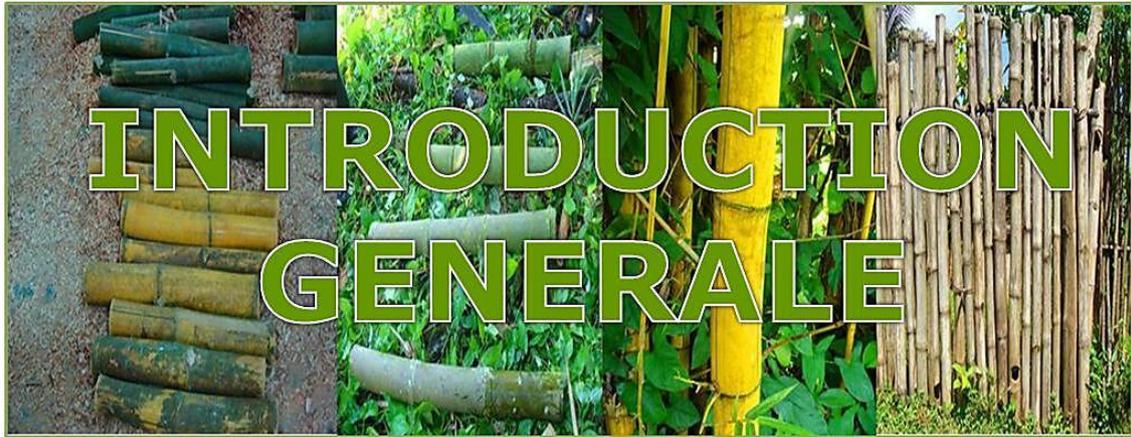
LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1: TYPES D'EPROUVETTES UTILISEES POUR LA VERIFICATION DES HYPOTHESES	11
TABEAU 2: GRILLE D'EVALUATION QUANTITATIVE DE LA DURABILITE NATURELLE	23
TABEAU 3 : METHODE D'APPRECIATION DES DEGATS PAR OBSERVATION VISUELLE	24
TABEAU 4:GRILLE D'EVALUATION QUALITATIVE DE LA DURABILITE NATURELLE	25
TABEAU 5 : MATRICE DE CORRELATION DE PEARSON (PROPRIETES PHYSIQUES ET PROPRIETES MECANIQUES)	41
TABEAU 6: COMPARAISON DE LA DURABILITE NATURELLE DES BAMBOUS ETUDIES AVEC CELLE DES BOIS MALGACHES	46
TABEAU 7 : COMPARAISON DES DENSITES OBTENUES APRES LA RECHERCHE ET LA DENSITE LIMITE DE REFERENCE	51
TABEAU 8 : COMPARAISON DES RETRAITS OBTENUS APRES LA RECHERCHE ET LES RETRAITS LIMITE DE REFERENCE.....	52
TABEAU 9 : COMPARAISON DES MOE OBTENUS APRES LA RECHERCHE ET LE MOE LIMITE DE REFERENCE.....	53

TABLEAU 10 : COMPARAISON DES MOR OBTENUS APRES LA RECHERCHE ET LE MOR LIMITE DE REFERENCE	53
TABLEAU 11:COMPARAISON DE L'IC ET DE ΔM OBTENUS APRES LA RECHERCHE AVEC L'IC ET LA ΔM LIMITE DE REFERENCE.....	54
TABLEAU 13: UTILISATIONS RECOMMANDEES POUR LES QUATRE ESPECES	59
TABLEAU 14: RECOMMANDATIONS PRATIQUES SOUS-FORME DE CADRE LOGIQUE.....	61
TABLEAU 15 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DE LA DENSITE DES ESPECES ETUDIEES.....	I
TABLEAU 16 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DU RETRAIT AXIAL DES ESPECES ETUDIEES.....	I
TABLEAU 17 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DU RETRAIT RADIAL DES ESPECES ETUDIEES.....	I
TABLEAU 18 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DU RETRAIT TANGENTIEL DES QUATRE ESPECES	II
TABLEAU 19:COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DU MOE MOYENNE DES ESPECES ETUDIEES	II
TABLEAU 20 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DU MOR MOYENNE DES ESPECES ETUDIEES	II
TABLEAU 21 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DE L'INDICE DE CONSERVATION MOYEN DES ESPECES ETUDIEES.....	II
TABLEAU 22 : COMPARAISON MULTIPLE PAR PAIRE DES PERTES DE MASSE MOYENNE DES ESPECES ETUDIEES	III
TABLEAU 23 : COMPARAISON MULTIPLE DE LA DENSITE PAR PAIRE ET PAR POSITION	III
TABLEAU 24 : COMPARAISON MULTIPLE DU RETRAIT LONGITUDINAL PAR PAIRE ET PAR POSITION	IV
TABLEAU 25 : COMPARAISON MULTIPLE DU RETRAIT RADIAL PAR PAIRE ET PAR POSITION	IV
TABLEAU 26:COMPARAISON MULTIPLE DU RETRAIT TANGENTIEL PAR PAIRE ET PAR POSITION	IV
TABLEAU 27 : COMPARAISON MULTIPLE DU MOE PAR PAIRE ET PAR POSITION	V
TABLEAU 28 : COMPARAISON MULTIPLE DU MOR PAR PAIRE ET PAR POSITION	V
TABLEAU 29 : COMPARAISON MULTIPLE DE LA PERTE DE MASSE PAR PAIRE ET PAR POSITION	VI
TABLEAU 30 : COMPARAISON MULTIPLE DE L'INDICE DE CONSERVATION PAR PAIRE ET PAR POSITION	VI
TABLEAU 31 : DIAMETRE DU CHAUME PAR ESPECE ET PAR POSITION	VII

DEFINITIONS DES TERMES SPECIFIQUES ET SCIENTIFIQUES

1. **Ameublement** : Travail du bois de faible équarrissage, destiné à la fabrication de meubles ou à la décoration et à l'équipement des bâtiments.
2. **Charpente** : ouvrage constitué de pièces de bois ou d'autres matériaux assemblés pour servir d'ossature (à une construction)
3. **Chaume** : matériau constitué de longues tiges végétales
4. **Débitage** : Découpage en pièces prêtes à l'emploi
5. **Dégauchissage** : travail qui consiste à aplanir (un matériau) en enlevant les aspérités par taille ou par abrasion
6. **Ebénisterie** : fabrication de meubles en bois précieux
7. **Menuiserie** : ensemble des techniques mises en œuvre pour construire des ouvrages de taille relativement petite, par assemblage de menues pièces de bois. Ces assemblages se font de largeur, de longueur ou en angle.
8. **Rabotage** : action d'aplanir (la surface du bois) avec un outil formé d'une lame tranchante en acier, logée dans une enveloppe de bois ou de métal
9. **Touffe** : groupement de végétaux réunis à la base.
10. **Trituration** : réduction (de quelque chose) en fins morceaux ou en pâte par l'application de fortes pressions.
11. **Usinage** : façonnage (d'un matériau ou d'une pièce) à l'aide d'une machine-outil





Partie 1. INTRODUCTION GENERALE

Depuis de nombreux siècles, les produits forestiers ligneux figurent parmi les matières premières les plus utilisées par l'homme. Ils sont surtout appréciés pour leurs hautes qualités technologiques et par les fonctions économiques, sociales et écologiques qu'ils peuvent offrir. Chaque année, environ 202 milliards de m³ de bois sont commercialisés au niveau international pour assurer le besoin de la population mondiale (FAO, 2010).

Au cours de ces dernières décennies, la production de bois, surtout dans les pays tropicaux comme Madagascar, a connu une grande difficulté. Cette difficulté se manifeste par la réduction d'année en année des ressources forestières disponibles pour la production de bois. Si la surface forestière a été estimée en 1894 à 20 millions d'hectares (Humber, 1965), elle n'est plus que de 9,41 millions d'hectares en 2005 ; soit une diminution de 55% en 110 ans (Ministère de l'Environnement et des Forêts, 2012). A long terme, cette situation risque de conduire à une pénurie en bois. L'étude menée par Meyers et al., (2005) estime que les besoins nationaux en bois augmenteront chaque année d'environ 200 000 m³. Avec cette augmentation « l'exploitation rationnelle » des forêts malgaches vouée à la production de bois ne pourrait plus satisfaire les besoins à partir de 2010 / 2011. Et d'après ce scénario, le déficit en produits forestiers ligneux atteindra près de 4 millions de m³ en 2025.

Face à cette situation, un nombre croissant d'institutions, d'organisations gouvernementales, non gouvernementales, et d'entités du secteur privé sont intervenues dans la promotion de l'utilisation d'autres produits additionnels qui pourront être exploités afin de combler les besoins en bois des consommateurs. Un des produits qui intéresse un grand nombre d'acteurs est le bambou.

Le bambou est un produit forestier non ligneux qui est largement répandu naturellement dans le monde entier surtout dans les régions tropicales (Tewari, 1992). Son aire de répartition couvre à peu près 37 millions d'hectares soit environ 1% de la totalité de la surface forestière mondiale (Lobovikov et al., 2005 in Rajonhson, 2012). Plus de 1200 espèces sont recensées dans le monde et la majorité se trouve en Asie (Grass Phylogeny Working Group, 2001). Madagascar en possède une grande diversité, avec 11 genres et près de 40 espèces dont 35 endémiques (Bystriakova et al. 2004). Le bambou se distingue des autres matériaux par sa meilleure qualité technologique ainsi que par son aptitude à remplir des fonctions similaires à celles du bois à savoir, les fonctions écologiques, les fonctions économiques, et les fonctions sociales. Des études sur le bambou, réalisées dans nombreux pays asiatiques, ont montré la possible substitution du bois par le bambou pour certaines applications. Sur le plan écologique, Zhou et al., (2005) ont affirmé que le bambou est une plante écologiquement très intéressante. Il est capable d'assurer, comme le bois, le contrôle de l'érosion du sol, la conservation de l'eau, la réhabilitation des terres agricoles et la séquestration du carbone. Sur le plan économique, les bambous jouent également un rôle important aussi bien à l'échelle locale qu'au niveau du commerce national et international. Selon Janssen (2000), l'utilisation et le commerce du



bambou au niveau mondial dans les années 80 ont été estimés à 4,5 milliards de dollars par an. Bystriakova, et al., ont parlé en 2004 de 2 milliards de dollars par an. A Madagascar, l'exportation des produits en bambous a rapporté environ 18 millions d'Ariary pour le pays en 2010 (DVRN., 2012). Sur le plan social, les bambous se trouvent parmi les plantes les plus largement utilisées par la population. Les utilisations les plus connues concernent surtout la phytothérapie, le textile, l'alimentation, la construction et la papeterie, mais plus de 1500 autres usages anthropiques sont à dénombrer (Gonda, 2012). Sur le plan technologique, des études de leurs propriétés technologiques ont mis en évidence que certaines espèces ont des propriétés physiques et mécaniques meilleures que le bois (Hiziroglu, 2007; Lee et al., 1994 ; Ramananantoandro et al., 2013) et que la fibre de bambou se trouve parmi les plus performantes, avec les fibres de carbone et de verre (Yu et al., 2007). Récemment, dans nombreux pays asiatiques, le bambou est devenu le principal matériau pour l'industrie de fabrication du contreplaqué et du parquet (Tang et al., 2012). En outre, par rapport aux espèces ligneuses, les bambous possèdent également des atouts supérieurs. Il s'agit de sa rapidité de croissance. D'une manière générale, ils poussent beaucoup plus vite que les ligneux et entament leur maturité aux environs de trois ans (Wakchaure et Kute, 2012). Ils peuvent ainsi être exploités à l'âge de trois ans alors qu'il faut attendre au minimum 20 ans, voire plus de 80 ans pour les bois de forêt naturelle comme *Dalbergia sp.* (Ramananantoandro et al., 2013).

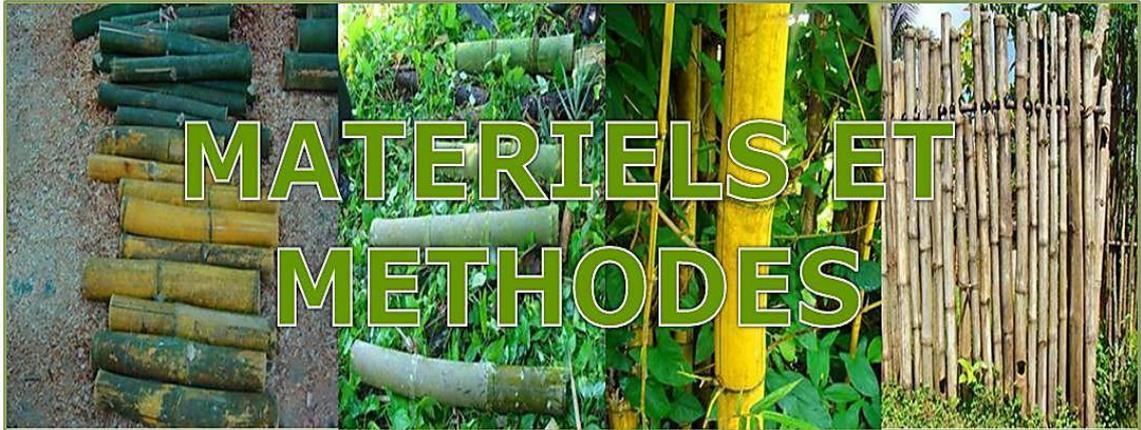
En se référant aux nombreux atouts cités, la promotion de l'utilisation des bambous au niveau des pays possédant une grande ressource comme Madagascar pourrait constituer une alternative pour la compensation des manques en produits ligneux et pour la sauvegarde des forêts naturelles malgaches.

Mais pour identifier un quelconque domaine d'utilisation qui convient réellement aux bambous malgaches, il est essentiel de connaître les caractéristiques technologiques des espèces à exploiter, notamment leurs propriétés physico-mécaniques, et leur durabilité en service. En effet, les propriétés physico-mécaniques sont des critères essentiels qui permettent d'identifier les utilisations adéquates de chaque espèce, d'améliorer les techniques de transformation et de trouver d'autres pistes de valorisation, alors que la durabilité naturelle est un indicateur d'évaluation de la durée de vie en service (Gerard et al., 1998). Ainsi, dans le cadre d'un enrichissement des connaissances scientifiques sur les propriétés technologiques des bambous malgaches et de la recherche d'une meilleure piste de valorisation, ce mémoire intitulé « **caractérisation des propriétés technologiques des bambous malgaches en vue de leur valorisation** » a été élaboré.

Quatre espèces de bambous malgaches ont été sélectionnées pour effectuer la présente étude. Il s'agit de *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*. Ces espèces ont été choisies du fait que ce sont les espèces les plus utilisées par les habitants locaux et éventuellement par certaines industries locales employant le bambou (Ramananantoandro et al. 2013).



La présentation de ce travail de recherche comporte trois grandes parties. La première partie sera consacrée à la démarche méthodologique qui a consisté tout d'abord à définir la problématique de recherche, et à formuler ensuite trois hypothèses en relation cette problématique afin de la résoudre. La deuxième partie détaillera les résultats de la recherche ainsi que leurs interprétations, et la dernière partie exposera les discussions sur l'approche méthodologique, les résultats, notamment sur la vérification des hypothèses, la réponse à la problématique et les recommandations qui s'y rattachent, avant d'aboutir à une conclusion finale.





Partie 2. MATERIELS ET METHODES

L'investigation a débuté par la définition de la problématique de recherche. Ensuite, elle s'est focalisée sur la résolution de cette problématique. Pour cela, la méthode qui a été utilisée est la méthode **hypothético-déductive**. C'est une méthode scientifique qui consiste à formuler une hypothèse afin d'en déduire des conséquences observables futures (prédiction), mais également passées (rétrodiction) permettant d'en déterminer la validité (E.S.S.A-Forêts, 2012).

2 1. DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE

Parmi les pays d'Afrique, Madagascar possède la plus grande diversité de bambous, avec 11 genres et près de 40 espèces dont 35 endémiques (Bystriakova et al. 2004). *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, et *Bambusa vulgaris striata* figurent parmi les plus abondantes et les plus couramment exploitées par les habitants locaux et éventuellement par certaines industries locales dans des domaines similaires à ceux du bois.

La problématique qui se pose est que les informations concernant les propriétés technologiques de ces espèces sont très insuffisantes voire inexistantes à l'échelle nationale. Deux études exploratoires sur ces quatre espèces ont été initiées par Rajonshon et Rajaonalison en 2012, mais ces études se limitent seulement aux propriétés physiques. Les recherches sur les autres propriétés telles que la densité, les propriétés mécaniques et la durée de vie en service n'ont pas encore été conduites.

Ces lacunes au niveau des connaissances scientifiques sur les propriétés technologiques des bambous limitent la possibilité d'utilisation de ces matériaux. Par conséquent, les techniques de transformations sont archaïques et le recours à l'emploi du bambou surtout au niveau industriel n'est pas très courant à Madagascar, ce qui est justifié par le nombre réduit d'entreprises et de domaines d'utilisations relatifs à la filière bambou. D'où le retard de Madagascar en termes de développement de la filière bambou comparé à d'autres pays étrangers comme la Chine et le Thaïlande.

En outre, puisque les diverses utilisations des bambous actuelles sont uniquement déduites à partir des connaissances empiriques mais non pas à partir de réel fondement scientifique (Ramananantoandro et al., 2013), il se peut que les espèces soient utilisées dans des domaines qui ne leur conviennent pas ou que les valeurs technologiques des espèces ne soient pas convenablement valorisées. Il pourrait y avoir d'autres domaines d'utilisations qui conviennent mieux à chacune des espèces mais qui demeurent inconnus ou inexploités jusqu'à aujourd'hui.

La question principale qui se pose est alors : ***quels sont les types d'utilisations adéquats aux propriétés technologiques des bambous malgaches?***



Pour bien cerner la recherche, cette question principale est décortiquée en trois questions, à savoir : quelles sont les propriétés technologiques des bambous malgaches? En se référant à ces propriétés, comment peut-on les valoriser?, quels domaines d'utilisations leur conviennent-ils?

2 2. FORMULATION DES HYPOTHESES

Compte tenu de la problématique avancée et de la question de recherche fixée, trois hypothèses ont été formulées :

Hypothèse1 : les bambous malgaches présentent des propriétés physiques adéquates pour l'ameublement

Des études conduites dans d'autres pays (Liese ,1985 ; Parkeeree, 1997 ; Kamthai et Puthson, 2005 ; Wahab et al. ,2004) ont mis en évidence que certaines espèces de bambous possèdent des propriétés physiques meilleures que le bois. Un des domaines d'utilisations qui requiert une bonne propriété physique est l'ameublement. Mais pour être utilisées dans ce domaine, les espèces de bambous devraient avoir au moins des propriétés physiques similaires à ceux des essences utilisées dans l'ameublement, c'est-à-dire qu'elles devraient avoir une densité au moins légère ainsi qu'une bonne stabilité dimensionnelle. Ce qui a impliqué à subdiviser cette hypothèse en deux sous hypothèses, à savoir :

Sous-hypothèse 11 : les bambous malgaches possèdent une densité équivalente à celle des bois appropriés pour l'ameublement.

Pour la vérification de cette sous-hypothèse, l'indicateur employé a été la densité à 12%

Sous-hypothèse 12 : les bambous malgaches possèdent une stabilité dimensionnelle

En tenant compte des trois plans suivant lesquels varient les dimensions, les indicateurs qui ont été utilisés pour la vérification de cette sous-hypothèse ont été le retrait longitudinal, retrait radial, et retrait tangentiel.

La vérification de ces deux sous- hypothèses permet non seulement de connaître les propriétés physiques des espèces étudiées mais aussi d'identifier les types de valorisations qui leur conviennent.

Hypothèse2 : Les bambous malgaches sont aptes pour des utilisations nécessitant de bonnes propriétés mécaniques

Pour mieux expliciter cette hypothèse, elle a été divisée en deux sous hypothèses

Sous-hypothèse 21 : les bambous malgaches possèdent une bonne résistance à la flexion

La résistance à la flexion statique (ou module d'élasticité) constitue un indicateur potentiel de la rigidité d'un matériau. Plus un matériau est flexible, plus il est rigide. Dans les pays autres que Madagascar, des études ont pu démontrer que les bambous sont plus flexibles et aussi rigides que le bois (Obataya et al., 2007) et aptes à être utilisés comme une alternative au bois dans diverses applications nécessitant de bonnes propriétés mécaniques comme la charpenterie, la parqueterie, la



menuiserie, la construction, la fabrication des poteaux et des ponts. La vérification de cette affirmation pour le cas des bambous malgaches permettra de mieux appréhender non seulement la nature des propriétés mécaniques des bambous mais aussi de définir les valorisations qui leur conviennent.

Sous-hypothèse 22 : les bambous malgaches ne se rompent pas facilement

Afin que les informations concernant les propriétés mécaniques soient plus fiables, il est également nécessaire de connaître le **module de rupture**. Cette deuxième sous hypothèse vise donc à évaluer ce type de comportement.

Hypothèse3 : *Les bambous malgaches ne possèdent pas les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4 (contact permanent avec le sol ou d'une source d'humidité et soumission à l'action des intempéries)*

Cette hypothèse repose sur les recherches effectuées sur les bambous étrangers qui affirment que la durabilité naturelle du bambou est plus faible que celle du bois et que dans la plupart des cas, elle ne permet pas l'utilisation du bambou à l'extérieur sans traitement (Ashaari et Mamat, 2000 ; Wahab et al, 2004 ; Varma, 2007 ; Suprapti, 2010 ; Tang, 2012)

Cette faiblesse de la durabilité va restreindre les domaines d'utilisations du bambou. A partir de la vérification de cette hypothèse, les utilisations des bambous malgaches seront mieux définies. L'indicateur qui a été choisi pour vérifier cette hypothèse est **la classe de durabilité naturelle des bambous**.

2.3. CONCEPTION DES METHODES POUR LA VERIFICATION DES HYPOTHESES

2-3- 1. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons a été l'étape qui a précédé toute investigation. Elle a été constituée par une série d'opérations aboutissant à l'obtention des éprouvettes en bambous prêtes à être utilisées pour l'expérimentation. La première opération correspond au prélèvement du matériel végétal, tandis que la seconde concerne la production des éprouvettes.

2-3-1- 1. Prélèvement du matériel végétal

☉ Matériel végétal collecté

L'objet de collecte a été le chaume de bambou provenant des espèces : *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris striata*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*.

Le chaume est la tige du bambou. Il est habituellement creux, et constitué de différents caissons séparés par des diaphragmes formant ainsi les nœuds (*Figure 1*).

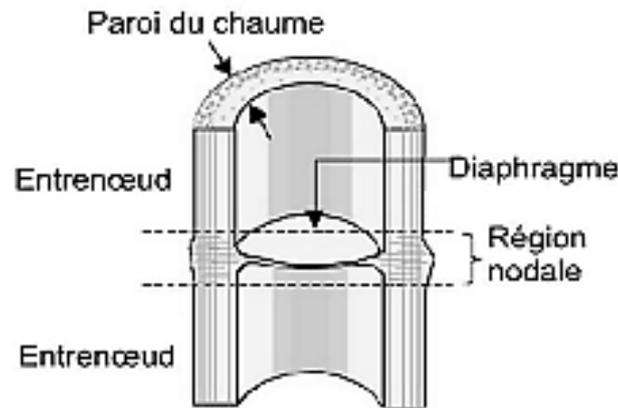


Figure 1: Coupe longitudinale d'un chaume de bambou

SOURCE : Hargot, 2009

Le chaume de bambou est lignifiée et d'après Itoh (1990), la lignification du chaume se fait de l'extérieur vers l'intérieur et se progresse du pied vers le sommet du chaume. Certaines espèces croissent quotidiennement de 15 à 18 cm et peuvent atteindre la hauteur finale en 4 à 6 mois. Les différentes espèces de bambou se différencient par les caractéristiques des chaumes.

Les échantillons de chaume ont été collectés suivant trois critères qui sont : la maturité, la rectitude et l'accessibilité.

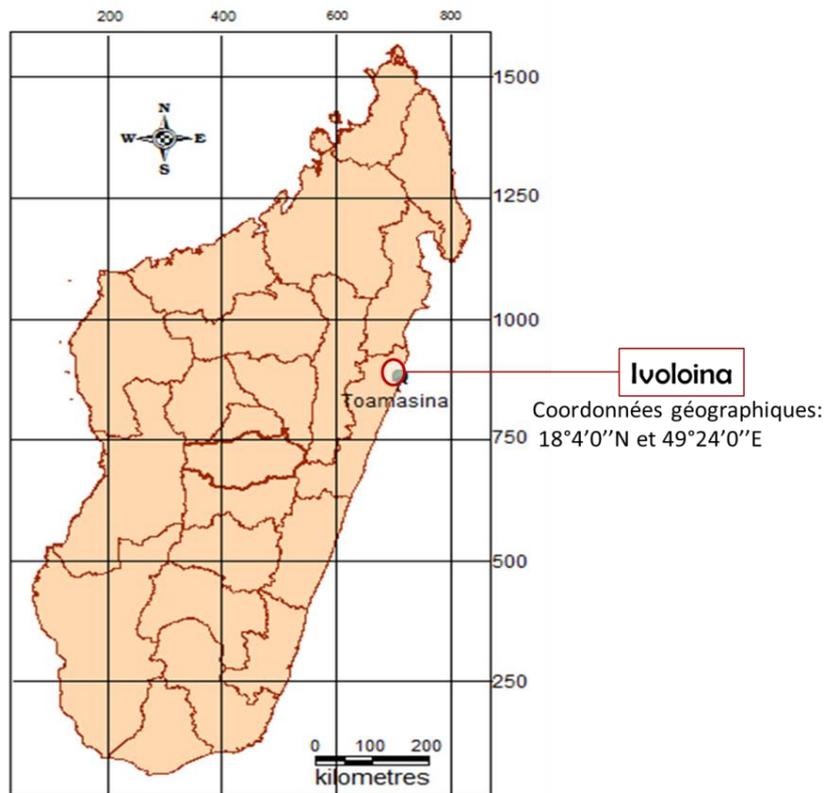
LA MATURITE : les propriétés technologiques des bambous varient selon l'âge du chaume. Généralement, ces propriétés atteignent leur potentialité maximum à l'âge de 3ans, âge où commence le stade de maturation du chaume (Liese, 1985 ; Wakchaure et Kute, 2012). Il est donc plus intéressant de collecter des chaumes matures pour mieux apprécier la potentialité technologique des quatre espèces étudiées.

LA RECTITUDE : à part la maturité du chaume, sa rectitude suivant la hauteur a été également prise en compte afin de faciliter sa manipulation pour les prochaines étapes.

L'ACCESSIBILITE : Vu que le prélèvement a été réalisé en milieu naturel, nombreux sont les obstacles qui limitent l'acquisition des chaumes. En effet, seuls les chaumes accessibles ont été collectés.

✿ Lieu de prélèvement

Les échantillons ont été prélevés dans la partie orientale de Madagascar, à Ivoloïna (*Carte 1*). Ce lieu de collecte a été choisi en raison de la présence en abondance d'espèces de bambous. Selon Ramananantoandro et al. (2013), six espèces de bambous sont retrouvées dans cette localité, à savoir les espèces objets de la présente étude (*Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*) et deux autres espèces (*Valiha diffusa* et *Cephalostachyum madagascariensis*).



Carte 1: localisation du lieu de collecte des échantillons

SOURCE : BD 500 FTM

✿ Méthode de collecte

✓ Echantillonnage des chaumes

Pour la prise des échantillons, la première étape a consisté en la reconnaissance des espèces à collecter. L'identification des espèces a été effectuée par observation visuelle de la couleur et de la dimension des chaumes au niveau des touffes de bambous. *Dendrocalamus asper* ou « Volobe ambivahitra » est reconnue par ses chaumes de grand diamètre, colorés en vert et munis de poils (**Photo 1-a**). *Bambusa vulgaris striata* ou « Volo mavo » est caractérisée extérieurement par ses chaumes de couleur jaune sillonnés de traits vert foncés (**Photo 1-b**). Quant au *Dendrocalamus giganteus* ou « Volobe mavo », les traits les plus distinctifs de cette espèce sont d'un côté le grand diamètre des chaumes et d'autre côté la couleur externe du chaume qui est vert terne à vert bleuâtre, couvert de croûtes blanches cireuses quand le pied est jeune (**Photo 1-c**). Pour le cas du *Bambusa vulgaris constrictinoda* ou « Volomaitso », la couleur de son chaume ressemble à celui du *Dendrocalamus asper* mais il est dépourvu de poils et son diamètre est plus petit (**Photo 1-d**).



Photo 1: Chaume des quatre espèces étudiées

L'étape qui a fait suite à la reconnaissance des espèces a été la recherche des chaumes matures (c'est-à-dire âgés de trois ans) au sein des touffes de bambou. La méthode qui a été utilisée pour l'identification de ces chaumes est celle préconisée par Wei-Chih Lin (1970). Cette méthode se base sur le comptage du nombre des ramifications sympodiques qui se développent le long du chaume. Selon cette méthode, chaque année, une ramification de plus se développe le long du chaume. L'âge du chaume est donc donné par le nombre de ramifications qui se sont développées sur celui-ci (**Figure 2**). Un chaume est alors considéré comme mature s'il possède au moins trois ramifications sympodiques.

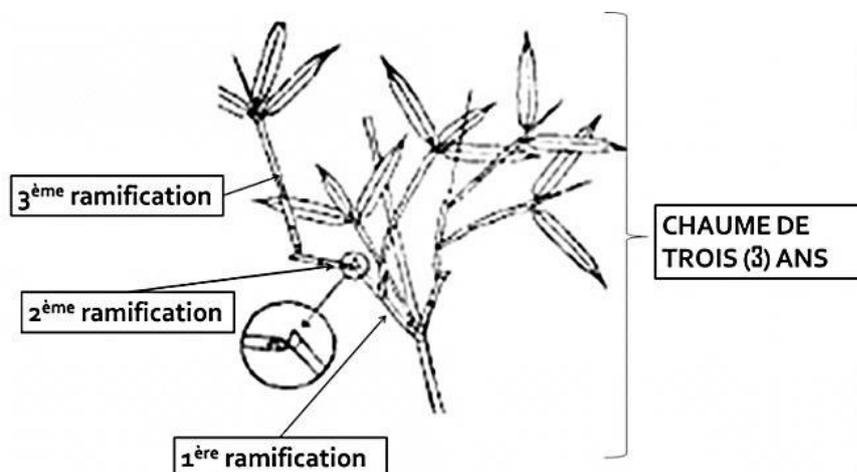


Figure 2 : Distinction de l'âge par ramification

SOURCE : Modifié de Wei-Chih Lin, 1970

✓ Coupe des chaumes

Après leur identification, les chaumes ont été abattus. L'abattage a été effectué d'une manière aléatoire et le nombre de chaumes abattus a été fixé à trois (3) chaumes par espèce pour cerner les variabilités intra-espèce et inter-espèce. Ainsi, un nombre total de douze (12) chaumes a été abattu. De ces chaumes, une section de 1 mètre environ sur chacune des parties des chaumes (partie inférieure,



partie moyenne ou intermédiaire et partie supérieure) a été ensuite prélevée pour les diverses études (**Figure 3**). Chaque espèce a donc été représentée par neuf (9) portions de chaumes dont trois (3) issues de la partie supérieure, trois (3) prélevées au niveau de la partie moyenne, et le reste tiré de la partie inférieure. Le nombre total de sections qui ont été prélevées a été de 36.

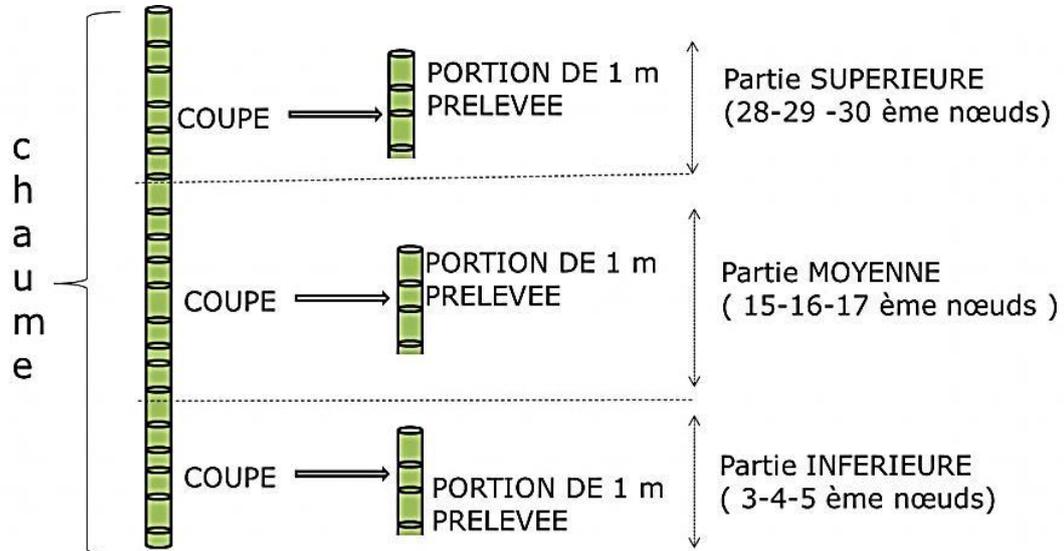


Figure 3: parties du chaume prélevées

Tout de suite après la coupe, les 36 portions de chaumes ont été marquées puis stockées dans des sachets en plastique afin de garder leur humidité naturelle avant les manipulations au laboratoire (**Photo 2**).



Photo 2 : Marquage et stockage des chaumes

2-3-1- 2. Production des éprouvettes

✿ Types d'éprouvettes

Les formats des éprouvettes qui ont été produites diffèrent suivant le type d'expérimentation à laquelle elles vont être soumises. En effet, il a fallu produire trois types d'éprouvettes (**Tableau 1**).



Tableau 1: Types d'éprouvettes utilisées pour la vérification des hypothèses

Types d'expérimentations à faire	Types d'éprouvettes	Nombre total des éprouvettes par type
Mesure des paramètres physiques (densité, retraits dimensionnels)	Type 1 : Eprouvettes destinées pour la détermination des propriétés physiques 45 éprouvettes par espèce, dont 15 issues de la position supérieure du chaume, 15 issues de la position moyenne, et 15 autres prélevées au niveau position inférieure	180 éprouvettes
Détermination des constantes mécaniques (MOE et MOR)	Type 2: Eprouvettes destinées pour la détermination des propriétés mécaniques 45 éprouvettes par espèce, dont 15 prélevées au niveau de la position supérieure du chaume, 15 au niveau de la position moyenne, et 15 au niveau de la position inférieure	180 éprouvettes
Test de durabilité naturelle	Types 3 : Eprouvettes pour l'évaluation de la durabilité naturelle 45 éprouvettes par espèce dont le tiers a été prélevé au niveau de la position supérieure du chaume, l'autre tiers façonné à partir de la position moyenne, et le reste prélevé à la position inférieure	180 éprouvettes

✚ Procédés d'usinage des éprouvettes

L'usinage des éprouvettes a été effectué au laboratoire technique des bois de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Les techniques d'usinage qui ont été utilisées dans cette étude ont été le débitage, le dégauchissage et le rabotage (*Photo 3*)

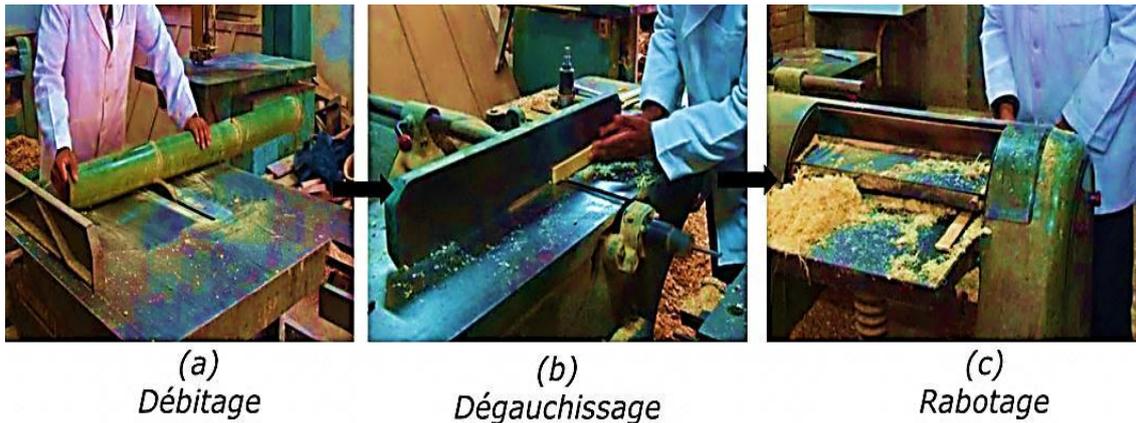


Photo 3 : Procédés d'usinage des chaumes

Les éprouvettes de même type ont été usinées de la même manière, tout en respectant les normes internationales requises pour la détermination des propriétés technologiques. Pour le cas des éprouvettes appartenant au **type 1**, elles ont été débitées de façon à avoir une lamelle de forme parallélépipédique de mêmes dimensions : **50 mm X 20 mm X 10±5 mm** (Norme française NF B 51-005, NF B 51-004) (**Figure 4**). Concernant les éprouvettes du type 2, elles ont été façonnées en lamelles de section rectangulaire de dimensions : **200 mm X 20 mm X 10±5 mm** (norme NF EN ISO 178) (**Figure 4**). Et enfin, puisque aucune norme internationale n'existe encore pour les caractéristiques dimensionnelles des éprouvettes destinées à l'étude de la durabilité naturelle, les éprouvettes du type 3 ont été usinées de la même manière que celles du type 2. (**Figure 4**)

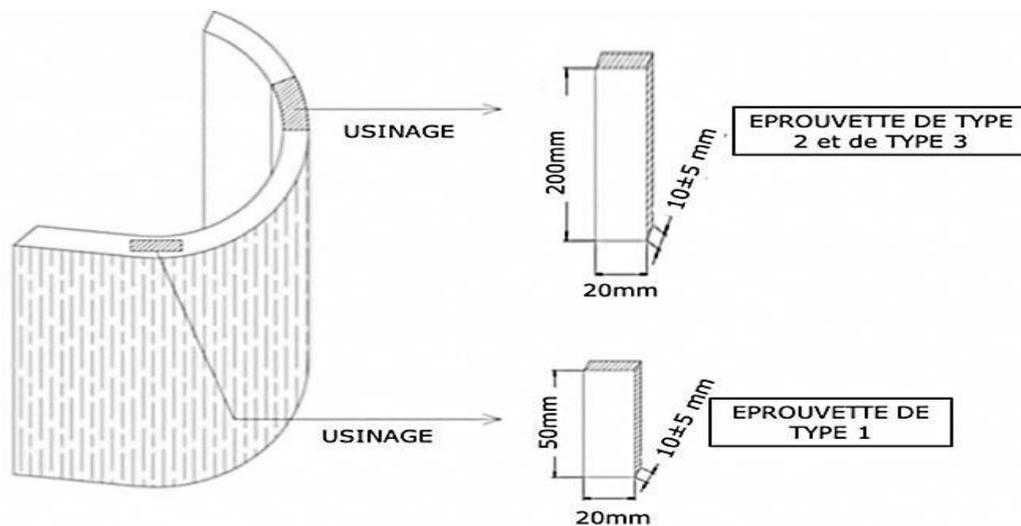


Figure 4 : Dimension et forme des éprouvettes

2-3-2. Détermination des valeurs des indicateurs de vérification des hypothèses

Une fois que les échantillons ont été prêts, des travaux de caractérisation ont été menés sur les éprouvettes façonnées. Il s'agit de la détermination des valeurs des indicateurs de vérification des



hypothèses. Comme chaque hypothèse correspond à un ou plusieurs indicateurs, les démarches méthodologiques qui ont été utilisées sont spécifiques pour chaque hypothèse.

2-3-2- 1. Cas de l'hypothèse 1

✿ Rappel des indicateurs

L'hypothèse suppose que « *les bambous malgaches présentent des propriétés physiques adéquates pour l'ameublement* ». Les indicateurs qui ont été employés pour la vérification de cette hypothèse ont été les paramètres physiques tels que **la densité à 12%** des bambous étudiés, et leurs **retraits dimensionnels**.

✿ Mesure de la densité

La masse volumique (ou la densité) à 12% d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps à 12% d'humidité (Gueneau. P et Gueneau. D, 1969). Sa valeur est donc donnée par l'équation 1 :

$$D = \frac{\text{Masse à 12\% d'humidité}}{\text{Volume à 12\% d'humidité}} \quad (\text{Equation 1 : Densité à 12\%})$$

Avec Volume = Longueur de l'éprouvette X largeur de l'éprouvette X épaisseur de l'éprouvette.

La densité à 12% est une caractéristique technologique de base, la première à déterminer pour qualifier un matériau (Gerard et al, 1998). En fait, elle est reliée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du matériau, ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en œuvre. Ce paramètre a également une grande influence sur le séchage (Ahmad, 2004). Un matériau à densité élevée donc lourd, est constitué de cellules à parois épaisses et à vides cellulaires de faible diamètre. La circulation de l'eau à l'intérieur de celui-ci, et donc son séchage, sera plus difficile que dans un matériau léger constitué de cellules à parois minces et à vides cellulaires de fort diamètre.

La caractérisation de la densité a été effectuée sur les éprouvettes en bambou de type 1 (**Tableau 1**) au laboratoire de l'ESSA-Forêts en se référant à la norme NF B51-005 (AFNOR, 1985). Le mode opératoire a été le suivant : tout d'abord les éprouvettes ont été placées dans une enceinte climatique Peltier (**Photo 4-a**), réglée à une température de 20°C et à une humidité relative de l'air égale à 65%, afin d'obtenir l'équilibre hygrométrique à 12%. L'équilibre a été atteint quand la masse des éprouvettes est constante dans un intervalle de 24 heures. Une fois que les échantillons ont été stabilisés à 12% d'humidité, leurs masses ont été pesées à l'aide d'une balance électronique d'une précision de 0,01g (**Photo 4-b**). C'est après le pesage que s'est effectuée la mesure du volume à l'aide d'un pied à coulisse d'une précision de 0,01 mm (**Photo 4-c**). La moyenne des densités calculées sur **45** éprouvettes a donné la densité moyenne d'une espèce (**Equation 2**):



$$D_{moy}/\text{espèce} = \frac{\sum D_i}{N} \text{ avec } N=45 \text{ (nombre d'éprouvettes) et } i=1 \text{ à } 45 \text{ (Equation 2 : densité moyenne par espèce)}$$

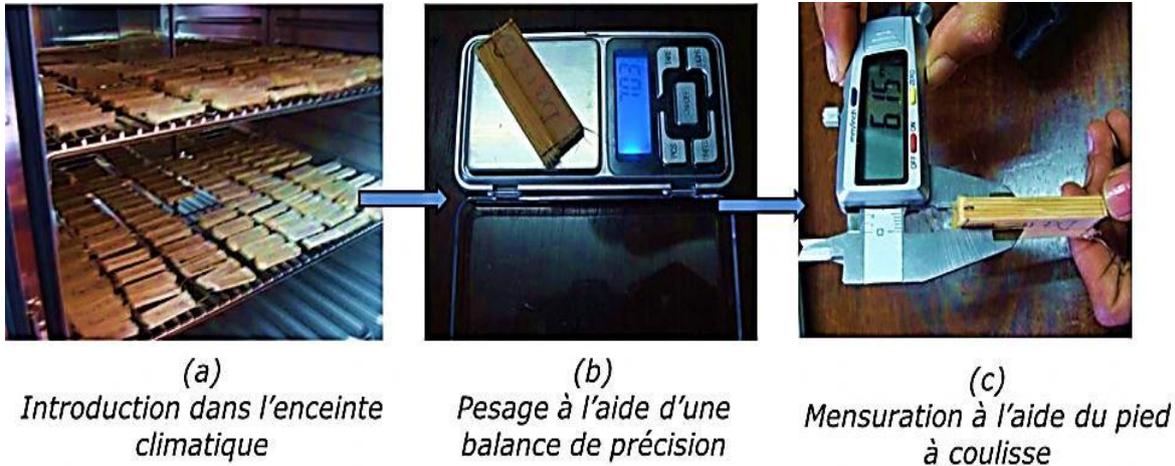


Photo 4 : Procédés de mesure de la densité

✿ Mesure des retraits

Le retrait représente la variation des dimensions du matériau suite à la réduction de son humidité (Charron et al., 2003). Cette variation se produit dans les trois directions d'anisotropie du bois : longitudinale ou axiale, tangentielle et radiale. Le retrait est un paramètre important à considérer car il détermine partiellement la stabilité dimensionnelle des ouvrages en service. Plus le retrait est élevé, plus le matériau présente des déformations lorsque son humidité change. La valeur du retrait est donnée par le rapport de la variation dimensionnelle entre l'état saturé et l'état anhydre sur la dimension à l'état saturé (*Equation 3*).

$$R(\%) = \frac{(D_s - D_0)}{D_s} \times 100 \quad (\text{Equation 3 : retrait dimensionnel})$$

D_s , D_0 sont respectivement les dimensions dans la direction considérée (Longitudinale, Radiale, ou Tangentielles) à l'état saturé puis à l'état anhydre.

L'essai de mesure du retrait a été réalisé conformément à la norme NF B51-006 (AFNOR, 1985) au laboratoire de l'ESSA-Forêts, sur les mêmes éprouvettes qui ont été utilisées lors de la mesure de la densité. La démarche a consisté tout d'abord à mesurer les dimensions des éprouvettes à l'état saturé en utilisant un pied à coulisse de précision de 0,01 mm (*Photo (5-a)*). Ensuite, pour les ramener à l'état anhydre, les éprouvettes ont été placées dans une étuve ventilée, réglée à une température de 103°C jusqu'à ce que leurs masses soient constantes (*Photo 5-b*). Puis elles ont été une nouvelle fois mesurées afin d'obtenir leurs dimensions à l'état anhydre (*Photo 5-c*).



Pour chaque éprouvette, le retrait a été calculé à l'aide de l'*Equation 3* et le retrait moyen suivant une direction considérée pour chaque espèce a été obtenu par la moyenne de valeurs calculées sur les 45 éprouvettes (*Equation 4*)

$$R_{moy}(\%) / esp = \frac{\sum R_i}{N} \text{ avec } N=45 \text{ (nombre d'éprouvette) et } i=1 \text{ à } 45. \text{ (Equation 4 : retrait moyen par espèce)}$$

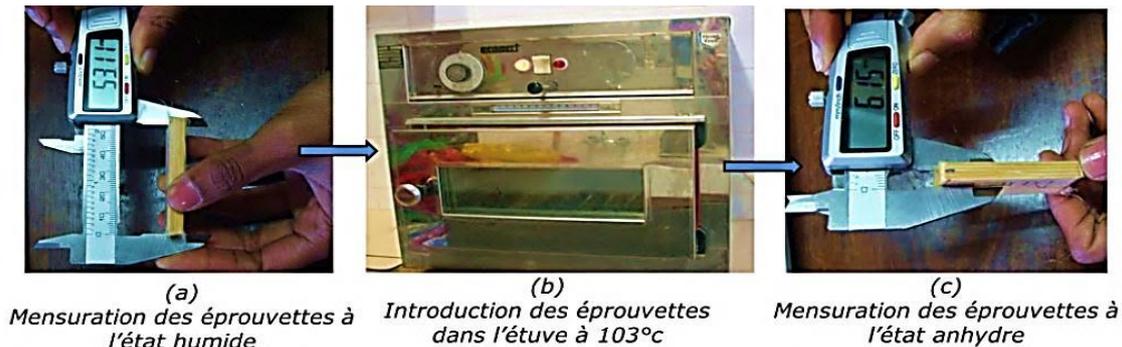


Photo 5: Procédés de mesure du retrait

2-3-2- 2. Cas de l'hypothèse 2

⊕ Rappel des indicateurs

L'hypothèse 2 stipule que « *Les espèces de bambous malgaches sont aptes pour des utilisations nécessitant de bonnes propriétés mécaniques* ». Elle est donc en relation avec les propriétés mécaniques. En effet, deux constantes mécaniques ont été utilisées comme indicateurs pour la vérification de cette hypothèse. Il s'agit du **module d'élasticité en flexion statique (MOE)** et du **module de rupture en flexion statique (MOR)**

⊕ Mesure du MOE

Le module d'élasticité en flexion statique est une constante propre à chaque matériau. Il caractérise la proportionnalité entre la charge et la déformation (Gerard et al, 1998). C'est une propriété de première nécessité car elle constitue un indicateur de la rigidité du matériau. La méthode la plus simple pour le déterminer consiste à réaliser un essai de flexion 3 points.

L'essai de flexion statique 3 points est un test mécanique statique, qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps. Il est facile de le mettre en œuvre (absence de système de fixation d'éprouvette, géométrie simple des échantillons). Le principe de l'essai de la flexion 3 points consiste à appliquer un effort **F** de vitesse généralement constante sur une éprouvette parallépipédique, posée sur deux appuis simples et à évaluer ensuite la déformation de l'éprouvette due à l'effort (*Figure 5*). La valeur du module d'élasticité est exprimée à partir de l'*équation 5* :



$$MOE = \frac{K.L^3}{4.b.h^3} \text{ (Equation 5 : Module d'élasticité)}$$

Où K est le rapport entre l'accroissement de l'effort F appliqué au matériau et l'accroissement de l'allongement du matériau dû à l'effort (flèche), L est la portée de la flexion ou distance entre les appuis, h est l'épaisseur de l'éprouvette et b est largeur de l'éprouvette (*Figure 5*).

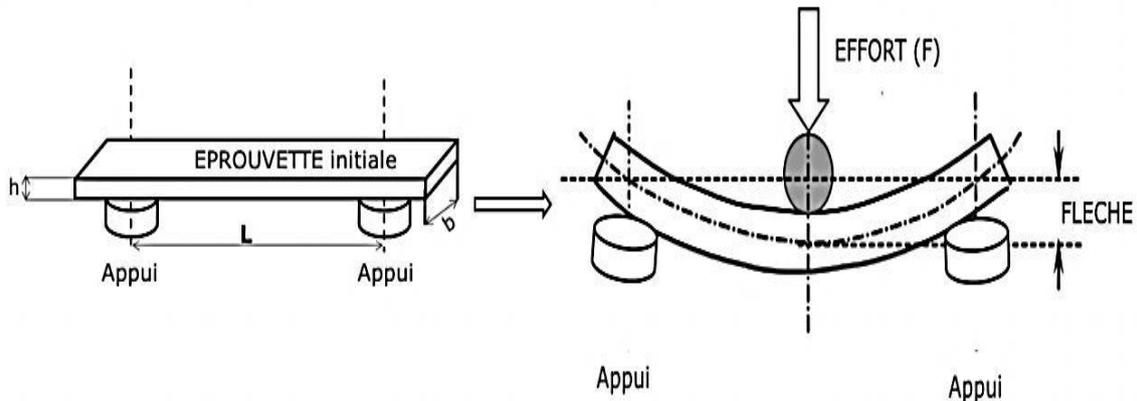


Figure 5: Essai de flexion statique

Les mesures des modules d'élasticité en flexion statique ont été effectuées sur les éprouvettes de type 2 (*Tableau 1*), au laboratoire de l'Institut de mécanique et de d'Ingénierie à Bordeaux par Jean Jacques Randrianarimanana en utilisant une machine d'essai universelle DY25, et en se référant à la norme NF EN ISO 178 (2011).

Le protocole d'essai a consisté tout d'abord, à conditionner les éprouvettes dans une enceinte climatique réglée à une température de 20°C et une humidité relative de 65% afin d'obtenir l'équilibre hygrométrique à 12%. Après le conditionnement, l'épaisseur et la largeur de chaque éprouvette ont été prélevées à l'aide d'un pied à coulisse d'une précision de 0,01mm. Puis, les éprouvettes mesurées ont été placée sur les deux appuis simples de la machine DY25 (*Photo 6-a*).

Une charge F a été ensuite placée au milieu de l'éprouvette à une vitesse généralement constante (0,003mm/seconde) jusqu'à ce qu'elle se rompt. Une fois que la charge F arrive au contact de l'éprouvette, un capteur de force relié à un ordinateur enregistre l'accroissement par unité de pression des efforts F appliqués au matériau et un capteur de déplacement enregistre l'accroissement de l'allongement du matériau dû aux efforts (*Photo 6-b et 6-c*).

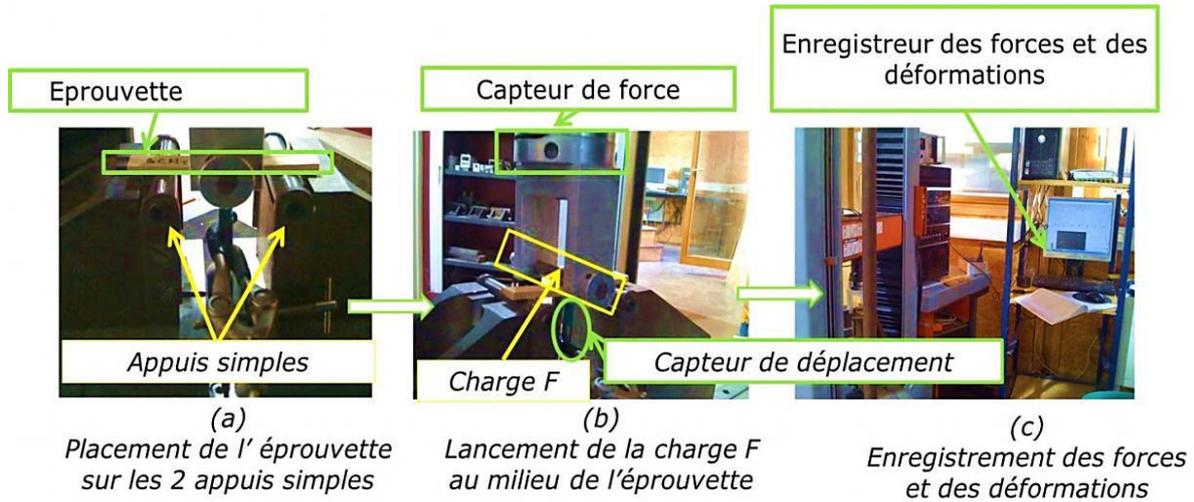


Photo 6: Mesure du MOE par la machine DY25

Pour chaque éprouvette testée, le module d'élasticité moyen a été calculé par l'équation 5. Etant donné que le nombre d'éprouvettes utilisées lors de l'essai a été de 45 par espèce, le MOE moyen de chaque espèce a été déduit de la moyenne des 45 modules d'élasticité calculés (Equation 6).

$$MOE_{moy}(MPa) / esp = \frac{\sum MOE_i}{N}, N=45 \text{ (nombre d'éprouvettes) et } i=1 \text{ à } 45 \text{ : (Equation 6 : MOE d'une espèce)}$$

✿ Mesure du MOR

Le module de rupture en flexion statique (MOR) correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer au milieu d'une éprouvette reposant sur deux appuis pour arriver à sa rupture (Gérard et al, 1998). Il est important de caractériser ce paramètre car celui-ci détermine à quel point le matériau peut supporter la rupture. La valeur du module de rupture est exprimée à partir de la force maximale mesurée à l'aide de l'équation 7.

$$MOR = \frac{3F_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ (Equation 7 : Module de rupture moyen)}$$

F_{max} correspond à la force maximale de rupture, L indique la portée de la flexion ou distance entre les deux appuis, h et b représentent respectivement, l'épaisseur et la largeur de l'éprouvette.

La caractérisation du module de rupture en flexion statique a été réalisée en même temps que la caractérisation du module d'élasticité. Le protocole de mesure est donc le même que celui utilisé pour la détermination du module d'élasticité, mais seul le capteur de force a été utilisé afin de déterminer F_{max} . (Photo 7-d).



Le module de rupture de chaque éprouvette testé a été calculé au moyen de l'équation 7, et la valeur moyenne du module de rupture pour une espèce a été déduite de la moyenne de modules de ruptures calculés sur les 45 éprouvettes (*Equation 8*).

$$MOR_{moy}(MPa) / esp = \frac{\sum MOR_i}{N} \text{ avec } N=45 \text{ (nombre d'éprouvettes) et } i=1 \text{ à } 45 \text{ (Equation 8 : MOR d'une espèce)}$$

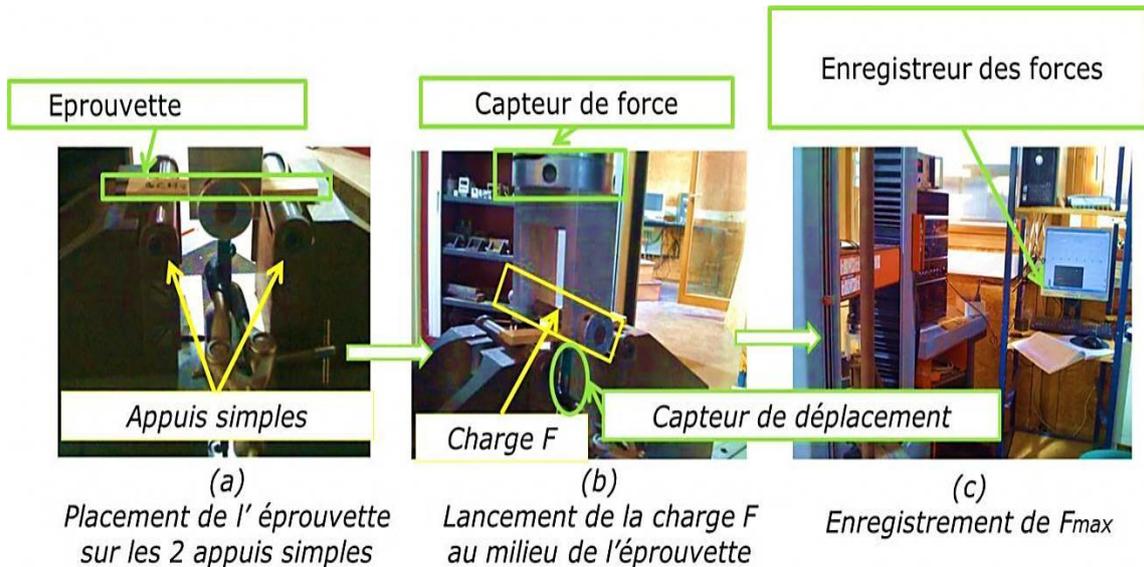


Photo 7: Mesure du MOR par la machine DY25

2-3-2-3. Cas de l'hypothèse 3

⊕ Rappel de l'indicateur

L'hypothèse 3 suppose que « *Les espèces de bambous malgaches ne possèdent pas les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4 c'est-à-dire au contact permanent avec le sol ou d'une source d'humidité et soumis à l'action des intempéries* ». Cette hypothèse a été posée en vue d'évaluer la durée de vie en service des bambous étudiés lorsqu'ils sont utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4. L'évaluation a été effectuée au moyen d'un indicateur qui est **la classe durabilité naturelle des bambous**.

⊕ Evaluation de la classe de durabilité naturelle

✓ Notions de base

La durabilité naturelle d'un matériau dans un emploi donné est sa faculté, plus ou moins grande, de demeurer intact de toute altération propre au matériau pendant le temps de service qui est demandé à l'ouvrage dans la composition duquel ce matériau intervient (Fougerousse, 1960). C'est une propriété technologique important du fait qu'elle caractérise l'aptitude du matériau, ici le bambou, à résister à l'attaque des agents biologiques d'altération, donc sa durée de service sous une condition



d'emploi donnée. Suivant la faculté du matériau à résister aux attaques des agents destructeurs, il existe cinq classes de durabilité naturelle (Gerard et al, 1998), à savoir :

- ☞ Classe de durabilité 1 ou classe très durable
- ☞ Classe de durabilité 2 ou classe durable
- ☞ Classe de durabilité 3 ou classe moyennement durable
- ☞ Classe de durabilité 4 ou classe peu durable
- ☞ Classe de durabilité 5 ou classe non durable

L'appréciation de la classe de durabilité naturelle s'effectue au moyen d'un test appelé : test de durabilité naturelle

✓ Choix du test

Il existe deux types de test pour évaluer la durabilité naturelle des bambous (Ashaari et Mamat, 2000). Le premier est effectué **en laboratoire**. Ce test consiste à mettre directement en contact l'éprouvette en bambou et l'agent de destruction (champignons, colonies de termites, coléoptères). Les conditions artificiellement choisies sont très favorables pour le développement des attaques (température, humidité, contact étroit de l'éprouvette avec l'agent de destruction), et font que les effets sont obtenus rapidement : les processus naturels sont accélérés, les conditions de travail sont absolument reproduites identiquement d'un essai à l'autre de sorte que les résultats obtenus ont une valeur comparative excellente (*Photo 8*).



Photo 8: test de durabilité naturelle des bambous au laboratoire

SOURCE : Varma (2007)

Le second type de test est réalisé en milieu naturel **sur un terrain** exposé à la condition d'emploi de classe 4 (contact permanent avec le sol ou d'une source d'humidité et exposition à l'action des intempéries). Ce dernier est appelé « *graveyard test* ». Il consiste à placer les éprouvettes de bambous sur un terrain exposé à la condition d'emploi de classe 4 et ensuite évaluer l'état d'altération de ces éprouvettes après six (6) mois d'expérimentation (*Photo 9*). Les altérations sont les effets néfastes et irréversibles occasionnés par les agents biologiques lors de l'expérimentation. Il



s'agit surtout de la **perte de masse**, de la **dégradation de la couleur**, et de la **formation des trous ou des galeries de dimensions variables orientés dans le sens des fibres**.



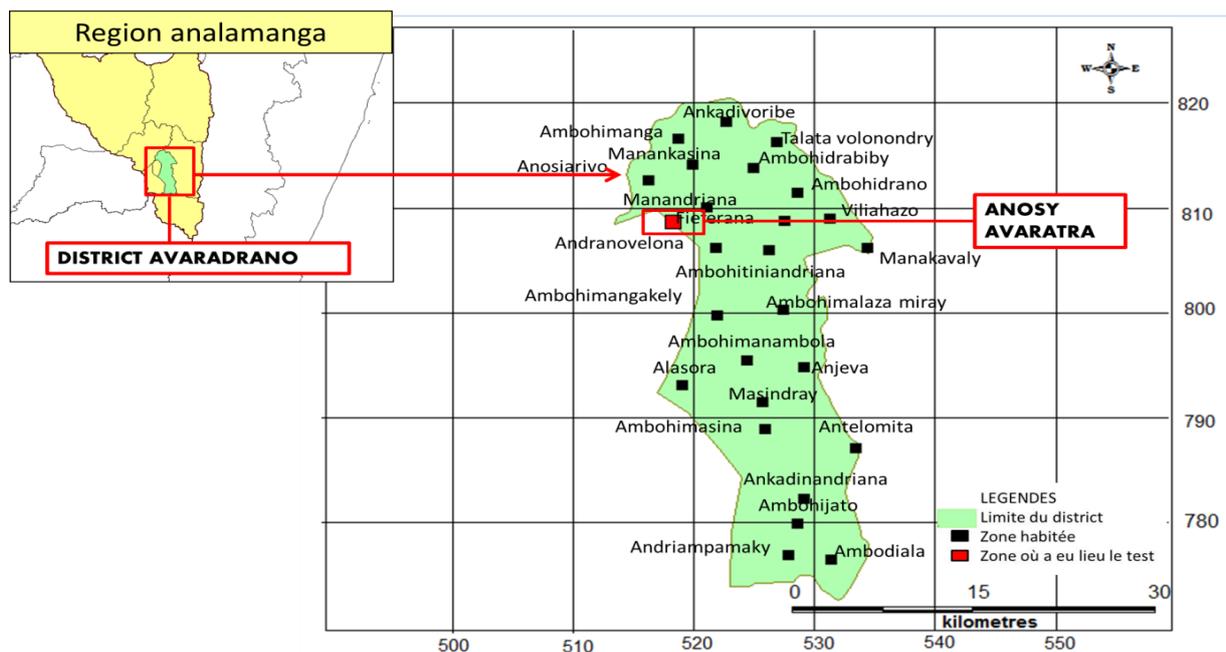
Photo 9: graveyard test

SOURCE : Beraldo, (2001)

Puisque les moyens nécessaires pour réunir les conditions exigés par le test de durabilité effectué au laboratoire sont insuffisants, voire inexistant à Madagascar, la méthode qui a été retenue dans cette étude, afin d'apprécier la durabilité naturelle des bambous étudiés a été le « *graveyard test* ».

✓ Protocole d'expérimentations

Le test a été effectué, durant la saison sèche (du 1^{er} Mars au 31 Août 2013), dans un terrain non forestier localisé dans le fokontany Anosy Avaratra (District Avaradrano de la Région Analamanga) (*Carte 2*). Les caractéristiques climatiques et pédologiques du milieu sont détaillées en annexe 12.



Carte 2: Carte de localisation de Anosy Avaratra

Source : BD 500 FTM



Les éprouvettes qui ont été utilisées pour le test sont les éprouvettes de type 3 (**Tableau 1**). Le protocole d'essai a comporté trois étapes qui sont : la caractérisation de l'état initial de chaque éprouvette à tester, la soumission de ces éprouvettes à la condition d'emploi de classe 4, l'évaluation de l'état d'altération de chaque éprouvette après le test et la déduction de la classe de durabilité naturelle de chaque espèce de bambou étudiée.

Caractérisation de l'état initial des éprouvettes

L'objectif est de déterminer la masse initiale à 12% d'humidité de chaque éprouvette avant le test. Pour ce faire, les éprouvettes ont été introduites à l'intérieur de l'enceinte climatique Peltier jusqu'à ce que leurs masses soient constantes (**Photo 10-a**). Puis, elles ont été pesées à l'aide d'une balance électronique de précision de 0,01g afin d'obtenir la masse initiale à 12% de l'éprouvette avant le test (**Photo 10-b**).



(a)
*conditionnement dans
l'enceinte climatique*



(b)
*Pesage des éprouvettes à
12% d'humidité*

Photo 10: Caractérisation de l'état initial des éprouvettes pour le test de durabilité naturelle

Soumission des éprouvettes à la condition d'emploi de classe 4

Après la caractérisation de leur l'état initial, chaque éprouvette a été placée sur le terrain d'expérimentation selon la méthode de Ashaari et Mamat, (2000), c'est-à-dire avec un écartement entre les éprouvettes égal à 300 mm et un enfoncement de la moitié de sa longueur totale dans le sol (**Photo 11**).



Photo 11 : graveyard test en suivant la méthode d'Ashaari et Mamat, (2000)

Le test de durabilité en service a duré 6 mois, durée similaire à celle de l'expérience réalisée par Wahab et al. (2004) et par Ashaari et Mamat (2000) pour le test effectué sur terrain appliqué sur des échantillons de bambou.

Evaluation de l'état d'altération des éprouvettes et déduction de la classe de durabilité naturelle

Après les 6 mois de test, les éprouvettes ont été enlevées du terrain d'expérimentation afin de pouvoir caractériser leur état final (ou état d'altération) (*Photo12*).



Photo 12 : extraction des échantillons testés hors du terrain d'expérimentation

Deux méthodes ont été utilisées pour mener à bien la caractérisation de l'état d'altération des échantillons testés. La première s'agit de la **méthode d'évaluation de la durabilité naturelle utilisée par Beauchêne (1994)** ou méthode d'évaluation quantitative ; et la seconde est la **méthode d'évaluation de la durabilité naturelle utilisée par Thiel (1973) et de Edlund et al. (2006)** ou méthode d'évaluation qualitative.

La méthode d'évaluation quantitative, selon Beauchêne (1994) est fondée sur une appréciation de la perte de masse de chaque échantillon testé après leur exposition aux agents de dégradation.



La démarche de l'évaluation a consisté à calculer pour chaque échantillon la différence représentée en pourcentage, entre la masse de l'échantillon avant et après leur soumission à l'expérimentation ou la **perte de masse (Equation 9)**.

$$\Delta m (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \text{ (Equation 9 : Perte de masse moyenne)}$$

Avec m_i est la masse initiale à 12% d'humidité avant l'expérimentation et m_f est la masse finale à 12% d'humidité après l'expérimentation.

Pour obtenir m_f les éprouvettes qui ont subi le test ont été ré-introduites dans l'enceinte climatique réglée jusqu'à ce que leurs masses soient constantes. Puis, elles ont été pesées afin d'obtenir leurs masses finales à 12% d'humidité.

La perte de masse de chaque espèce a été donnée par la moyenne des pertes de masse de toutes les éprouvettes testées (**Equation 10**).

$$\Delta m(\%) / esp = \frac{\sum \Delta m_i}{N} \text{ avec } N = \text{Nombre d'éprouvettes et } i = 1 \text{ à } 45 \text{ (Equation 10 : Perte de masse d'une espèce)}$$

Après le calcul des pertes de masse, l'investigation s'est poursuivie par la déduction de la durabilité naturelle de chaque espèce étudiée en prenant la perte de masse comme indicateur définissant la durabilité naturelle. Pour ce faire, la grille d'évaluation de la durabilité naturelle élaborée par Beauchêne (1994) a été utilisée. Cette grille met en correspondance la perte de masse en pourcentage avec la durabilité naturelle rattachée (**Tableau 2**).

Tableau 2: Grille d'évaluation quantitative de la durabilité naturelle

Perte de masse (%)	Etat de durabilité naturelle
] 0 ; 5 [Très durable
[5 ; 10[Durable
[10 ; 20 [Moyennement durable
[20 ; 30[Peu durable
Supérieure à 30 %	Non durable

SOURCE : Beauchêne (1994)

Edlund et al. (2006) et Thiel (1973) ont évalué la durabilité naturelle à partir de l'observation de l'état de dégradation des éprouvettes testées, c'est la méthode d'évaluation qualitative. Au cours de ces observations, l'état de chaque éprouvette a été caractérisé par une note allant de 0 à 4. Edlund et al



(2006) a associé à chaque note le degré d'attaque que les éprouvettes ont subi. De même, Thiel (1973) qui reprend la méthode de Fougrouse (1966) a fait correspondre à chaque note et à chaque classe de durabilité naturelle, un indice (ou pourcentage) de conservation (*Tableau 3*)

Tableau 3 : Méthode d'appréciation des dégâts par observation visuelle

Notes	Importance des dégâts	Etat de l'échantillon testé	Indice de conservation (%)
0	Aucun	Echantillon absolument intact ne portant ni de trace de dégradation de la couleur ni de trou ou de galerie	100
1	Faible	Echantillon très légèrement attaqué qui ne comporte qu'un simple changement de la couleur, et une dégradation superficielle se traduisant par la formation de trous de profondeur très inférieure à 1 mm	90
2	Moyenne	Dégradation marquée de l'échantillon. Celle-ci s'étend d'une manière modérée sur la surface de l'échantillon. Il est caractérisé par la présence de trous de profondeur 2mm à 3mm sur la partie mise sous terre	75
3	Forte	Dégradation sévère caractérisée soit par la présence de trous de 3 à 5mm sur une surface élargie soit par la présence de trous de 10 à 15mm sur de plus petite surface. Ces dégâts sont suffisants pour obliger à changer la pièce si elle était en place dans une construction.	50
4	Dégradation totale	Echantillon ne présentant plus de cohésion, et qui serait déjà détaché des pièces voisines s'il était incorporé dans un ouvrage	0

Source : Edlund et al (2006), Thiel (1973)

Ce procédé utilisé par Thiel (1973) permet de caractériser le pourcentage global de conservation d'un lot d'éprouvette à chaque observation. A titre d'exemple, un lot de trois éprouvettes dont une a une note égale à 2 et deux ayant la note 3 sera caractérisé par un pourcentage de conservation égal à $(1 \times 75\% + 2 \times 50\%) \times \frac{1}{3}$ soit **58,3 %**. Pour caractériser la durabilité naturelle, ces



auteurs ont établi une grille d'évaluation qui met en correspondance la durabilité naturelle, les notes et les indices de conservations. (*Tableau 4*)

Tableau 4: Grille d'évaluation qualitative de la durabilité naturelle

Notes	Indice de conservation d'un lot d'éprouvette (%)	Etat de durabilité naturelle
0	[100 ; 90[Très durable
1	[90 ; 75[Durable
2	[75 ; 50[Moyennement durable
3	[50 ; 25[Peu durable
4	[25; 0 [Non durable

Source : Edlund et al (2006), Thiel (1973)

L'indice de conservation pour une espèce a été donné par l'indice de conservation moyenne des 45 échantillons testés (*Equation 11*).

$$IC (\%) / esp = \frac{\sum IC_i}{N} \text{ avec } N = \text{Nombre d'éprouvettes et } i = 1 \text{ à } 45 \text{ (Equation 11 : IC d'une espèce)}$$

2 4. TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES

Le traitement et l'analyse des données collectées ont été effectués au moyen des méthodes statistiques. Le logiciel de traitement statistique utilisé a été XLSTAT 2008. Les démarches statistiques d'analyse des données ont été divisées en trois étapes.

La première étape consiste à faire une **analyse descriptive** des données (calcul des valeurs moyennes et des valeurs des écarts- types des paramètres physiques, des constantes mécaniques, des pertes de masse et des indices de conservation). L'obtention des valeurs moyennes a permis de connaître la tendance centrale des paramètres étudiés. Et l'acquisition des valeurs de la variance a permis d'apprécier la dispersion de ces paramètres par rapport à la valeur centrale.

La deuxième étape regroupe **les analyses analytiques**. Il s'agit de faire des tests statistiques de comparaison (ANOVA avec des tests de comparaison deux à deux de Tukey et test de comparaison multiple de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney) afin d'évaluer la variabilité intra-spécifique et inter-spécifique des propriétés des bambous. Le type de test à effectuer a été choisi en fonction de la normalité des valeurs. C'est-à-dire si l'ensemble des valeurs suivent la loi Normale, le test effectué est l'ANOVA mais dans le cas contraire, le test de comparaison



multiple de Kruskal Wallis a été choisi. Pour les tests, deux hypothèses statistiques ont été posées afin d'être vérifiées dont :

☞ **L'hypothèse nulle (H_0)** qui confirme l'invariabilité des moyennes des paramètres ou indicateurs à comparer suivant le facteur « espèces » ou le facteur « hauteur des entre-nœuds »

☞ **L'hypothèse alternative (H_1)** qui confirme la différence entre ces moyennes

L'intervalle de confiance a été fixé à 95 %, ce qui revient à dire que le seuil de signification est de 5%. Lors des comparaisons, si la valeur de *p value* est supérieure au seuil de signification, alors l'hypothèse nulle est acceptée et celle alternative rejetée. Dans ce cas il est conclu qu'il n'y a pas une différence significative entre les moyennes des groupes à comparer. Dans le cas contraire, c'est-à-dire que *p value* trouvée inférieure au seuil, l'hypothèse nulle est rejetée et celle alternative acceptée. Il est déduit que la différence entre les groupes à comparer est significative.

La troisième étape consiste à effectuer une **analyse en composantes principales (ACP)** qui est une technique d'analyse statistique, principalement descriptive, consistant à représenter dans un plan factoriel les variables descriptives afin de faciliter la description et d'identifier les corrélations entre ces variables. Ceci a permis de décrire ensemble les paramètres étudiés sur les quatre espèces dans un espace plus petit (puisque chaque espèce est caractérisée par plusieurs paramètres), tout en minimisant la perte d'information, et d'identifier les paramètres qui varient de la même manière.

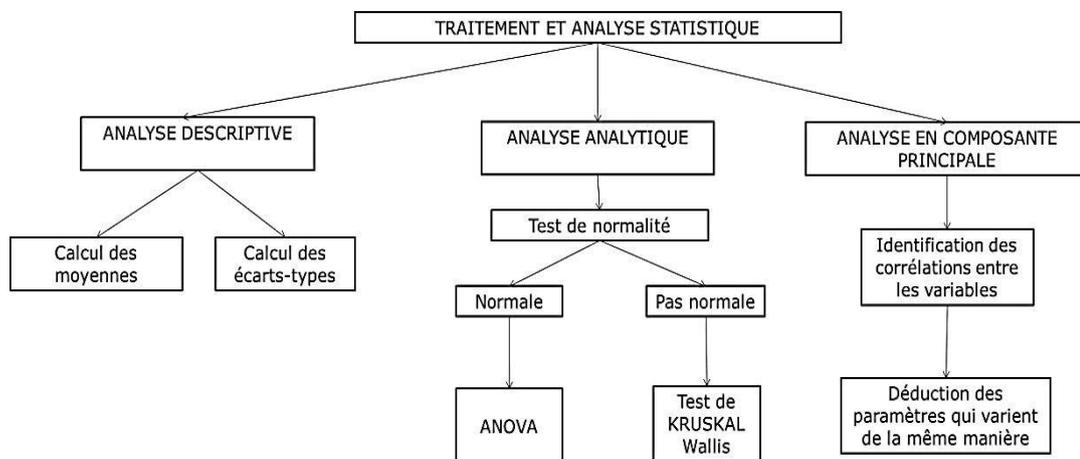


Figure 6 : Résumé de la démarche statistique d'analyse des données

2.5. VERIFICATION DES HYPOTHESES

Les procédés qui ont été utilisés pour la vérification des trois hypothèses ne sont pas les mêmes. Mais quelle que soit l'hypothèse considérée, sa méthode de vérification s'est basée sur la comparaison. Le matériau qui a servi de référence pour la comparaison est le matériau bois.



2-5-1. Cas de l'hypothèse 1

L'hypothèse 1 est vérifiée lorsque les propriétés physiques des bambous correspondent à celles convenables pour l'ameublement.

D'après la synthèse des travaux effectués par Gueneau.P et Gueneau.D, (1969), Gerard et al, (1998), Rakotovao et al. (2012) (*Annexe 9*), la majorité des bois les plus aptes pour cette application possède au moins les caractéristiques physiques suivantes :

- ☞ $D > 0,5$ (densité au moins légère)
- ☞ $R_L < 1\%$ (retrait longitudinal faible), $R_T < 10\%$ (retrait tangentiel moyen), et $R_R < 6,5\%$ (retrait radial moyen)

L'hypothèse 1 est donc vérifiée si les quatre conditions suivantes sont remplies :

- ☞ $D_{\text{bambou}} > 0,5$: densité des espèces est au moins légère
- ☞ $R_{L\text{bambou}} < 1\%$ (retrait longitudinal faible), $R_{T\text{bambou}} < 10\%$ (retrait tangentiel moyen), et $R_{R\text{bambou}} < 6,5\%$ (retrait radial moyen)

2-5-2. Cas de l'hypothèse 2

Le bambou est exploitable pour des utilisations nécessitant de bonnes propriétés mécaniques s'il possède une bonne résistance à la flexion et s'il ne se rompt pas facilement. Ces deux conditions sont satisfaites si son module d'élasticité (MOE) et son module de rupture appartiennent à la classe moyenne c'est-à-dire MOE appartient à l'intervalle $I = [10\ 000\ \text{MPa} ; 15\ 000\ \text{MPa}]$ et MOR appartient à l'intervalle $J = [85\ \text{MPa} ; 140\ \text{MPa}]$ (Gueneau.P et Gueneau.D, 1969 ; Gerard et al, 1998 ; Rakotovao et al. 2012).

L'hypothèse 2 est donc vérifiée si MOE_{bambou} appartient à I et MOR_{bambou} appartient à J

2-5-3. Cas de l'hypothèse 3

Les bambous ne possèdent pas la potentialité d'être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4, si sa **durabilité naturelle appartient à la classe 4 ou à la classe 5**, c'est-à-dire ils sont **peu durables** ou **non durables**. En combinant la méthode de Thiel (1973), Beauchêne (1994), Edlund et al. (2006), l'espèce de bambou est **peu durable** si sa perte de masse après les 6 mois d'expérimentation est de **20 à 30 %** et son indice de conservation après les 6 mois d'expérimentation est **environ 50 à 25%**. Par contre ils sont considérés comme **non durables** si leur perte de masse est **supérieure ou égale à 30%** et leur indice de conservation après les 6 mois d'expérimentation est **inférieur à 25%**



L'hypothèse 3 est vérifiée si :

La durabilité naturelle des espèces étudiées appartient :

-soit à la classe 4 : $20\% \leq \Delta m < 30\%$ et $25\% < IC \leq 50\%$

-soit à la classe 5 : $\Delta m \geq 30\%$ et $0\% < IC \leq 25\%$



2 6. CADRE OPERATOIRE

PROBLEMATIQUE	HYPOTHESES	INDICATEUR	METHODOLOGIE
« <i>quels sont les types d'utilisations adéquats aux propriétés technologiques des bambous malgaches</i> »	<p>H1 : Les bambous malgaches présentent des propriétés physiques adéquates pour l'ameublement</p> <p>→ H1-1 : les bambous malgaches possèdent une densité équivalente à celle des bois appropriés pour l'ameublement.</p> <p>→ H1-2 : les bambous malgaches possèdent une stabilité dimensionnelle.</p>	<p>-I₁₁ : Densité à 12% des bambous (D_B)</p> <p>-I₁₂ : Retrait dimensionnel suivant les directions L, R et T (R_{LB}, R_{TB} et R_{RB})</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Prélèvement des échantillons : 3 chaumes/ espèce étudiée - Production des éprouvettes : 45 éprouvettes de 50 mm X 20 mm X 10±5 mm par espèce. - Mesures des indicateurs selon la Norme NF (AFNOR, 1985) - Détermination des valeurs moyennes des indicateurs calculés - Caractérisation des propriétés physiques de chaque espèce. - Comparaison des propriétés physiques des bambous avec les propriétés physiques qui sont convenables pour l'ameublement <p>Hypothèse 1 vérifiée si D_B > 0,5 ; R_{LB} < 1%, R_{TB} < 10% et R_{RB} < 6,5%</p>
	<p>H2 : Les bambous malgaches sont aptes pour des utilisations nécessitant de bonnes propriétés mécaniques</p> <p>→H2-1 : les bambous possèdent une bonne résistance à la flexion</p> <p>→ H2-2 : les bambous malgaches ne se rompent pas facilement</p>	<p>-I₂₁ : Module d'élasticité des bambous (MOE_B)</p> <p>-I₂₂ : Module de rupture des bambous (MOR_B)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Prélèvement des échantillons : 3 chaumes/ espèce étudiée - Production des éprouvettes : 45 éprouvettes de 200 mm X 20 mm X 10±5 mm par espèce. - Mesures des indicateurs selon la Norme NF EN ISO 178 (2011) - Détermination des valeurs moyennes des indicateurs calculés - Caractérisation des propriétés mécaniques de chaque espèce. - Comparaison des propriétés mécaniques des bambous avec les propriétés mécaniques qualifiées comme bonne <p>Hypothèse 2 vérifiée si MOE appartient I = [10 000 MPa ;15 000 MPa] et MOR appartient J = [85 MPa ;140 MPa]</p>
	<p>H3 : Les bambous malgaches ne possèdent pas les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4(contact permanent avec le sol ou d'une source d'humidité et soumission à l'action des intempéries)</p>	<p>I₃₁ : Classe de durabilité naturelle des bambous</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Prélèvement des échantillons : 3 chaumes/ espèce étudiée - Production des éprouvettes : 45 éprouvettes de 200 mm X 20 mm X 10±5 mm par espèce. - Test de durabilité naturelle pendant 6 mois selon la méthode de par Ashaari et Mamat, (2000) - Appréciation des dégâts (Perte de masse : Δm et indice de conservation :IC) et déduction de la classe durabilité naturelle des bambous selon la méthode de Thiel (1973) ; Beauchêne (1994) et Edlund et al ; (2006) <p>Hypothèse 3 vérifiée si : La durabilité naturelle des espèces étudiées appartient :</p> <ul style="list-style-type: none"> -soit à la classe 4 : 20%≤Δm<30% et 25% <IC≤50% -soit à la classe 5 : Δm ≥ 30% et 0%<IC≤25%



2 7. RESUME METHODOLOGIQUE

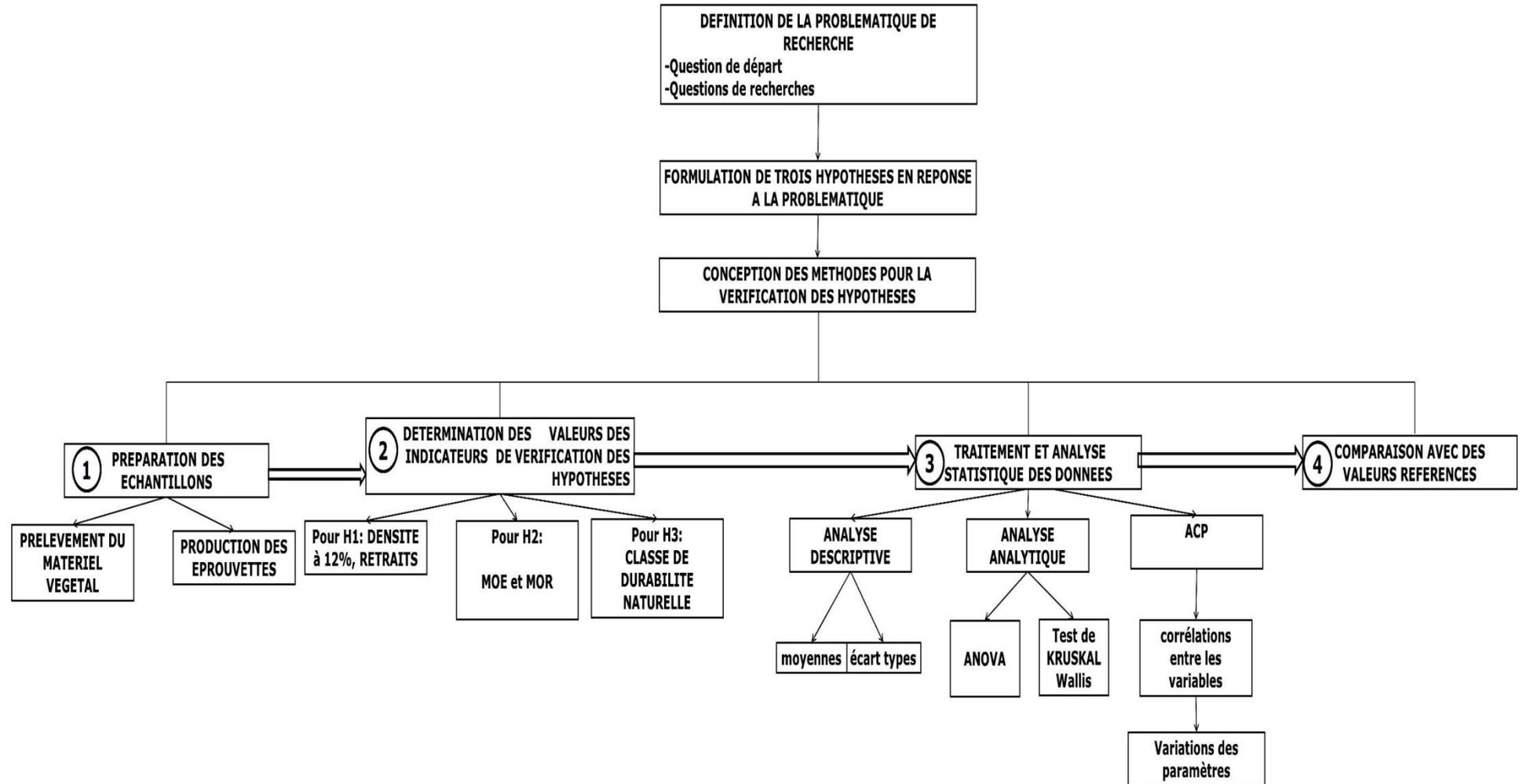


Figure 7 : Résumé méthodologique



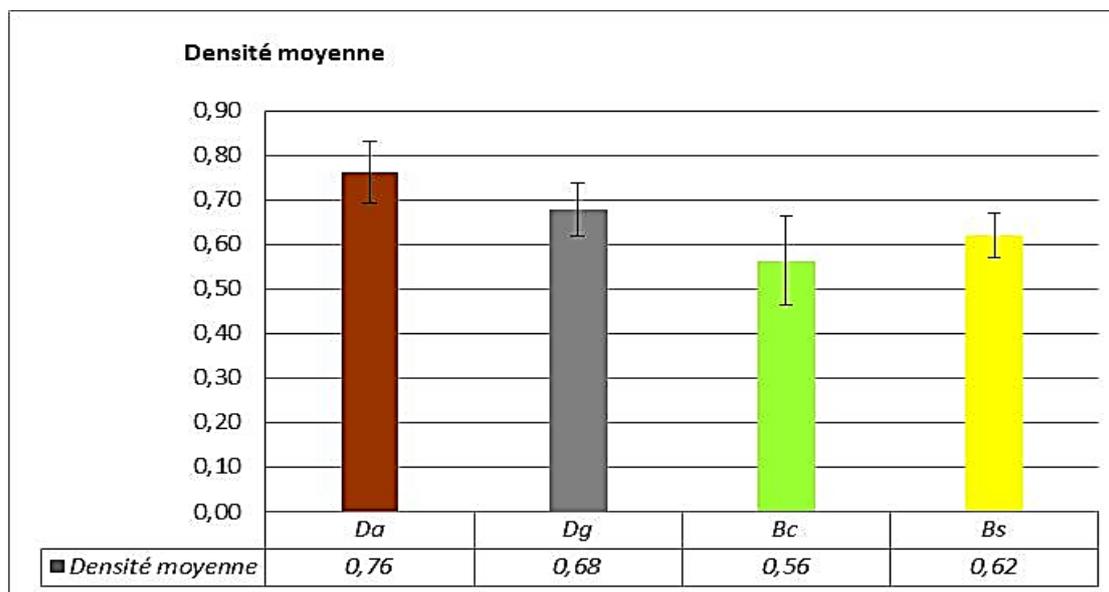


Partie 3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3- 1. PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BAMBOUS ETUDIES

3-1- 1. Propriétés physiques

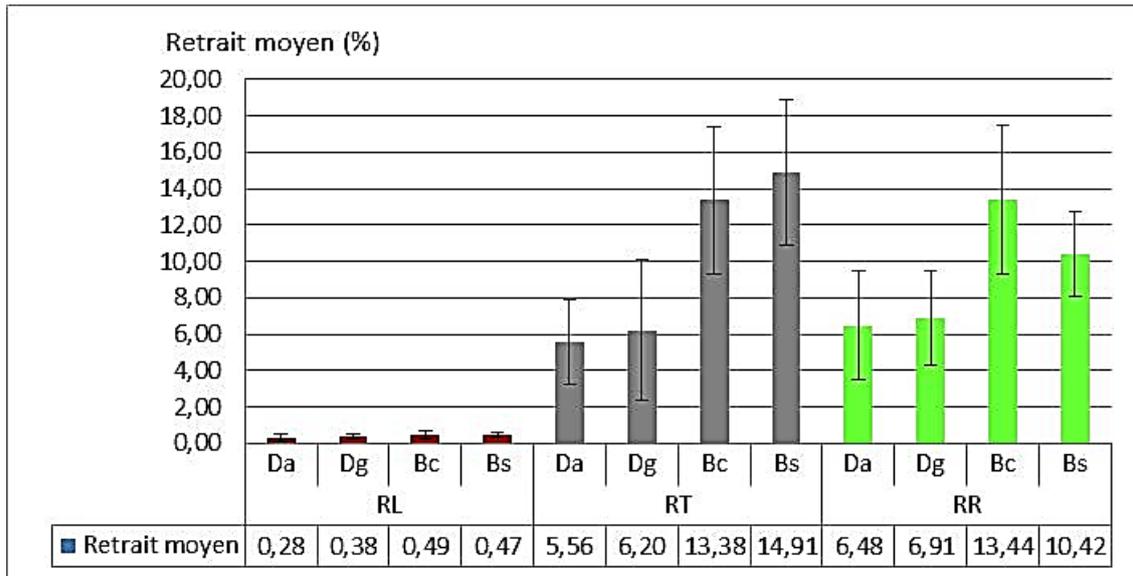
Les quatre espèces de bambous étudiées sont, dans leurs ensembles, aussi denses que la moyenne des résineux et feuillus malgaches avec des densités entre $0,56 \pm 0,10$ et $0,76 \pm 0,07$ (**Figure 8**). *Dendrocalamus asper* ($D = 0,76 \pm 0,07$), et *Dendrocalamus giganteus* ($D = 0,68 \pm 0,06$), possèdent une densité moyenne plus élevée par rapport à *Bambusa vulgaris constrictinoda* ($D = 0,56 \pm 0,10$) et de *Bambusa vulgaris striata* ($D = 0,62 \pm 0,05$) (**Figure 8**).



Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* /
Bs :*Bambusa vulgaris striata*

Figure 8: Densité à 12% des espèces de bambous étudiées

Quant au retrait, la valeur de ce paramètre est plutôt **négligeable** sur le plan longitudinal (inférieur à 0,5%) tandis qu'elle est **importante** sur le plan tangentiel et radial (respectivement 5,5% à 14,9% et 6,4% à 10,4%) (**Figure 9**). Les espèces regroupées dans le genre *Dendrocalamus* ont, en général, un retrait moins élevé par rapport à celui des espèces rassemblées dans le genre *Bambusa* (**Figure 9**). Du point de vue pratique, ces résultats signifient que *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus* sont, plus stables dimensionnellement en service que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*.

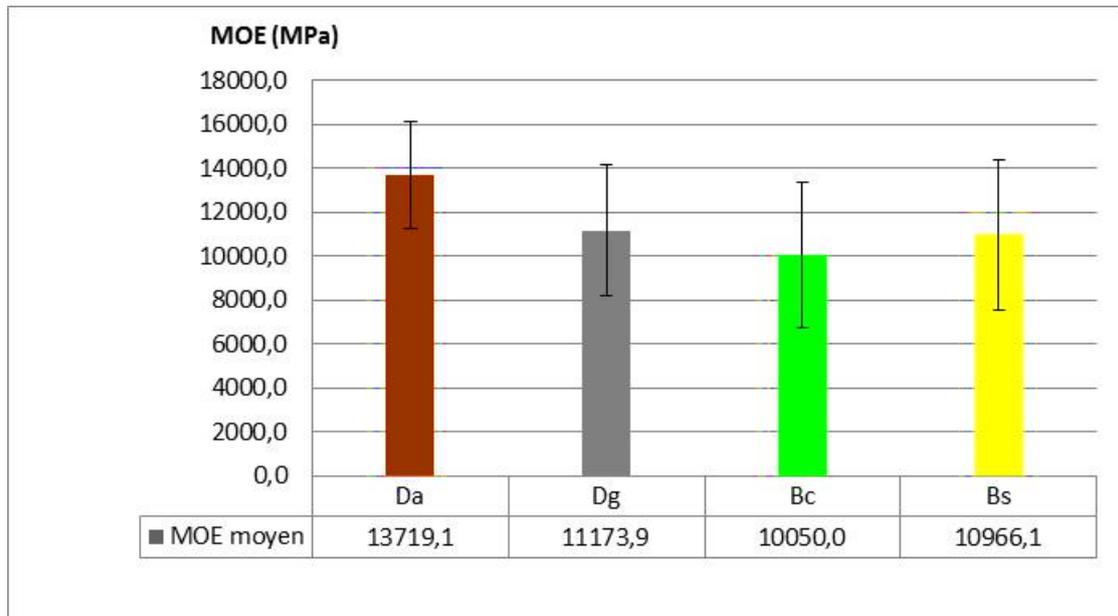


Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs :*Bambusa vulgaris striata* / RL : retrait longitudinal / RT : retrait tangentiel / RR : retrait radial

Figure 9 : Rétractabilités dimensionnels des espèces étudiées

3-1- 2. Propriétés mécaniques

Les espèces étudiées possèdent toutes un module d'élasticité qui leur confère une bonne résistance à la flexion. Leurs MOE se situent entre une fourchette de valeur de $10050 \pm 3333,07$ MPa à $13719,09 \pm 2447,71$ MPa (**Figure 10**). *Dendroclamus asper* en a la valeur la plus élevée (MOE= $13719,09 \pm 2447,71$ MPa) tandis que *Bambusa vulgaris constrictinoda* présente la valeur la plus faible (MOE = $10050 \pm 3333,07$ MPa) (**Figure 10**).

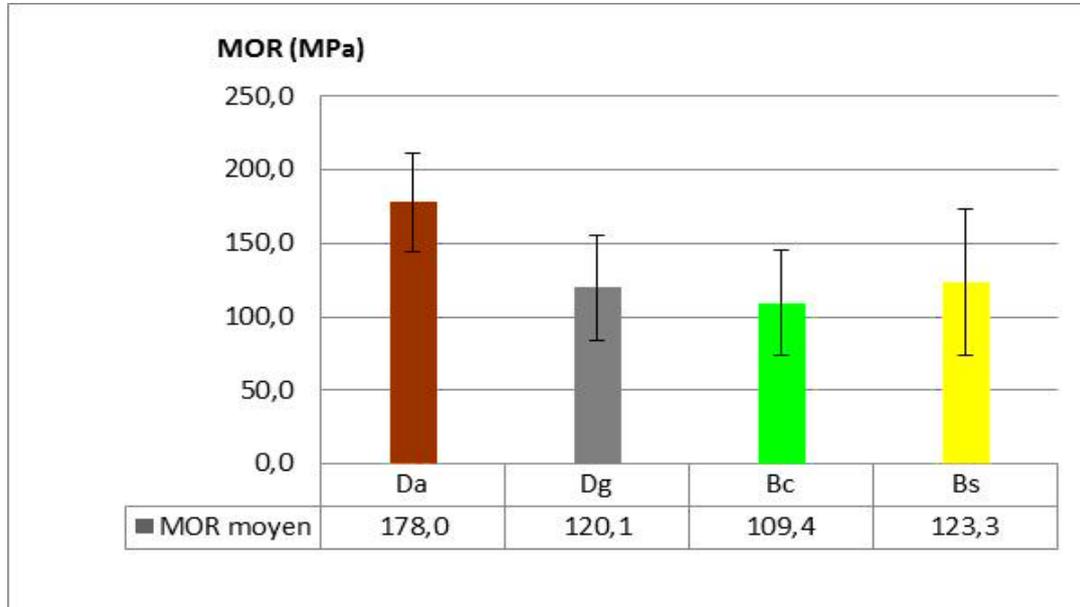


Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs :*Bambusa vulgaris striata*

Figure 10: Module d'élasticité en flexion statique des espèces étudiées



Concernant le module de rupture, sa valeur est suffisante pour donner à chaque espèce une bonne résistance à la rupture car elle dépasse les 100 MPa pour les quatre espèces étudiées. (**Figure 11**). L'espèce qui présente la valeur la plus élevée est *Dendrocalamus asper* (MOR = 177,95 ± 33,50 MPa)



Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda*/
Bs :*Bambusa vulgaris striata*

Figure 11: Module de rupture en flexion statique des espèces étudiées

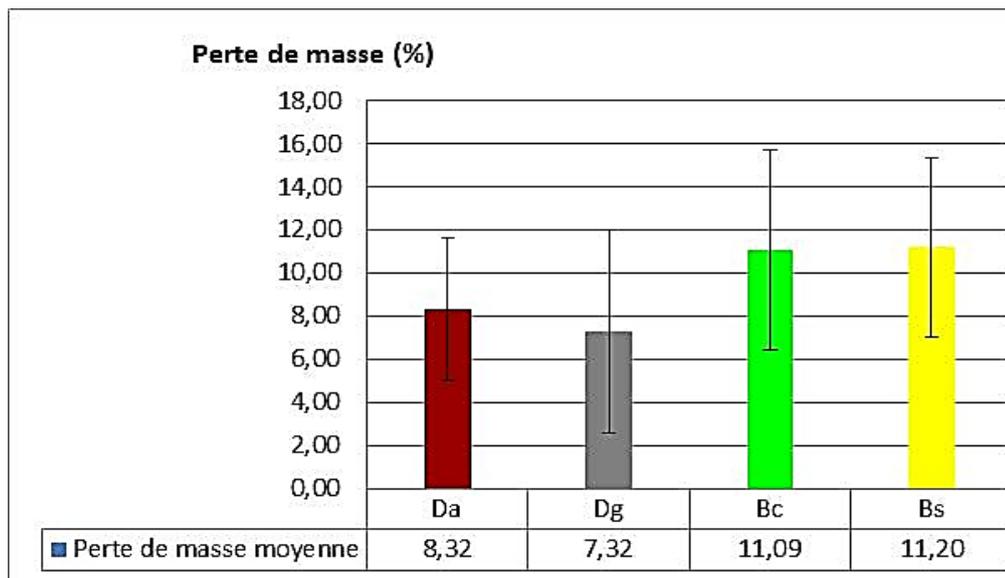
3-1- 3. Durabilité naturelle

Au bout des six mois d'exposition à la classe d'emploi numéro 4, les éprouvettes testées n'ont pas été totalement dégradées. Aucun dégât sévère qui peut engendrer une importante perte de masse n'a été observé sur la majorité des éprouvettes. Les dégâts les plus marqués qui ont été observés à la surface des éprouvettes testées ont été la dégradation de la couleur naturelle et la formation des trous d'environ 2 mm de dimension sur une partie de la surface de certains échantillons (**Photo 13**).



Photo 13 : Etat général des éprouvettes après leur soumission durant 6 mois à la classe d'emploi 4

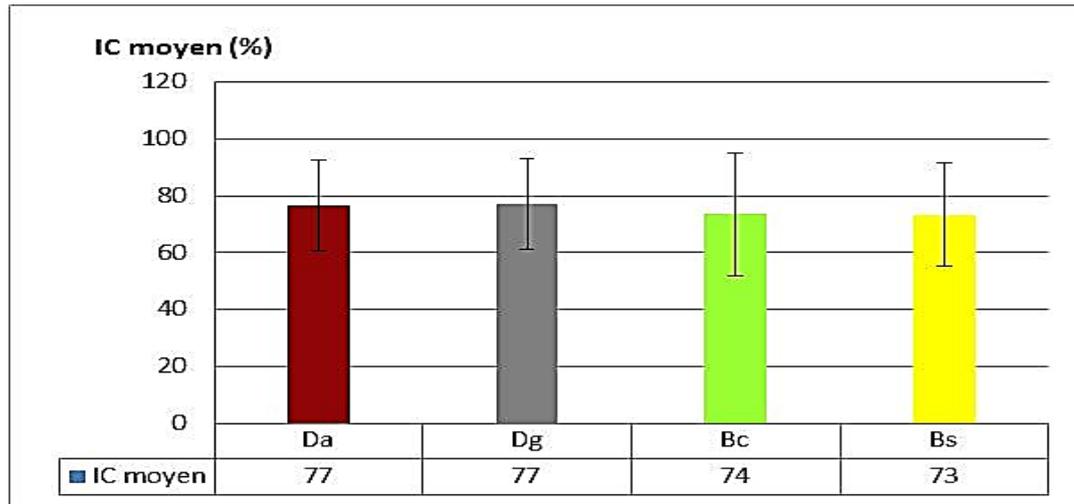
Le calcul de la perte de masse a révélé que *Dendrocalamus asper* ($\Delta m = 8,32 \pm 3,29\%$) et *Dendrocalamus giganteus* ($\Delta m = 7,32 \pm 4,72\%$) possèdent une perte de masse moins élevée que *Bambusa vulgaris constrictinoda* ($\Delta m = 11,09 \pm 4,67\%$) et *Bambusa vulgaris striata* ($\Delta m = 11,20 \pm 4,17$) (**Figure 12**).



Da : *Dendrocalamus asper* / Dg : *Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs : *Bambusa vulgaris striata*

Figure 12 : Perte de masse moyenne par espèce

Quant à l'indice de conservation, sa valeur se situe entre 73,45 à 77,16%. Ce qui veut dire que les quatre espèces étudiées ont été au moins conservées à 73 % après les six mois de soumission à la classe d'emploi 4 (**Figure 13**). *Dendrocalamus asper* ($IC = 76,86 \pm 16,03\%$) et *Dendrocalamus giganteus* ($IC = 77,16 \pm 15,97\%$) sont plus conservées que *Bambusa vulgaris constrictinoda* ($IC = 73,69 \pm 21,60\%$) et *Bambusa vulgaris striata* ($IC = 73,45 \pm 18,04\%$) (**Figure 13**).



Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs :*Bambusa vulgaris striata* / IC : Indice de Conservation

Figure 13: Indice de conservation par espèce

D’après ces résultats, on peut déduire que les deux espèces appartenant au genre *Dendrocalamus* présentent une meilleure résistance à l’attaque des agents biologiques de dégradation par rapport aux deux espèces regroupées au sein du genre *Bambusa*.

En se référant à la grille d’évaluation de Thiel (1973), Beauchêne (1994), et Edlund et al ; (2006), la durabilité des bambous étudiés appartient à la classe 2 ou à la classe 3, c'est-à-dire ces bambous sont soit, **moyennement durables** (*Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*) soit **durables** (*Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus*). Et si on se base sur les travaux de Beauchêne (1994), la durée de vie en service est estimée à **5 à 10 ans** pour *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus*, alors qu’elle est moins de **5 ans pour** *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*.

3- 2. EFFET DE LA POSITION VERTICALE DES ENTRENŒUDS SUR LES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES

3-2- 1. Effet sur les propriétés physico-mécaniques

Les valeurs des paramètres physico-mécaniques ne sont pas similaires pour chaque entrenœud se trouvant dans une position différente (position inférieure, position intermédiaire et position supérieure). En général, les valeurs de la densité, du MOE et du MOR des entrenœuds qui se situent en hauteur (c'est-à-dire au sommet du chaume) sont plus élevées par rapport à celles des échantillons prélevés dans la partie inférieure (**Figure 14 et Figure 15-a-b**). Par contre, les rétractabilités tendent à se réduire au fur et à mesure qu’on monte en hauteur (**Figure 16-a-b-c**).

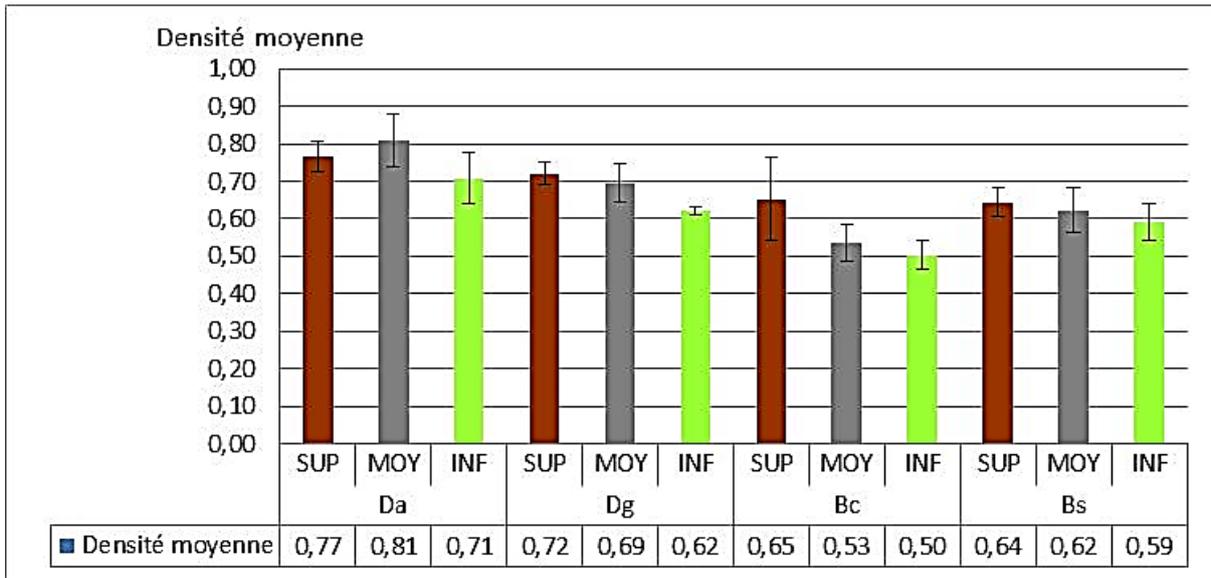
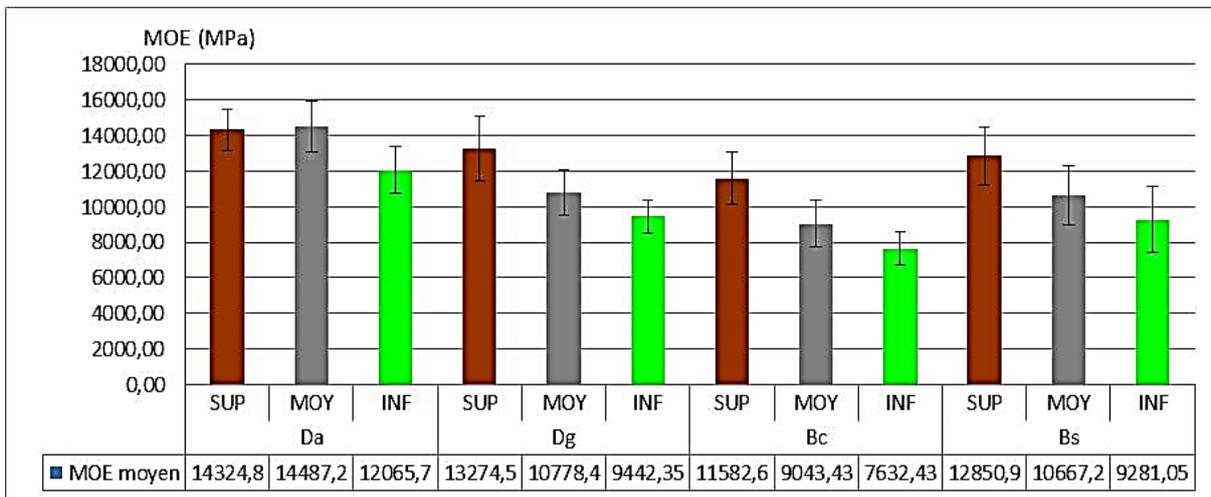
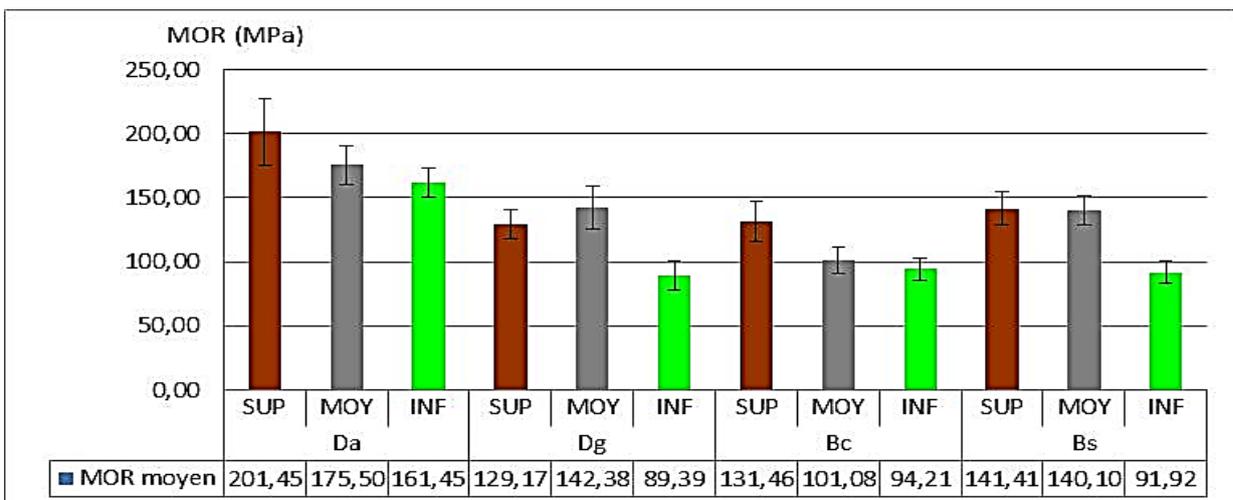


Figure 14 : Variation de la densité suivant la position verticale des entrenœuds

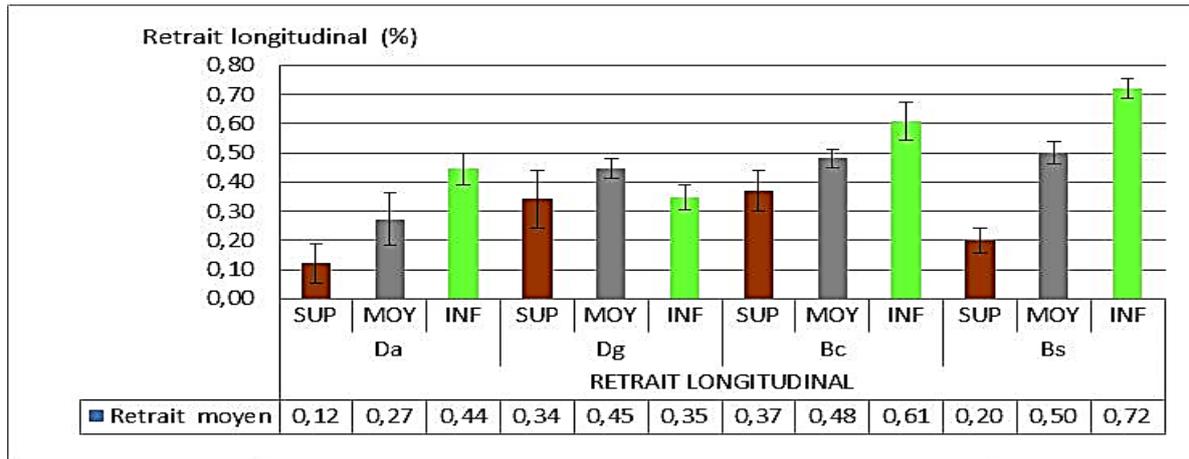


a) Variation du MOE par position

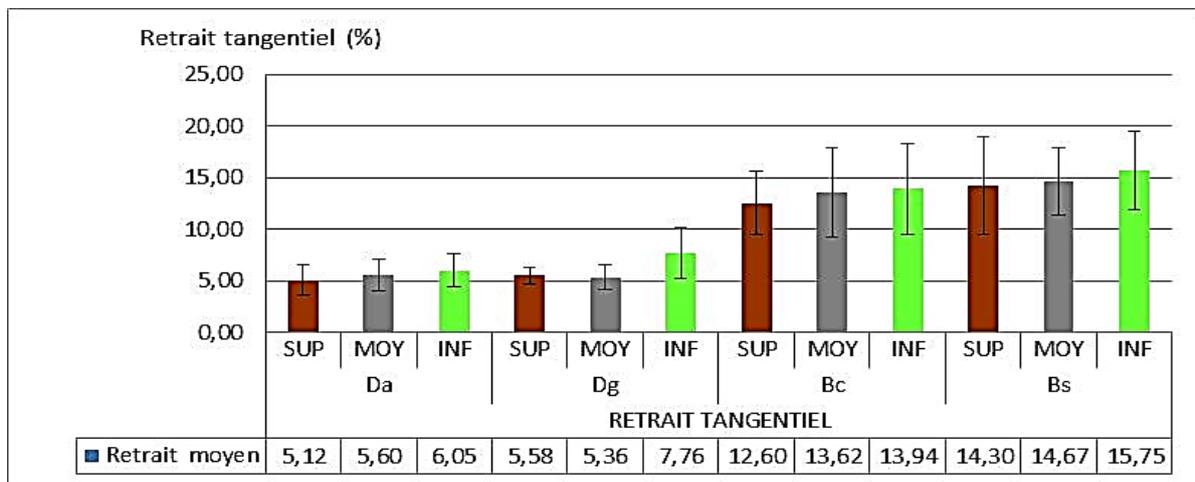


b) Variation du MOR par position

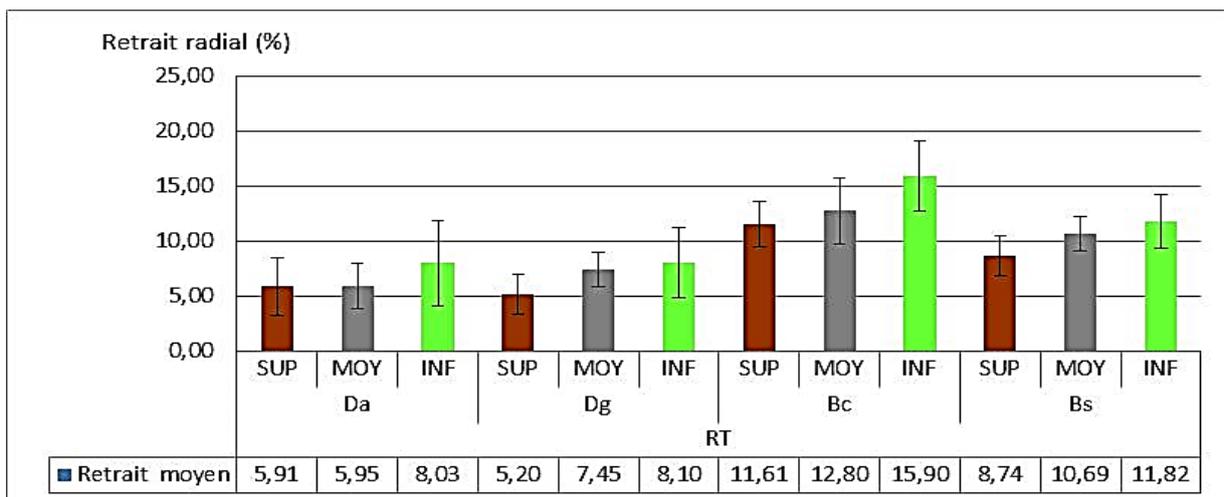
Figure 15 : Variation du MOE et du MOR suivant la position verticale des entrenœuds



a)Variation du retrait longitudinal par position



b)Variation du retrait tangentiel par position



c)Variation du retrait radial par position

SUP : position supérieure / *MOY*: position moyenne / *INF*: position inférieure/ *Da* :*Dendrocalamus asper* / *Dg* :*Dendrocalamus giganteus* / *Bc* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *Bs* :*Bambusa vulgaris striata*

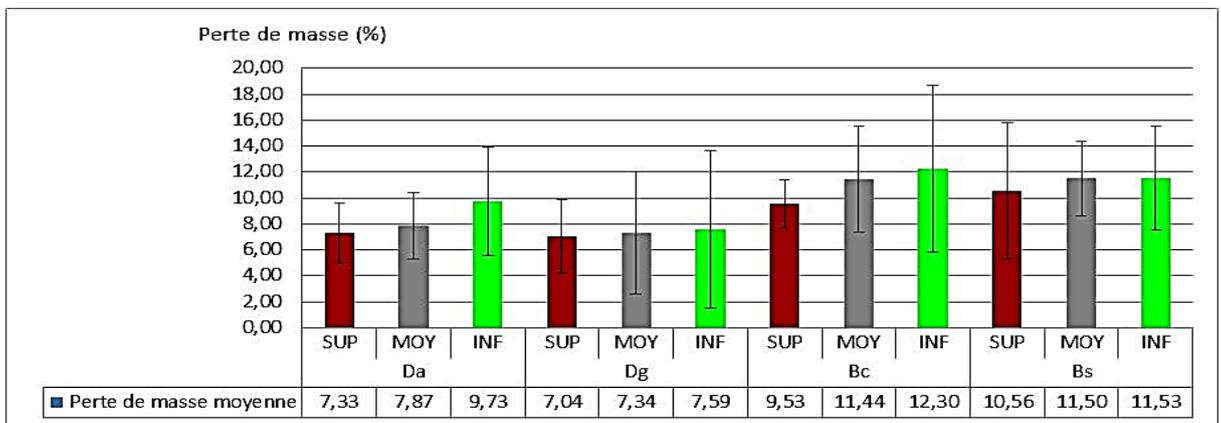
Figure 16 : Variation des retraits suivant la position verticale des entrenœuds



La position des entrenœuds semble donc avoir un effet sur l'augmentation et la diminution des valeurs des propriétés physico-mécaniques.

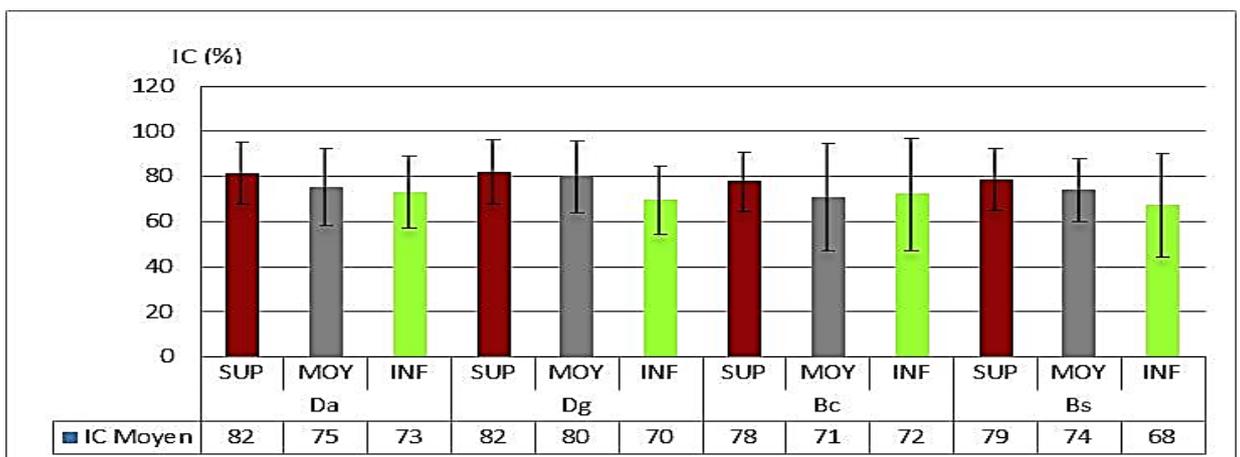
3-2- 2. Effets sur la durabilité naturelle

La durabilité naturelle suit la même tendance. Les entre-nœuds qui se trouvent dans des positions différentes ont aussi une perte de masse et un indice de conservation différents. Généralement, pour les quatre espèces étudiées, les entre-nœuds qui se trouvent dans la partie supérieure du chaume présentent une perte de masse moins élevée ainsi qu'un indice de conservation meilleur que ceux qui se situent au niveau de la partie inférieure (**Figure 17 et Figure 18**). Toutefois, les écarts entre les valeurs de ces deux paramètres restent moins marqués entre les trois positions (supérieure, moyenne et inférieure). Ces écarts sont environ **2%** pour la perte de masse et **5%** pour l'indice de conservation (**Figure 17 et Figure 18**).



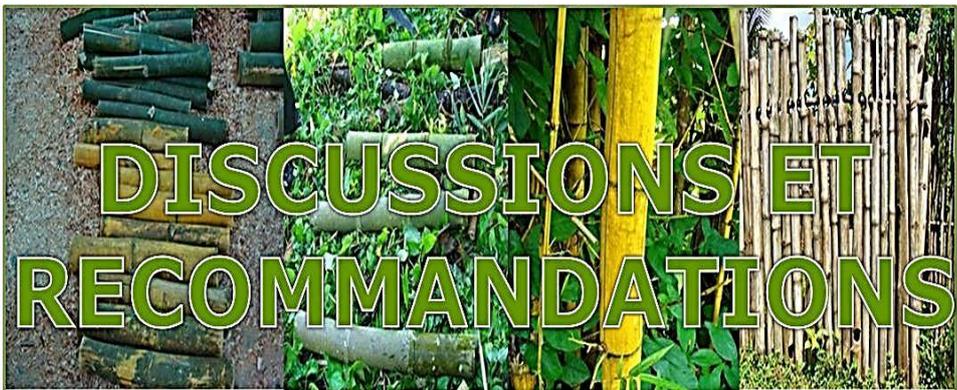
SUP : position supérieure / MOY: position moyenne / INF: position inférieure/ Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs :*Bambusa vulgaris striata*

Figure 17: Variation de la perte de masse suivant la position verticale des entrenœuds



SUP : position supérieure / MOY: position moyenne / INF: position inférieure/ Da :*Dendrocalamus asper* / Dg :*Dendrocalamus giganteus* / Bc : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / Bs :*Bambusa vulgaris striata*

Figure 18: Variation de l'indice de conservation suivant la position verticale des entrenœuds



Partie 4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4- 1. DISCUSSIONS

4- 1-1. Discussions sur les résultats et sur les hypothèses

4- 1-1-1. Comparaison des propriétés technologiques entre les quatre espèces et entre les différentes parties des entrenœuds

✿ Cas des propriétés physico-mécaniques

Les tests statistiques de comparaison des valeurs moyennes des paramètres physico-mécaniques (densité moyenne, retrait moyenne, MOE moyenne et MOR moyenne) des quatre espèces étudiées ont révélé que *Dendrocalamus asper* présente des propriétés physico-mécaniques significativement différentes au seuil de 5% de celles de *Dendrocalamus giganteus*, de *Bambusa vulgaris constrictinoda* et de *Bambusa vulgaris striata* (*Annexe 1-2-3*). Elle est plus dense, plus rigide, plus résistante à la rupture, et plus stable dimensionnellement que les trois autres espèces. De même, le test statistique a montré que *Dendrocalamus giganteus* possède également des propriétés physico-mécaniques significativement différentes de celles de *Bambusa vulgaris constrictinoda* et de *Bambusa vulgaris striata* ($\alpha = 5\%$) (*Annexe 1-2-3*). Elle a une densité, un MOE et un MOR plus élevés et des retraits moins importants que les deux espèces regroupées au sein du genre *Bambusa*. Par contre aucune différence significative n'a été observée entre les propriétés physico-mécaniques de *Bambusa vulgaris constrictinoda* et de *Bambusa vulgaris striata*.

Nombreuses sont les raisons qui peuvent expliquer cette différence de propriétés physico-mécaniques entre les espèces. D'après Liese (1985) ; Wakchaure et Kute (2012), la non similarité des valeurs de la densité d'une espèce à une autre est due à l'inégalité de la quantité de fibres qui constituent le chaume de chaque espèce. En fait, la densité et l'abondance des fibres sont positivement corrélées. Plus le chaume de bambou contient des fibres, plus celui-ci est plus dense. Pour le cas des retraits, la raison possible expliquant la différence inter-espèce de la rétractabilité est que la quantité d'eau liée qui imprègne les membranes des cellules du chaume n'est pas similaire pour chaque espèce étudiée. En effet, selon Gerard et al. (1998), les phénomènes de retraits à l'origine des déformations sont occasionnés par le départ de l'eau liée contenue dans les membranes cellulaires lors du séchage. Plus la quantité d'eau liée évacuée lors du séchage est élevée, plus la déformation est marquée.

Quant à la variation des propriétés mécaniques d'une espèce à une autre, celle-ci peut être due à l'inégalité des proportions de fibres cellulosiques qui composent le chaume de chaque espèce, car selon Hargot (2009), l'élément qui confère au bambou ses propriétés mécaniques est la fibre cellulosique. La proportion de celle-ci n'est pas similaire d'une espèce à une autre mais elle se situe autour de 40%.

Concernant la différence de propriétés physico-mécaniques suivant la position verticale des entrenœuds, les tests statistiques effectués ont montré que la partie du chaume qui a des propriétés

physico-mécaniques significativement différentes des autres au seuil de 5% est la partie supérieure et la partie inférieure (*Annexe (5-6-7)*). La partie supérieure du chaume est plus dense, plus résistante à la déformation, plus résistante à la rupture et plus stable dimensionnellement que la partie inférieure. Ce qui signifie que, la partie du chaume qui présente la meilleure potentialité physico-mécanique est la partie supérieure.

Plusieurs auteurs qui ont étudié les propriétés physico-mécaniques des bambous. Ainsi Liese (1971), Liese (1985), Espiloy (1987), Latif et al. (1990), Latif et Mohd (1992), Sattar et al. (1992); Latif (1993), Lee et al. (1994), Anwar et al. (2005), Kamruzzaman et Bose (2007), Correal et al. (2010), Wakchaure et Kute (2012), ont également trouvé que le sommet du chaume a une densité, un MOE, un MOR plus élevés que la base et un retrait moins important que la base.

L'augmentation de la valeur de la densité suivant la hauteur est, selon ces auteurs, liée à l'épaississement des parois des tissus fibreux contenus à l'intérieur du chaume de la base vers le sommet (*Figure 19*). Cet épaississement engendre une augmentation de leurs proportions au sommet qu'à la base. Les mêmes auteurs ont également trouvé que l'augmentation de la valeur de ce paramètre le long du chaume est le résultat de l'accroissement du nombre de tissus vasculaires de bas en haut (*Figure 19*). De ce fait, puisque les tissus vasculaires sont compressés sur un espace restreint, l'espace occupé par l'air et l'eau est réduit dans la partie supérieure des entrenœuds, ce qui attribue au bambou une densité plus élevée au fur et à mesure que la hauteur des entrenœuds augmente.

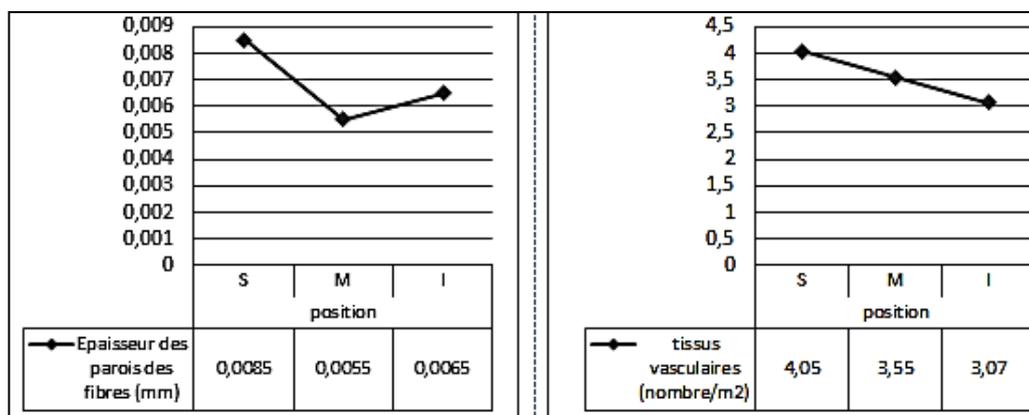


Figure 19 : Variation suivant la hauteur de l'épaisseur des parois des fibres et du nombre de tissus vasculaire pour le genre Bambusa

SOURCE : modifiée de Latif et al, 1992

Quant à l'augmentation du MOE et du MOR suivant la hauteur des entrenœuds, la raison possible qui peut expliquer cette tendance est la corrélation positive de ces deux paramètres avec la densité. En effet, les résultats de l'analyse de corrélation des quatre paramètres étudiés (densité, MOR, MOE et retraits) ont montré qu'une forte corrélation positive ($r > 0,8$) existe entre la densité, le module de rupture et le module d'élasticité (*Tableau 5*). De ce fait, les valeurs des propriétés mécaniques (MOE et MOR) varient de la même manière que ceux de la densité.

Tableau 5 : Matrice de corrélation de Pearson (propriétés physiques et propriétés mécaniques)

Variables	DENSITE	RL	RR	RT	MOE	MOR
DENSITE	1	-0,517	-0,655	-0,831	0,921	0,864
RL	-0,517	1	0,172	0,342	-0,684	-0,534
RR	-0,655	0,172	1	0,699	-0,518	-0,521
RT	-0,831	0,342	0,699	1	-0,655	-0,705
MOE	0,921	-0,684	-0,518	-0,655	1	0,855
MOR	0,864	-0,534	-0,521	-0,705	0,855	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

RL : retrait longitudinal / RR : retrait radial / RT : retrait tangentiel /

MOE : module d'élasticité / MOR : module de rupture

Des auteurs qui ont étudié les propriétés mécaniques des bambous, ont partagé les mêmes arguments. Sattar et al. (1992), Kamruzzaman et al. (2008), Correal et al ; (2010) affirment que l'augmentation des valeurs du MOR et du MOE suivant la hauteur est due à l'accroissement de la valeur de la densité au niveau du chaume. En se basant sur les mêmes visions, d'autres auteurs stipulent que la variation du MOE et MOR est expliquée par les mêmes raisons pour lesquelles la densité varie suivant la hauteur. Cette variation du MOE et MOR est donc liée aussi à l'épaississement des parois des tissus fibreux contenus à l'intérieur du chaume depuis la position inférieure jusqu'à la position supérieure ainsi qu'à l'augmentation de bas en haut du nombre des tissus vasculaires (Correal et al. 2010).

Pour le cas de la diminution du pourcentage des retraits suivant la hauteur, elle peut être expliquée par le fait que, de la base vers le sommet, le diamètre et l'épaisseur d'un chaume diminuent (*Annexe 9*), c'est-à-dire que le volume occupé par l'eau est plus élevé dans la partie inférieure et diminue en hauteur où le diamètre du chaume devient de plus en plus étroit. Une autre raison qui peut expliquer cette diminution du retrait le long du chaume est qu'il est corrélé d'une manière négative ($r = -0,8$ à $-0,655$) avec la densité (*Tableau 6*). Ce qui signifie que plus la valeur de la densité s'élève plus celle du retrait diminue.

D'autres auteurs tels que Li (2004), Malanit (2009) ont trouvé d'autres explications. D'après eux, la partie supérieure du chaume contient beaucoup plus de fibres que celle inférieure. De ce fait, les espaces réservés à l'eau sont plus restreints au sommet du chaume qu'à la base. Ce qui engendre la diminution de la proportion de la rétractabilité suivant la hauteur.

✿ Cas de la durabilité naturelle

Malgré la différence des valeurs d'indice de conservation moyen des quatre espèces, le test statistique a révélé que la différence entre l'indice de conservation moyen des quatre espèces n'est pas suffisamment significative pour conclure qu'elles ont des indices de conservation différents (*Annexe 4*). Par contre, le test a montré que *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus* présentent une perte de masse moins élevée que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* (*Annexe 4*). Ces tests statistiques confirment donc que *Dendrocalamus asper* et

Dendrocalamus giganteus sont plus résistantes à l'attaque des agents de dégradation (c'est-à-dire plus durables) que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*. La raison possible qui peut expliquer cette différence inter-espèce de la durabilité naturelle est que les quatre espèces ne possèdent pas les mêmes propriétés physico-mécaniques. En fait, en combinant les résultats obtenus lors de la caractérisation des propriétés physico-mécaniques et ceux obtenus lors du test de durabilité naturelle, il est remarqué que ce sont les espèces qui présentent la meilleure potentialité physico-mécanique qui sont plus résistantes à l'attaque des agents de détériorations. Autrement dit, plus les propriétés physico-mécaniques de l'espèce sont meilleures, plus sa durabilité augmente.

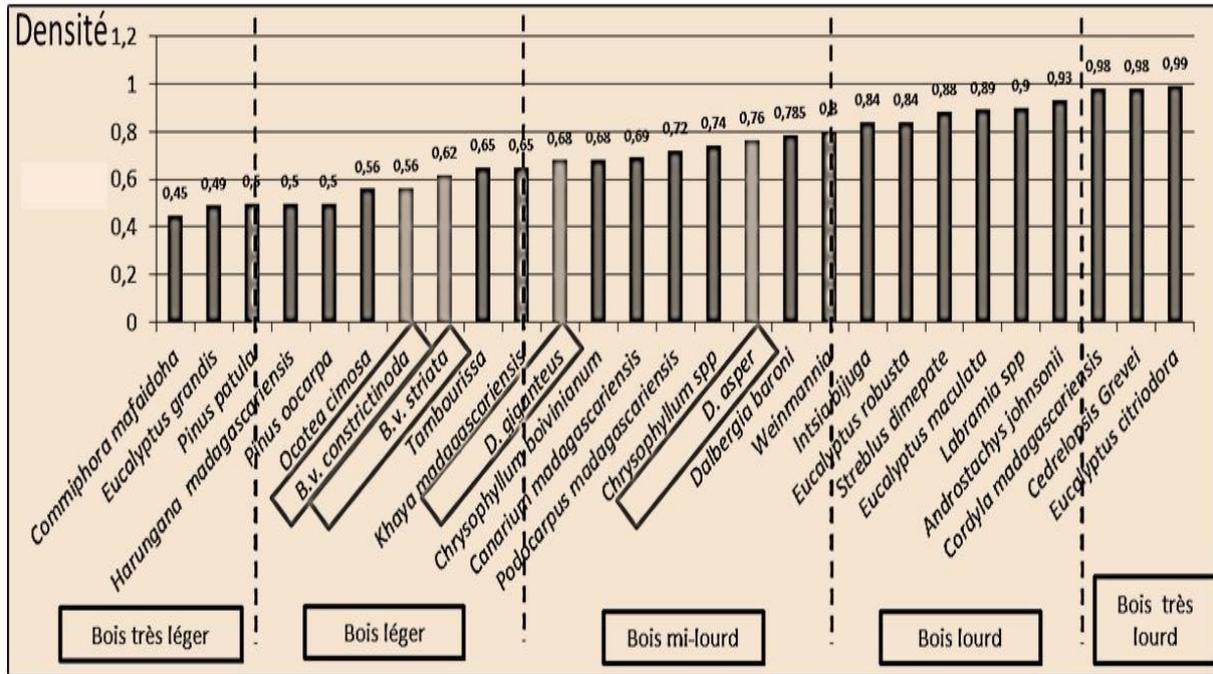
Concernant la durabilité naturelle des entre-nœuds, les tests statistiques ont montré que quelle que soit leur position, les entre-nœuds possèdent en général, la même durabilité naturelle car leur indice de conservation moyen et leurs pertes de masse moyenne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. (*Annexe 8*).

4- 1-1-2. Comparaison des bambous étudiés avec les espèces de bois malgaches

✿ Propriétés physiques

En s'appuyant sur leurs propriétés physiques, les bambous de Madagascar étudiés dans cette recherche possèdent des performances supérieures à certaines espèces de bois de Madagascar.

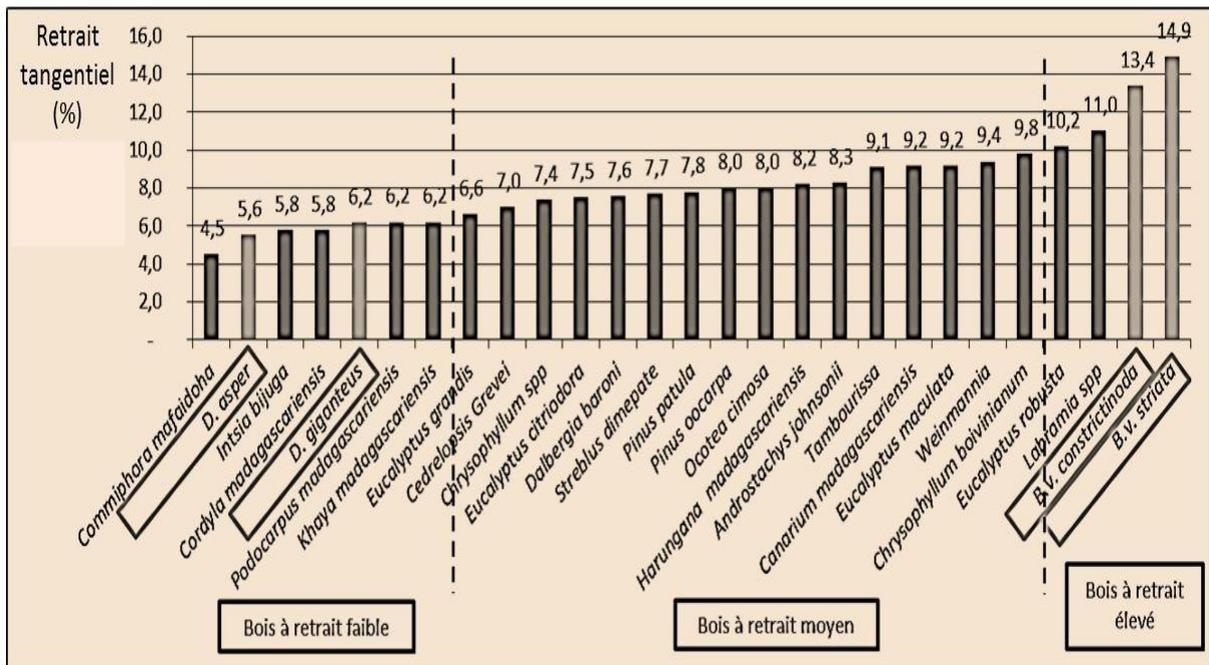
Suivant l'aspect densité, *Bambusa vulgaris constrictinoda* (Densité = 0.56) et *Bambusa vulgaris striata* (Densité = 0.62) peuvent être classées parmi **les espèces de bois légers de Madagascar (0,5<D< 0,65)** au même titre que : *Commiphora mafaïdoha*(Arofy), *Eucalyptus grandis* (Kininina fotsy), *Pinus patula* (Kesika), *Harungana madagascariensis* (Harongana) et *Pinus oocarpa* (Kesika) (**figure 21**). Par ailleurs, *Dendrocalamus asper* (Densité = 0.76) et *Dendrocalamus giganteus* (Densité = 0.68), sont meilleures que ces espèces et peuvent ainsi être répertoriés parmi **les espèces de bois mi-lourds de Madagascar (0,65<D< 0,80)** telles que *Chrysophyllum boivinianum* (Famelona), *Canarium madagascariensis* (Ramy), *Podocarpus madagascariensis*(Hetatra), *Chrysophyllum spp* (Famelondriaka) et *Dalbergia baroni* (Voamboana) (**Figure 20**).



D. : *Dendrocalamus* / B.v. : *Bambusa vulgaris*

Figure 20 : Comparaison de la densité des bambous étudiés avec celle des bois malgaches

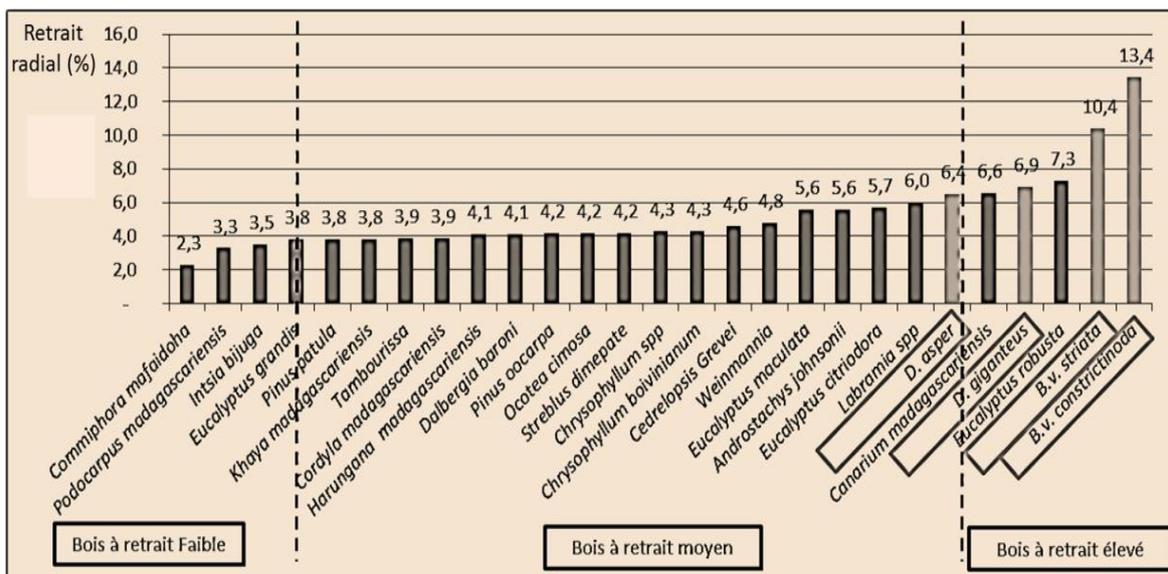
Concernant les retraits tangentiels, les bambous étudiés, particulièrement le genre *Dendrocalamus* possèdent une bonne stabilité par rapport à la variation suivant le plan tangentiel que d'autres espèces de bois. Suivant cette propriété, ils sont répertoriés parmi les **espèces possédant un retrait tangentiel faible ($R_T < 6,5\%$)**. Il s'agit de *Commiphora mafaïdoha* (Arofy), *Intsia bijuga* (Hintsy), *Cordyla madagascariensis* (Anakaraka), *Podocarpus madagascariensis* (Hetatra) et de *Khaya madagascariensis* (Hazomena) (**Figure 22**). Par contre le genre *Bambusa* n'est pas particulièrement stable ; son retrait tangentiel dépasse 10%. Ils figurent donc parmi les groupes de **bois à fort retrait tangentiel ($R_T > 10\%$)** comme *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy) et *Labramia spp* (Nato) (**Figure 21**).



D. :Dendrocalamus / B.v. : Bambusa vulgaris

Figure 21 : Comparaison du retrait tangentiel des bambous étudiés avec celui des bois malgaches

En tenant compte des retraits radiaux, l'espèce de bois de même classe que *Dendrocalamus asper* et ayant un retrait radial le plus proche est *Labramia spp* (Nato) (Figure 19). Quant aux trois autres espèces de bambous étudiés, seules les espèces *Canarium madagascariensis* (Ramy) et *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy) leurs sont similaires du point de vue retrait radial (Figure 22). Ce qui signifie que par rapport à la majorité des espèces en provenance de Madagascar, ces bambous présentent de **forts retraits radiaux** ($R_R > 6,5\%$).

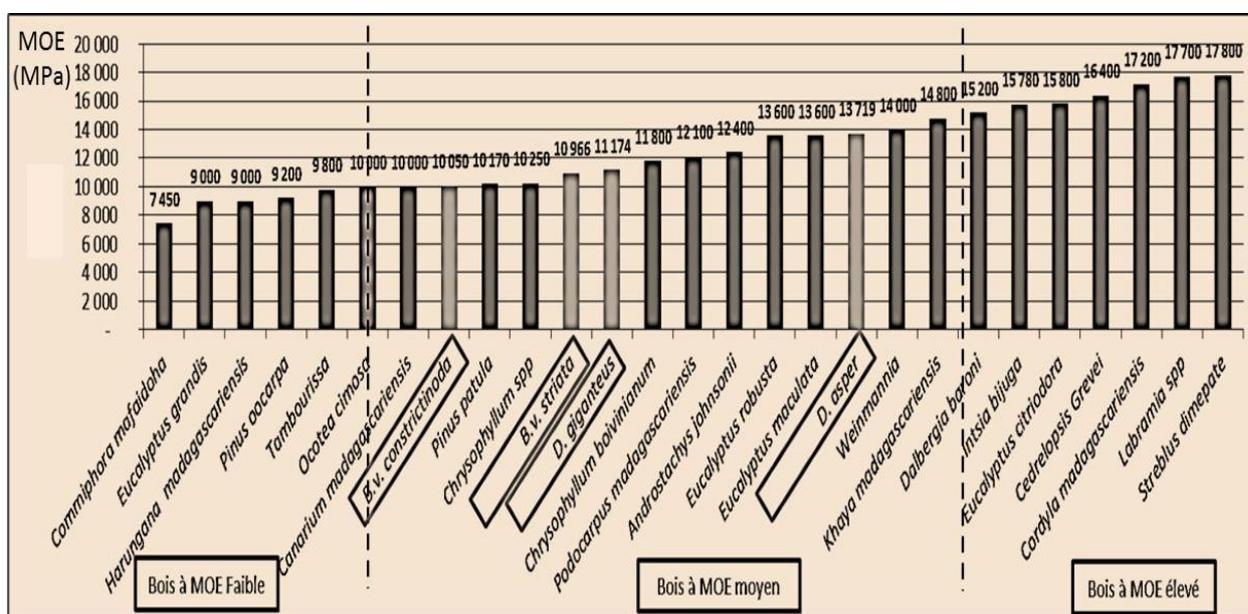


D. :Dendrocalamus / B.v. : Bambusa vulgaris

Figure 22 : Comparaison du retrait radial des bambous étudiés avec celui des bois malgaches

☀ Propriétés mécaniques

D'après les résultats obtenus, les bambous de Madagascar étudiés possèdent des performances mécaniques comparables à ceux de certaines espèces de bois couramment utilisées dans l'industrie de bois à Madagascar. Suivant le module d'élasticité, *Bambusa vulgaris constrictinoda* (MOE = 10996 MPa) *Bambusa vulgaris striata* (MOE = 10050MPa) , *Dendrocalamus giganteus* (MOE=11173 MPa) et *Dendrocalamus asper* (MOE = 13719 MPa), sont suffisamment rigides pour être classés **parmi les espèces de bois à MOE moyen (10 000 Mpa < MOE < 15 000 MPa)** comme *Canarium madagascariensis* (Ramy), *Pinus patula* (Kesika), *Chrysophyllum spp* (Famelondriaka), *Chrysophyllum boivinianum* (Famelona), *Podocarpus madagascariensis* (Hetatra), *Androstachys johnsonii* (Merana), *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy), *Eucalyptus maculata* (Kininina), *Weinmannia* (Lalona), *Khaya madagascariensis* (Hazomena) (**Figure23**).

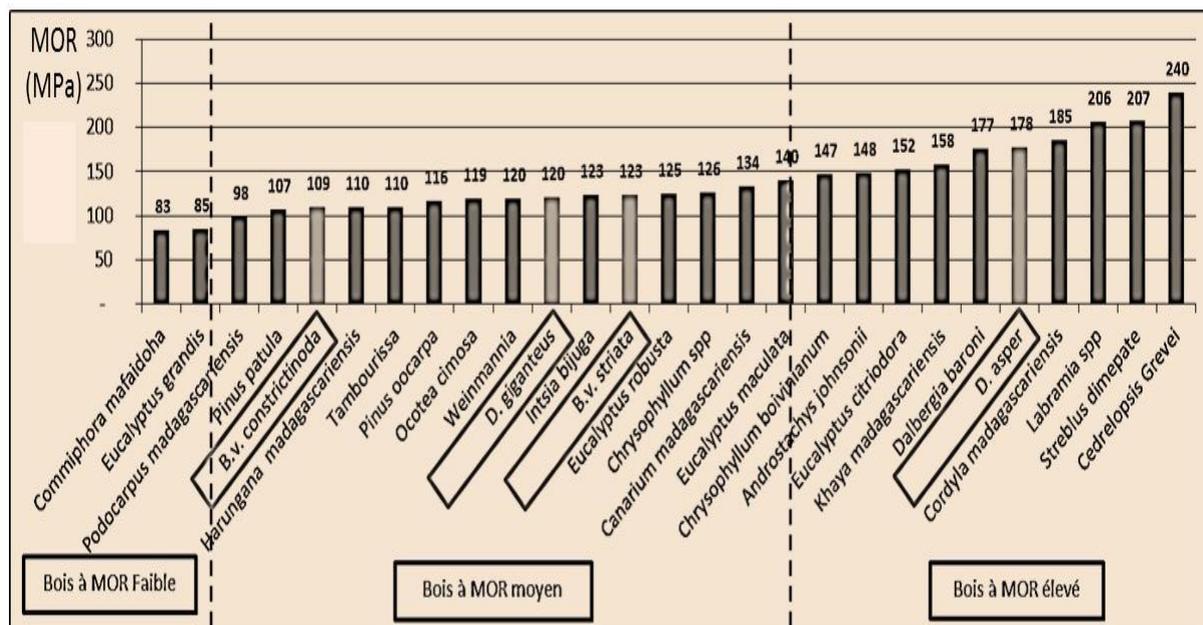


D. : *Dendrocalamus* / B.v. : *Bambusa vulgaris*

Figure 23 : Comparaison du MOE des bambous étudiés avec celui des bois malgaches

En tenant compte du module de rupture, *Bambusa vulgaris constrictinoda* (MOR = 109 MPa) *Bambusa vulgaris striata* (MOR = 123MPa), *Dendrocalamus giganteus* (MOR=120 MPa) sont suffisamment résistants pour être classés parmi les **espèces de bois à MOR moyen (85 Mpa < MOR < 140 MPa)**. Il s'agit de *Podocarpus madagascariensis* (Hetatra), *Pinus patula* (Kesika), *Tambourissa* (Ambora), *Pinus oocarpa* (Kesika), *Ocotea cymosa* (Varongy), *Weinmannia* (Lalona), *Intsia bijuga* (Hintsy), *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy), *Chrysophyllum spp* (Famelondriaka), *Canarium madagascariensis* (Ramy), *Eucalyptus maculata* (Kininina) (**Figure25**). Par ailleurs, *Dendrocalamus asper* (MOR = 178 MPa) est largement plus résistant à la rupture que les trois autres espèces étudiées, ce qui le répertorie parmi les **espèces de bois à MOE élevé de Madagascar**, à savoir : *Chrysophyllum boivinianum* (famelona), *Androstachys johnsonii* (Merana), *Eucalyptus citriodora* (Kininina oliva), *Khaya madagascariensis* (Hazomena), *Dalbergia baroni* (Voamboana),

Cordyla madagascariensis (Anakaraka), *Labramia spp* (Nato), *Streblus dimepate* (Dipaty), *Cedrelopsis Grevei* (Katrafay) (Figure 24).



D. :Dendrocalamus / B.v. : Bambusa vulgaris

Figure 24 : Comparaison du MOR des bambous étudiés avec celui des bois malgaches

☀ Durabilité naturelle

En se référant à la durabilité naturelle des bambous, les essences de bois ayant les mêmes classes de durabilité naturelle que *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus* sont *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy), *Androstachys johnsonii* (Merana), *Dalbergia baroni* (Voamboana). Ceux qui se trouvent dans la même classe que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* sont *Eucalyptus grandis* (Kininina fotsy), *Podocarpus madagascariensis* (Hetatra), *Eucalyptus maculata* (Kininina), et *Khaya madagascariensis* (Hazomena) (Tableau 6).

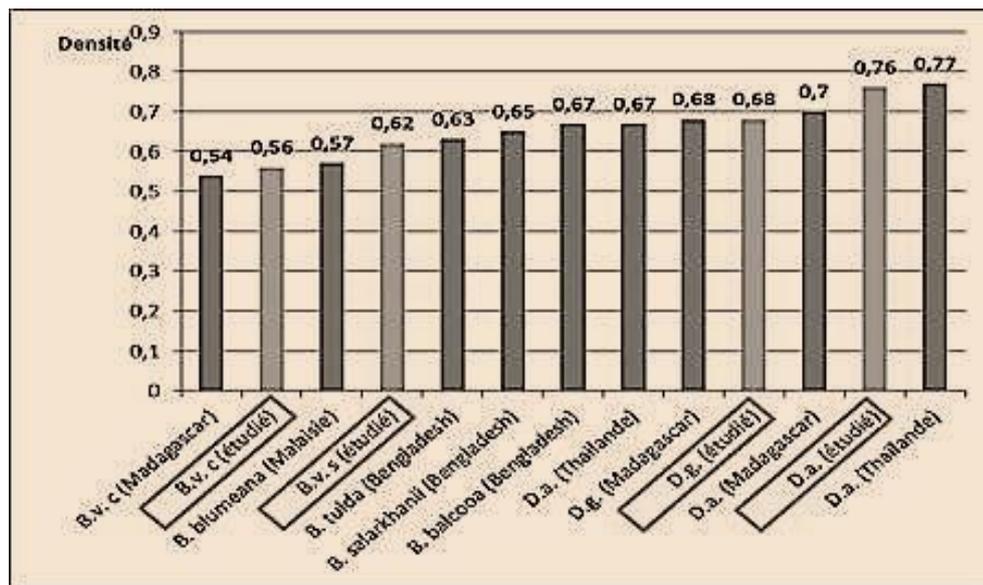
Tableau 6: Comparaison de la durabilité naturelle des bambous étudiés avec celle des bois malgaches

Espèce	Classe de de durabilité naturelle
<i>Dendrocalamus asper</i>	Classe 2 : durable
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Classe 2 : durable
<i>Eucalyptus robusta</i> (Kininina vavy)	Classe 2 : durable
<i>Androstachys johnsonii</i> (Merana)	Classe 2 : durable
<i>Dalbergia baroni</i> (Voamboana)	Classe 2 : durable
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	Classe3 : moyennement durable
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	Classe3 : moyennement durable
<i>Eucalyptus grandis</i> (Kininina fotsy)	Classe3 : moyennement durable
<i>Podocarpus madagascariensis</i> (Hetatra)	Classe3 : moyennement durable
<i>Eucalyptus maculata</i> (Kininina)	Classe3 : moyennement durable
<i>Khaya madagascariensis</i> (Hazomena)	Classe3 : moyennement durable

4- 1-1-3. Comparaison des bambous étudiés avec les autres espèces de bambous déjà étudiées

✿ Propriétés physiques

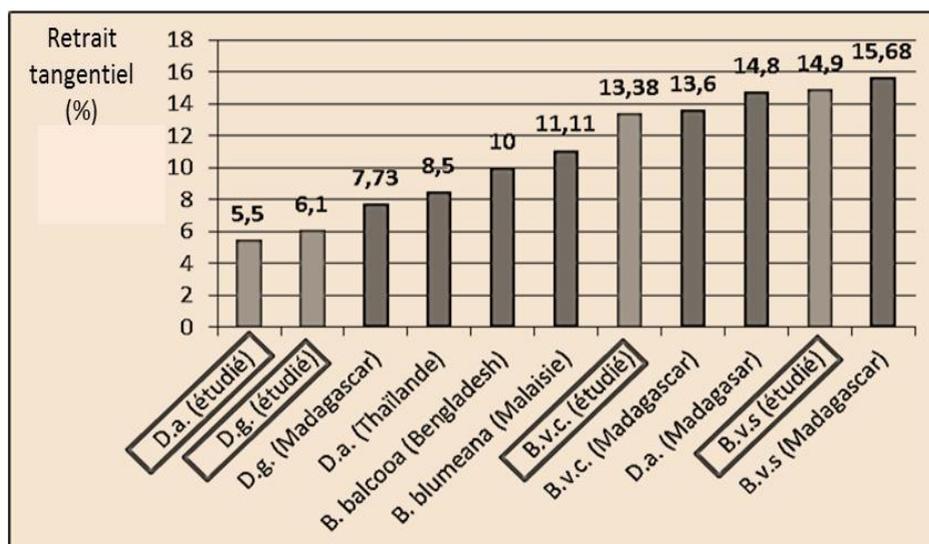
En comparant les quatre bambous étudiés avec d'autres bambous déjà étudiés antérieurement par des chercheurs, une légère différence de valeur est observée (**Figure 25**). Toutefois, quelles que soient l'espèce et l'origine de ces autres espèces de bambou, ils appartiennent au bois léger et mi-lourd puisque leurs densités sont comprises entre 0.5 et 0.80 (**Figure 25**). Ce qui est conforme aux résultats de la présente étude. *Bambusa vulgaris constrictinoda* de Madagascar étudié par Ramananantoandro et al. (2013) et *Bambusa blumeana* de Malaisie étudié par Latif et al. (1993) avec des densités respectives 0.54 et 0.57 sont les espèces étrangères les plus proches du genre *Bambusa* étudié dans cette recherche, avec une densité de 0.56 (**Figure 25**). Par contre, *Dendrocalamus asper* de Thaïlande étudié par Pakhkeree (1997) avec une densité 0.77 est le plus proche de *Dendrocalamus asper* étudié dont la densité est de 0.76 (**Figure 25**). Parmi les autres espèces de bambous, *Dendrocalamus giganteus* de Madagascar étudié par Ramananantoandro et al. (2013) avec une densité de 0.68 possède exactement la même densité que la même espèce étudiée dans cette recherche (**Figure 25**).



D.a. : *Dendrocalamus asper* / D.g. : *Dendrocalamus giganteus* / B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / B.v.s : *Bambusa vulgaris striata* / B. : *Bambusa*

Figure 25 : Comparaison de la densité des bambous étudiés avec celle de la bibliographie

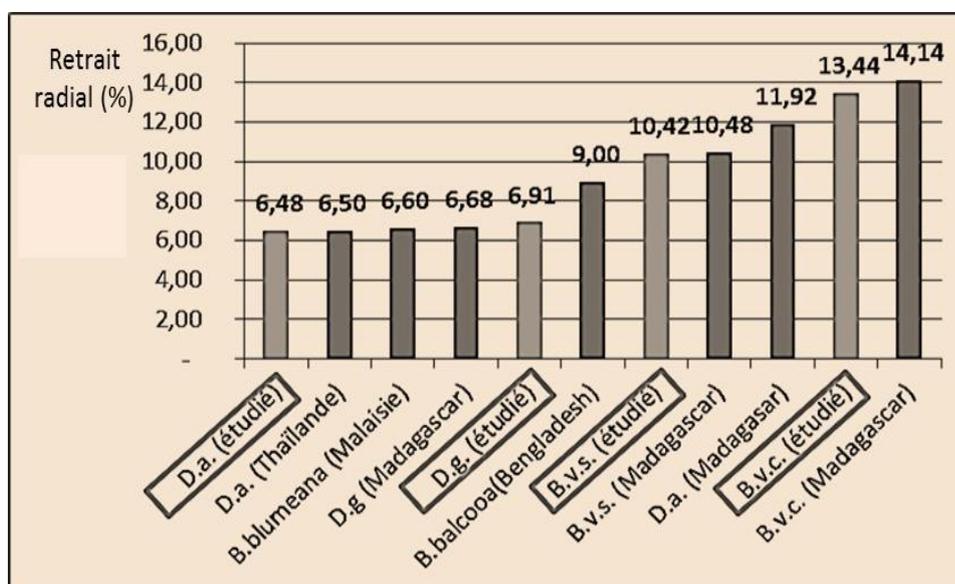
Quant aux retraits, ils varient également suivant l'espèce et le pays. Pour le cas des retraits tangentiels, la différence est très marquée entre les espèces *Dendrocalamus asper* malgré que les échantillons proviennent du même pays (**Figure 26**). C'est le cas de *Dendrocalamus asper* étudié par Ramananantoandro et al. (2013) et de *Dendrocalamus asper* étudié dans cette recherche. Par contre, *Dendrocalamus giganteus* semble avoir un retrait tangentiel voisin avec la même espèce étudiée par Ramananantoandro et al. (2013) (**Figure 26**).



D.a. : *Dendrocalamus asper* / D.g. : *Dendrocalamus giganteus* / B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / B.v.s : *Bambusa vulgaris striata* / B. : *Bambusa*

Figure 26 : Comparaison du retrait tangentiel des bambous étudiés avec celui de la bibliographie

Quant au retrait radial, les différences entre les mêmes espèces ne sont pas évidentes qu'ils proviennent ou non des mêmes pays. A titre d'illustration, pour *Dendrocalamus asper* étudié et *Dendrocalamus asper* en provenance de Thaïlande, leur différence se situe à 10^{-2} près, ce qui est supposée négligeable (Figure 27).

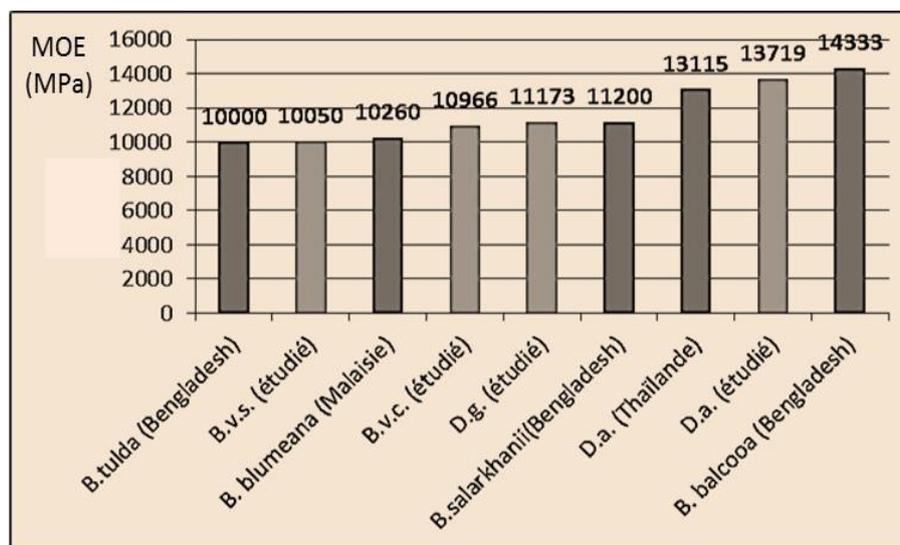


D.a. : *Dendrocalamus asper* / D.g. : *Dendrocalamus giganteus* / B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / B.v.s : *Bambusa vulgaris striata* / B. : *Bambusa*

Figure 27 : Comparaison du retrait radial des bambous étudiés avec celui de la bibliographie

☛ Propriétés mécaniques

En comparant les MOE des bambous étudiés avec ceux des autres bambous (déjà étudiés à l'échelle nationale ou à l'échelle internationale), une différence de valeur est également observée. Toutefois, quelles que soient l'espèce et l'origine de ces autres bambous, ils appartiennent à la classe des bois à MOE moyen puisqu'ils possèdent un MOE comprise entre 10 000 MPa et 15 000 MPa (**Figure 28**). Ce qui est similaire aux résultats de la présente étude. Cela signifie que les bambous étudiés dans cette recherche sont aussi rigides que les autres bambous déjà caractérisés antérieurement par des chercheurs. *Bambusa Blumeana* de Malaisie (MOE= 10 260 MPa) étudié par Latif et al; (1993) est l'espèce la plus proche de *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* étudiés (**Figure 28**). Par ailleurs, *Dendrocalamus asper* de Thaïlande étudié par Pakhkeree (1997) avec un MOE de 13 115 MPa possède le MOE le plus proche de *Dendrocalamus asper* étudié dont le MOE est de 13719 MPa (**Figure 28**). Quant à *Dendrocalamus giganteus*, l'espèce qui a un MOE le plus proche est *Bambusa salarkhanii* de Bangladesh (MOE=11200 MPa selon Kamruzzaman et al; en 2007) (**Figure 28**).

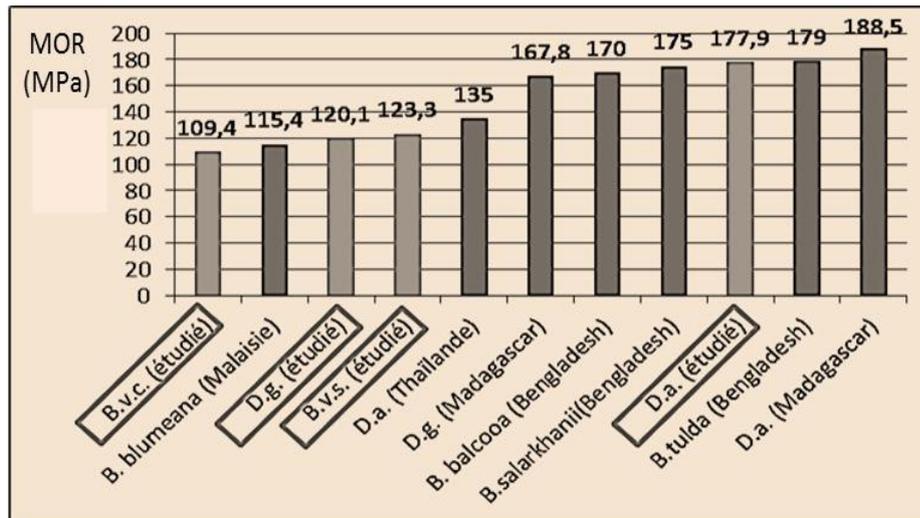


D.a. :*Dendrocalamus asper* / D.g. :*Dendrocalamus giganteus* / B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda*/B.v.s. :*Bambusa vulgaris striata*/B. :*Bambusa*

Figure 28 : Comparaison des valeurs du MOE des bambous étudiés avec ceux de la bibliographie

Pour le cas du MOR, ils varient également suivant l'espèce et le pays, mais ils sont en général supérieurs à 85 MPa (**Figure 29**). Ce qui signifie que les bambous étudiés résistent aussi bien à la rupture que les autres bambous déjà caractérisés par des chercheurs.

Bambusa Blumeana de Malaisie (MOR= 115,4 MPa) étudié par Latif et al; (1993) est l'espèce la plus proche de *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Dendrocalamus giganteus* étudiés (**Figure 29**). Par contre *Dendrocalamus asper* étudié semble avoir un MOR voisin de *Bambusa salarkhanii* et *Bambusa tulda* de Bangladesh dont leurs MOR sont respectivement de 175 MPa et 179MPa selon Kamruzzaman et al en 2007 (**Figure 29**).



D.a. : *Dendrocalamus asper* / *D.g.* : *Dendrocalamus giganteus* / *B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *B.v.s* : *Bambusa vulgaris striata* / *B.* : *Bambusa*

Figure 29 : Comparaison des valeurs du MOR trouvés avec ceux de la bibliographie

Bref, malgré que les bambous de Madagascar étudiés n'aient pas de valeurs de MOE et de MOR similaires à ceux trouvés par ces chercheurs, ils ont quand même les mêmes performances mécaniques. Ces performances sont suffisantes pour conférer à ces espèces étudiées une résistance à la flexion ainsi qu'à la rupture. Une possible explication des différences de valeurs trouvées peut être l'âge des bambous. L'âge n'est pas précisé alors qu'il a un effet significatif sur les propriétés physico-mécaniques des bambous (Rajonalison, 2012, Rajohnson, 2012).

✿ Durabilité naturelle

Les résultats concernant la durabilité naturelle obtenus par la présente étude ne sont pas en général conformes à ceux de la bibliographie. L'étude a ressorti que la durabilité naturelle des bambous étudiés appartient à la classe 2 ou à la classe 3, c'est-à-dire ils sont soit moyennement durables, soit durables. Ashaari et Mamat (2000) qui ont étudié la durabilité naturelle de *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris striata*, et *Gigantochloa wravi* poussant en Malaisie ont par contre trouvé que la durabilité naturelle de ces bambous appartient à la classe 4 : classe durable ou à la classe 5 : classe non durable. En outre, Wahab et al ; (2004), qui ont étudié la durabilité naturelle de *Gigantochloa scortechinii* provenant de Malaisie ont déduit que la durabilité naturelle de cette espèce appartient à la classe 5 : classe non durable. La raison qui pourrait expliquer cette différence est que dans cette présente recherche, le test a été réalisé dans un milieu qui ne présente pas les mêmes conditions que celles de la bibliographie. Les risques de détérioration encourus par les bambous testés dans cette recherche semblent être plus faibles que celles encourus par les bambous testés par ces chercheurs, ce qui pourrait expliquer la différence de leur durabilité naturelle.

4-1-1-4. Vérification des hypothèses

☛ Cas de l'hypothèse 1

La première hypothèse selon laquelle « *les bambous malgaches présentent des propriétés physiques adéquates pour l'ameublement* » est subdivisée en deux sous hypothèses.

Sous-hypothèse 11 : *les bambous malgaches possèdent une densité équivalente à celle des bois appropriés pour l'ameublement.*

La plupart des bois malgaches qui sont appréciés actuellement pour la fabrication des meubles ont au moins une densité égale à 0,5. D'après les résultats de l'étude, les espèces de bambous étudiés possèdent une densité appartenant à une fourchette de 0,56 à 0,76. Ce qui dépasse la valeur limite ($D_{lim}=0,5$) au-dessous de laquelle elles ne peuvent pas avoir la potentialité à être exploitées en ameublement (*Tableau 7*)

Tableau 7 : Comparaison des densités obtenues après la recherche et la densité limite de référence

Espèce	Densité obtenu après la recherche (D_o)	Densité limite (D_{lim})	Comparaisons (D_o) et (D_{lim})
<i>Da</i>	0,76	0,5	$D_o > D_{lim}$
<i>Dg</i>	0,68	0,5	$D_o > D_{lim}$
<i>Bvc</i>	0,56	0,5	$D_o > D_{lim}$
<i>Bvs</i>	0,62	0,5	$D_o > D_{lim}$

Da : Dendrocalamus asper / Dg : Dendrocalamus giganteus / Bvc : Bambusa vulgaris constrictinoda / Bvs : Bambusa vulgaris striata

De ce fait, la sous hypothèse 1 stipulant que *les bambous malgaches possèdent une densité équivalente à celle des bois appropriés pour l'ameublement* est vérifiée pour les quatre espèces étudiées.

Sous-hypothèse 12 : *les bambous malgaches possèdent une stabilité dimensionnelle*

La densité qui est au moins légère n'est pas suffisante pour qualifier que les bambous étudiés possèdent des caractéristiques adéquates pour l'ameublement. Il faut aussi qu'il a une bonne stabilité dimensionnelle, c'est-à-dire ils devraient avoir un retrait faible ($R_L < 1\%$) sur le plan longitudinal ainsi qu'un retrait faible à moyen sur le plan radial et tangentiel ($3,8\% < R_R < 6,5\%$ et $6,5\% < R_T < 10\%$). L'étude a ressorti que :

☞ *Dendrocalamus asper* a un retrait longitudinal et tangentiel faible ($R_L < 1\%$ et $R_T < 6,5\%$) mais un retrait radial moyen ($R_R > 6,5\%$)

☞ *Dendrocalamus giganteus* ont un retrait longitudinal et tangentiel faible ($R_L < 1\%$ et $R_T < 6,5\%$) mais un retrait radial fort ($R_R > 6,5\%$)

☞ *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* ont un retrait longitudinal et faible ($R_L < 1\%$ et $R_T < 6,5\%$) mais un retrait radial et tangentiel fort ($R_R > 6,5\%$, $R_T > 10\%$)

Tableau 8 : Comparaison des retraits obtenus après la recherche et les retraits limite de référence

Espèces	Retrais obtenus après la recherche			Retraits de référence acceptable		
	RL	RT	RR	RL	RT	RR
<i>Da</i>	faible	faible	moyen	Faible	Faible à moyen	Faible à moyen
<i>Dg</i>	faible	faible	fort	Faible	Faible à moyen	Faible à moyen
<i>Bvc</i>	faible	fort	fort	Faible	Faible à moyen	Faible à moyen
<i>Bvs</i>	faible	fort	fort	Faible	Faible à moyen	Faible à moyen

Da : *Dendrocalamus asper* / *Dg* : *Dendrocalamus giganteus* / *Bvc* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* /
Bvs : *Bambusa vulgaris striata*

D'après le tableau 8, seul *Dendrocalamus asper* possède une bonne stabilité dimensionnelle lorsque son humidité varie. La sous-hypothèse 2 qui suppose que « *les bambous malgaches possèdent une stabilité dimensionnelle* » est donc partiellement vérifiée. Elle est vérifiée pour *Dendrocalamus asper* mais ne l'est pas pour *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*.

Ces résultats conduisent à déduire que l'hypothèse 1 est **partiellement vérifiée**. Elle est vérifiée pour le cas de l'espèce *Dendrocalamus asper*, vue que celle-ci a effectivement une densité et des retraits adéquats pour la fabrication des meubles mais elle n'est pas vérifiée pour le cas de *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* en raison de leur rétractabilité dimensionnel élevé.

☛ Cas de l'hypothèse 2

La deuxième hypothèse stipule que « *les bambous malgaches sont aptes pour des utilisations nécessitant de bonnes propriétés mécaniques* ». Elle est divisée en deux sous-hypothèses.

La sous-hypothèse 2.1 suppose que « *les bambous malgaches possèdent une bonne résistance à la flexion* ».

L'étude a révélé que les bambous étudiés possèdent des modules d'élasticité moyens c'est-à-dire supérieurs à 10 000 MPa. Cela signifie qu'ils ont des modules d'élasticité dépassant la valeur limite de référence ($MOE_{lim}=10000MPa$), valeur nécessaire qu'un matériau devrait avoir pour qu'il ait une bonne résistance à la flexion (*tableau 9*).

Tableau 9 : Comparaison des MOE obtenus après la recherche et le MOE limite de référence

Espèce	MOE obtenu après la recherche (MOE _o)	MOE limite (MOE _{lim})	Comparaisons (MOE _o) et (MOE _{lim})
<i>Da</i>	13719	10000	MOE_o > MOE_{lim}
<i>Dg</i>	11173	10000	MOE_o > MOE_{lim}
<i>Bvc</i>	10050	10000	MOE_o > MOE_{lim}
<i>Bvs</i>	10966	10000	MOE_o > MOE_{lim}

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bvc : Bambusa vulgaris constrictinoda/ Bvs :Bambusa vulgaris striata

Par conséquent, la première sous-hypothèse stipulant que « les bambous malgaches possèdent une bonne résistance à la flexion » est vérifiée pour les quatre espèces étudiées.

La sous-hypothèse 2.2 suppose que « les bambous malgaches ne se rompent pas facilement »

Pour ne pas se rompre facilement, un matériau devrait au moins avoir un MOR semblable à celui des bois à module de rupture moyen (MOR au moins égale 85 MPa). Or, les espèces de bambous étudiés dans cette recherche possèdent une valeur nettement supérieure à cette valeur (Tableau 10).

Tableau 10 : Comparaison des MOR obtenus après la recherche et le MOR limite de référence

Espèce	MOR obtenu après la recherche (MOR _o)	MOR limite (MOR _{lim})	Comparaisons (MOR _o) et (MOR _{lim})
<i>Da</i>	177	85	MOR_o > MOR_{lim}
<i>Dg</i>	120	85	MOR_o > MOR_{lim}
<i>Bvc</i>	109	85	MOR_o > MOR_{lim}
<i>Bvs</i>	123	85	MOR_o > MOR_{lim}

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bvc : Bambusa vulgaris constrictinoda/ Bvs :Bambusa vulgaris striata

Cela conduit à déduire que la deuxième la sous-hypothèse2 énonçant que « les bambous malgaches ne se rompent pas facilement » est vérifiée pour les quatre espèces.

La possibilité d'utiliser les bambous de Madagascar étudiés dans des **applications nécessitant de bonnes propriétés mécaniques** (charpenterie, parqueterie, menuiserie, construction, fabrication des poteaux, des bardeaux et des ponts) est donc justifiée pour les espèces étudiées. Donc, l'hypothèse 2 est **totalemtent vérifiée pour les quatre espèces étudiées.**

☉ Cas de l'hypothèse 3

La troisième hypothèse énonce que « *les bambous malgaches ne possèdent pas les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4 (contact permanent avec le sol ou d'une source d'humidité et soumission à l'action des intempéries)* ». Le test de durabilité en service a révélé les bambous étudiés ont un indice de conservation supérieur à l'indice de conservation limite de référence au-dessous duquel le matériau ne présente pas les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisé sous la classe d'emploi 4 (**Tableau 12**). Ces bambous étudiés ont également une perte de masse moins élevée que celle de la limite (**Tableau 11**).

Tableau 11: Comparaison de l'IC et de Δm obtenus après la recherche avec l'IC et la Δm limite de référence

Espèce	IC obtenu après le test	IC limite	Comparaison IC ob et IC lim	Δm obtenu après le test	Δm limite	Comparaison Δm ob et Δm lim
Da	77,86%	50%	IC ob > IC lim	8,32%	20%	Δm ob < Δm lim
Dg	77,16%	50%	IC ob > IC lim	7,32%	20%	Δm ob < Δm lim
Bc	73,69%	50%	IC ob > IC lim	11,09%	20%	Δm ob < Δm lim
Bs	73,45	50%	IC ob > IC lim	11,20%	20%	Δm ob < Δm lim

Da : Dendrocalamus asper / Dg : Dendrocalamus giganteus / Bvc : Bambusa vulgaris constrictinoda / Bs : Bambusa vulgaris striata / IC : Indice de Conservation / Δm : Perte de masse

Ces indices de conservation et ces pertes de masse permettent de classer la durabilité naturelle des bambous étudiés dans **la classe de durabilité 2 ou la classe de durabilité 3**

Les bambous malgaches possèdent donc les potentialités technologiques nécessaires pour être utilisés sous les conditions d'emploi de classe 4 puisque leur durabilité naturelle appartient à la classe 2 ou à la classe 3. De ce fait, l'hypothèse 3 **n'est pas vérifiée** pour les quatre espèces

4- 1-2. Discussions sur l'approche méthodologique

4- 1-2-1. Collecte

Quatre espèces poussant dans la région orientale malgache ont été collectées pour vérifier les hypothèses de recherche. L'étude appliquée sur ces quatre espèces de bambou permet d'avoir des résultats plus variés par rapport à celle appliquée à une seule espèce. Toutefois, vue l'abondance des espèces de bambou recensées à Madagascar (40 espèces selon Bystriakova et al. en 2004), le nombre 4 demeure encore minoritaire. Ces quatre espèces de bambous étudiés n'arrivent donc encore pas à représenter la totalité des espèces existantes à Madagascar. De ce fait, puisque beaucoup d'espèces malgaches n'ont pas été représentées, la tendance générale des propriétés technologiques des bambous malgaches n'ont pas été entièrement reflétées. Néanmoins, les espèces étudiées ici sont les plus

abondantes et les plus utilisées par les habitants locaux et éventuellement par certaines industries locales employant le bambou dans la région orientale malgache.

4- 1-2-2. Production des éprouvettes

Dans cette étude, 45 éprouvettes sélectionnées d'une manière aléatoire, au niveau des 3 parties du chaume (Supérieure, moyenne et inférieure) de chaque espèce étudiée pour effectuer la caractérisation d'une propriété technologique. Ce nombre d'éprouvettes est suffisant pour estimer la valeur de la propriété étudiée de façon adéquate car selon Labrousse (1977) ; Colbert (2011), un nombre d'échantillon supérieur à trente (30), choisi d'une manière aléatoire, est requis afin d'assurer la représentativité. Les résultats obtenus sur les propriétés technologiques étudiées dans cette recherche sont donc fiables.

4- 1-2-3. Choix des propriétés à étudier

Trois types de propriétés ont été étudiés dans cette recherche. Il s'agit des propriétés physiques, des propriétés mécaniques, et de la durabilité naturelle. Ce sont des propriétés fondamentales auxquelles dépendent directement les qualités technologiques des bambous étudiés. Il aurait été intéressant de compléter l'étude par l'étude d'autres propriétés telles que les propriétés chimiques, anatomiques et énergétiques. Ces propriétés constituent, selon Liese (1985) , Espiloy (1987) ,Latif et al. (1992) et Li (2004) des indicateurs potentiels permettant d'apprécier la qualité des produits issus des bambous et de confirmer leurs valorisations potentielles en tant que « bois d'énergie ».

4- 1-2-4. Expérimentations

Pour mesurer les propriétés technologiques, des normes qui fixent les conditions d'expérimentations ont été établies au niveau international. Les expérimentations devraient être effectuées conformément à ces normes pour qu'elles puissent donner des résultats ayant une valeur comparative. Dans cette étude, les différentes mesures des paramètres physico-mécaniques ont été réalisées conformément à ces normes internationales telles que NF B51-005 (AFNOR, 1985) pour la densité, NF B 51-006 (AFNOR, 1985) pour les retraits, et NF EN ISO 178 pour MOE et MOR. Ce sont les mêmes normes que ceux qui ont été suivies pour de nombreuses études tant nationales qu'internationales (Latif, 1992 ; Gerard et al., 1998 ; Kamruzzaman et Bose, 2007 ; Razak et al. 2010 ; Wakchaure et Kute, 2012 ; Rajonshon, 2012 ; Rajaonalison, 2012 ; Ramanantoandro et al.,2013) , pour mesurer les propriétés physico-mécaniques des matériaux tels que le bois et le bambou. Les résultats sur les propriétés physico-mécaniques des bambous obtenus dans cette étude sont donc comparables à ceux des études antérieures (sur les bambous ou sur les bois) effectuées tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale.

Concernant le test de durabilité naturelle des bambous, il n'existe pas encore jusqu'actuellement des normes standards qui fixent les conditions d'expérimentations. Généralement, pour effectuer le test chaque auteur utilise son propre dispositif d'expérimentation. Wahab et al.

(2004), Ashaari et Mamat (2000) ont utilisé par exemple des échantillons de mêmes formats et ont réalisé le test pendant 6 mois, mais le mode d'installation de ces échantillons sur le terrain d'expérimentation ainsi que les caractéristiques physiques du terrain (climat, type de terrain) où les échantillons ont été installés ne sont pas similaires. Wahab et al. (2004) ont effectué le test dans un terrain agricole durant la saison sèche. Deux tiers de la longueur totale des échantillons ont été enfoncés dans le sol et l'écartement entre les échantillons a été de 20 cm. Ashaari et Mamat (2000), ont par contre réalisé leur test dans un terrain forestier durant la saison humide. L'écartement entre les échantillons a été de 30 cm et seulement la moitié de la longueur totale des échantillons a été enfoncée dans le sol. D'autres auteurs tels que Beauchene (1994) et Edlund et al ; (2006) ont effectué leur test pendant 6 mois en utilisant des échantillons ayant des formats différents de celui de Wahab et al. (2004); et Ashaari et Mamat (2000). Mais, ils ne précisent pas l'écartement entre les échantillons ainsi que la longueur qui doit être enfoncée dans le sol. Selon ces auteurs, il faudrait seulement que l'écartement et la longueur enfoncée dans le sol soient similaires pour tous les échantillons installés. En outre, contrairement à Beauchêne (1994) et Edlund et al ; (2006), les chercheurs Wahab (2004), Ashaari et Mamat (2000) ne donnent aucun détail concernant les modalités d'appréciations de la durabilité naturelle après le test, ils exposent uniquement les résultats. Il a donc fallu choisir et associer certaines de ces méthodes énoncées précédemment pour la réalisation du test. De ce fait, les méthodes utilisées dans cette étude pour évaluer la durabilité naturelle n'est pas une méthode standard mais un agencement de méthodes qui a été choisie de façon à ce qu'elle puisse d'une part convenir au mieux au nombre et à la forme des échantillons préparés et d'autre part faciliter le mode d'appréciation de l'état final de ceux-ci après le test.

4- 1-2-5. Choix du terrain pour effectuer le test

Le test de durabilité naturelle dure 6 mois. Durant ces six mois d'expérimentations, les échantillons devraient être protégés de tous types de pressions d'origine anthropique car cela va nuire à l'expérimentation. Comme la maîtrise de ces types de pressions est difficile si le test est mené en milieu naturel ou sous forêts ou encore sur un terrain agricole, l'expérimentation a été réalisée sur un terrain non forestier qui se situe sur les hautes terres. Les conditions d'expérimentation auxquelles les échantillons ont été soumis ne sont pas donc similaires à ceux de Wahab et al. (2004) qui ont utilisé un terrain agricole pour effectuer le test ; et Ashaari et Mamat (2000) qui ont effectué le test sur un terrain forestier. Ce qui signifie que les risques de détérioration courus par les bambous testés dans cette recherche ne sont pas les mêmes que ceux courus par les bambous testés par ces chercheurs. De ce fait, les résultats donnés par cette recherche peuvent encore changer si par exemple on avait effectué le test dans un sol forestier ou sur un autre type de sol.

4- 1-2-6. Durabilité naturelle et classe d'emploi

La durabilité naturelle caractérisée dans cette étude est la durabilité naturelle sous la classe d'emploi numéro 4, c'est-à-dire la durabilité naturelle des bambous placés au contact du sol ou d'une

source d'humidité et exposés aux intempéries. Elle constitue un indicateur satisfaisant et performant pour évaluer la durée de service des bambous étudiés. Cependant, cette durabilité naturelle n'est valable que pour la classe d'emploi 4 car selon Fougerousse, (1960) la durabilité naturelle varie suivant la classe d'emploi à laquelle le matériau est utilisé.

4- 2. RECOMMANDATIONS

4- 2-1. Sur l'approche méthodologique

En raison des différentes contraintes rencontrées au cours de la recherche, quelques recommandations méthodologiques peuvent être proposées.

☞ **Pour les travaux de collecte**, puisque *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata* ne sont pas les seules espèces de bambous présentes à Madagascar, il est suggéré de multiplier le nombre d'espèces à collecter afin de mieux appréhender les potentialités technologiques des bambous malgaches. Une des espèces qui méritent d'être étudiées est le *Valiha diffusa* et *Phyllostachys pubescens* (espèces endémiques, très abondantes et également très utilisées dans la région orientale). Par ailleurs, il est également recommandé de varier le lieu de collecte et de considérer les facteurs externes tels que le sol et le climat de la localité où les espèces sont collectées. La considération de ces paramètres constituerait un atout pour l'interprétation des résultats.

☞ Pour le **choix des propriétés à étudier**, dans l'objectif d'apporter plus de précisions aux résultats, d'apprécier la qualité des produits issus des bambous et de confirmer leurs valorisations potentielles, l'acquisition des données sur les propriétés énergétiques, chimiques, et anatomiques serait intéressante.

☞ Pour le **test de durabilité naturelle**, il serait intéressant pour bien évaluer la durabilité naturelle des bambous, de refaire le test sur un terrain forestier ou bien sur un terrain agricole. En parallèle, vu que la classe d'emploi 4 n'est pas la seule classe d'emploi à laquelle les bambous peuvent être employés, une étude de la durabilité naturelle sous les autres classes d'emploi devrait être également menée.

En tenant compte de ces recommandations méthodologiques voilà quelques perspectives de recherches qui méritent d'être menées :

☞ Etude des caractéristiques technologiques des autres espèces de bambou poussant à Madagascar.

☞ Etude de l'effet des facteurs lieu, climat, sol sur les propriétés technologiques des bambous

☞ Caractérisation des propriétés anatomiques, chimiques et énergétiques et réalisation d'un nouveau test de durabilité naturelle sous d'autres types de terrain et d'autres classes d'emploi.

4- 2-1. Sur les résultats

En se référant à sa propriété physique, *Dendrocalamus asper* présente la potentialité nécessaire à être employé comme substitut du matériau bois dans **l'ameublement**. Le premier domaine à recommander pour *Dendrocalamus asper* est donc l'ameublement. Il pourrait également intervenir dans **la menuiserie**, ou bien dans **l'ébénisterie** puisqu'il possède une propriété physique équivalente de celle des bois d'œuvre comme *Dalbergia baroni* (Voamboana). En outre, compte tenu de ses résistances mécaniques satisfaisantes, il peut convenir pour des usages variés tels que la **parqueterie, la charpenterie, , la construction, la fabrication des panneaux, et des ouvrages de génie civil comme les ponts et les poutres**. D'un autre côté, en tenant compte de sa durabilité naturelle *Dendrocalamus asper* possède une potentialité technologique nécessaire à être employé sans traitement aussi bien à **l'intérieur qu'à l'extérieur**.

Dendrocalamus giganteus est un matériau mi-lourd, ayant une meilleure propriété mécanique et une bonne durabilité naturelle mais peu stable. L'essence de bois qui présente une propriété la plus proche est *Eucalyptus robusta* (Kininina vavy). Cette espèce est surtout appréciée dans nombreux domaines de l'industrie du bois tels que la menuiserie, la parqueterie, la charpenterie, le charbonnage, la fabrication des panneaux, de poteaux et des papiers (Annexe 11). *Dendrocalamus giganteus* peut donc au moins avoir les mêmes utilisations que *Eucalyptus robusta* puisqu'il possède des propriétés technologiques similaires. Ainsi, *Dendrocalamus giganteus* pourraient intervenir dans **la menuiserie, la parqueterie, la charpenterie, le charbonnage, la fabrication des panneaux, des poteaux et des papiers**. Il peut être aussi **employé à l'extérieur sans traitement** compte tenu de sa bonne durabilité naturelle.

Quant à *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*, leur instabilité en service limite la possibilité d'utilisation de ces deux espèces dans l'ameublement. Par contre, vues leurs densités, ils constituent une bonne matière première pour la fabrication **des papier et des panneaux**. En outre, compte tenu de ses caractéristiques mécaniques satisfaisantes l'utilisation du *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* peuvent convenir pour des usages variés : **parquet, charpente, poteaux**. Leur **utilisation à l'extérieur** est également **possible** en se référant à leur durabilité en service. Mais elles doivent être protégées par l'application préalable d'un traitement de préservation efficace pour leur conférer une durabilité suffisante.

Tableau 12: Utilisations recommandées pour les quatre espèces

Espèce	Utilisations recommandées	Condition d'emploi	Préservation
<i>Dendrocalamus asper</i>	ameublement, menuiserie, ébénisterie, parqueterie, charpenterie, construction, fabrication des panneaux, des ponts et des poutres	Extérieur/ Intérieur	Non utile
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	menuiserie, parqueterie, charpenterie, charbonnage, fabrication des panneaux, de poteaux et des papiers	Extérieur/ Intérieur	Non utile
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda et Bambusa vulgaris striata</i>	fabrication des papiers, des panneaux dérivés, des parquets, des charpentes, et des poteaux	Extérieur/ Intérieur	Utile

Les bambous possèdent donc de bonnes potentialités technologiques, malheureusement la filière bambou n'est pas suffisamment développée à Madagascar, pas autant que le bois. En réponse à cette difficulté à se développer, des recommandations pratiques sont proposées. Elles sont organisées autour d'un objectif global. Il s'agit de « *promouvoir la filière bambou à Madagascar* ». Pour atteindre cet objectif global quatre objectifs spécifiques sont émis :

OS1 : Evaluer le potentiel d'approvisionnement en matière première :

A Madagascar, des études ont été initiées par Bystriakova et al. (2004) pour évaluer l'état des ressources en bambou existante poussant dans la Grande Île. Mais ces études ne donnent pas suffisamment d'informations sur le potentiel d'approvisionnement en bambous à Madagascar et les données ne sont pas mises à jour jusqu'à l'heure actuelle. Cependant, dans le but de la promotion de la filière, il est important d'avoir des informations suffisantes et mises à jour sur l'état des ressources en bambous susceptibles d'être exploités, car l'acquisition de ces informations permettra d'élaborer un schéma d'aménagement permettant d'exploiter durablement et rationnellement les bambous malgaches. Il convient donc en premier lieu de réaliser un inventaire des bambous malgaches.

OS2 : Améliorer la production et les techniques de transformations

Une fois que le potentiel d'approvisionnement en matières premières connu, il faut essayer d'améliorer la production. Pour ce faire, il est recommandé tout d'abord de déterminer les besoins des consommateurs locaux et internationaux en bambous. Ensuite, il faut penser à faire l'adéquation entre l'offre et la demande, c'est-à-dire que si par exemple l'offre est inférieure à la demande, la sylviculture de bambou est à prévoir. Par ailleurs, dans une perspective de promouvoir la filière bambou à Madagascar, il serait intéressant d'améliorer les techniques de transformation des bambous. Un

renforcement de capacité des personnels techniques responsables de la transformation est donc nécessaire.

OS3 : Inciter les consommateurs à utiliser les produits en bambou

Pour attirer l'attention des consommateurs, il faut qu'ils soient informés sur les potentialités (esthétique, technologique) des bambous. Il est donc recommandé d'organiser des séances de sensibilisations.

OS4 : Compléter les recherches sur les vertus des bambous

Vu que les recherches menées sur les bambous malgaches sont encore insuffisantes, nombreux sont les vertus des bambous qui demeurent encore inconnues jusqu'à l'heure actuelle. De ce fait, dans un objectif de promouvoir la filière bambou, il est nécessaire de déterminer ces vertus via l'augmentation des efforts en matière de recherche en technologie du bois.



Tableau 13: Recommandations pratiques sous-forme de cadre logique

OBJECTIF GLOBAL	OBJECTIFS SPECIFIQUES	RA	ACTIVITES	SOUS-ACTIVITES	ECHEANCE	RESPONSABLE	IOV	SOURCE DE VERIFICATION
Promouvoir la filière bambou à Madagascar	OS1 : Evaluer le potentiel d'approvisionnement en matière première	Etat des ressources en bambou connu à 90 % jusqu'en 2015	Inventorier les ressources en bambous existantes à Madagascar	Inventaire des bambous par la télédétection (Système d'information géographique)	2014	Etudiant/chercheur	Données d'inventaires publiés	Livre de mémoire ou publications scientifiques sur les bambous.
				Enquête et étude bibliographiques au niveau des centres de documentations (bibliothèques / INSTAT)	2015	Etudiant/chercheur	Données d'inventaires publiés	Livre de mémoire ou publications scientifiques sur les bambous
Promouvoir la filière bambou à Madagascar	OS2 : Améliorer la production et les techniques de transformations	Production et techniques de transformation améliorées à 90% Jusqu'en 2020	Déterminer les besoins locaux et internationaux en matières premières	Enquête et étude bibliographiques au niveau des centres de documentations (bibliothèques / INSTAT)	2015	Promoteur d'un projet concernant le bambou	Une base de données relatant les besoins locaux et internationaux en bambous élaboré	Rapport d'activité
				-Formation des personnels techniques -Organisation des personnels techniques	2015	-Spécialiste en technologie du bois et en transformations des produits ligneux et non ligneux -Promoteur d'un projet	Des personnels formés et organisés	Rapport d'activité



Promouvoir la filière bambou à Madagascar	OS3 : Inciter les consommateurs à utiliser les produits en bambou	La moitié des consommateurs de bois incités à utiliser les produits en bambous jusqu'en 2018	<p>Informer les consommateurs sur les potentialités (esthétiques, technologiques) des bambous</p> <ul style="list-style-type: none"> -Organisation de conférences ou d'ateliers sur les bambous -Confection des supports publicitaires -Publication les produits sur un site internet 	2018	<ul style="list-style-type: none"> -Organisme privé ou public intéressé par la filière - Promoteur d'un projet concernant le bambou 	<ul style="list-style-type: none"> -Des conférences et des ateliers effectués ; -Des supports publicitaires conçus et posés ; -Des articles en bambous publiés sur internet 	<ul style="list-style-type: none"> -Rapport d'activité de l'organisme privé ou public -Rapport d'activité projet 	
	OS4 : Compléter les recherches sur les vertus des bambous	Les qualités des bambous connues à 90% jusqu'en 2020	<p>Déterminer des sujets de recherche qui méritent d'être explorés pour un meilleur développement de la filière</p>	<ul style="list-style-type: none"> -recherche d'idées par une étude bibliographique -Exploration des tendances actuelles de recherche -Consultation les organismes spécialisés en la matière 	2018	<ul style="list-style-type: none"> -chercheurs -Centre de recherche et département universitaire 	<ul style="list-style-type: none"> -Des thèmes de recherches élaborés 	Liste des recherches effectuées au sein des centres de recherches ou bien au sein du département universitaire
			<ul style="list-style-type: none"> -Lancer une recherche sur les sujets trouvés 	<ul style="list-style-type: none"> -Etablissement un plan de recherche -Identification des objets de recherches -Choix de la méthodologie adéquate aux sujets 	2020	<ul style="list-style-type: none"> -chercheurs -Centre de recherche et département universitaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Des Recherches lancées 	Protocole d'accord entre le chercheur et la centre de recherche





CONCLUSION

Tout au long de cette étude, plusieurs travaux ont été effectués pour tenter de répondre à la question de départ : *quels sont les types d'utilisations adéquats aux propriétés technologiques des bambous malgaches?* Ces travaux ont débuté par la récolte des chaumes de quatre espèces échantillons (*Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, et *Bambusa vulgaris striata*) et se sont terminés à la rédaction de ce présent rapport en passant par les préparations, les mesures des échantillons, la réalisation de tests sur terrain et au laboratoire, le traitement et l'analyse des données obtenues sans oublier les recherches bibliographiques. En se basant sur les différents points abordés, les éléments de réponse suivants peuvent être structurés :

Malgré leur jeune âge (3 ans), les quatre espèces de bambou étudiées possèdent des propriétés physico-mécaniques assimilables au bois, voire meilleures que certaines espèces ligneuses. Elles peuvent être valorisées au même titre que le bois et constituer un matériau alternatif au bois. D'une manière plus approfondie, les bambous malgaches ne présentent pas tous, des propriétés physiques adéquates pour l'ameublement. En effet, l'étude a pu ressortir que, parmi les quatre espèces étudiées, trois espèces (*Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, et *Bambusa vulgaris striata*) ne possèdent pas les potentialités physiques adéquates pour l'ameublement en raison de leurs retraits assez élevés sur le plan tangentiel et radial. Par contre, l'étude a montré que les espèces de bambous malgaches ont de bonnes propriétés mécaniques qui leur confèrent une bonne résistance à la déformation ainsi qu'à la rupture. De ce fait, il est déduit que les espèces de bambous malgaches sont aptes pour des utilisations nécessitant des bonnes propriétés mécaniques telles que la charpenterie, la parqueterie, la menuiserie, la construction, et la fabrication des poteaux, et des ponts. Par ailleurs, les espèces étudiées sont jugées comme durables ou moyennement durables après un test de durabilité naturelle sous la classe d'emploi 4 qui a duré six mois. Ce qui signifie que les bambous malgaches présentent la potentialité technologique d'être utilisés sans traitement sous la classe d'emploi 4. L'acquisition de ces résultats permet ainsi, d'identifier les domaines d'utilisations qui conviennent réellement aux espèces de bambous malgaches. Il s'agit de **l'ameublement, la menuiserie, l'ébénisterie, la parqueterie, la charpenterie, , la construction, la fabrication des panneaux, et des ouvrages de génie civil comme les ponts et les poutres** pour *Dendrocalamus asper*, **la menuiserie, la parqueterie, la charpenterie, le charbonnage, la fabrication des panneaux, de poteaux et des papiers** pour *Dendrocalamus giganteus*, de la fabrication de papier, de panneaux, de parquet , de **charpente, et de poteaux** pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata*.

L'intérêt de cette étude réside surtout dans la considération de la ressource bambou en tant que matériau alternatif au bois à Madagascar où la littérature ne dispose pas encore suffisamment de données. Par ailleurs en caractérisant les propriétés physico-mécaniques et la durabilité naturelle de *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, et de *Bambusa*

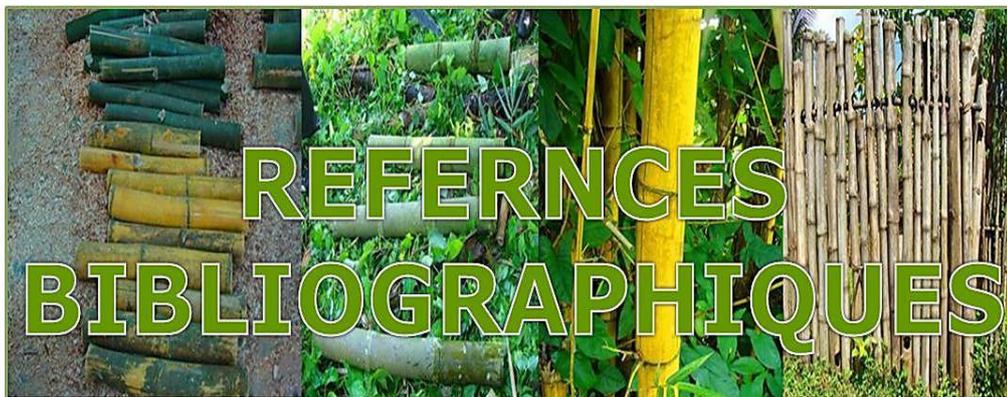


vulgaris striata, quatre espèces exploitées à l'échelle locale, cette étude contribue de manière modeste à la constitution d'une base de données sur ces ressources.

Toutefois quelques points sur la méthodologie peuvent être améliorés pour un affinage des résultats. Une augmentation du nombre d'espèces à étudier ; la considération du facteur lieu, climat, sol ; la réalisation d'études supplémentaires comme la caractérisation des propriétés anatomiques, chimiques et énergétiques ainsi qu'un nouveau test de durabilité naturelle sous d'autres types de terrain et d'autres classes d'emploi bambous effectuées en parallèle avec cette étude constitueraient autant d'améliorations qui peuvent être apportées à cette étude.

Néanmoins, ces résultats contribuent à compléter certaines lacunes de données concernant les propriétés technologiques des bambous malgaches, aident à la réflexion quant aux éventuelles utilisations/valorisations de chaque espèce selon les propriétés qu'elle offre et donnent des idées sur la manière qu'on devrait procéder pour promouvoir la filière bambou à Madagascar.

Pour terminer, nous pouvons dire que le bambou représente un atout majeur pour les pays émergents et en développement si les connaissances sont suffisantes. C'est pour cela qu'il convient de continuer les efforts en matière de recherche sur cette plante.





REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AFNOR (1985), Bois - Détermination de la masse volumique, NF B 51-005.
2. AFNOR (1985), Bois - Détermination du retrait, NF B 51-006.
3. Ahmad, A., (2004), *Modélisation de séchage sous vide discontinu du bois de chêne : Intégration de critère de qualité mécanique*, Thèse de Doctorat en science du bois, Université de BORDEAUX
4. Anwar, U., Zaidon, A., Hamdan, H., Mohd, Tamizi, M., (2005), "Physical and mechanical properties of *Gigantochloa scortechinii* bamboo splits and strips", *Journal of Tropical Forest Science* **17**: 1–12.
5. Ashaari, Z., Mamat, N. (2000), "Traditional treatment of Malaysian Bamboos: Resistance towards white rot *Fungus* and durability in service", *Pakistan Journal of Biological Sciences* **3**, **9**: 1453-1458
6. Base de données Ministère de l'Environnement et des Forêts, Madagascar, (2012)
7. Beauchene, J .,(1994), *Les agents de dégradation du bois*, CIRAD
8. Beraldo, A.L., (2001), *Accelerated and graveyard tests applied to bamboo strips treated by pressure and by immersion process*, School of Agricultural Engineering State University of Campinas, Brazil.
9. Bystriakova, N., Kapos, V., Lysenko, I., (2004), *Bamboo biodiversity*. UNEP-WCMC/INBAR
10. Charron, S., Jourez, B., Marchal, M., Hebert, J., (2003), "Etude comparative des caractéristiques physiques et mécaniques du bois des mélèzes d'Europe (*Larix decidua* Mill.), du Japon (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) et de leur hybride (*Larix eurolepis* Henry) Biotechnol" *Agron. Soc. Environ.* **7**, **1** : 5–16
11. Colbert, F. ,(2011), L'étude de marché, Séminaires de management culturel, récupéré sur <http://www.gestiondesarts.com/index.php?id=1224> consulté le 13 Juin 2013
12. Correal, D., Juan, F. , Arbelaez ,(2010)," Influence of age and height position on Colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties" *Maderas Ciencia y Tecnologia* **12**: 105–113
13. DVRN (2012), Données économiques des bambous malgaches.
14. Edlund, M.L., Evans, F., Henriksen, K. (2006)," Testing durability of treated wood according to EN 252 Interpretation of data from Nordic test fields", *Nordic Innovation Centre project number :04022*: 2- 13
15. Espiloy, Z.B., (1987)," Mechanical properties and anatomical relationship of some Philippines bamboos", in RAO A, DHANARAJAN G et SASTRY CB (eds), *International Workshop on Bamboo* **6**:14.



16. ESSA-Forêts., (2012). *Livre blanc de l'ESSA-Forêts*. Antananarivo: ESSA-Forêts.
17. FAO, (2010), *Evaluation des ressources forestières mondiales - Rapport principal*.
18. Fougerousse, M., (1960), « Durabilité naturelle du bois », *revue bois et forêts des tropiques*, **73** : 43-56
19. Gerard, J., Kouass, A ., Daigremont C., Detienne P., Fouquet, D., Vernay, M. (1998), *Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains*. Série FORAFRI document 11. CNRA Abidjan, CIRAD-Forêt
20. Gonda, L., (2012), *Intensification de la consommation du bambou : solution écologique ou exploitation inquiétante ?*, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du grade académique de master en sciences et gestion de l'environnement finalité gestion de l'environnement ENVI5G-M, Université libre de Bruxelles.
21. Grass Phylogeny Working Group, (2001), *Phylogeny and sub familial classification of grasses (poaceae)*, *Annals of the Missouri Botanical Garden* **88**
22. Gueneau, P ., Et Gueneau, D.,(1969), Propriétés physiques et mécaniques des bois malgaches, Centre technique Forestier tropical-Tananarive- Madagascar.
23. Hargot, B., (2009), "Etude, réalisation et analyse de poutres lamellé-collé en bambou", Mémoire de fin d'étude, Bruxelles, ECAM.
24. Hiziroglu, S., (2007), "Selected properties of medium density fiberboard (MDF) panels made from bamboo and rice straw", *Forest Product Journal* **57,6**: 46-50.
25. Humbert, H. ,(1965), "Description des types de végétation" *Notice de la carte de Madagascar, Pondichéry* **6** :46-78
26. Janssen, J.J.A., (2000), "Designing and Building with Bamboo", *INBAR Technical Report* **20**: 211.
27. Kamruzzaman, M., Saha, S.K., Bose, A.K. Et Islam, (2008), "Effects of age and height on physical end Mechanical properties of bamboo", *Journal of Tropical Forest Sciences* **20** **3**:211-217
28. Kamthai, S.; Puthson, P.(2005), "The physical properties, fiber morphology and chemical compositions of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer)" *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, **39** : 581 – 587.
29. Labrousse, C., (1977), *Statistique: exercices corrigés avec rappels de cours, tome 3*, 4^{ème} édition, Dunod, Bordas, Paris.
30. Labrousse. C, (1978), *Statistique: exercices corrigés avec rappels de cours, tome 2*, 4^{ème} édition, Dunod, Bordas, Paris.
31. Latif, M. A., Ashaari, A., Jamaluddin, K., Zin, J. M. ,(1993), "Effects of anatomical characteristics on the physical and mechanical properties of *Bambusa blumeana*", *Journal of Tropical Forest Science* **6**: 159–170
32. Latif, M., Amizi, M., (1992), "Variation in anatomical properties of three Malaysian bamboos from natural stands" *Journal of Tropical Forest Science* **5**: 90–96.



33. Latif, M., Wantarmez, W.A., Fauzidah, A., (1990), "Anatomical features and mechanical properties of three Malaysia bamboos", *Journal of Tropical Forest Science* **2**: 227–234.
34. Latif, M.,(1993), Jamaludin,K., "Variability of specific gravity, fiber morphology and chemical properties in three Malaysian bamboos" *BIC Indian Bulletin* **3**: 7–13
35. Lee, A.W.C., Bai, X. , Peralta, P. N. , (1994), " Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina", *Forest Prod.J.* 44, **9**: 40-46
36. Li, X., (2004), *Physical, Chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing*, The School of Renewable Natural Resources.
37. Liese, W., (1985), "Anatomy and properties of bamboo", Institute of Wood Biology and Wood Preservation of Federal Research Center for Forestry and Forest Products, *INBAR. PR* **03**:1
38. Liese, W., Grosser, D., (1971), "On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles", *Wood Science and Technology* **5**: 290-312.
39. Malanit,P., (2009), *The suitability of Dendrocalamus asper Backer for Oriented Strand Lumber*, Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences, University of Hamburg.
40. Meyers, D., Ramamonjisoa, B., Seve, J., Rajafindramanga, M., Burren, C. (2005), *Etude sur la consommation et la production en produits forestiers ligneux à Madagascar*. Projet d'appui à la gestion durable de l'environnement et des écosystèmes forestiers à Madagascar.
41. Norme NF EN ISO 178 Février, (2011), détermination des propriétés de flexion
42. Obataya, E., Kitin, P., Yamauchi, H. (2007), " Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber-foam composite structure", *Wood Sci Technol*, **41**:385–400.
43. Parkkeree, T., (1997). *Physical and mechanical properties of wood from sweet-bamboo culms (Dendrocalamus asper Backer.)*, MS. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
44. Rajaonalison, F., (2012), *Caractérisation des propriétés physiques des bambous dans la région Antsinanana*, Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA-Forêts.
45. Rajonshon, H.M .,(2012), *Caractérisation des propriétés physiques des bambous dans la partie orientale de Madagascar en vue de leurs valorisations*, Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA-Forêts
46. Rakotovao, G., Rabevohitra, Ar., Chatelperron, Pc., Gerard, J., Guibal ,D., (2012). *Atlas bois de Madagascar*.
47. Ramananantoandro,T ;Rabemananjara,Zh ;Randrianarimanana, Jj ., Et Pommier, R., (2013), "Développement et valorisation de la filière bambou dans les zones orientales de Madagascar" . *Bois et Forêts des Tropiques* 316, **2** : 79 – 91.
48. Razak,W., Janshah, M., Hashim, W.S., Shirley, B., (2007), "Morphological and anatomical characteristics of managed natural Bamboo stands *Gigantochloa scortechinii*, *J. Bamboo Rattan*, **6**: 115 - 122.



49. Sattar, M. A., Kabir, M. F. & Bhattacharjee, D. K.(1992),” Effect of age and height positions of muli (*Melocanna baccifera*) and borak (*Bambusa balcooa*) bamboos on their physical and mechanical properties”, *Bangladesh Journal of Forest Science* **19**: 29–37.
50. Suprapti, S. (2010),” Decay resistance of five in donesian bamboo species against fungi”, *Journal of Tropical Forest Science* **22**, **3**: 287–294
51. Suzuki, K., Itoh, T.,(2001), “The change in cell wall architecture during lignifications of bamboo, *Phyllostachys aurea*”, *Trees-structure and function* **15**, **3**: 137-147.
52. Tang, Tkh. , Schmidt, O., Liese, W.(2012),” Protection of bamboo against mould using environment-friendly chemicals ”, *Journal of Tropical Forest Science* **24**, **2**: 285–290
53. Tewari, D.N.,(1992), *A Monograph on Bamboo*, International book Distributors, Dehra Dun, India.
54. Thiel,J.(1973), *Essai de résistance naturelle de bois ronds aux agents biologiques*, Centre technique Forestier tropical-Tananarive- Madagascar.
55. Varma, R.V. (2007), *Developing a safer (biological) preservative against bamboo borer*. KFRI 513/2006, Kerala Forest Research Institute.
56. Wahab, R., Samsi, H., Sudin, M., Mokhtar, J.,(2004),” Performance of an oil-cured tropical Bamboo *Gigantochloa scortechinii* in a 6 months ground contact tests”. *Borneo science*, **16**: 25-32.
57. Wakchaure, M.R., Kute S.Y. (2012),”Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo”, *Asian journal of civil engineering (building and housing)*, **13**: 753-763.
58. Wei-Chi Lin (1970), *Culture du Bambou à Madagascar*, Centre de Formation pour l’Artisanat du Bambou Sino-Malagasy.
59. Yu, Y., Fei, B., Zhang, B., Yu, X., (2007), ”Cell-wall mechanical properties of bamboo investigated by in-situ imaging Nano indentation”. *Wood and Fiber Science* **39**, **4**: 527 – 535.
60. Zhou ,B., Fu ,M., Xie ,J., Yang, X., Li, Z. ,(2005),”Ecological functions of bamboo forest: Research and Application”, *Journal of Forestry Research*, **16**:143-147.





ANNEXES

ANNEXE 1 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DE LA DENSITE MOYENNE DES ESPECES ETUDIEES

Tableau 14 : Comparaison multiple par paire de la densité des espèces étudiées

Espèces	Densité moyenne	Groupe	Type de test effectué
Da	0,76	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	0,68	B	
Bc	0,56	C	
Bs	0,62	C	
<i>P value</i>	< 0,0001		
<i>A</i>	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / *Dg* :Dendrocalamus giganteus / *Bc* : Bambusa vulgaris constrictinoda/
Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

ANNEXE 2 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES RETRAITS MOYENS DES ESPECES ETUDIEES

Tableau 15 : Comparaison multiple par paire du retrait axial des espèces étudiées

Espèces	Retrait longitudinal moyen	Groupe	Type de test effectué
Da	0,28	A	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	0,37	A	
Bc	0,48	A	
Bs	0,47	A	
<i>P value</i>	0,812		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / *Dg* :Dendrocalamus giganteus / *Bc* : Bambusa vulgaris constrictinoda/
Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

Tableau 16 : Comparaison multiple par paire du retrait radial des espèces étudiées

Espèces	Retrait radial moyen	Groupe	Type de test effectué
Da	6,48	A	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	6,91	A	
Bc	13,43	B	
Bs	10,41	B	
<i>P value</i>	< 0,0001		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / *Dg* :Dendrocalamus giganteus / *Bc* : Bambusa vulgaris constrictinoda/
Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification



Tableau 17 : Comparaison multiple par paire du retrait tangentiel des quatre espèces

Espèces	Retrait radial moyen	Groupe	Type de test effectué
Da	5,55	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	6,19	A	
Bc	13,38	B	
Bs	14,90	B	
P value	< 0,0001		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bc : Bambusa vulgaris constrictinoda/Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

**ANNEXE 3 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES MOE ET MOR
MOYENS DES ESPECES ETUDIEES**

Tableau 18:Comparaison multiple par paire du MOE moyenne des espèces étudiées

Espèces	MOE moyenne	Groupe	Type de test effectué
Da	13719,10	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	11173,90	B	
Bs	10966,05	B	
Bc	9469,80	B	
P value	< 0,0001		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bc : Bambusa vulgaris constrictinoda/
Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

Tableau 19 : Comparaison multiple par paire du MOR moyenne des espèces étudiées

espèces	MOR moyenne	Groupe	Type de test effectué
Da	177,95	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	120,11	B	
Bs	109,43	B	
Bc	123,30	B	
P value	< 0,0001		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bc : Bambusa vulgaris constrictinoda/
Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

**ANNEXE 4 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES INDICE
DECONSERVATIONS MOYENS ET DES PERTES DE MASSES MOYENNES DES ESPECES
ETUDIEES**

Tableau 20 : Comparaison multiple par paire de l'indice de conservation moyen des espèces étudiées

espèces	IC moyen	Groupe	Type de test effectué
Da	76,86	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison
Dg	77,16	A	
Bs	73,69	A	
Bc	73,45	A	



<i>P value</i>	< 0,57	deux à deux de Mann Whitney
α	0,05	

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bc : Bambusa vulgaris constrictinoda/

Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

Tableau 21 : Comparaison multiple par paire des pertes de masse moyenne des espèces étudiées

espèces	Perte de masse moyenne	Groupe	Type de test effectué
Da	8,32	A	Tests non paramétriques de KRUSKAL Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney
Dg	7,32	A	
Bs	11,09	B	
Bc	11,20	B	
<i>P value</i>	< 0,0001		
α	0,05		

Da :Dendrocalamus asper / Dg :Dendrocalamus giganteus / Bc : Bambusa vulgaris constrictinoda/

Bs :Bambusa vulgaris striata / α : seuil de signification

ANNEXE 5 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DE LA DENSITE MOYENNE PAR POSITION

Tableau 22 : Comparaison multiple de la densité par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
<i>Dendrocalamus asper</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey (p value =0,0004 ; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	OUI	
	M	NON		OUI	
	I	OUI	OUI		
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney (p value < 0,001 ; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	OUI	
	M	NON		OUI	
	I	OUI	OUI		
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey (p value < 0,0001 ; $\alpha = 0,05$)
	S		OUI	OUI	
	M	OUI		NON	
	I	OUI	NON		
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey (p value =0,003; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	OUI	
	M	NON		NON	
	I	OUI	NON		

S : position supérieure / M: position moyenne / I: position inférieure/ OUI : différence signification

au seuil de 5% entre les positions considérées/ NON : différence non significative au seuil de 5% entre les positions considérées/ α : seuil de signification



**ANNEXE 6 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES RETRAITS MOYENS
PAR POSITION**

Tableau 23 : Comparaison multiple du retrait longitudinal par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>					Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,007$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,68$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,161$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,69$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		

Tableau 24 : Comparaison multiple du retrait radial par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,45$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,41$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,20$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,007$; $\alpha = 0,05$)
	S		OUI	OUI	
	M	OUI		NON	
	I	OUI	NON		

Tableau 25: Comparaison multiple du retrait tangentiel par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,774$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,152$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\ value = 0,378$; $\alpha = 0,05$)
	S		NON	NON	
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		
		S	M	I	Tests non paramétriques de Kruskal



<i>Bambusa vulgaris striata</i>	S		NON	NON	Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,008$; $\alpha = 0,05$)
	M	NON		NON	
	I	NON	NON		

S : position supérieure / *M*: position moyenne / *I*: position inférieure/ **OUI** : différence signification au seuil de 5% entre les positions considérées/ **NON** : différence non significative au seuil de 5% entre les positions considérées/ α : seuil de signification

ANNEXE 7 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DU MOE ET MOR MOYENS PAR POSITION

Tableau 26 : Comparaison multiple du MOE par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>					ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} = 0,018$ $\alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	OUI	
	M	NON	NON	OUI	
	I	OUI	OUI	NON	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} = 0,001$; $\alpha = 0,05$)
	S	NON	OUI	OUI	
	M	OUI	NON	NON	
	I	OUI	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,013$; $\alpha = 0,05$)
	S	NON	OUI	OUI	
	M	NON	NON	NON	
	I	OUI	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} = 0,02$; $\alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	OUI	
	M	NON	NON	NON	
	I	OUI	NON	NON	

S : position supérieure / *M*: position moyenne / *I*: position inférieure/ **OUI** : différence signification au seuil de 5% entre les positions considérées/ **NON** : différence non significative au seuil de 5% entre les positions considérées/ α : seuil de signification

Tableau 27 : Comparaison multiple du MOR par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>		S	M	I	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,009$; $n = 45$)
	S	NON	NON	OUI	
	M	NON	NON	OUI	
	I	OUI	NON	NON	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} < 0,0001$ $n = 45$)
	S	NON	NON	OUI	
	M	NON	NON	OUI	
	I	OUI	OUI	NON	
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} = 0,009$ $n = 45$)
	S	NON	OUI	OUI	
	M	OUI	NON	NON	
	I	OUI	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		S	M	I	ANOVA avec des tests de comparaison multiples (ou deux à deux) de Tukey ($p\text{ value} = 0,007$; $n = 45$)
	S	NON	NON	OUI	
	M	NON	NON	OUI	
	I	OUI	OUI	NON	

S : position supérieure / *M*: position moyenne / *I*: position inférieure/ **OUI** : différence signification au seuil de 5% entre les positions considérées/ **NON** : différence non significative au seuil de 5% entre les positions considérées/ α : seuil de signification



ANNEXE 8 : RESULTATS DU TEST DE COMPARAISON DES INDICES DE CONSERVATIONS MOYENS ET DES PERTES DE MASSE MOYENNE PAR POSITION

Tableau 28 : Comparaison multiple de la perte de masse par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,13 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,72 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,22 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,73 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	

Tableau 29 : Comparaison multiple de l'indice de conservation par paire et par position

Espèce	Différence significative par position				Type de test effectué
		S	M	I	
<i>Dendrocalamus asper</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,27 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Dendrocalamus giganteus</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,02 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,8 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	
<i>Bambusa vulgaris striata</i>		NON	NON	NON	Tests non paramétriques de K Wallis suivi de comparaison deux à deux de Mann Whitney ($p\text{ value} = 0,26 ; \alpha = 0,05$)
	S	NON	NON	NON	
	M	NON	NON	NON	



**ANNEXE 9 : DIAMETRE DU CHAUME SUIVANT LA POSITION VERTICALE DES
ENTRENOEUDS**

Tableau 30 : Diamètre du chaume par espèce et par position

ESPECE	NUMERO CHAUME	POSITIONS	DIAMETRE
<i>Dendrocalamus asper</i>	1	SUP	81,7
		MOY	96,72
		INF	117,19
	2	SUP	81,7
		MOY	100,3
		INF	102,1
	3	SUP	62,24
		MOY	75,63
		INF	78,05
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	1	SUP	58,49
		MOY	62,66
		INF	64,55
	2	SUP	59,78
		MOY	73,17
		INF	73,28
	3	SUP	71,04
		MOY	75,06
		INF	81,13
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	1	SUP	86,39
		MOY	95,69
		INF	93,14
	2	SUP	72,04
		MOY	74,55
		INF	83,03
	3	SUP	65,82
		MOY	75,91
		INF	80,43
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1	SUP	75,27
		MOY	88,77
		INF	95,9
	2	SUP	90,01
		MOY	102,08
		INF	108,49
	3	SUP	98,94
		MOY	108,07
		INF	115,53



ANNEXE 10 : DISPOSITION DES ECHANTILLONS SUR LE TERRAIN D'EXPERIMENTATION LORS DU TEST DE DURABILITE NATURELLE

<i>Dendrocalamus giganteus</i>			<i>Bambusa vulgaris striata</i>			<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>			<i>Dendrocalamus asper</i>		
DGI1 1	DGM1 1	DGS1 1	BSI1 1	BSM1 1	BSS1 1	BCI1 1	BCM1 1	BCS1 1	DAI1 1	DAM1 1	DAS1 1
DGI1 2	DGM1 2	DGS1 2	BSI1 2	BSM1 2	BSS1 2	BCI1 2	BCM1 2	BCS1 2	DAI1 2	DAM1 2	DAS1 2
DGI1 3	DGM1 3	DGS1 3	BSI1 3	BSM1 3	BSS1 3	BCI1 3	BCM1 3	BCS1 3	DAI1 3	DAM1 3	DAS1 3
DGI1 4	DGM1 4	DGS1 4	BSI1 4	BSM1 4	BSS1 4	BCI1 4	BCM1 4	BCS1 4	DAI1 4	DAM1 4	DAS1 4
DGI1 5	DGM1 5	DGS1 5	BSI1 5	BSM1 5	BSS1 5	BCI1 5	BCM1 5	BCS1 5	DAI1 5	DAM1 5	DAS1 5
DGI2 1	DGM2 1	DGS2 1	BSI2 1	BSM2 1	BSS2 1	BCI2 1	BCM2 1	BCS2 1	DAI2 1	DAM2 1	DAS2 1
DGI2 2	DGM2 2	DGS2 2	BSI2 2	BSM2 2	BSS2 2	BCI2 2	BCM2 2	BCS2 2	DAI2 2	DAM2 2	DAS2 2
DGI2 3	DGM2 3	DGS2 3	BSI2 3	BSM2 3	BSS2 3	BCI2 3	BCM2 3	BCS2 3	DAI2 3	DAM2 3	DAS2 3
DGI2 4	DGM2 4	DGS2 4	BSI2 4	BSM2 4	BSS2 4	BCI2 4	BCM2 4	BCS2 4	DAI2 4	DAM2 4	DAS2 4
DGI2 5	DGM2 5	DGS2 5	BSI2 5	BSM2 5	BSS2 5	BCI2 5	BCM2 5	BCS2 5	DAI2 5	DAM2 5	DAS2 5
DGI3 1	DGM3 1	DGS3 1	BSI3 1	BSM3 1	BSS3 1	BCI3 1	BCM3 1	BCS3 1	DAI3 1	DAM3 1	DAS3 1
DGI3 2	DGM3 2	DGS3 2	BSI3 2	BSM3 2	BSS3 2	BCI3 2	BCM3 2	BCS3 2	DAI3 2	DAM3 2	DAS3 2
DGI3 3	DGM3 3	DGS3 3	BSI3 3	BSM3 3	BSS3 3	BCI3 3	BCM3 3	BCS3 3	DAI3 3	DAM3 3	DAS3 3
DGI3 4	DGM3 4	DGS3 4	BSI3 4	BSM3 4	BSS3 4	BCI3 4	BCM3 4	BCS3 4	DAI3 4	DAM3 4	DAS3 4
DGI3 5	DGM3 5	DGS3 5	BSI3 5	BSM3 5	BSS3 5	BCI3 5	BCM3 5	BCS3 5	DAI3 5	DAM3 5	DAS3 5


ANNEXE 11 : PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DES BOIS MALGACHES ET LEURS UTILISATIONS POTENTIELLES

ESPECES	PROPRIETES TECHNOLOGIQUES						UTILISATIONS POTENTIELLES																							
	D	RT	RR	MOE	MOR	DN	EB	MEN	ES	PAR	LA	CHA	MO	BA	PAC	REV	PAF	OS	AM	BA	CO	OU	PL	PO	PL	COF	CA	DE	CHAR	PAP
<i>Commiphora mafaïdoha</i>	0,45	4,5	2,3	7450	83			OUI				OUI			OUI		OUI			OUI								OUI		
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,49	6,6	3,8	9000	85	MD						OUI					OUI										OUI	OUI	OUI	
<i>Podocarpus m/sis</i>	0,72	6,2	3,3	12100	98	MD	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI		OUI											
<i>Pinus patula</i>	0,5	7,8	3,8	10170	107	PD	OUI	OUI		OUI	OUI	OUI	OUI		OUI		OUI			OUI			OUI						OUI	
<i>Harungana m/sis</i>	0,5	8,2	4,1	9000	110	ND		OUI									OUI													
<i>Tambourissa</i>	0,65	9,1	3,9	9800	110	TD		OUI			OUI		OUI	OUI		OUI		OUI	OUI	OUI	OUI									
<i>Pinus oocarpa</i>	0,5	8	4,2	9200	116	PD	OUI	OUI		OUI	OUI	OUI	OUI		OUI		OUI									OUI			OUI	
<i>Ocotea cimosa</i>	0,56	8	4,2	10000	119	PD		OUI		OUI		OUI			OUI		OUI		OUI								OUI			
<i>Weinmannia</i>	0,8	9,4	4,8	14000	120	TD	OUI	OUI	OUI	OUI		OUI				OUI		OUI	OUI		OUI		OUI							
<i>Intsia bijuga</i>	0,84	5,8	3,5	15780	123	TD	OUI	OUI		OUI		OUI							OUI	OUI	OUI									
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,84	10,2	7,3	13600	125	DU	OUI	OUI		OUI		OUI					OUI						OUI						OUI	
<i>Chrysophyllum spp</i>	0,74	7,4	4,3	10250	126,4	ND		OUI			OUI	OUI	OUI			OUI			OUI											
<i>Canarium m/sis</i>	0,69	9,15	6,55	10000	133,5	ND	OUI	OUI		OUI					OUI		OUI				OUI		OUI							
<i>Eucalyptus maculata</i>	0,89	9,2	5,6	13600	140	MD		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI			OUI			OUI				OUI							
<i>Chrysophyllum boivinianum</i>	0,68	9,8	4,3	11800	147	DU				OUI		OUI	OUI			OUI	OUI		OUI								OUI			
<i>Androstachys johnsonii</i>	0,93	8,3	5,6	12400	148,1	DU	OUI	OUI		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI					OUI			OUI	OUI	OUI						
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0,99	7,5	5,7	15800	152	TD		OUI		OUI		OUI			OUI				OUI									OUI	OUI	
<i>Khaya m/sis</i>	0,65	6,2	3,8	14800	158	MD	OUI	OUI											OUI					OUI						
<i>Dalbergia baroni</i>	0,785	7,6	4,1	15200	176,5	DU	OUI	OUI		OUI									OUI											
<i>Cordyla m/sis</i>	0,98	5,8	3,9	17200	185	TD	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI		OUI			OUI		OUI		OUI	OUI									
<i>Labramia spp</i>	0,9	11	6	17700	206	TD	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI					OUI		OUI		OUI		OUI							
<i>Streblus dimepate</i>	0,88	7,7	4,2	17800	207	TD	OUI	OUI			OUI	OUI				OUI			OUI				OUI							
<i>Cedrelopsis Grevei</i>	0,98	7	4,6	16400	240		OUI	OUI		OUI									OUI				OUI	OUI						



ANNEXE 12 : LEGENDES ANNEXE 11

EB : ébénisterie ME : Menuiserie ES : Escalier PAR : Parquet	LA : Lambris CHA : Charpente MO : Moulure BA : Baguette	PAC : Panneau contreplaqué REV : revêtement PAF : Panneaux de fibre et de particules	OS : Ossature AM : Ameublement BA : Bardeau CO : Construction	OU : Ouvrage de génie civil PL : Platelage PO : Poteau PL : Placage
COF : Coffrage CA : Caisserie DE : Déroulage CHAR : Charbonnage	PAP : Papeterie D : Densité RT : Retrait tangentiel RR : Retrait radial	MOE : Module d'élasticité MOR : Module de rupture DN : Durabilité naturelle DU : Durable	MD : Moyennement durable PD : Peu durable TD : Très durable m/sis : madagascariensis	

SOURCE : Tirée des Travaux de GUENEAU.P et GUENEAU.D, (1969), GERARD et al, (1998), RAKOTOVAO et al. (2012)

ANNEXE 13 : PRESENTATION DE LA REGION ANALAMANGA

La Région Analamanga se situe dans la Province autonome d'Antananarivo, elle est délimitée par :

- la région de Betsiboka au nord
- Bongolava et Itasy à l'ouest
- Alaotra Mangoro à l'Est
- Et Vakinakaratra au Sud

La Région d'Analamanga fait partie des Hautes Terres Centrales Malgaches. Elle occupe une partie de la zone septentrion- occidentale de la Province d'Antananarivo à la limite de la zone du moyen ouest et celle de la partie centrale. Le type de sol dominant dans la région est le sol ferrallitique du socle cristallin.

Le climat de la Région est de type tropical d'altitude avec deux saisons bien distinctes :

- une saison pluvieuse et chaude (de Novembre à Avril)
- une saison fraîche et relativement sèche (reste de l'année)

La moyenne de précipitations annuelles est de 1 100 mm environ. La précipitation maximale enregistrée atteinte 1456,3 mm dans le District de Manjakandriana où il n'existe pratiquement pas de saison sèche. Une grande partie de pluie (plus de 80%) tombent pendant la saison chaude et pluvieuse, le reste sous forme de brume, de brouillard ou de crachin durant la période fraîche.

Ces caractéristiques climatiques et édaphiques permettent une vaste gamme de spéculations agricoles.

ANNEXE 14 : PRESENTATION DE LA REGION ANTSINANANA

La zone où a eu lieu la collecte est la région Antsinanana de Madagascar. Cette région est vaste avec une superficie de 22.382 km². Délimitée par cinq régions et à l'est par l'Océan Indien, cette partie de l'île est constituée de sept districts dont Toamasina I, Toamasina II, Brickaville, Vatomandry, Antanambao Manampontsy, Mahanoro et Marolambo (carte 2). Les échantillons ont été prélevés dans deux de ces districts, à savoir Brickaville et Toamasina I.

Le climat est assez homogène et de type tropical humide, caractérisé par une abondance des précipitations apportées par les courants d'Est et une absence de saison sèche marquée (Monographie UPDR, Toamasina). Les précipitations diminuent toutefois au fur et à mesure de la pénétration vers l'intérieur (zone côtière), de même que la température fait nuancer l'impression d'humidité.

La quantité d'eau est bien répartie dans l'année et le nombre de jours de pluies par an est élevé. Le mois de mars reste le plus pluvieux et le mois d'octobre le plus sec. L'influence de l'alizé toute l'année est une des caractéristiques du littoral oriental, ce qui entretient des températures modérées dont les moyennes se situent entre 18 à 28°C (24 °C). Les températures les plus fortes se situent en janvier et les moins fortes en juillet, mais les écarts restent faibles entre décembre et mars.

En bref, le climat de la côte-est de Madagascar est dominé par une très forte humidité et une chaleur constante et conditionne beaucoup la morphologie des plaines alluviales, permettant ainsi la croissance d'une flore très diversifiée.

La région Atsinanana se caractérise par l'étroitesse de la plaine côtière, l'existence d'un relief accidenté et de hauts massifs.

- Plaine côtière étroite :

Grâce à la qualité de ses sols, la plaine côtière de la Région, d'une énorme potentialité agricole, est favorable à des cultures variées. Le paysage est formé d'une zone de plaines basses et étroites étirées du Nord au Sud le long du littoral

- Zone des hauts massifs :

La région Atsinanana se reconnaît par son altitude. Des massifs forestiers et des collines couvertes de Savoka prédominent dans les Districts de Mahanoro, Marolambo et Antanambao Manampotsy.

- Zone de relief accidenté :

La Région possède une zone de déclivité de plus en plus accidentée, au fur et à mesure que l'on se dirige de la côte vers l'ouest et principalement dans la partie occidentale de Vatomandry et le centre de Mahanoro.

Des sols hydromorphes de bas-fonds « Horaka » sont rencontrés entre Brickaville et Vatomandry, sols de couleur noirâtre et dégageant une odeur de soufre. Ce type de sol est peu favorable à la riziculture et aux cultures de rente : les matières organiques y sont mal décomposées. Les sols essentiellement formés d'alluvions argileuses ou sablonneuses « Baiboho » (dans la zone côtière) sont appelés sols alluvionnaires. Ils sont favorables aux cultures de rente et peuvent être aménagés en rizières.

Par ailleurs, deux types de sols caractérisent géologiquement la Région Atsinanana, les sols cristallins et les sols sédimentaires.

- Sols sédimentaires :

Les sols sédimentaires occupent les parties Nord-Est et Sud – Est (sur la côte, de Toamasina à Mahanoro), résultats du volcanisme néogène du quaternaire et crétacé (de type crétacé et de pliocène continental). Ces sols sont formés d'alluvions, de sables, de dunes, de grès.

- Sols cristallins :

Les sols cristallins de type infra graphite se rencontrent dans les Districts de Toamasina I, Toamasina II et Brickaville, et ceux de formations pegmatites dans les Districts de Vatomandry (partie ouest), Mahanoro, Marolambo et Antanambao Manampotsy.