



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

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques

Option ESSA-Forêts

Promotion Ambioka (2008-2013)

**Durabilité en service de quatre espèces
de bambous malgaches : essais
d'amélioration par l'emploi de quatre
moyens de préservation**

Espèces étudiées : *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*,
Bambusa vulgaris constrictinoda et *Bambusa vulgaris striata*

Présenté par : RAZAFINDRAKOTO Tsirinala Johanna

Soutenu le 16 Décembre 2013

Devant le jury composé de

Président : Pr. RAMAMONJISOA Bruno Salomon

Rapporteur : Dr. RAMANANANTOANDRO Tahiana

Examineurs : M. RATOVOMBOAHANGY Bruno

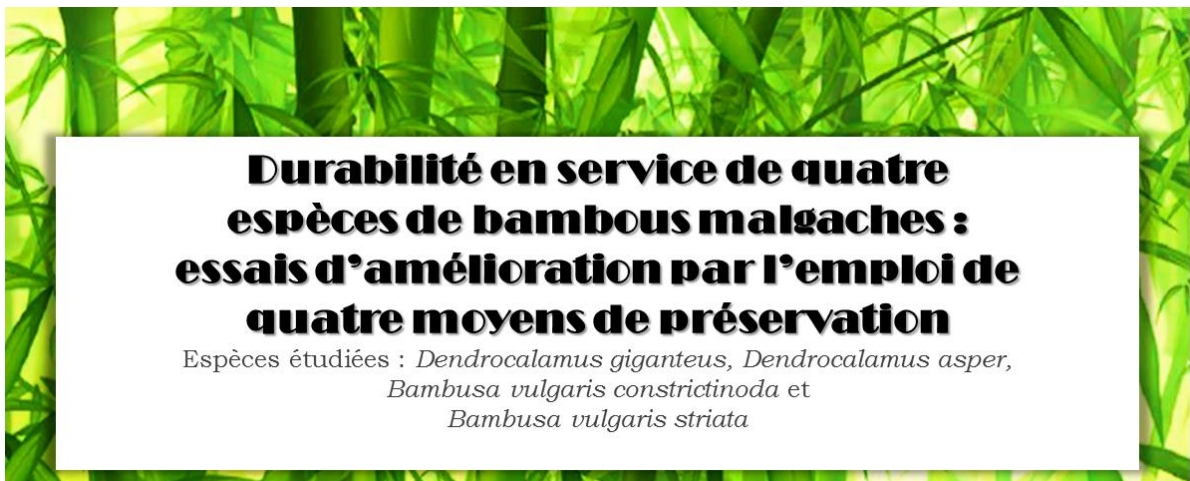
Pr. RANDRIANOELINA Benjamin



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

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques

Option ESSA-Forêts



Soutenu par : RAZAFINDRAKOTO Tsirinala Johanna

Promotion : Ambioka (2008-2013)

Soutenu la Date du 16 Décembre 2013

Devant le jury composé de

Président : Pr. RAMAMONJISOA Bruno Salomon

Rapporteur : Dr. RAMANANANTOANDRO Tahiana

Examineurs : M. RATOVOMBOAHANGY Bruno

Pr. RANDRIANOELINA Benjamin

“Par la Grâce de Dieu, je suis ce que je suis”

(I Cor 15, 10)

REMERCIEMENT

J'aimerais rendre gloire à **Dieu** de son ineffable bienveillance qui m'a donné la force de franchir toutes les épreuves de mon travail et toutes les étapes ma vie. A Lui Seul reviennent la Gloire, la Puissance et l'Honneur aux siècles des siècles.

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à :

Monsieur Bruno RAMAMONJISOA, Professeur d'enseignement supérieur et de recherche à l'École Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Chef de Département des Eaux et Forêts, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, je lui exprime ma profonde gratitude.

Madame Tahiana RAMANANANTOANDRO, Chef de l'UFR « Sciences du bois », Maître de conférences au Département des Eaux et Forêts à l'ESSA, qui malgré ses nombreuses responsabilités, a su m'octroyer de précieux conseils et de riche encadrement ; qu'elle retrouve ici ma respectueuse admiration.

Monsieur Bruno RATOVOMBOAHANGY, Enseignant chercheur au Département des Eaux et Forêts à l'ESSA pour ses aides et ses précieux conseils, et a aimablement répondu à notre sollicitation de siéger parmi les membres du Jury, mes respectueuses reconnaissances.

Monsieur RANDRIANOELINA Benjamin, Professeur chercheur à l'École Supérieure Polytechnique Antananarivo, qui malgré ses lourdes occupations a accepté d'examiner ce travail et a accepté de siéger parmi les membres du Jury.

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'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui m'a apporté son aide au cours des travaux en laboratoire

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à :

- Tous les Enseignants à l'ESSA- Forêts,
- Les stagiaires et les assistants de Recherche au sein de l'UFR-Sciences du Bois
- Tout le personnel du Département des Eaux et Forêts,
- Tout le personnel de la Bibliothèque et du Service de Scolarité de l'École Supérieure des Sciences Agronomiques.

Je ne saurais manquer de témoigner mes sincères remerciements à :

- Mes parents, les membres de ma famille et mes amis qui ont su témoigner affection et patience pour m'encourager lors des plus grandes épreuves et m'ont toujours soutenu moralement et matériellement.
- Les amis de la Promotion Ambioka, en particulier, ceux du département des Eaux-Forêts qui ont su me soutenir dans la réalisation de ce mémoire.
- RTJ, un ami très cher, qui a su m'apporter son encouragement durant les épreuves les plus difficiles de la réalisation de ce travail de mémoire.
- Et tout ce qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

RAZAFINDRAKOTO Tsirinala Johanna (RTJ)

FAMINTINANA

Ny Volo dia tafiditra ao anatin'ny zava-maniry mamokatra akora manomboka mihamiroborobo eto Madagasikara. Mbola betsaka anefa ireo asa fikarohana ilaina amin'ny fampandrosoana ny famokarana ny volo tsy mbola natao. Ity asa fikarohana dia natao hamenoana ireo fahalalana momba ny volo. Ny tanjona kendrena amin'izany dia ny hamantatra ny faharetan'ny karazana volo malagasy efatra mandritra ny fampiasana azy sy hiaroka ireo fomba hanatsarana ny faharetany. Ho enti-manao izany dia nisy santiona nalaina avy amin'ny karazana volo efatra teny amin'ny faritra Antsinana malagasy. Manaraka izany, dia napetraka tamina toerana mba hapsedraina ny toetr'andro Malagasy ireo santiona ireo. Ny paika fikarohana nataon'i Ashaari sy Mamat, (2004) no nampiharina tamin'ity asa ity ary naharitra enimbolana ny fanandramana. Nisy ampahany tamin'ny santiona nanaovana andrana momba ny faharetan'ny volo ary nisy ampahany hafa kosa nozaraina efatra mba harovana amin'ny fahasimbany, ka fomba fitahirizana efatra samihafa no nampiharina:ny fandumana amin'ny rano, ny fampiharana sokay, ny fiarovana natao tamin'ny setroka, ary ny fandumana amin'ny menaka fanadiovana (vidange). Tamin'ny faran'ny fanandramana dia notsapaina ny faharetan'ireo santiona tsy narovana sy ireo santiona narovana. Misy karazany roa ny fomba nitsapana azy: ny voalohany dia fitsapana ny fihenandanjany ary ny faharoa kosa dia fitsapana ny tahan'ny fahasimbany . Taorian'ny enim-bolana, ho an'ireo santiona tsy noarovana dia ny karazana *Dendrocalamus asper* sy *Dendrocalamus giganteus* no nanana fihenandanja kely indrindra sy taham-pamantarana ny fitahirizana ambony kokoa. Azo lazaina ho maharitra ireo karazam-bolo ireo noho izany. Ny karazana *Bambusa vulgaris constrictinoda* sy *Bambusa vulgaris striata* kosa dia tsapa fa nisy fihenandanja kely sy taham-pamantarana ny fitahirizana kely ihany koa. Azo lazaina kosa arak'izany fa antonony ny faharetan'reo karazana volo ireo. Raha ny santiona narovana kosa dia manana faharetana ambony kokoa noho ny teo aloha ireo. Na inona nainona fomba nampiasaina iarovana an'ireo santiona ireo dia maharitra kokoa ireo amin'izay karazana volo nampiasaina. Amin'ireo fomba fiarovana nampiasaina ireo dia ny menaka fanadiovana no nampateza indrindra ary ny fiarovana natao tamin'ny setroka no tsy nandaitra indrindra.

Teny fototra : volo, faharetana, fitahirizana, Madagasikara

RESUME

Les bambous font partie des produits forestiers les plus utilisés dans les pays en voie de développement, plus particulièrement à Madagascar. Ils sont notamment importants pour les habitants de la partie Est, région dans laquelle ils se développent en abondance. Malgré leur importance, peu d'informations sur les bambous malgaches sont connues à ce jour. Cette recherche a été menée en vue de compléter ces lacunes. Elle a pour objectifs de déterminer la durabilité de quatre espèces de bambous malgaches et de trouver des moyens pour améliorer leur durabilité. Pour cela, des échantillons ont été prélevés sur les quatre espèces de la partie orientale malgache. Une partie des échantillons a été soumise à un test de durabilité, tandis qu'une autre partie a été subdivisée en quatre pour être préservée contre les agents de dégradation. Quatre méthodes de préservation ont été testées : le traitement à l'eau, le traitement à l'eau de chaux, l'enfumage et le traitement à l'huile de vidange. A la fin des expérimentations, les durabilités des échantillons non traités et non traités ont été comparées. Après six mois de test, pour les échantillons non traités, les espèces *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus* présentent une perte de masse plus faible et un indice de conservation plus élevé. Elles sont qualifiées de durable. Tandis que les espèces *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* montrent une perte de masse faible et un indice de conservation moins élevé. Elles sont qualifiées de moyennement durable. Quant aux échantillons traités, ils possèdent une durabilité plus élevée que ceux non traités. Quels que soient les moyens de préservation employés, les échantillons traités sont plus durables que ceux non traités pour toutes les espèces. Parmi les méthodes de préservation employées, l'huile de vidange est la plus efficace et le traitement à l'enfumage apparaît le moins efficace.

Mots clés: Bambous, durabilité, préservation, Madagascar

ABSTRACT

Bamboo is one of the most important forest products used in developing countries, especially in Madagascar. They are particularly important for the people of the East where they are found in greatest abundance and variety. Despite their importance, very little is known about Malagasy bamboo. This research was done for filling the gap about bamboo information. It gives information about the natural durability of Malagasy bamboo in natural condition and finds some treatment towards biological agents for improving their durability. For that, samples were taken from four species in the East of Madagascar. Then, they were exposed in Malagasy climatic conditions. The methods used in this research were based on Ashaari and Mamat (2000) study and the experimentation lasted six months. One part of the samples used during durability test, and another part was subdivided in four for being preserved against degradation agents with four preservation methods: water soaking, lime water soaking, lubricating oil soaking, and smoking. At the end of the test, the durability of the samples was evaluated. There are two types of assessment. The first is the assessment based on samples weight loss. The second is the appreciation based on the level of the decay by the conservation index. After six months of test, about the non-treated samples, the species *Dendrocalamus asper* and *Dendrocalamus giganteus* have a lower weight loss and a greater conservation index. They are resistant. The species *Bambusa vulgaris constrictinoda* and *Bambusa vulgaris striata* have also a low weight loss and a high conservation index. They have a middle durability. About the treated samples, they have a higher durability than the other non-treated. No matter what the preservation methods used, the treated samples are more resistant than the other non-treated for every species. Amongst the preservation methods uses, lubricating oil is the most efficient and the smoking method is the least efficient.

Keywords: Bamboo, durability, preservation, Madagascar,

LISTE DES ABREVIATIONS

%	: Pourcent
°C	: Degré Celsius
<i>Bc</i>	: <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>
<i>Bs</i>	: <i>Bambusa vulgaris striata</i>
<i>Da</i>	: <i>Dendrocalamus asper</i>
<i>Dg</i>	: <i>Dendrocalamus giganteus</i>
IC	: Indice de Conservation
INBAR	: International Network for Bamboo and Rattan
IWST	: Institute of Wood Science and Technology
MOE	: Module d'élasticité
MOR	: Module de rupture
PFNL	: Produits Forestiers Non Ligneux
PM	: Perte de Masse

GLOSSAIRE

Durabilité en service : faculté de résistance d'un matériau biodégradable à l'attaque des agents de biodégradation pendant un temps de service qui lui est déterminé.

Débitage : Découpage en pièces prêtes à l'emploi

Dégauchissage : travail qui consiste à aplanir (un matériau) en enlevant les aspérités par taille ou par abrasion

Indice de conservation : pourcentage de conservation d'une éprouvette après avoir été soumis à un test de durabilité

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

Test de durabilité : C'est une expérimentation qui consiste à soumettre des échantillons de bambou à des conditions définies afin d'évaluer leur durabilité en service

Usinage : façonnage (d'un matériau ou d'une pièce) à l'aide d'une machine-outil

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : DEMARCHE GENERALE DE LA RECHERCHE.....	3
FIGURE 2 : REPRESENTATION DES PARTIES DU CHAUME SECTIONNEES.....	9
FIGURE 3 : CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS SUIVANT LA POSITION ET L'ESPECE.....	12
FIGURE 4 : CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS TRAITES SUIVANT L'ESPECE.....	13
FIGURE 5 : CLASSIFICATION DES ECHANTILLONS SUIVANT LE TRAITEMENT APPLIQUE ET L'ESPECE.....	13
FIGURE 6 : DISPOSITIF D'EXPERIMENTATION	16
FIGURE 7 : GROUPEMENT DES ECHANTILLONS SUIVANT LA VALEUR DE L'INDICE DE CONSERVATION (IC)	19
FIGURE 8 : MECANISME DU FOUR A BOIS	25
FIGURE 9: DISPOSITIF D'EXPERIMENTATION POUR LE TEST DE L'EFFICACITE DES PRESERVATIONS	26
FIGURE 10 : ARRANGEMENT DES ECHANTILLONS SUIVANT LE TRAITEMENT ET L'INDICE DE CONSERVATION	29
FIGURE 11 : PERTE DE MASSE PAR GROUPE D'ECHANTILLONS SOUMIS AU TEST DE DURABILITE	34
FIGURE 12 : PERTE DE MASSE DES ECHANTILLONS SOUMIS AU TEST DE DURABILITE NATURELLE PAR ESPECE.....	35
FIGURE 13 : ATTAQUE DES TERMITES SUR LES ECHANTILLONS	36
FIGURE 14 : INDICE DE CONSERVATION PAR ESPECE DES ECHANTILLONS SOUMIS AU TEST DE DURABILITE	37
FIGURE 15 : INDICE DE CONSERVATION (IC) PAR GROUPE D'ECHANTILLONS SOUMIS AU TEST DE DURABILITE.....	38
FIGURE 16 : COMPARAISON PAR ESPECE DE LA DURABILITE DES ECHANTILLONS TRAITES ET CEUX NON TRAITES	39
FIGURE 17 : DURABILITE DE <i>DENDROCALAMUS GIGANTEUS</i>	39
FIGURE 18 : DURABILITE DE <i>DENDROCALAMUS ASPER</i>	40
FIGURE 19 : DURABILITE DE <i>BAMBUSA VULGARIS CONSTRICTINODA</i>	40
FIGURE 20 : DURABILITE DE <i>BAMBUSA VULGARIS STRIATA</i>	40

LISTE DES PHOTOS

PHOTO 1 : CHAUMES DES QUATRE ESPECES ETUDIEES.....	9
PHOTO 2 : PORTION DE CHAUME DE <i>BAMBUSA VULGARIS CONSTRICTINODA</i> FRAICHEMENT COUPES.....	10
PHOTO 3 : OPERATIONS D'USINAGE : DEBITAGE (A) ; RABOTAGE (B) ; DEGAUCHISSAGE (C).....	10
PHOTO 4 : EPROUVETTE DE <i>DENDROCALAMUS ASPER</i>	11
PHOTO 5 : ENCEINTE CLIMATIQUE DE TYPE PELTIER.....	12
PHOTO 6 : TEST DE DURABILITE NATURELLE EN LABORATOIRE.....	14
PHOTO 7 : TEST DE DURABILITE NATURELLE SOUS DES CONDITIONS NATURELLES DE CLASSE DE RISQUE N°4.....	14
PHOTO 8 : ARRACHAGE (A), NETTOYAGE (B) ET ETIQUETAGE (C) DES ECHANTILLONS.....	16
PHOTO 9 : PESAGE D'UN ECHANTILLON DE <i>DENDROCALAMUS ASPER</i>	17
PHOTO 10 : TRAITEMENT A L'EAU DES ECHANTILLONS DE <i>BAMBUSA VULGARIS STRIATA</i> ET DE <i>DENDROCALAMUS ASPER</i>	23
PHOTO 11 : DISPOSITIF D'ENFUMAGE DURANT LE TRAITEMENT.....	24
PHOTO 12 : SUBDIVISION DU TERRAIN D'EXPERIMENTATION.....	27

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : GRILLE D'EVALUATION DE LA DURABILITE NATURELLE SELON BEAUCHENE (1994).....	18
TABLEAU 2 : GRILLE D'EVALUATION DE LA DURABILITE DU BAMBOU SELON EDLUND (2006) ET THIEL (1973).....	20
TABLEAU 3 : ORIGINE ET DIFFERENTS TYPES DE DEGATS OBSERVES.....	36
TABLEAU 4 : INDICE DE CONSERVATION ET PERTE DE MASSE EN POURCENTAGE DES QUATRE ESPECES DE BAMBOUS.....	38
TABLEAU 5 : DUREE DE VIE EN SERVICE DES QUATRE ESPECES DE BAMBOUS DANS LES MEMES CONDITIONS QUE LE TERRAIN DES HAUTES TERRES.....	47
TABLEAU 6 : PROPOSITION DE MOYENS DE PRESERVATION DES QUATRE ESPECES DE BAMBOUS ETUDIEES.....	47
TABLEAU 7 : GUIDE DE PRISE DE DECISION DES MOYENS DE PRESERVATION POUR LES UTILISATEURS DE BAMBOU.....	49

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1.	Disposition des échantillons lors du test de durabilité naturelle	a
Annexe 2.	Disposition des échantillons traités	b
Annexe 3.	Perte de masse et Indice de conservation par groupe d'échantillons.....	c
Annexe 4.	Test de comparaison des pertes de masse entre les groupes d'échantillons	d
Annexe 5.	Test de comparaison des indices de conservation entre les groupes d'échantillons lors du test de durabilité	e
Annexe 6.	Perte de masse par espèce lors du test de durabilité	g
Annexe 7.	Comparaison des pertes de masse des échantillons non traités et traités	h
Annexe 8.	Comparaison des indices de conservation des échantillons non traités et traités	h
Annexe 9.	Comparaison des durabilités des échantillons traités et non traités par espèces.....	i
Annexe 10.	Classes de risques biologiques du bois.....	i
Annexe 11.	Cadre logique.....	j

TABLE DES MATIERES

•	Remerciement	i
•	Famintinana	i
•	Résumé	ii
•	Abstract	iii
•	Liste des Abréviations	iv
•	Liste des figures	vi
•	Liste des photos	vii
•	Liste des tableaux	vii
•	Liste des annexes	viii
	Partie 1. Introduction	1
	Partie 2. Méthodologie de Recherche	3
2.1	PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE	4
2.1.1	<i>Problématique de recherche</i>	4
2.1.2	<i>Hypothèses</i>	5
2.2	PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	7
2.2.1	<i>Collecte des échantillons de bambous</i>	7
2.2.2	<i>Confection des éprouvettes</i>	10
2.2.3	<i>Conditionnement des éprouvettes au laboratoire</i>	11
2.2.4	<i>Echantillonnage</i>	12
2.3	PROCEDES DE VERIFICATION DE L'HYPOTHESE 1	14
2.3.1	<i>Soumission des échantillons à l'expérimentation</i>	14
2.3.2	<i>Evaluation de la durabilité naturelle des bambous</i>	16
2.3.3	<i>Vérification de l'hypothèse 1</i>	21
2.4	PROCEDES DE VERIFICATION DE L'HYPOTHESE 2	21
2.4.1	<i>Traitement des échantillons</i>	22
2.4.2	<i>Soumission des échantillons à l'expérimentation</i>	26
2.4.3	<i>Evaluation de la durabilité des bambous non traités et ceux non traités</i>	28
2.4.4	<i>Comparaison de la durabilité des échantillons traités et des échantillons non traités</i>	28
2.4.6	<i>Vérification de l'hypothèse 2</i>	30
2.5	CADRE OPERATOIRE.....	31
	Partie 3. Résultats	34
3.1	RESULTATS RELATIFS A L'HYPOTHESE 1	34
3.1.1	<i>Perte de masse</i>	34

3.1.2	<i>Dégâts visibles sur les échantillons</i>	35
3.1.3	<i>Durabilité naturelle des bambous malgaches</i>	38
3.2	RESULTATS RELATIFS A L'HYPOTHESE 2.....	39
3.2.1	<i>Comparaison de la durabilité des bambous traités à ceux non traités</i>	39
Partie 4.	Discussions et Recommandations	41
4.1	DISCUSSIONS.....	41
4.1.1	<i>Discussions sur les résultats</i>	41
4.1.2	<i>Discussions sur la méthodologie</i>	42
4.1.3	<i>Vérification des hypothèses</i>	44
4.2	RECOMMANDATIONS.....	45
4.2.1	<i>Recommandations méthodologique</i>	45
4.2.2	<i>Recommandation sur l'utilisation des bambous</i>	46
Partie 5.	Conclusion	50
•	Références bibliographiques	52
•	Annexes	a

Partie 1 :
Introduction



Partie 1. INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, nombreux chercheurs se sont intéressés à la mise au point de matériaux et de technologies non-polluants qui consomment un minimum d'énergie lors de leur production (Boucher, 2006). Leur attention s'est progressivement tournée vers des matériaux non-industriels que sont les produits végétaux forestiers. Les produits forestiers incluent les produits ligneux mais également les produits forestiers non ligneux (PFNL). Pour le cas des PFNL, un nombre croissant d'institutions et d'organisations gouvernementales et non gouvernementales, et d'entités du secteur privé sont intervenues dans leur promotion et dans leur utilisation, à l'exemple de l'INBAR qui est une entité qui effectue des recherches sur les bambous. Parmi les PFNL utilisés dans le monde, le bambou intéresse un grand nombre d'acteurs. C'est une espèce forestière non ligneuse appartenant à la famille des Poacées (Thierry, 2008). Il existe environ 1400 espèces de bambou qui se propagent à travers les régions tempérés, tropicales et subtropicales (Meredith, 2009).

Les bambous possèdent une grande importance suivant les dimensions économiques, sociales et environnementales. Ils représentent un potentiel économique important parce qu'ils atteignent leur pleine croissance en quelques mois. Leur résistance mécanique maximale est atteinte en quelques années. Ensuite, les bambous occupent une grande place dans le commerce international. Sous forme de chaumes ou de produits finis (Tang et al., 2012), les bambous sont échangés avec une valeur d'échange d'une importance de 2 billions de dollar par an (Bystriakova, Kapos, & Lysenko, 2004). Dans certains pays les plus tributaires des bambous, ces derniers sont exploités à l'échelle industrielle. En Inde, plus de 1 million de tonnes de bambous sont utilisés dans l'industrie des pâtes à papier (Kumar et al., 1994).

Du côté social, de nombreux ménages dépendent du bambou. Les bambous, utilisés directement après la récolte ou sous-forme transformés, servent à une foule d'usages dans de nombreuses régions du monde. Ils fournissent des produits-clés de subsistance et des revenus. Les bambous possèdent plusieurs utilisations domestiques et agricoles, allant de la simple fabrication d'instruments de musique à la construction de logements et d'infrastructures agricoles telles que des systèmes d'irrigation (Bystriakova et al, 2004).

Sur le plan environnemental, les bambous sont aussi appréciés pour leurs vertus écologiques. Selon Zhou et al. (2005), les bambous jouent un rôle dans le contrôle de l'érosion du sol, la conservation de l'eau, la réhabilitation des terres agricoles et la séquestration du carbone. Les bambous interviennent également dans la conservation des espèces sauvages. A Madagascar, la présence de certaines espèces de bambous sont fondamentales pour la survie des lémuriens, notamment, l'*Hapalemur griseus*, l'*Hapalemur simus* et l'*Hapalemur aureus* (Bystriakova, Kapos, & Lysenko, 2004).

Madagascar figure parmi les pays qui possèdent des bambous recelant une forte diversité avec 33 espèces, ce qui signifie qu'il possède une richesse spécifique plus élevée que les autres pays du continent africain (Bystriakova et al, 2004). Les bambous se trouvent parmi les plantes les plus largement utilisées par la population malgache. En milieu rural, plus précisément dans les zones orientales de l'île, la filière bambou contribue au bien être de la majorité des ménages (Ramananantoandro et al., 2013). Actuellement, des entreprises locales, à l'exemple de Madagascar Bamboo, contribuent à la valorisation de quelques espèces de bambou malgache. Des opportunités en faveur de la filière bambou s'offrent également au niveau du pays. Il s'agit de l'Appui de l'INBAR (International Network for Bamboo and Rattan) ainsi que de l'initiative du Gouvernement malgache à inscrire la promotion de la filière bambou parmi les priorités du développement régional (Ramananantoandro et al., 2013). Malgré ces opportunités, la filière bambou se heurte encore à de nombreuses difficultés. La valeur économique du commerce des produits en bambou à Madagascar, comme dans tous les pays africains, reste encore négligeable (Bystriakova et al, 2004) et ne contribue que faiblement dans le développement économique du pays. L'une des contraintes majeures freinant le développement de la filière dans un pays en voie de développement comme Madagascar réside dans les lacunes au niveau des connaissances scientifiques sur le bambou. Le peu d'informations disponibles sur les propriétés de ces matériaux ainsi que sur la façon de les utiliser incite les habitants de ces pays à utiliser des matériaux industriels éprouvés, comme l'acier, pour lesquels l'information technique est abondante.

En vue d'enrichir les informations sur les bambous malgaches, des recherches sur les bambous ont été initiées par Rajaonalison (2012) et Rajohnson (2012), portant sur la caractérisation des propriétés physiques de quatre espèces : *Bambusa vulgaris striata*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Dendroclamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*. Récemment, Ramananantoandro et al. (2013) a analysé la filière bambou dans les zones orientales de Madagascar en vue de sa valorisation. Ces études ont donné des résultats prometteurs mais elles se limitent aux propriétés physiques des matériaux et aux contraintes et opportunités dans la valorisation de la filière dans la partie orientale malgache. La présente recherche se propose de compléter les informations sur ces études déjà réalisées en offrant un aspect plus pratique de l'utilisation des bambous. Elle tente, en effet, de répondre aux questions : Quelle est la durabilité naturelle des bambous soumis à des conditions climatiques malgaches ? et Est-il possible de l'améliorer par l'emploi des moyens de préservation ? Les hypothèses avancées pour y répondre ont été : La durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces étudiées, puis la durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation. Pour mener la recherche, des échantillons de bambous malgaches non traités et traités par des méthodes de préservation ont été installés sur une parcelle pour être testés durant six mois, puis évalués par des méthodes déjà employées par des autres chercheurs.

Partie 2 :
Méthodologie
de Recherche



Partie 2. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

La méthodologie adoptée dans cette recherche a reposé sur la démarche 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 (ESSA-Forêts, 2012). Pour cela, la recherche a été fondée sur la résolution d'une problématique à partir d'une proposition, puis, d'une vérification de deux hypothèses de réponses afin de soutirer des recommandations pratiques. Donc, les points clés sur lesquels est fondée cette recherche sont : la problématique, les hypothèses, les indicateurs et la méthodologie (Figure1).

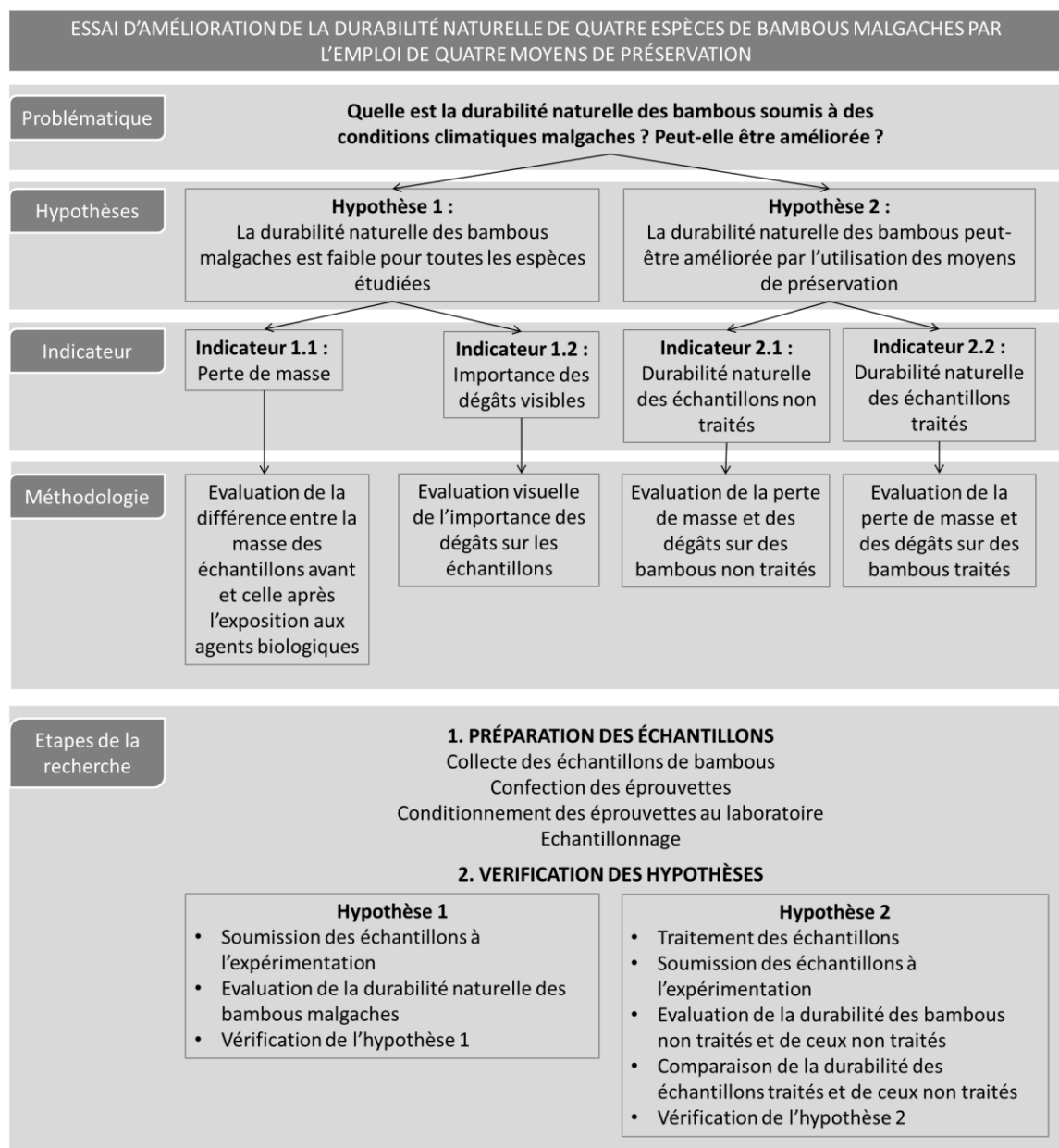


Figure 1 : Démarche générale de la recherche

2.1 Problématique et hypothèses de recherche

2.1.1 Problématique de recherche

Les bambous malgaches sont indispensables pour la population malgache. Ils servent de matières premières pour les produits exportés tels que les produits artisanaux, les instruments de musique et les meubles (Rajaonalison, 2012). En plus, le bambou fournit des matériaux de construction et des outils d'utilité quotidienne à la communauté résidant sur la partie orientale malgache (Ramananantoandro et al., 2013). Actuellement, le bambou commence à occuper une place importante à l'échelle industrielle à travers la valorisation mise au point par l'Entreprise Madagascar Bamboo. Malheureusement, les informations sur les bambous malgaches restent encore insuffisantes. La durabilité en service des bambous n'est pas encore connue. Pourtant, c'est l'un des critères permettant d'apprécier la potentialité du bambou puisque connaître leur durabilité permet de définir les conditions d'utilisation adéquates pour le matériau. En vue de définir la durabilité en service des bambous soumis à des conditions climatiques malgaches, la première question qui se pose est : **« Quelle est la durabilité naturelle des bambous soumis à des conditions climatiques malgaches ? »**

Le bambou utilisé à Madagascar est exposé à de grands risques d'attaques principalement provenant des agents biologiques de dégradation. Les bambous contiennent de l'amidon à un taux qui se situe entre 2 et 6% (Li, 2004). Cette présence d'une quantité considérable en amidon à l'intérieur des bambous verts ou secs attire certains organismes, plus particulièrement les champignons et les coléoptères (Kumar, et al., 1994), ce qui peut rendre les bambous vulnérables. De plus, les bambous possèdent une quantité très faible en résines et en tannins (Ashaari & Mamat, 2000), ce qui ne lui procure pas une quantité nécessaire en éléments toxiques pour éloigner les agents biologiques. Ensuite, les conditions climatiques de Madagascar qui correspondent au climat tropical sont favorables à la multiplication des champignons (Tang et al., 2012). Face à ces risques importants de dégradation, il est préférable que les bambous malgaches possèdent une bonne durabilité. Dans le cas contraire, ils doivent être traités convenablement avant d'être utilisés. Préserver les bambous permet non seulement de prolonger leur durée de vie en services (Varma, 2007), mais aussi de réduire la perte économique occasionnée par la régression des valeurs d'usage du bambou et d'augmenter la sécurité des infrastructures dans lesquelles ils sont utilisés (Rao, 2001). Pour préserver les bambous, l'idéal serait d'utiliser des moyens à la fois efficaces et adaptés au contexte malgache afin que les méthodes de traitement puissent être appliquées par les utilisateurs locaux des bambous. Pourtant, vu que ce sujet reste encore inexploré à Madagascar. C'est alors que se pose la deuxième question : **« Est-il possible d'améliorer la durabilité naturelle des bambous malgaches par l'emploi des moyens de préservation disponibles localement et peu onéreux ? »**

2.1.2 Hypothèses

En réponse aux deux questions de recherche : « Quelle est la durabilité naturelle des bambous soumis à des conditions climatiques malgaches ? » et « Est-il possible d'améliorer la durabilité naturelle des bambous malgaches par l'emploi des moyens de préservation disponibles localement et peu onéreux ? » deux hypothèses ont été avancées :

■ **Hypothèse 1 : La durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces étudiées**

Cette hypothèse repose sur d'autres études réalisées dans d'autres pays qui ont montré que les bambous possèdent une durabilité faible sur toutes les parties du chaume (Wahab et al., 2004 et Varma, 2007). De même, Ashaari et Mamat (2000) a découvert après 6 mois de soumission aux conditions naturelles, les échantillons de bambous testés ont été fortement dégradés. Mais il reste à savoir si les espèces malgaches se comportent de la même manière lorsqu'elles sont soumises aux conditions climatiques malgaches.

La dégradation d'un matériau comme le bois et le bambou se présente sous deux formes :

- Par la détérioration structurale, qui engendre une baisse des propriétés physiques et mécaniques, ce cas de dégradation se traduit par une perte de masse occasionnée par la rupture des éléments constitutifs du matériau ;
- et/ou par la détérioration visuelle du matériau qui se traduit par la modification indésirable de son aspect extérieur, ce cas se manifeste par le changement de la couleur naturelle et par la présence de trous creusés par des agents biologiques.

A partir de ces manifestations des dégâts, les indicateurs de la durabilité naturelle ont été tirés. Ces indicateurs sont : la perte de masse qui est de nature quantitative, et le second et l'importance des dégâts visibles sur le bambou qui est de nature qualitative.

■ **Indicateur 11 : La perte de masse des bambous**

Comme pour le bois, la dégradation du bambou s'apprécie par la perte de masse (Suprapti, 2009) puisque l'attaque des agents biologiques, à l'exemple du termite, conduit à la réduction du poids des échantillons (Varma, 2007). Plus la perte de masse sur un échantillon est élevée, moins cet échantillon est durable. Elle est obtenue à partir de la différence entre les masses initiales et les masses finales et elle est représentée en pourcentage.

■ **Indicateur 12 : L'importance des dégâts visibles sur les bambous**

Il s'agit des dégâts visibles et perceptibles par l'observateur. Ils se traduisent par la modification de la couleur naturelle et par la présence de trous plus ou moins larges. L'importance

des dégâts s'obtient par appréciation visuelle des échantillons. S'ils sont importants, cela prouve que cet échantillon ne résiste pas à l'attaque des agents de dégradation, autrement dit, cet échantillon n'est pas durable.

■ Hypothèse 2 : La durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation

Les essais de traitement effectués sur des bambous étrangers ont donné des résultats positifs puisqu'après préservation avec des méthodes chimiques ou écologiques, les bambous résistent à l'attaque des agents de dégradation et présentent une durabilité plus élevée. L'expérience effectuée par Wahab et al. (2004) sur une espèce de bambou en provenance de Malaisie (*Gigantochloa scortechinii*), par exemple, a donné des résultats positifs par rapport à l'efficacité de la méthode de préservation, qui est le traitement à l'huile, des bambous. De même, Ashaari et Mamat (2000) ont également réalisé une expérience sur les espèces de bambous malaisiens *Dendrocalamus apser*, *Bambusa vulgaris striata* et *Gigantochloa wrayi*. Ils ont déduit que les méthodes écologiques, à l'exemple du traitement à l'eau, sont efficaces pour préserver le bambou contre les agents de dégradation. Cela se justifie par le fait que les bambous traités par l'eau courante sont moins dégradés que les bambous non traités.

Ainsi, les traitements écologiques et chimiques disponibles au niveau local sont efficaces pour traiter les bambous étrangers, mais est-ce le cas pour les bambous malgaches ? C'est ce qui est supposé par l'hypothèse 2.

Pour savoir si la durabilité des bambous est améliorée après le traitement de préservation, une comparaison entre la durabilité des échantillons traités et non traités a été effectuée.

■ Indicateur 21 : La durabilité naturelle des échantillons de bambous non traités

La durabilité naturelle des échantillons de bambous non traités est à son tour appréciée par deux sous-indicateurs : la perte de masse et l'importance des dégâts visibles.

Sous-indicateur 211 : La perte de masse

Sous-indicateur 212 : L'importance des dégâts visibles

■ Indicateur 22 : La durabilité naturelle des échantillons de bambous traités

La durabilité naturelle des échantillons de bambous traités est aussi appréciée par deux sous-indicateurs.

Sous-indicateur 221 : La perte de masse des échantillons de bambous traités

Sous-indicateur 222 : L'importance des dégâts visibles sur les échantillons de bambous traités

Les méthodes employées pour déterminer ces indicateurs (perte de masse et importance des dégâts visibles) ont été les mêmes que celles utilisées pour la vérification de l'hypothèse 1.

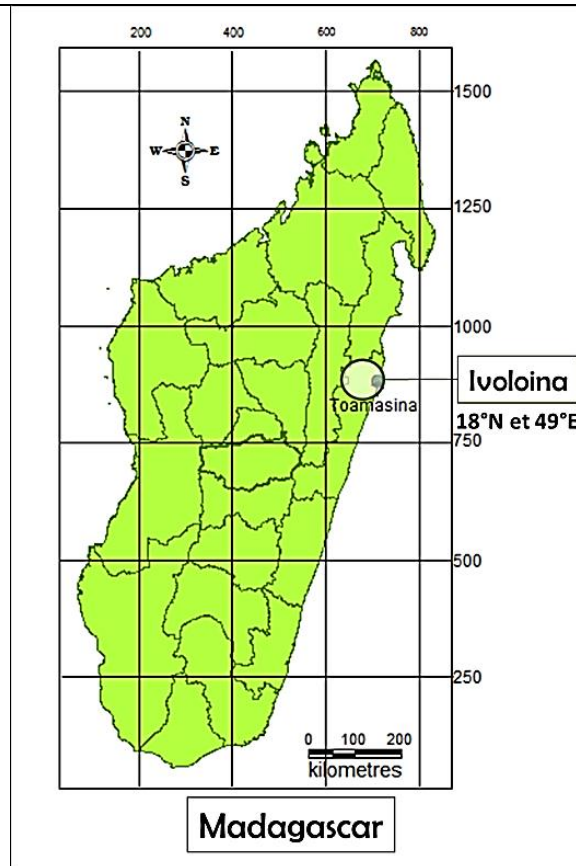
Lorsque la perte de masse et les dégâts visibles sur les bambous non traités est plus importants par rapport à ceux rencontrés sur les bambous traités, alors ces derniers sont plus durables que les bambous non traités. Cela signifie que les moyens de préservation utilisés ont amélioré la durabilité des bambous.

2.2 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons regroupe l'ensemble des étapes qui aboutissent à la production des échantillons destinées à l'expérimentation. Elle est constituée par la collecte des échantillons de bambous, leur usinage et leur conditionnement.

2.2.1 Collecte des échantillons de bambous

La collecte des échantillons a consisté au prélèvement de portions de bambous, sur trois parties différentes du chaume et provenant de quatre espèces de bambous malgaches. Les échantillons prélevés proviennent des espèces *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*. Elles ont été choisies pour deux raisons. Tout d'abord, elles sont les plus utilisées par les habitants locaux et éventuellement par certaines industries artisanales locales employant le bambou et l'industrie Madagascar Bamboo. Ensuite, ces espèces possèdent l'avantage d'être cespitueuses, c'est-à-dire, elles poussent en touffe serrée et ne risquent pas d'envahir car leur rhizome ne s'étend pas dans le sol, ce qui facilite la plantation pour des perspectives de production. La partie orientale de Madagascar, notamment Ivoloina (Carte 1), est le lieu de développement en abondance de ces espèces de bambous, ainsi, la collecte a été réalisée dans cette zone.



Carte 1 : Localisation d'Ivoloina

Source : BD500 du FTM

■ Identification des espèces

Tous les bambous ne présentent pas un aspect uniforme. Chaque espèce renferme ses caractéristiques propres (Rajaonalison, 2012). Ainsi, la distinction des espèces lors du prélèvement a reposé sur une observation scrupuleuse de chaque individu. L'espèce *Bambusa vulgaris striata* a été la plus facile à identifier puisque c'est la seule espèce qui a une couleur jaune avec des stries vertes alors que les autres sont toutes vertes. *Dendrocalamus constrictinoda* est facilement reconnaissable par sa taille plus grande par rapport aux autres espèces. *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Dendrocalamus asper*, malgré leur apparente ressemblance, se distinguent par le fait que ce dernier présente des poils caractéristiques (Photo 1).



Photo 1 : Chaumes des quatre espèces étudiées

De gauche à droite : *Bambusa vulgaris striata*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*.

■ Identification des chaumes matures

Pour obtenir des bambous de potentialité élevée, il a fallu trouver des chaumes possédant un âge supérieur à 3 ans. C'est l'âge à partir duquel les bambous deviennent matures et ils atteignent les potentialités technologiques optimales (Wakchaure & Kute, 2012). La détermination de l'âge a occasionné certaines difficultés : même si les chaumes appartiennent à une même touffe, ils ne sont pas obligatoirement de mêmes âges. Ainsi sur chaque touffe, il a fallu discerner les chaumes d'âge supérieur à trois ans des autres chaumes plus jeunes. Les bambous matures s'identifient par le nombre de ramifications qu'ils comportent (Eastern Africa Bamboo Project, 2008). L'apparition de la première ramification signifie que le chaume en question est âgé d'un an. La deuxième ramification apparaît lorsque le chaume atteint l'âge de deux ans et ainsi de suite. Les chaumes âgés de 3 ans sont donc caractérisés par trois ramifications.

■ Coupe des chaumes

Trois chaumes par espèce ont été abattus. Ensuite, sur chacun de ces chaumes, trois portions contenant trois entre-nœuds de 1m (Photo 2) et provenant chacune de trois positions différentes (partie inférieure, partie moyenne, partie supérieure) ont été collectées (Figure 2).

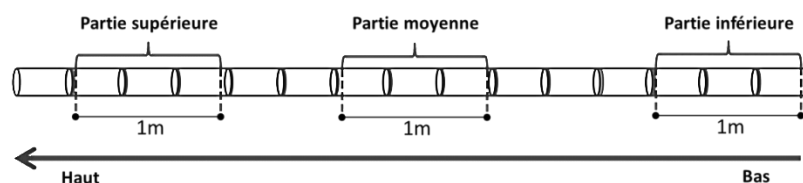


Figure 2 : Représentation des parties du chaume sectionnées



Photo 2 : Portion de chaume de *Bambusa vulgaris constrictinoda* fraîchement coupés

Le choix de la dimension et du nombre de chaume a pris en considération les diverses pertes de matériaux occasionnées lors de l'usinage. Ainsi, pour obtenir la quantité de lamelles de bambou nécessaire pour l'expérimentation, il a fallu prélever au total 36 portions de bambou, ce qui équivaut à 9 portions de chaumes pour chaque espèce.

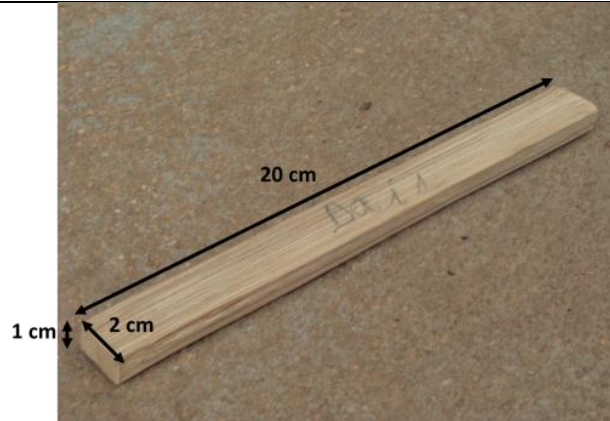
2.2.2 Confection des éprouvettes

Les éprouvettes ont été obtenues en procédant à des travaux d'usinage des bambous collectés. L'usinage regroupe l'ensemble des opérations effectuées pour obtenir des échantillons de forme normalisée. Cette opération a été effectuée dans le laboratoire de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. L'usinage a consisté à faire le débitage, le dégauchissage et le rabotage moyennant respectivement d'une scie circulaire, d'une dégauchisseuse et d'un rabot. Ce sont les inter-nœuds qui ont fait l'objet de la présente étude. Ce qui implique que la première opération de débitage consistait à extraire les inter-nœuds et à se débarrasser des nœuds. Le dégauchissage et le rabotage sont des opérations qui ont permis d'aplanir et d'obtenir deux surfaces de référence.



Photo 3 : Opérations d'usinage : débitage (a) ; rabotage (b) ; dégauchissage (c)

La dimension choisie pour les éprouvettes a été de : longueur 20 cm, largeur 2 cm et épaisseur variable comprise entre 5 mm et 1 cm.

Photo 4 : Eprouvette de *Dendrocalamus asper*

2.2.3 Conditionnement des éprouvettes au laboratoire

Le conditionnement est la soumission des échantillons dans une condition caractérisée par une température et un taux d'humidité défini dans le but de conférer aux échantillons le même taux d'humidité.

Afin de s'assurer que la perte de masse obtenue corresponde réellement à la perte de matériau liée à la dégradation mais non à la variation de l'humidité au sein des échantillons, les échantillons ont été conditionnés à un même taux d'humidité de 12%. Pour atteindre cette valeur, les échantillons ont été introduits dans l'enceinte climatique de type Peltier (Photo 5) calibrée à une humidité 65 % et à une température 20°C.

Le conditionnement a duré entre 3 et 4 jours suivant le degré d'humidité des échantillons avant leur introduction dans l'enceinte climatique. Pour s'assurer que les fragments de bambous conditionnés aient exactement le taux d'humidité requis, cinq échantillons ont fait l'objet d'un suivi journalier de masses à partir du deuxième jour de conditionnement. Pour cela, les cinq échantillons ont été pesés tous les jours jusqu'à l'obtention des masses constantes.



Photo 5 : Enceinte climatique de type Peltier

Dans l'enceinte climatique, les échantillons ont été disposés de telle manière que chacun puisse être suffisamment exposé aux conditions de l'enceinte. Donc, il a fallu veiller à bien les espacer pour faire circuler l'air.

2.2.4 Echantillonnage

2.2.4.1 Echantillonnage pour l'hypothèse 1

Dans cette partie de recherche, la durabilité en service des 4 espèces selon les trois hauteurs considérées (partie inférieure, partie moyenne, partie supérieure) ont été comparées. De manière à avoir une fiabilité statistique, 15 éprouvettes par espèce et par position ont été confectionnées, soit **45** lamelles pour chacune des 4 espèces, donc 180 lamelles en tout. Selon la localisation des échantillons sur le chaume (venant de même position et de même espèce) et selon l'espèce à laquelle ils appartiennent, ils ont été répartis en 12 groupes de 15 éprouvettes (Figure 3).

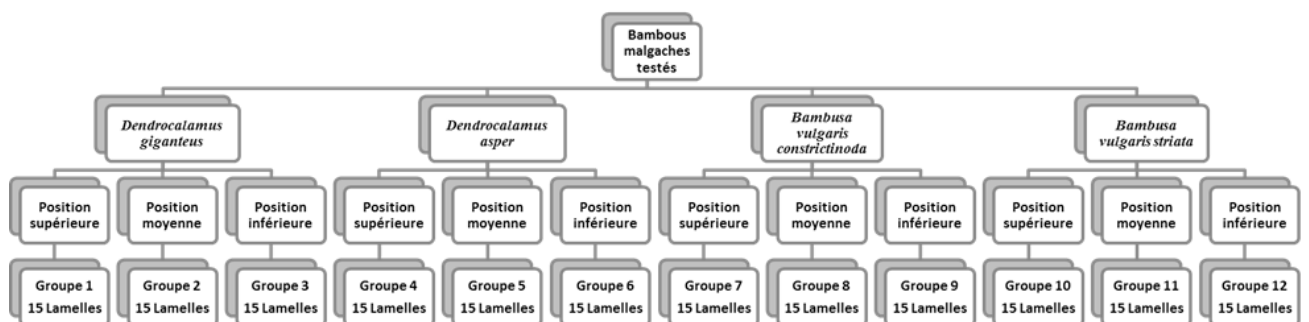


Figure 3 : Classification des échantillons suivant la position et l'espèce

2.2.4.2 Echantillonnage pour l'hypothèse 2

La méthodologie adoptée pour vérifier l'hypothèse 2 a été basée sur la comparaison de la durabilité des bambous traités et de ceux non traités. Cette comparaison a été effectuée au niveau « espèce ». Deux types d'échantillons ont été employés. Le premier type regroupe les éprouvettes « témoins » tandis que le second regroupe les éprouvettes traitées par des méthodes de préservation.

Les éprouvettes « témoins » ont été les mêmes utilisés pour vérifier l'hypothèse 1. Leur nombre a donc été de 180 (45 éprouvettes par espèce). Suivant l'appartenance à la même espèce, quatre groupes ont été établis (Figure 4).

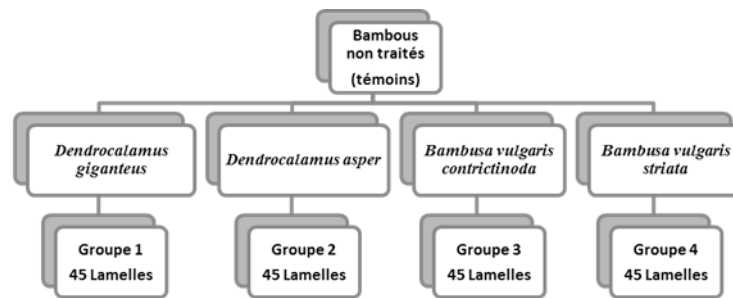


Figure 4 : Classification des échantillons traités suivant l'espèce

Pour les échantillons traités, leur nombre ont été de 160, ce qui équivaut à 40 lamelles par espèces. Ces 40 lamelles ont été divisées en 4 groupes pour être traitées différemment. Ainsi, pour chaque traitement, 10 lamelles ont été employées (Figure 5).

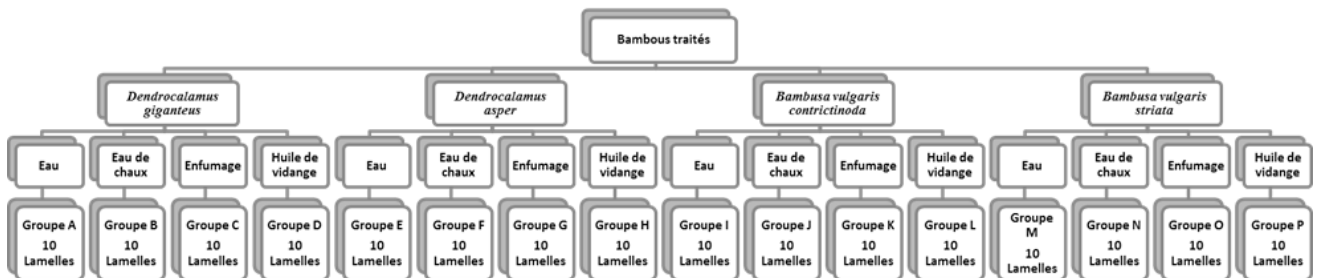


Figure 5 : Classification des échantillons suivant le traitement appliqué et l'espèce

Lors de la comparaison, le Groupe 1 témoin servira de référence aux Groupes A, B, C et D traités, puis le Groupe 2 témoin servira de référence aux Groupes E, F, G et H, ensuite, le Groupe 3 témoin servira de référence aux Groupes I, J, K et L, enfin le Groupe 4 témoin servira de référence aux Groupes M, N, O et P.

2.3 Procédés de Vérification de l'hypothèse 1

Il est supposé dans la première hypothèse que la durabilité naturelle des bambous malgaches est faible sur toutes les parties du chaume. La durabilité naturelle a été appréciée à travers deux indicateurs : la perte de masse et l'importance des dégâts visibles.

La démarche adoptée a consisté à (1) soumettre des échantillons de bambous à des conditions climatiques d'Antananarivo, à (2) déterminer la perte de masse des échantillons et à (3) évaluer l'importance des dégâts visibles par observation, à en (4) déduire la durabilité naturelle des bambous malgaches et enfin à vérifier l'hypothèse 1.

2.3.1 Soumission des échantillons à l'expérimentation

2.3.1.1 Choix du test

Il existe deux types de test pour évaluer la durabilité naturelle des bambous (Ashaari & Mamat, 2000). Il s'agit du test effectué en laboratoire (Photo 6) et du test effectué sur un terrain exposé aux conditions climatiques locales et dont les échantillons sont placés en contact permanent avec le sol, appelé « graveyard test » (Photo 7).



Photo 6 : Test de durabilité naturelle en laboratoire

Source : (Varma, 2007)



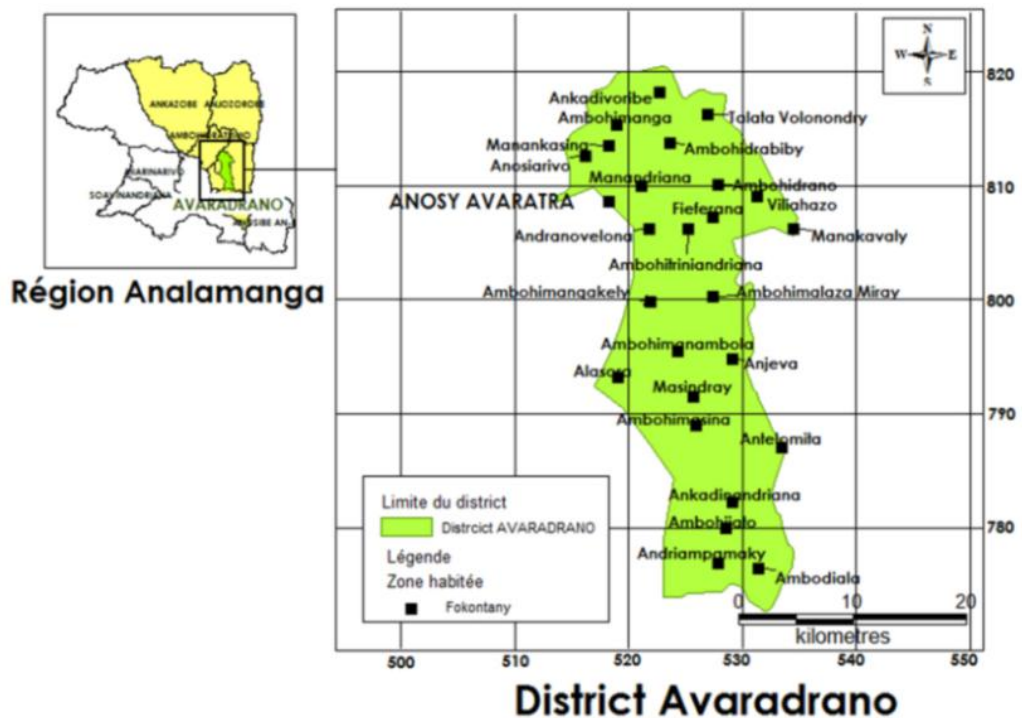
Photo 7 : Test de durabilité naturelle sous des conditions naturelles de classe de risque n°4

Dans cette recherche, le test retenu a été le « graveyard test » puisque l'essai en laboratoire nécessite la mobilisation de moyens qui ne sont pas disponibles à Madagascar. Les conditions d'un graveyard test sont typiques d'une classe de risque biologique n°4 du bois (Annexe 10) définie par la norme NF EN 335 (Direction de l'Architecture et du Patrimoine, 2002). C'est une condition dans laquelle le bois est en contact permanent avec le sol et subit une humidification prolongée. Pour le cas d'une étude de la progression des altérations du bois, le terrain d'expérimentation soumis à ces conditions est également nommé « pourrissoir à bois » par Guéneau (1965) en raison du fait de laisser le bois dans un milieu favorable à la dégradation pour être testé.

Un matériau biodégradable comme le bois et le bambou soumis à cette classe d'emploi est exposé à des risques accrus de dégradations occasionnées par des insectes, des termites et des champignons (Adam, 2008).

2.3.1.2 Test de durabilité naturelle

Le test de durabilité s'est déroulé au sein du Fokontany Anosy Avaratra (Carte 2), localisé dans le District Avaradrano de la Région Analamanga de Madagascar. Cette Région est soumise à un climat de type tropical d'altitude.



Carte 2 : Localisation géographique du site d'expérimentation

Source : BD500 du FTM (Foiben-Taofsarintany Malagasy)

Le test de durabilité naturelle a duré 6 mois (01 Mars – 31 Aout 2013), durée conforme à celle de l'expérience réalisée par Wahab et al. (2004) et par Ashaari & Mamat (2000) pour tester la durabilité naturelle des bambous à l'étranger. Les démarches ont été réalisées suivant des protocoles opératoires similaires à ceux de Ashaari et Mamat (2000). Les échantillons ont été placés sur une parcelle sur laquelle ils ont été enfouis à la moitié de leur longueur et ils ont été espacés de 30cm (Figure 6).

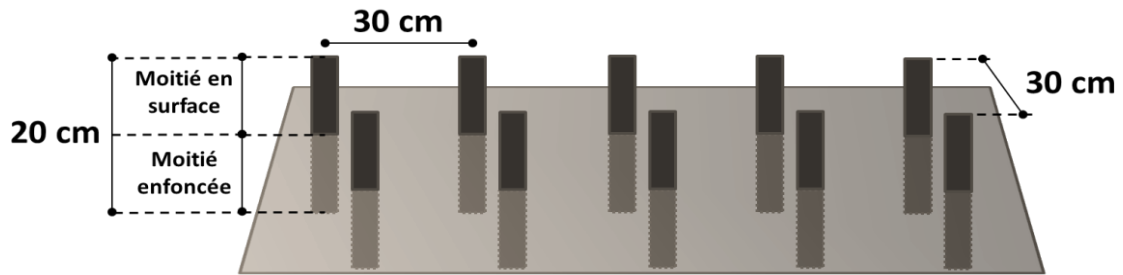


Figure 6 : Dispositif d'expérimentation

Pour faciliter l'identification des lamelles lors de leur extraction, elles ont été marquées par des notations. Toutefois, étant donné que les échantillons sont exposés à des aléas climatiques, et donc peuvent se détériorer, par précaution, ils ont été arrangés d'une manière à ce qu'elles suivent un ordre précis (Annexe1).

2.3.1.3 Extraction des échantillons du lieu d'expérimentation

Au bout de six mois d'exposition aux conditions locales, les échantillons ont été minutieusement extraits hors du sol (Photo 8a). Des restes de terres se sont déposés sur la surface des éprouvettes retirées du sol. Leur présence sur les échantillons risque de biaiser leurs masses exactes. Alors, pour les enlever, les échantillons ont été délicatement nettoyés avec du chiffon (Photo 8b). Chaque échantillon arraché a été immédiatement étiqueté (Photo 8c) pour faciliter leur identification et pour éviter qu'ils se confondent entre eux.



Photo 8 : Arrachage (a), nettoyage (b) et étiquetage (c) des échantillons

2.3.2 Evaluation de la durabilité naturelle des bambous

La durabilité naturelle a été évaluée à partir du calcul de la perte de masse, qui est une appréciation quantitative, et aussi par l'observation des dégâts visibles sur les échantillons, qui est une appréciation qualitative.

2.3.2.1 Evaluation à partir de la perte de masse

La perte de masse est définie par la différence, représentée en pourcentage, entre la masse de l'échantillon avant et après leur soumission à l'expérimentation. Elle a été obtenue par le pesage des échantillons avant l'expérimentation pour l'obtention de la masse initiale, puis, à la fin de l'expérimentation en vue d'obtenir la masse finale. Les masses des échantillons ont été obtenues par l'emploi d'une balance électronique de précision de 0,01g (Photo 9).



Photo 9: Pesage d'un échantillon de *Dendrocalamus asper*

La perte de masse a été calculée suivant trois niveaux : niveau « échantillon », niveau « Groupe » et niveau « espèce ».

🟢 Niveau « échantillon »

La perte de masse évaluée au niveau de chaque échantillon permet de définir les valeurs extrêmes de la perte de masse, c'est-à-dire, la perte de masse maximale et la perte de masse minimale. La perte de masse de chaque échantillon i , noté $\Delta M_i(\%)$, a été représentée en pourcentage. Elle a été donc donnée par la formule suivante :

$$\Delta M_i(\%) = \frac{(M_0 - M_f)}{M_0} \times 100$$

M_f : Masse finale de l'échantillon après l'expérimentation

M₀ : Masse initiale des échantillons avant l'expérimentation

🟢 Niveau « groupe d'échantillons »

A titre de rappel, un groupe d'échantillons représente l'ensemble des échantillons prélevés sur une même position d'une même espèce. L'évaluation effectuée au niveau « groupe » permet une analyse de la variabilité de la perte de masse suivant la position sur laquelle les échantillons ont été prélevés.

La perte de masse pour chaque groupe d'échantillons est la moyenne des pertes de masse de tous les échantillons au sein du groupe. Ensuite, la perte de masse moyenne $\Delta M(\%)$ des échantillons appartenant au même groupe a été donnée par la formule ci-après :

$$\Delta M(\%) \text{ moyenne} = \frac{\sum \Delta M_i}{n}$$

ΔM_i : Perte de masse (en pourcentage) de l'éprouvette i après l'expérimentation

n : Nombre d'éprouvettes total par groupe ($N=15$)

Niveau « Espèce »

La perte de masse évaluée au niveau de chaque espèce permet de définir la durabilité naturelle pour chacune d'elles et aussi d'analyser les variabilités inter-espèces. Elle a été évaluée à partir du calcul de la moyenne des pertes de masse des échantillons. La formule pour déterminer la perte de masse moyenne par espèces a été :

$$\Delta M(\%) \text{ moyenne par espèce} = \frac{\sum \Delta M_i}{N}$$

ΔM_i : Perte de masse en pourcentage de l'éprouvette i après l'expérimentation

N : Nombre d'éprouvettes total par espèce ($N=45$)

En prenant la perte de masse comme indicateur définissant la durabilité naturelle, la méthode employée a été la même que Beauchêne (1994) a mis au point. Cet auteur a élaboré une grille mettant en correspondance la perte de masse en pourcentage avec la durabilité naturelle correspondante.

Tableau 1 : Grille d'évaluation de la durabilité naturelle selon Beauchêne (1994)

Perte de masse (en pourcentage)	Durabilité
[0 ; 5[Très durable
[5 ; 10[Durable
[10 ; 20[Moyennement durable
[20 ; 30[Peu durable
Supérieure à 30 %	Non durable

Source : Beauchêne (1994)

Selon Beauchêne (1994), un matériau figure parmi les « non durables » lorsque celui-ci présente une perte de masse supérieure à 30%.

2.3.2.2 Evaluation par l'observation des échantillons

Cette partie de l'évaluation consiste à observer l'importance des dégâts visibles sur les échantillons pour en déduire leur durabilité. Elle est subdivisée en deux grandes parties : l'observation des échantillons au moment de l'arrachage hors du sol et l'interprétation de l'importance des dégâts ou la déduction de la durabilité des échantillons.

▪ Observation et évaluation de l'importance des dégâts visibles

L'observation des échantillons a commencé à partir de l'extraction des échantillons hors du sol. L'observation a consisté à identifier les agents de dégradation potentiels afin de mieux expliquer les résultats, à reconnaître le degré de durabilité à partir de l'état de dégradation et de la manifestation des dégâts. Les dégâts occasionnés par les agents biologiques se traduisent par la détérioration de la couleur naturelle du matériau et par la présence des trous de dimensions variables. C'est pourquoi, l'observation s'est concentrée sur la profondeur et la dimension de trous et sur la variation de la couleur.

Pour avoir un aperçu global des échantillons, les éprouvettes ont été étalées sur le sol et ceux qui présentent les mêmes indices de conservation ont été regroupés (Figure 7).



Figure 7 : Groupement des échantillons suivant la valeur de l'Indice de Conservation (IC)

▪ Méthodes d'interprétation

Pour correspondre l'ampleur des dégâts avec la durabilité naturelle des échantillons, les méthodes retenues ont été celles de Edlund (2006) et de Thiel (1973). Edlund (2006) a défini la durabilité naturelle d'un matériau en correspondant l'importance des dégâts visibles avec le degré de durabilité (Tableau 2). Cette méthode de Edlund (2006) a été associée avec celle de Thiel (1973) qui reprend les techniques de Fougerousse (1966). Il a associé pour chacun des cinq classes un indice de conservation qui est représenté en pourcentage.

Tableau 2 : Grille d'évaluation de la durabilité du bambou selon Edlund (2006) et Thiel (1973)

Classe	Importance des dégâts visibles	Indice de conservation (IC)	Intervalle d'indice de conservation	Interprétation
0	Aucun : Aucun changement perçu par l'observateur. Aucune variation de couleur	100%	[100 ; 90[Très durable
1	Faible : Changement perceptible au niveau de l'échantillon mais qui reste encore peu intense. Il se traduit par une simple variation de couleur et par une dégradation superficielle	90%	[90 ; 75[Durable
2	Moyenne : Changement marqué qui 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%	[75 ; 50[Moyennement durable
3	Forte : Changement sévère caractérisé 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	50%	[50 ; 25[Peu durable
4	Dégradation totale : Dégradation atteint toute la surface	0%	[25 ; 0[Non Durable

Source : Edlund (2006)

Selon les méthodes associées de Edlund (2006) et de Thiel (1973), un matériau est scientifiquement jugé de « non durable » lorsque celui-ci présente une dégradation totale, c'est-à-dire, que celui-ci est complètement détériorée sur toute la surface et aussi lorsqu'il présente un indice de conservation de 0% (Tableau 2 – 6^{ème} ligne).

2.3.2.3 Traitement des données

Vu la quantité des échantillons prises en compte, les données brutes ont été constitués par un grand nombre de valeurs. Ainsi des opérations de traitement de données ont été faites pour réorganiser les valeurs, les synthétiser et les analyser pour permettre d'interpréter les résultats. Le traitement des données a été effectué sur le logiciel Microsoft Excel et sur XLSTAT. Le recours à la statistique est nécessaire pour l'obtention des résultats fiables.

En cas de différence apparente entre les résultats, un test statistique a été mise au point pour vérifier si la différence entre les durabilités est réellement significative. De même, en cas de similarité apparente, le même test a été effectué pour savoir si cette similarité est réellement significative ou non.

La statistique descriptive réalisée offre une vue globale sur l'ensemble des échantillons. Les paramètres de description employées a été principalement la moyenne et la variance. Des graphes ont été conçus pour synthétiser les données.

Lors des comparaisons entre des groupes d'échantillons différents, un test statistique de comparaison a été établi. Selon que la distribution des échantillons à tester soient normales ou non, il existe deux types de test : L'ANOVA (ou Analyse de la Variance), pour le premier cas, et le test non paramétrique de Kruskal-Wallis à un niveau de signification 5% pour le second cas.

2.3.3 Vérification de l'hypothèse 1

L'hypothèse 1 « *La durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces* » est vérifiée si et seulement si tous les échantillons de bambous expérimentés sont qualifiés de « non durable ». Et les échantillons sont dits non durables qu'ils possèdent une perte de masse **supérieure à 30 %** (Beauchene, 1994) et possède un indice de conservation 0% (Edlund et al., 2006 et par Thiel, 1973).

2.4 Procédés de Vérification de l'hypothèse 2

Il est supposé dans la deuxième hypothèse que la durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation.

En général, la démarche adoptée pour vérifier la deuxième hypothèse a été de traiter une certaine quantité d'échantillons et de comparer leur durabilité avec des échantillons témoins qui n'ont pas subi de traitement pour en déduire si la préservation des échantillons améliore réellement la durabilité naturelle des bambous. Les procédés adoptés ont été les suivants : (1) Traitement des échantillons, (2) Soumission des échantillons à l'expérimentation, (3) Evaluation de la perte de masse et appréciation visuelle des dégâts sur les bambous non traités, (4) Evaluation de la perte de masse et appréciation visuelle des dégâts sur les bambous traités, (5) Comparaison de la durabilité des échantillons traités et ceux non traités, (6) Vérification de l'hypothèse 2.

2.4.1 Traitement des échantillons

2.4.1.1 Choix des méthodes de traitement

Les bambous, lorsqu'ils sont convenablement traités par des moyens de préservation, deviennent résistants à l'attaque des insectes et des champignons (Varma, 2007). Ainsi, les moyens de préservation utilisés dans cette recherche concernent non seulement les méthodes appliquées aux bambous mais également celles pouvant être appliquées au bois.

Devant la complexité et la multiplicité des produits présentés dans le commerce, des méthodes pratiquées dans le monde, des conditions spéciales à Madagascar, des agents naturels d'attaque, des dépenses que peuvent consentir les différents utilisateurs, il n'est pas possible d'essayer tous les types de préservation. Ainsi, des critères de choix ont été fixés pour restreindre le nombre de méthodes. Les méthodes de préservation doivent être efficaces, adaptées au contexte malgache et respectueuses de l'environnement.

Efficace

Les méthodes retenues pour traiter les échantillons ont été choisies à partir des méthodes considérées efficaces selon la revue de la littérature. Une méthode est jugée efficace lorsque des expériences scientifiques antérieures le prouvent ou quand des utilisateurs locaux de bois ou de bambous le pratiquent.

Adaptée au contexte malgache

Les méthodes ont été sélectionnées parmi celles qui se rencontrent très facilement à Madagascar. En effet, il faut qu'elles soient accessibles à toutes les catégories d'utilisateurs de bois et de bambou, c'est-à-dire qu'elles devraient être à un prix peu élevé et se trouver à proximité des utilisateurs possibles. Ainsi, pour s'assurer que les méthodes soient adaptées au contexte malgache, elles ont été choisies parmi celles qui ont déjà été employées au niveau local par de simples utilisateurs ou par les industries utilisant le bambou, comme Madagascar Bamboo, pour traiter le bois ou éventuellement le bambou.

Respectueuse de l'environnement

Dans le contexte actuel de dégradation de l'état de l'environnement, les méthodes écologiques sont préconisées. Ainsi, pour éviter de résoudre un problème, en préservant les bambous, et d'en créer d'autres, en dégradant l'environnement, il est judicieux de trouver des moyens de préservation soucieux de l'environnement.

A partir de ces critères de choix, quatre méthodes ont été sélectionnées : le traitement à l'eau, l'enfumage, le traitement à l'eau de chaux et le traitement à l'huile de vidange. D'après la classification des méthodes de préservation de Bhawan & Marg (2006), les trois premières méthodes appartiennent à la catégorie des méthodes traditionnelles. Par conséquent, elles sont donc écologiques, peu coûteuses et ne requièrent pas d'expériences spécifiques ni d'équipements particuliers (Varma, 2007). Quant à l'huile de vidange, elle n'est pas particulièrement écologique mais son avantage est que, selon les utilisateurs locaux de bois, c'est un produit efficace pour protéger le bois et aussi c'est un produit qui se retrouve facilement sur le marché. En effet, c'est le produit de préservation le plus couramment utilisé par les utilisateurs de bois à Madagascar.

2.4.1.2 Application des traitements sur les échantillons

a) Traitement à l'eau

La durabilité du bambou contre les moisissures, les champignons et l'attaque des agents responsables des trous est associée à sa composition chimique (Li, 2004), notamment, à sa composition en amidon. Ashaari et Mamat (2000) démontrent que la réduction de l'amidon dans le bambou contribue à la réduction de la détérioration causée par les champignons vu que c'est l'amidon qui attire ce type d'agent biologique. Traditionnellement, le traitement à l'eau consiste à immerger le bambou dans l'eau stagnante pendant trois mois afin de dissoudre l'amidon ainsi que les autres substances nuisibles à la conservation des tiges (Boucher, 2006).



Photo 10 : Traitement à l'eau des échantillons de *Bambusa vulgaris striata* et de *Dendrocalamus asper*

La perte de masse des bambous diminue lorsque la durée de traitement à l'eau augmente (Ashaari & Mamat, 2000). La durée minimale du traitement est de 2 semaines. Certains chercheurs ont suggéré qu'une durée de traitement à l'eau comprise entre 4 à 12 semaines est suffisante (Kumar, Shukla, Dev, & Dobriyal, 1994). Dans cette recherche le traitement à l'eau a duré 12 semaines.

Selon la disponibilité de l'eau et des moyens, il existe deux manières de traiter les bambous. Il s'agit de les exposer à de l'eau courante ou de les immerger dans de l'eau stagnante contenue dans

un récipient ou dans un bassin et remplacée régulièrement pour éviter l'encrassement. Dans cette recherche, la deuxième option a été sélectionnée, en renouvelant l'eau toutes les 24 heures, et ceci pendant 12 semaines.

b) Enfumage

L'enfumage est le traitement qui consiste à soumettre les échantillons de bambous à de la fumée dans un dispositif d'enfumage (Photo 11). Le dispositif d'enfumage, appelé aussi four à bois, est une enceinte close qui possède une ouverture d'entrée et des orifices de sortie permettant de faire circuler la fumée. La fumée agit sur les bambous grâce à la chaleur et aux agents toxiques qu'elle apporte pour détruire l'amidon. Par conséquent, les bambous exposés à la fumée sont protégés contre les attaques d'insectes puisque l'amidon qui attire les agents biologiques a été détruit par la fumée. Dans un autre contexte, l'enfumage sert à donner au chaume de bambou une teinte plus sombre et plus appréciée par les consommateurs, selon un artisan œuvrant dans la fabrication des meubles en bambous.

Pour conduire cette expérience, un dispositif spécial a été mis au point dans le cadre de cette recherche. Les matériels nécessaires sont : un four à bois et du bois de chauffe. Le four à bois possède une ouverture prolongée, c'est le conduit de fumée. Il permet d'introduire la fumée issue de la carbonisation du bois de chauffe. Le four est également composé de quatre murs : les trois côtés ont été construits en brique, mais le quatrième, susceptible d'être retiré, a été construit en bois. La partie supérieure du four est couverte par un toit en tôle. A l'intérieur, le four est constitué d'une traverse en bois sur laquelle sont déposées les éprouvettes, située à 10 cm du toit.

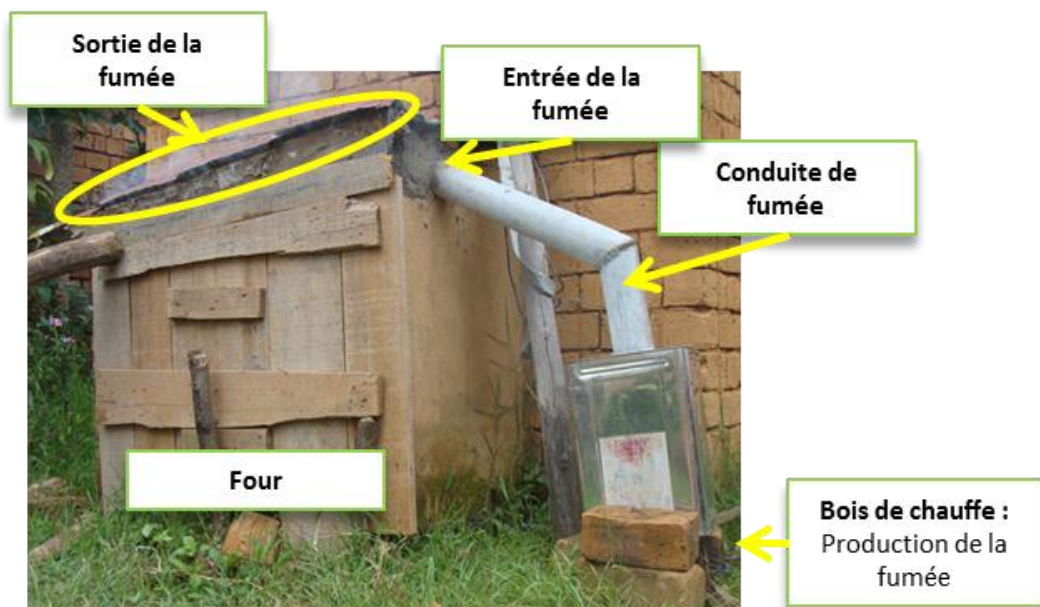


Photo 11 : Dispositif d'enfumage durant le traitement

L'enfumage a duré 10 heures. Les éprouvettes ont été déposées sur la traverse en bois. Le bois a été brûlé en vue de produire de la fumée. La fumée a été introduite dans le four par une conduite en acier. Elle passe par le four et sort à travers les orifices de sortie situés sous la toiture. A la fin du traitement, les bambous ont été légèrement noircis par la fumée.

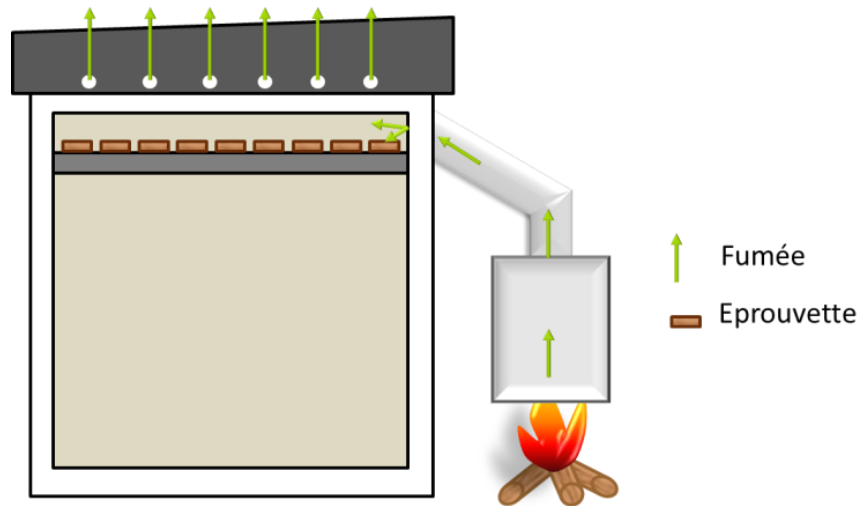


Figure 8 : Mécanisme du four à bois

c) Traitement à l'huile de vidange

L'huile de vidange est le produit de préservation couramment utilisé par les utilisateurs de bois à Madagascar. C'est un matériel à composition complexe. Il est constitué d'une large gamme de produits chimiques : paraffine, naphte, hydrocarbures aromatiques de pétrole, noir de carbone, boues, solvants aromatiques et non aromatiques, eau émulsifiée, glycols, limaille, sels métalliques, agents antimousses composés de silice, pétrole, hydrate de carbone aromatique polycyclique.

L'huile de vidange est un produit chimique très puissant pouvant causer des dommages physiques sur les organismes en empêchant la circulation de l'oxygène.

Actuellement, deux types de procédés principaux assurent une grande majorité des traitements effectués : les procédés d'imprégnation superficielle avec notamment le trempage court et les procédés d'imprégnation profonde par autoclave vide et pression (Courtois, 2006). Le trempage court est un procédé similaire à la pulvérisation, au badigeonnage à la brosse ou au pinceau puisqu'ils mettent en œuvre les mêmes produits et donnent des résultats similaires. Le mode de traitement pratiqué dans cette recherche a été le trempage court puisque c'est un procédé couramment pratiqué par les utilisateurs malgaches locaux pour traiter le bois avec l'huile de vidange et raison de l'indisponibilité d'un autoclave.

Le traitement a consisté à immerger en piles les éprouvettes de bambous dans de l'huile de vidange déjà usée. Pour une meilleure application et une meilleure imprégnation du produit, les échantillons ont été immergés pendant quelques minutes dans le produit.

d) Traitement à l'eau de chaux

L'eau de chaux agit sur le matériau traité comme protecteur contre les insectes, antiseptique, antifongique, désinfectant. L'eau de chaux protège le bambou en inhibant la pénétration de l'eau (Bhawan et Marg, 2006) et rend alcaline la surface des bambous. Par conséquent, après traitement, le taux d'humidité des bambous n'augmente plus, ce qui diminue l'attaque des champignons.

L'eau de chaux s'obtient à partir du mélange de la chaux éteinte avec de l'eau. Les proportions correspondantes sont de 1 volume de chaux pour 2 volumes d'eau. Après décantation pendant 24 heures, la solution, appelée eau de chaux a été extraite du mélange. L'application du traitement se traduit par un trempage court. De ce fait, le bambou a été imprégné dans l'eau de chaux obtenue durant une semaine.

2.4.2 Soumission des échantillons à l'expérimentation

2.4.2.1 Choix du type de test

L'objectif du test est de soumettre les échantillons traités par des produits de préservation et ceux non traités aux mêmes risques d'attaque biologique. Ces deux types d'échantillons ont été donc disposés côte à côte sur le même terrain et soumises aux mêmes conditions. Le type de test adopté a été le « graveyard test » où les échantillons ont été exposés aux classes d'emploi correspondant à la classe de risque biologique n°4 de la norme NF EN 335.

2.4.2.2 Installation des échantillons

Le dispositif d'expérimentation utilisé a été celui adopté par Ashaari et Mamat (2000). Comme pour le test de durabilité naturelle, tous les éprouvettes ont été espacées de 30 cm et enfoncées à la moitié de leur longueur. Le test a duré 6 mois.

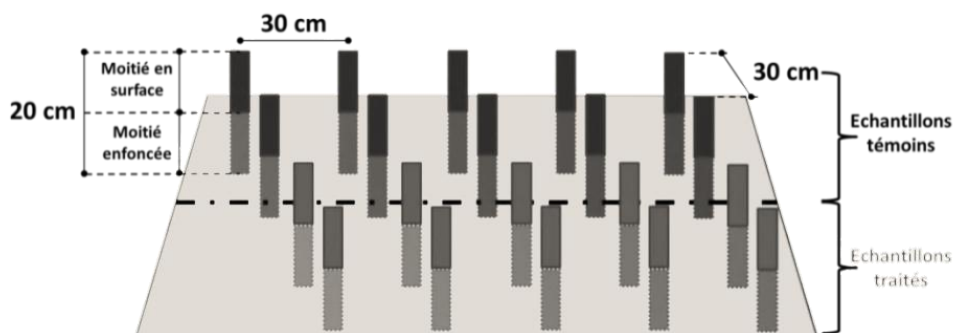


Figure 9: Dispositif d'expérimentation pour le test de l'efficacité des préservations

Le terrain d'expérimentation a été subdivisé en deux : une partie a été occupée par les échantillons traités alors que l'autre partie a été occupée par les échantillons non traités. L'installation des échantillons traités a été effectuée le même jour que les échantillons témoins.



Photo 12 : Subdivision du terrain d'expérimentation

2.4.3 Evaluation de la durabilité des bambous non traités et ceux non traités

L'évaluation de tous les échantillons, qu'ils soient traités ou non a été effectuée à partir de deux indicateurs : la perte de masse et l'indice de conservation.

▪ Evaluation effectuée à partir de la perte de masse

L'évaluation à partir de la perte de masse a été effectuée sur deux niveaux : le niveau « échantillon » et le niveau « espèce ».

🌿 Niveau « échantillon »

La perte de masse de chaque échantillon i , noté $\Delta M_i(\%)$, a été représentée en pourcentage.

$$\Delta M_i(\%) = \frac{(M_0 - M_f)}{M_0} \times 100$$

🌿 Niveau « Espèce »

La formule pour déterminer la perte de masse moyenne par échantillon est :

$$\Delta M(\%) \text{ moyenne} = \frac{\sum \Delta M_i}{N}$$

▪ Evaluation effectuée à partir de l'importance des dégâts visibles

L'évaluation a adopté le même principe que celle utilisée lors de la vérification de l'hypothèse 1. Ainsi, elle a consisté à observer minutieusement les échantillons après l'expérimentation. L'observation des échantillons a commencé à partir de l'extraction des échantillons hors du sol. Elle s'est également concentrée sur la profondeur et la dimension des trous et sur la couleur. Pour correspondre les résultats des observations avec la durabilité, les méthodes de Edlund (2006) et de Thiel (1973) ont été reprises.

2.4.4 Comparaison de la durabilité des échantillons traités et des échantillons non traités

2.4.4.1 Procédés de comparaison

Tous les échantillons ont été étalés ensemble sur le sol afin que la différence au niveau de leur état de dégradation soit mieux appréhendé par l'observateur.

Un tableau a été tracé sur le sol pour répartir les éprouvettes suivant leur état de dégradation et suivant le traitement qu'ils ont subi après l'expérimentation. Etaler les éprouvettes de cette manière permet déjà d'avoir un aperçu global des résultats (Figure 10).

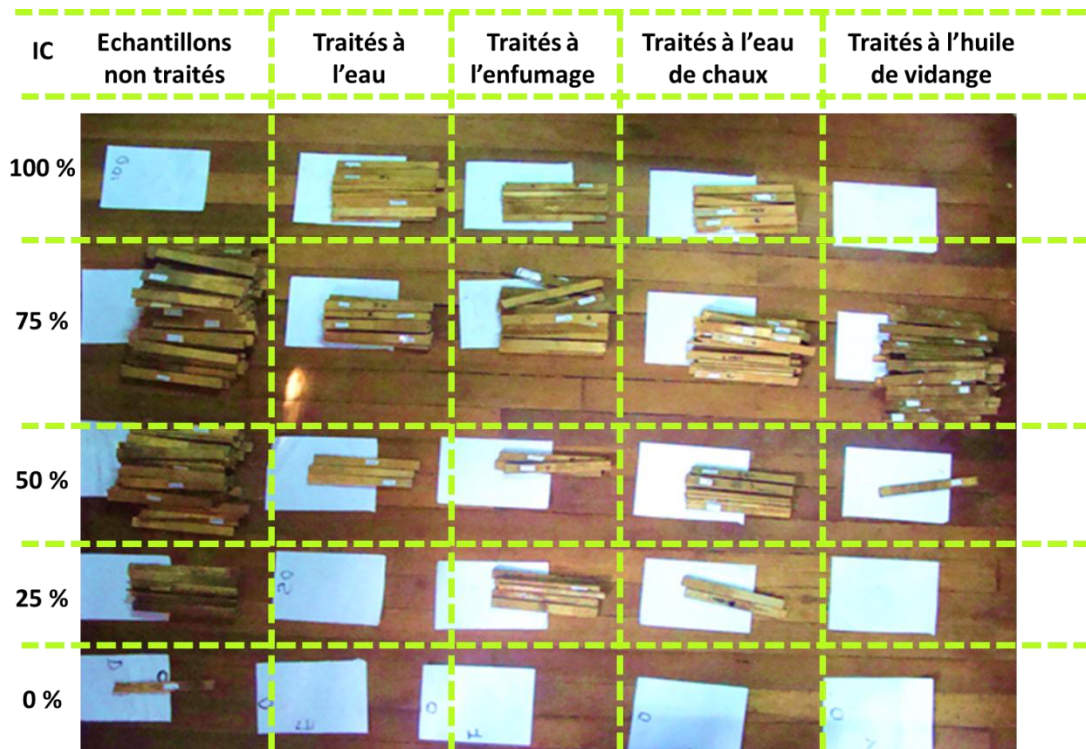


Figure 10 : Arrangement des échantillons suivant le traitement et l'indice de conservation

2.4.4.2 Traitement des données

Les démarches pour traiter les données sont similaires que pour la partie précédente. Ils incluent : la saisie et le triage des données et le test statistique utilisant XLSTAT.

La statistique a été employée, d'une part, pour la description de l'ensemble des échantillons à partir de la moyenne et des graphes, d'autre part, pour analyser les données par la comparaison fondée sur des tests statistiques effectués sur le logiciel XLSTAT. Ceux sont les tests de comparaisons multiples par paires de Dunn. Ceux sont les durabilités des échantillons traités et ceux non traités qui ont été comparées. Dans le cas où les valeurs des indicateurs de la durabilité des échantillons traités avoisinent celles des échantillons témoins, une comparaison fondée sur le test de comparaison de Kruskal-Wallis a été réalisé sur XLSTAT. Ce test a été effectué dans le but de confirmer si la différence entre ces indicateurs est réellement significative ou pas.

2.4.6 Vérification de l'hypothèse 2

L'hypothèse 2 « La durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation » est vérifiée lorsque la durabilité des bambous traités est meilleure par rapport à la durabilité des bambous témoins. Autrement dit, la perte de masse moyenne de tous les groupes d'échantillons traités pour chaque espèce et pour chaque traitement est supérieure à la perte de masse des échantillons témoins et l'importance des dégâts sur les groupes d'échantillons traités pour chaque espèce et pour chaque traitement est supérieur à l'importance des dégâts visibles sur les échantillons témoins.

2.5 Cadre opératoire

Problématique	Hypothèse (H _i)	Indicateur(I _{ij})	Méthodologie	Activités A
1) Quelle est la durabilité naturelle des bambous soumis à des conditions climatiques malgaches ?	H1 : La durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces étudiées	1.1 : La perte de masse	Préparation des échantillons	Collecter des échantillons sur quatre espèces de bambous à Ivoloïna Produire des éprouvettes par des opérations d'usinage
			Evaluation de la différence entre la masse des échantillons avant et celle après l'exposition aux agents biologiques	Conditionner les éprouvettes dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité Peser les éprouvettes pour obtenir la masse initiale M ₀ Soumettre des échantillons de bambous à des conditions climatiques de Madagascar Extraire les échantillons du terrain d'expérimentation Conditionner les éprouvettes dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité Peser de nouveau les éprouvettes pour obtenir la masse finale M _f Calculer la perte de masse en pourcentage suivant les niveaux « échantillon », « groupe d'échantillon » et « espèce » → Si la perte de masse est élevée, c'est-à-dire, supérieure à 30%, donc l'hypothèse 1 est vérifiée
		1.2 : Importance des dégâts visibles	Evaluation visuelle de l'importance des dégâts sur les échantillons	Soumettre des échantillons de bambous à des conditions climatiques de Madagascar Extraire les échantillons du terrain d'expérimentation Observer et évaluer l'importance des dégâts sur les éprouvettes Trouver la classe de durabilité des éprouvettes à partir

				de la grille d'évaluation tirée des méthodes de Edlund et al. (2006) et de Thiel (1973) → Si la durabilité des éprouvettes est répertoriée dans la classe de durabilité 4 définie par Edlund et al (2006) et par Thiel (1973)
2) Est-il possible d'améliorer la durabilité naturelle des bambous malgaches par l'emploi des moyens de préservation disponibles localement et peu onéreux ?	H2 : La durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation	2.1 : Durabilité des bambous non traités	Evaluation de la perte de masse Pn et des dégâts sur des bambous non traités	Conditionner les éprouvettes dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité Peser les éprouvettes pour obtenir la masse initiale M_0 Soumettre des échantillons de bambous à des conditions climatiques de Madagascar Extraire les échantillons du terrain d'expérimentation Observer et évaluer l'importance des dégâts sur les éprouvettes Trouver la classe de durabilité des éprouvettes à partir de la grille d'évaluation tirée des méthodes de Edlund et al. (2006) et de Thiel (1973) Conditionner les éprouvettes dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité Peser de nouveau les éprouvettes pour obtenir la masse finale M_f Calculer la perte de masse Pn en pourcentage Déduire la durabilité des bambous non traités
		2.2 : Durabilité des bambous traités	Evaluation de la perte de masse Pt et des dégâts sur des bambous traités	Rechercher auprès des utilisateurs malgaches de bois et de bambous et dans des ouvrages scientifiques sur le bois et les bambous les méthodes de préservation efficaces, adaptées au contexte malgache et respectueuses de l'environnement Traiter les échantillons avec les méthodes de

				<p>préservation choisies</p> <p>Conditionner les échantillons dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité</p> <p>Peser les échantillons pour la masse initiale M_0</p> <p>Soumettre des échantillons de bambous à des conditions climatiques de Madagascar</p> <p>Extraire les échantillons du terrain d'expérimentation</p> <p>Evaluer les dégâts sur les échantillons</p> <p>Conditionner les éprouvettes dans l'enceinte climatique à 12% d'humidité</p> <p>Peser de nouveau les échantillons pour obtenir la masse finale M_f</p> <p>Calculer la perte de masse P_t en pourcentage</p> <p>Déduire la durabilité naturelle des bambous traités</p>
			<p>Comparaison de la durabilité entre les bambous traités et les bambous non traités</p>	<p>Si la durabilité des bambous traités est meilleure que la durabilité des bambous non traités, alors l'hypothèse 2 est vérifiée</p>

Partie 3 : **Résultats**



Partie 3. RESULTATS

3.1 Résultats relatifs à l'hypothèse 1

3.1.1 Perte de masse

La perte de masse minimale est de 0.91%, pour une espèce de *Dendrocalamus giganteus*, tandis que la perte de masse maximale est de 33,92%, concernant une espèce de *Bambusa vulgaris constrictinoda*. La moyenne de la perte de masse de l'ensemble des échantillons soumis à l'expérimentation est de 9,48.

▪ Perte de masse par groupe d'échantillons

A titre de rappel, un groupe d'échantillons est représenté par des échantillons appartenant à la même espèce et prélevés sur la même position verticale. La perte de masse des échantillons provenant d'une même espèce varie de la position supérieure à la position inférieure. Les valeurs les plus élevées appartiennent aux échantillons collectées sur la position inférieure, tandis que les valeurs les plus faibles appartiennent à celles collectées sur la position supérieure. Parmi les éprouvettes expérimentées, les échantillons de *Bambusa vulgaris striata* ont été les plus touchés par la dégradation, tandis que ceux sont les échantillons de *Dendrocalamus giganteus* qui en sont les moins touchés.

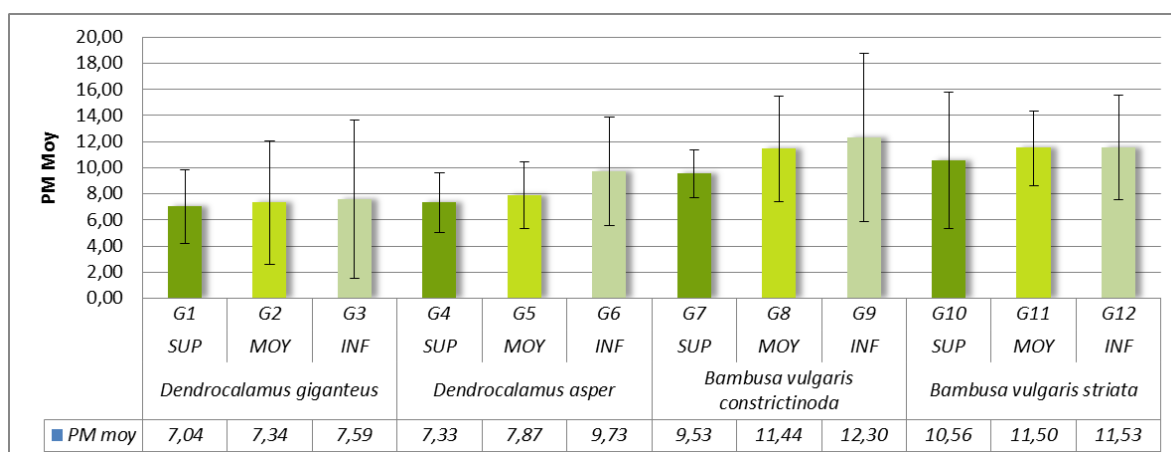


Figure 11 : Perte de masse par groupe d'échantillons soumis au test de durabilité

D'emblée, les valeurs de la perte de masse moyenne entre les groupes au sein d'une même espèce sont différentes (Figure 11). Le test de comparaisons multiples, à un niveau de signification 5%, montre que pour toutes les espèces, les pertes de masse ne sont pas significatives entre les groupes appartenant à une même espèce. Autrement dit, tous les échantillons provenant du même genre ont été touchés par un niveau de dégradation similaire.

▪ Perte de masse par espèce

Dendrocalamus giganteus et *Dendrocalamus asper* sont les espèces qui ont présenté une faible perte de masse. Tandis que *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont celles qui ont présenté la perte de masse la plus élevée, ce sont donc les espèces qui ont perdu une quantité élevée en éléments constitutifs lors de l'attaque des agents biologiques (Figure 12).

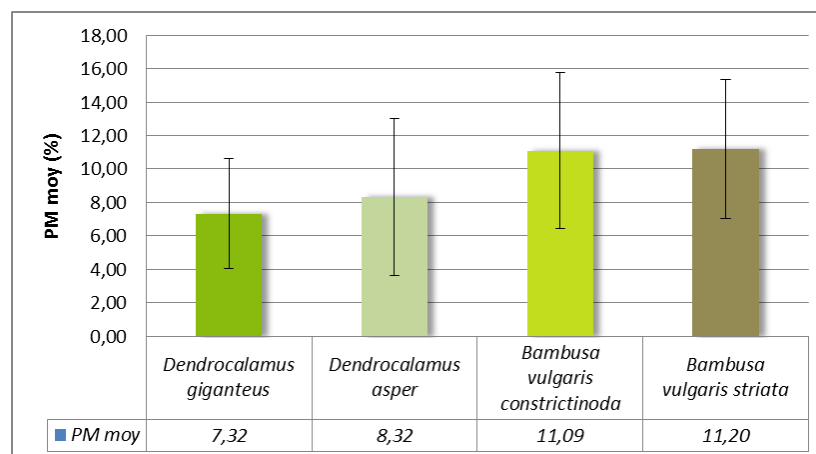


Figure 12 : Perte de masse des échantillons soumis au test de durabilité naturelle par espèce

Le test de comparaison de Kruskal-Wallis montre que, malgré le fait que les pertes de masse entre espèces de même genre (Genre *Dendrocalamus* : *Dendrocalamus giganteus* - *Dendrocalamus asper* ; Genre *Bambusa* : *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*) ne sont pas identiques, elles ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.1.2 Dégâts visibles sur les échantillons

▪ Différents types de dégâts et d'agents de dégradation observés

Lors de la première partie de l'observation qui correspond à l'identification de l'origine des dégâts, il a été constaté que les agents principaux origines de la dégradation sont les termites (Figure 12) et les champignons.

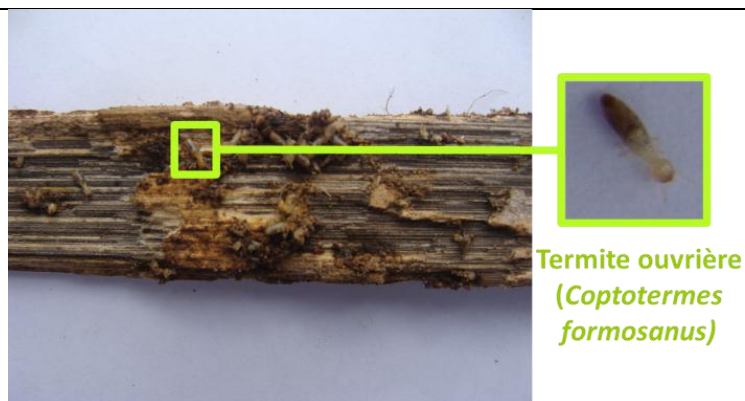





Figure 13 : Attaque des termites sur les échantillons

Les différents types de dégâts sont : la décoloration et la présence de trous. Les termites sont responsables de la présence de trous sur les parties enfoncées dans le sol alors que les champignons sont responsables de la décoloration en gris des échantillons. Le grisaillement atteint surtout la partie supérieure qui se trouve hors du sol. Les échantillons attaqués prennent une couleur noire ou blanche. Cette répartition de l'attaque s'explique par le fait que les agents biologiques dépendent des conditions en oxygène et climatiques. Les termites, qui vivent entièrement à l'abri de l'air et de la lumière, n'ont attaqué que les parties mises sous terre. Par contre, les champignons qui préfèrent les conditions riches en oxygène se sont développés hors du sol.

Tableau 3 : Origine et différents types de dégâts observés

	Echantillons intacts	Echantillons attaqués	
Origine de l'attaque	Aucun	Champignons (Trichoderma) et Moisissures	Termites
Dégâts observés	Echantillon présentant une couleur naturelle Aucun trou	Décoloration soit en noir (a) soit en blanc (b)	Présence des trous
Illustration			

▪ Indice de conservation par espèce

Une différence très marquée d'Indices de conservation entre deux genres différents est observée. *Dendrocalamus asper* et *Dendrocalamus giganteus*, les espèces appartenant aux genres *Dendrocalamus* possèdent des indices de conservation nettement plus élevés que *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*, les espèces appartenant au genre *Bambusa*. Par contre, une légère nuance entre les espèces de même genre est observée (Figure 14).

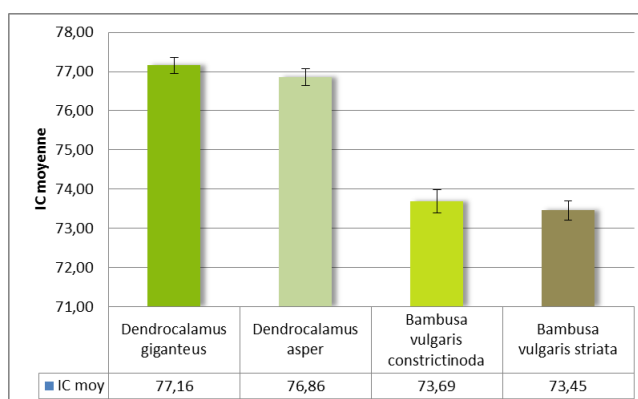


Figure 14 : Indice de conservation par espèce des échantillons soumis au test de durabilité

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis montre que cette différence inter-genre est statistiquement significative au seuil de 5% et que la différence entre les Indices de Conservation des espèces de même genre n'est pas significative.

▪ Effet de la position verticale sur l'indice de conservation

En général, la moyenne des indices de conservation par groupe est comprise entre 50% à 90%. Quelle que soit l'espèce, les valeurs maximales appartiennent systématiquement aux échantillons prélevés sur les parties supérieures des chaumes de bambou (Figure 15). Cela signifie que les parties supérieures résistent plus à la dégradation que les autres parties du chaume.

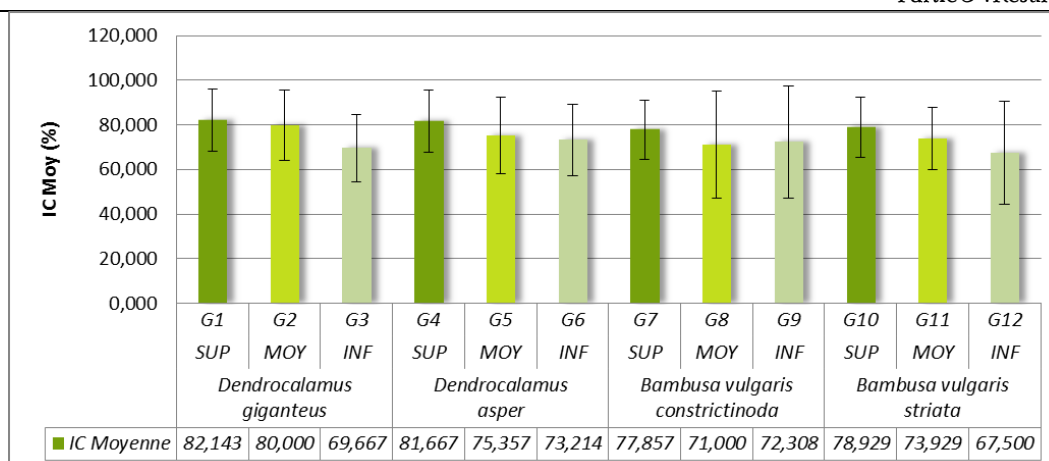


Figure 15 : Indice de conservation (IC) par groupe d'échantillons soumis au test de durabilité

Des différences nettes sont visibles entre les groupes d'une même espèce, pourtant le test de comparaison multiple sur XLSTAT a montré que cette différence n'est pas significative au seuil de 5%, quelle que soit l'espèce.

3.1.3 Durabilité naturelle des bambous malgaches

Les durabilités naturelles des bambous malgaches diffèrent suivant le genre auquel appartient les espèces. *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* possèdent des indices de conservation respectifs de 77,16 et de 76,86 et des pertes de masse respectives de 7.32 et de 8.32. D'après la grille d'évaluation de la durabilité basée sur la perte de masse réalisée par Beauchêne (1994) et celle basée sur l'importance des dégâts visibles réalisée par Edlund (2006) et Thiel (1973), ces espèces peuvent être qualifiées de durables. Tandis que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* présentent des indices de conservation respectifs de 73,69 et de 73,45 et des pertes de masse respectives de 11,09 et de 11,2. D'après les mêmes grilles d'évaluation citées précédemment, ces espèces sont jugées de moyennement durables.

Tableau 4 : Indice de conservation et perte de masse en pourcentage des quatre espèces de bambous

	Indice de conservation (%)	Perte de masse (%)	Durabilité
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	77,16	7.32	Durable
<i>Dendrocalamus asper</i>	76,86	8.32	Durable
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	73,69	11,09	Moyennement durable
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	73,45	11,2	Moyennement durable

3.2 Résultats relatifs à l'hypothèse 2

3.2.1 Comparaison de la durabilité des bambous traités à ceux non traités

Après six mois d'expérimentation, l'attaque a affecté tous les échantillons, qu'ils soient traités ou non, mais les bambous traités montrent une certaine tolérance à la dégradation que les bambous non traités. Cette résistance des échantillons traités a été observée sur toutes les espèces étudiées (Figure 16, 17, 18, 19 et 20). Un test statistique de comparaison entre la durabilité des échantillons traités et celle des échantillons non traités a confirmé que la différence entre ces durabilités ont été réellement significative. Ainsi, sous l'effet des traitements contre la dégradation, *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* passent d'un niveau durable (IC ∈ [90 ; 75[et PM ∈ [5 ; 10[) à un niveau très durable (IC ∈ [100 ; 90[et PM ∈ [0 ; 5[). Tandis que *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Bambusa vulgaris striata* passent d'un niveau moyennement durable (IC ∈ [75 ; 50[et PM ∈ [10 ; 20[) à un niveau durable (IC ∈ [90 ; 75[et PM ∈ [5 ; 10[).

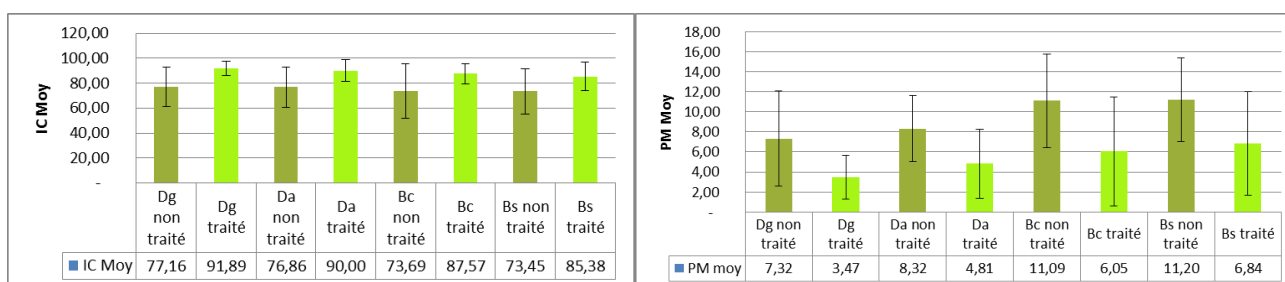


Figure 16 : Comparaison par espèce de la durabilité des échantillons traités et ceux non traités

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

Des différences nettes ont été également observées entre les échantillons traités par des méthodes de préservation différentes. La durabilité des échantillons traités par l'huile de vidange est nettement plus élevée que pour ceux traités avec les autres méthodes. La méthode qui montre une efficacité faible est l'enfumage.

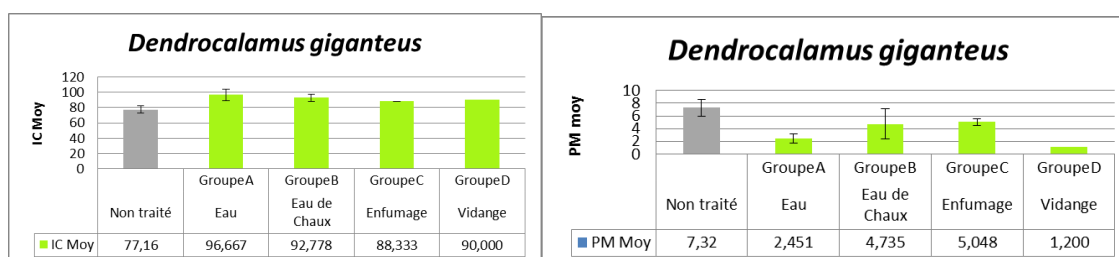


Figure 17 : Durabilité de *Dendrocalamus giganteus*

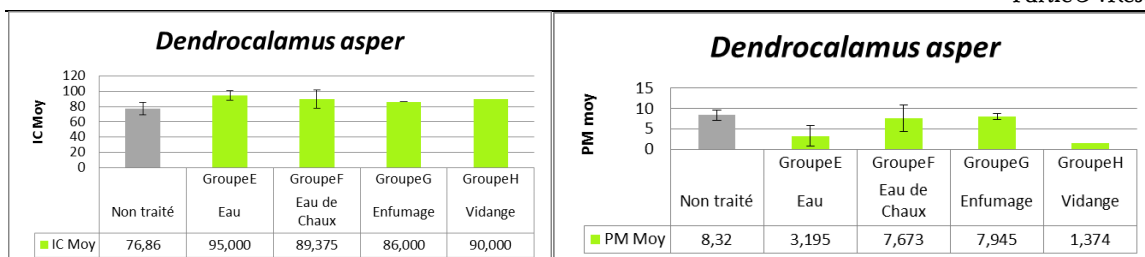


Figure 18 : Durabilité de *Dendrocalamus asper*

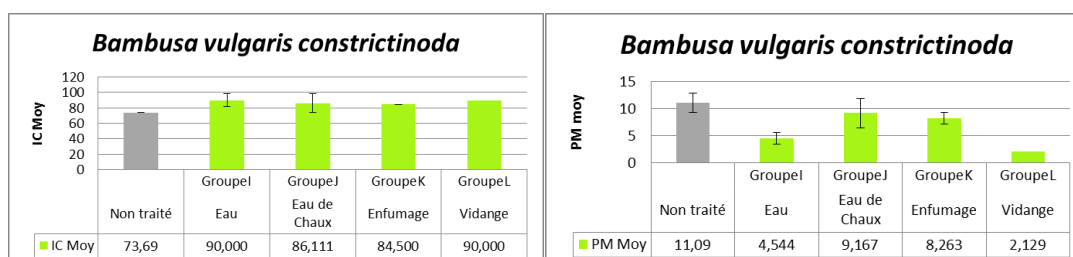


Figure 19 : Durabilité de *Bambusa vulgaris constrictinoda*

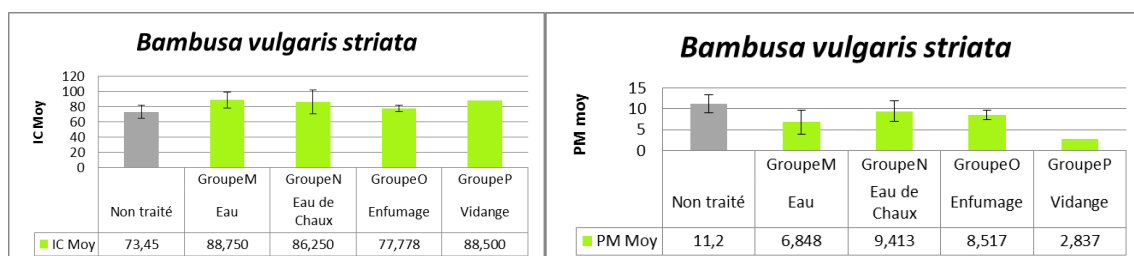


Figure 20 : Durabilité de *Bambusa vulgaris striata*

Au gauche, la durabilité évaluée à partir de l'Indice de Conservation, à droite la durabilité évaluée à partir de la perte de masse.

Partie 4 : **Discussions et** **Recommandations**



Partie 4. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 Discussions

4.1.1 Discussions sur les résultats

Deux grands points méritent d'être discutés à partir des résultats obtenus pour la vérification des Hypothèses. Le premier point concerne la variabilité de la durabilité naturelle suivant les espèces, plus précisément suivant le genre. *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* sont les espèces qui ont présenté une quantité faible en perte de masse et en indices de conservation élevés. Tandis que *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont celles qui ont présenté un taux de perte de masse le plus élevé et des indices de conservation faibles. Cette différence entre les deux genres s'explique par la variabilité des propriétés physiques et mécaniques suivant le genre. Selon Rakotosoloniaina (2013) les propriétés physiques, notamment la densité et le retrait et les propriétés mécaniques, notamment, les modules de ruptures et d'élasticités sont variables suivant le genre de bambous. En effet, *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* présentent de meilleures propriétés physico-mécaniques (Ramananantoandro et al 2013). Ce sont les espèces les plus rigides et les plus résistantes à la rupture et elles sont plus denses que les autres espèces (Rakotosoloniaina, 2013). Cette qualité technologique confère à ces espèces une durabilité plus élevée que pour les autres espèces étudiées. Ces résultats sont conformes avec les observations de Suprapti (2009) qui a montré que le genre *Dendrocalamus* présente une meilleure durabilité naturelle que le genre *Bambusa*. Dans cette recherche, la perte de masse moyenne au sein des espèces est située entre 7,04% et 12,30%. Ces pertes de masses sont largement inférieures à celles trouvées par Adrianus et al. (2010) et Ashaari et al. (2000). Ces derniers ont respectivement trouvé une perte de masse de 27,4% pour *Bambusa blumeana*, une espèce de bambou provenant d'Indonésie et comprises entre 13,2% et 15,9% pour les espèces *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris striata* et *Gigantochloa wrayi*. Cette différence est expliquée par la différence des conditions dans lesquelles les échantillons ont été exposés. Les échantillons utilisés dans cette recherche ont été exposés sur un sol non forestier mais sur un terrain nu, sans plantes aux alentours. Par contre, Adrianus et al. (2010) a effectué le test sur sol forestier dans la réserve forestière de Merapi, en Indonésie et Ashaari et al. (2000) a également réalisé le test sur sol forestier, dans la réserve forestière dite « Air Hitam » en Malaisie.

Le second point repose sur la variabilité de la durabilité des échantillons suivant les moyens de préservation appliqués. En se fiant aux résultats, les traitements n'ont pas les mêmes effets sur les échantillons. L'enfumage est la moins efficace parmi toutes méthodes. Cela peut s'expliquer par le fait que le dispositif utilisé pour l'enfumage est un appareil fabriqué par nos soins.

C'est un appareil conçu uniquement pour cette recherche et il n'a pas été encore utilisé avant le traitement des bambous. Malgré les précautions prises, les fuites de fumée ont été difficiles à contrôler. L'orifice de sortie de la fumée possède un diamètre dont la valeur ne se base pas sur une norme standard. Il se peut donc que la quantité de fumée produite à la sortie soit trop élevée. Par contre, l'Huile de vidange a été la plus efficace. Le traitement par ce liquide doit son efficacité au fait que ce produit contient des éléments chimiques très toxiques.

Concernant le traitement à l'eau, il agit sur les échantillons en réduisant le taux d'amidon parce que réduire le taux d'amidon dans le bambou consiste à réduire la détérioration par les champignons (Ashaari & Mamat, 2000). Selon ce même auteur, l'amidon contenu dans les échantillons de *Dendrocalamus asper* se lessive plus facilement que pour *Bambusa vulgaris striata*. Ce qui signifie que le traitement à l'eau est plus efficace sur *Dendrocalamus asper* que sur *Bambusa vulgaris striata*. Ce qui explique l'ordre dans lequel sont arrangées ces espèces suivant leur perte de masse dans cette étude.

Aucune autre recherche sur la comparaison entre ces méthodes employées dans cette étude n'a pas encore été abordée par d'autres chercheurs. En fait, les méthodes comparées ont été en général des méthodes chimiques, à l'exemple de l'étude Adrianus et al. (2010) qui a fait une étude comparative entre les méthodes ACQ (ammoniacal-copper-quaternary), borax-boric acid (BBA) et copper-chrome arsenate (CCA) appliquées sur *Bambusa blumeana*. Toutes ces méthodes sont des moyens de traitements chimiques du bambou.

La durabilité des espèces appartenant au genre *Dendrocalamus* est passée de durable lorsqu'il n'est pas traité à très durable, lorsqu'il est traité. De même, la durabilité des espèces appartenant au genre *Bambusa* est passée de moyennement durable, pour les échantillons non traités, à durable pour les échantillons traités. Ces résultats avoisinent ceux de Ashaari & Mamat (2000) qui ont trouvé que les espèces traitées à l'eau (*Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris striata* et *Gigantochloa wrayi*) ont présentées une dégradation moyenne et une trace de dégradation alors que ces espèces étaient fortement dégradées lorsqu'elles n'ont pas encore été traitées. Ces qualifications équivalent à des espèces moyennement durables et durables.

4.1.2 Discussions sur la méthodologie

a) Expérimentation

L'expérimentation a été réalisée dans des conditions correspondant à la classe d'emploi n°4 de la norme NF EN 335 (Direction de l'Architecture et du Patrimoine, 2002). Or, la notion de durabilité est une notion purement relative.

En se basant sur la détermination de la durabilité du matériau bois, il n'est pas possible de juger qu'une espèce de bois est durable sans avoir précisé dans quelles conditions définies d'emploi (Fougerousse, 1960). Ce qui signifie que la durabilité des bambous n'est pas suffisamment explorée tant que le test de durabilité n'a pas été effectué sur toutes les classes d'emploi possibles du matériau. A Madagascar, les bambous sont employés dans diverses classes d'emploi. Selon Ramanantoandro et al. (2013), dans la région Antsinanana, ils sont utilisés pour fabriquer des meubles (Classe d'emploi n°1), portes et fenêtres (Classe d'emploi n°3), clôtures et de murs (Classe d'emploi n°4), comme matériau utilisé dans l'eau de mer (Classe d'emploi n°5). Ce qui implique que la classe d'emploi n°4 choisie pour l'expérimentation n'englobe pas l'ensemble des différentes utilisations des bambous dans le contexte malgache. Donc, cette étude a permis d'apprécier la durabilité des bambous exposés à des conditions caractérisées par une humidité en permanence mais ne suffit pas pour autant pour apprécier la durabilité des bambous dans toutes les classes d'emploi possibles des bambous à Madagascar

b) Méthodes d'évaluation de la durabilité des bambous

La dégradation cause une perte de masse, une réduction de la qualité visuelle (tâches, trous) des bambous mais également une régression des potentialités physiques et mécaniques des bambous. Dans cette étude, les moyens d'évaluation de la durabilité naturelle ont été basés sur les indicateurs : perte de masse et importance des dégâts visibles. Ces indicateurs sont complémentaires. La perte de masse permet de d'apprécier les dégâts à la fois visibles et non visibles par l'observateur et elle permet aussi de vérifier si les dégâts visibles sont significatives ou non, tandis que l'importance des dégâts offre d'emblée une idée sur la durabilité des bambous.

Pourtant, ces indicateurs ne sont pas encore suffisants. Certes, ils permettent d'avoir un aperçu sur l'état général du bambou dégradé mais ils n'offrent pas d'indications précises sur les variations des propriétés mécaniques et physiques.

c) Limite de l'expérimentation

Il est supposé que les bambous sont durables lorsque la dégradation des échantillons n'est pas importante, pourtant il faut aussi noter que le degré d'attaque repose également sur la préférence des agents biologiques. Contrairement aux conditions pédologiques et climatiques, qui influent d'une manière plus globale sur les échantillons, l'attaque des agents de dégradation est plus localisée. Plusieurs raisons peuvent expliquer le fait que les agents biologiques attaquent ou n'attaquent pas tel et tel échantillon. La durabilité naturelle des bambous n'est qu'une raison parmi tant d'autres.

A titre d'exemple, certaines espèces n'attaquent pas les échantillons possédant de bonnes propriétés mécaniques. Mais il peut arriver aussi qu'un échantillon possédant de mauvaises propriétés mécaniques ne soit pas attaqué du fait qu'il se trouve sur une partie du terrain d'expérimentation ayant des conditions hostiles au développement des agents de dégradation.

d) Méthodes de préservation

Le procédé idéal dans le choix des méthodes de préservation est de reposer la sélection sur les facteurs suivants : la nature de la dégradation, l'espèce responsable de la dégradation, la faisabilité d'imprégnation des substances de préservation par les bambous et les conditions d'emploi potentielles des bambous. Dans cette recherche, qui est une étude exploratoire de la préservation des bambous malgaches, les méthodes de préservation ont été choisies en fonction des critères qui n'ont pas tenu compte de ces facteurs.

4.1.3 Vérification des hypothèses

▪ Vérification de l'hypothèse 1

Le premier point concerne la vérification de l'hypothèse 1. Cette hypothèse suppose que : « La durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces étudiées ». Cette hypothèse est vérifiée lorsque toutes les espèces expérimentées sont qualifiées de non durable. D'après les résultats, on peut déduire qu'aucune des espèces étudiées n'est qualifiée de non durable, au contraire, les espèces appartenant au genre *Dendrocalamus* sont durables et les espèces appartenant au genre *Bambusa* sont moyennement durables. Cela signifie que la durabilité naturelle de toutes les espèces de bambous malgaches étudiées n'est pas faible. Par conséquent, l'Hypothèse 1 n'est pas vérifiée. Contrairement aux résultats attendus, la durabilité des bambous est nettement meilleure malgré le fait qu'ils soient exposés à des conditions climatiques naturelles. La théorie de Guéneau (1965) sur la variabilité de la vitesse de dégradation suivant le climat peut expliquer ces résultats. Selon cet Auteur, sous le climat des Hauts-Plateaux, l'ensemble de la dégradation est nettement plus lent qu'ailleurs. En se fiant à cette affirmation, le niveau de dégradation ne dépend pas uniquement de la durabilité du matériau expérimenté, il ne faut pas écarter le fait que les conditions climatiques et pédologiques affectent également le processus de dégradation.

▪ Vérification de l'hypothèse 2

Le second concerne la vérification de l'Hypothèse 2 qui suppose que « La durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation ». Selon les résultats, quelles que soient les méthodes employées, elles ont contribué à la résistance des bambous puisque les échantillons traités présentent systématiquement une durabilité nettement plus élevée que ceux non traités.

Par conséquent, L'hypothèse 2 est vérifiée puisque la durabilité naturelle des bambous peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation. Cette efficacité des traitements s'explique par le fait que les éprouvettes de bambous utilisés ont été les parties internes des bambous qui sont dépourvus d'enveloppe externe qui procure au bambou une imperméabilité. En fait, la partie externe est couverte d'une fine et dure couche et elle est moins perméable que la couche interne (Kumar et al., 1994), ce qui confère aux couches internes une perméabilité vis-à-vis des moyens de préservation, et ce qui explique le fait que les échantillons ont suffisamment absorbés les substances de préservation.

4.2 Recommandations

4.2.1 Recommandations méthodologique

a) Recommandations sur l'expérimentation

La classe d'emploi n°4 choisie pour évaluer la durabilité des échantillons à l'épreuve n'est pas représentative de l'ensemble des classes d'emploi des bambous utilisés à Madagascar. Ainsi, il est préférable de faire l'expérimentation sur les différentes classes d'emploi potentielles des bambous malgaches. Pour cela, il faudrait reproduire les conditions correspondantes à chaque classe d'emploi. Pour évaluer la durabilité des bambous sous des conditions de classe d'emploi n°1, il faudrait mettre les échantillons sous abri, entièrement protégé des intempéries et non exposé à l'humidification (Direction de l'Architecture et du Patrimoine, 2002). Il en est de même pour l'évaluation de la durabilité sous des conditions de classe d'emploi n°2, les échantillons évalués devraient être mis sous abri et entièrement protégé des intempéries, mais exposé à une humidité ambiante élevée. Quant à l'évaluation de la durabilité sous des conditions de classe d'emploi n°3, les échantillons devraient être ni abrités, ni en contact avec le sol. Ils sont soit continuellement exposés aux intempéries, soit à l'abri des intempéries mais soumis à une humidification fréquente. Et enfin, pour évaluer la durabilité des bambous exposés à la classe d'emploi n°4, il faudrait que les échantillons soient en contact avec le sol ou l'eau douce, et ainsi exposés en permanence à l'humidification

b) Recommandations sur les méthodes d'évaluation de la durabilité naturelle

En plus des indicateurs de vérification des hypothèses déjà utilisés dans cette recherche, c'est-à-dire, de la perte de masse et de l'importance des dégâts, il serait judicieux de tenir compte d'autres indicateurs qui caractérisent les propriétés mécaniques et physiques des bambous. Par exemple, pour caractériser les propriétés physiques des bambous avant et après l'essai, il est proposé de procéder à la comparaison de la densité et du retrait des échantillons au début et à la fin de l'essai sur terrain comme dans les travaux de Tomak et al., (2012).

De même, pour caractériser les propriétés mécaniques des bambous, il est suggéré d'évaluer la différence entre les Modules d'élasticité (MOE) ou le module de rupture (MOR) des échantillons avant et après le test. Les résultats sur la variation de ces propriétés mécaniques et physiques le long de l'expérimentation vont contribuer à expliquer la régression de la durabilité naturelle des bambous malgaches.

c) Recommandations sur le choix des méthodes de préservation

Dans cette recherche, le choix des méthodes de préservation n'a pas pris en considération la nature et l'origine des attaques (l'espèce responsable de la dégradation et le mode d'action des agents biologiques), la capacité de rétention en produits de préservation des échantillons étudiés ni l'effet potentiel des produits de préservation sur l'environnement (surtout pour le cas du traitement à l'huile de vidange). Pourtant, dans la lutte contre les agents de détérioration des matériaux biodégradables, connaître ces facteurs est nécessaire pour avoir une meilleure efficacité. Ainsi, il est suggéré tout d'abord, de faire une étude sur les différents agents biologiques susceptibles d'être à l'origine des dégâts, pour ensuite trouver les conditions que ces agents ne supportent pas afin de déduire les traitements efficaces correspondants. Ensuite, il est aussi recommandé d'étudier la possibilité d'imprégnation des produits de préservation pour savoir si tel produit s'imprègne plus ou moins à l'intérieur des bambous.

Cette recherche s'est limitée sur quatre méthodes de préservation : le traitement à l'eau, à l'eau de chaux, à l'huile de vidange et l'enfumage. Pourtant, d'autres méthodes de préservation de bambous sont également recommandées. Il s'agit, par exemple de la méthode proposée par Kumar et al., (1994) et qu'il juge efficace, qui est le traitement avec l'acide borique.

4.2.2 Recommandation sur l'utilisation des bambous

Les résultats de cette recherche a permis de connaître la durabilité des échantillons traités et de ceux non traités, ce qui offre une idée sur la durée de vie estimative prévue par Beauchêne (1994) pour des utilisations du matériau en extérieur.

▪ **Estimation de la durée de vie en services selon les méthodes de Beauchêne (1994)**

Tableau 5 : Durée de vie en service des quatre espèces de bambous dans les mêmes conditions que le terrain des hautes terres

Espèce		Indice de Conservation (%)	Perte de Masse (%)	Durabilité	Estimation de la durée de vie en service (années)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Non traité	77,16	7,32	Durable	5 à 10
	Traité	91,89	3,47	Très durable	Plus de 10
<i>Dendrocalamus asper</i>	Non traité	76,86	8,32	Durable	5 à 10
	Traité	90	4,81	Très durable	Plus de 10
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	Non traité	73,69	11,09	Moyennement Durable	Inférieure à 5ans
	Traité	87,57	6,05	Durable	5 à 10
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	Non traité	73,45	11,2	Moyennement Durable	Inférieure à 5ans
	Traité	85,38	6,84	Durable	5 à 10

▪ **Préservation recommandée pour les utilisations sous des conditions climatiques malgaches**

Selon la réaction des espèces et de la durabilité naturelle des espèces, les moyens de préservation correspondants sont résumés dans le tableau 5 suivant :

Tableau 6 : Proposition de moyens de préservation des quatre espèces de bambous étudiées

Espèce	Taux d'amélioration* après traitement tiré des Perte de Masse PM (en pourcentage)		Moyens de préservation la plus recommandée	Justification du choix des moyens de préservation
	Traitement	PM (%)		
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Eau	59,06	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement à l'eau • Traitement à l'eau de chaux • Enfumage 	Espèce déjà durable, le recours à des moyens de préservation d'une grande efficacité n'est pas nécessaire
	Eau de chaux	17,40		
	Enfumage	25,49		
	Huile de vidange	80,79		
<i>Dendrocalamus asper</i>	Eau	61,66	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement à l'eau • Traitement à l'eau de chaux • Enfumage 	Espèce déjà durable, le recours à des moyens de préservation d'une grande efficacité n'est pas nécessaire
	Eau de chaux	7,81		
	Enfumage	4,57		
	Huile de	83,53		

	vidange			
<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	Eau	59,06	<ul style="list-style-type: none"> • Huile de vidange • Traitement à l'eau 	Espèce moyennement durable, ce qui nécessite le recours à des moyens plus efficace
	Eau de chaux	17,34		
	Enfumage	25,52		
	Huile de vidange	80,79		
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	Eau	38,84	<ul style="list-style-type: none"> • Huile de vidange • Traitement à l'eau 	Espèce moyennement durable, ce qui nécessite le recours à des moyens plus efficace
	Eau de chaux	15,98		
	Enfumage	23,93		
	Huile de vidange	74,64		

* Taux d'amélioration T_a : c'est le pourcentage de gain de masse obtenue par les échantillons traités

$$T_a = (PM_{\text{échantillon non traité}} - PM_{\text{échantillon traité}}) \times 100 / PM_{\text{échantillon non traité}}$$

Avec PM : Perte de Masse

Cette recommandation n'est basée que sur l'étude de l'efficacité des moyens de préservation ou encore sur des réactions des échantillons de bambous par rapport aux moyens de préservation. Pourtant, dans le choix des méthodes de traitement, il ne faut pas écarter les autres critères de choix : leur effet sur l'environnement, leur accessibilité vis-à-vis des utilisateurs de bambou et la facilité d'application.

Pour décider quels moyens de préservation employés, il appartient au consommateur de choisir les moyens en fonction de l'efficacité, des coûts occasionnés par le traitement, l'accessibilité, l'effet sur l'environnement et la facilité d'application. Pour cela, une grille pour une prise de décision (Tableau 7) permet au consommateur de faire une analyse des facteurs influençant son choix.

Tableau 7 : Guide de prise de décision des moyens de préservation pour les utilisateurs de bambou

Moyen de préservation	Efficacité d'après les résultats de ce travail	Coûts du traitement de 40 lamelles (En Ariary)	Point de vente	Effet sur l'environnement	Facilité d'application
Eau	Efficace	2500	Jirama	Aucun effet néfaste	Application lente (12 semaines)
Chaux	Peu efficace	1000	Quincaillerie	Aucun effet néfaste	Facile (par badigeonnage)
Enfumage	Peu efficace	3000	Marchand de bois de chauffe	Néfaste pour l'atmosphère : dégagement en CO2	Difficile (nécessité de dispositif d'enfumage)
Huile de vidange	Efficace	300	Vidangeur	Néfaste pour le sol et les autres organismes vivants	Facile (par badigeonnage)

Partie 5 : **Conclusion**



Partie 5. CONCLUSION

Le bambou est un matériau déjà largement utilisé à Madagascar. Il mérite d'être bien étudié pour être sûr de le valoriser convenablement. Les études sur les bambous malgaches commencent à se développer. Grâce aux recherches effectués par Rajaonalison (2012), Rajonshon (2012) et Rakotosoloniaina (2013) les potentialités technologiques de quatre bambous les plus employés localement, plus particulièrement, leurs propriétés physiques et mécaniques, ont commencé à être connues et mieux comprises. Ensuite, l'étude de la filière Bambou réalisé par (Ramanantoandro, et al. (2013) a permis de comprendre le fonctionnement de la filière bambou dans la région orientale de Madagascar. Les trois premières recherches ont montré que les bambous malgaches possèdent une haute valeur technologique et la quatrième démontre qu'il existe un fort potentiel dans les bambous pour une meilleure valorisation au sein des régions orientales de Madagascar. En complément à ces informations, cette présente étude a été menée en vue d'enrichir les connaissances sur la durabilité en service des bambous malgaches et leurs préservations.

Pour mener cette recherche, des échantillons en provenance d'Ivoloina, prélevés sur quatre espèces de bambous malgaches (*Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*) ont été utilisés. Une partie des échantillons ont contribué à l'évaluation de la durabilité en service des bambous, alors qu'une autre partie a été traitée pour faire ressortir l'effet de quatre moyens de préservation sur elle. Les traitements employés pour préserver les bambous ont été : le traitement à l'eau, à l'eau de chaux, à l'huile de vidange et l'enfumage. L'ensemble des échantillons a été soumis aux conditions climatiques des Hautes terres malgaches, sous des conditions de classe d'emploi n°4. Les éprouvettes testées ont été mises au contact du sol et enfoncées à la moitié de leur longueur selon le même protocole d'expérimentation adopté par (Ashaari & Mamat, 2000).

La première hypothèse de recherche suppose que la durabilité naturelle des bambous malgaches est faible pour toutes les espèces étudiées. Pourtant, compte tenu des résultats de cette recherche, cette hypothèse n'a pas été vérifiée. D'après le test de durabilité appliqué sur les quatre espèces, aucune d'elles n'ont présenté une faible durabilité malgré le fait qu'elles étaient soumises à des conditions climatiques malgaches, sous des conditions de classe d'emploi n°4. La durabilité varie suivant le genre. Le genre *Dendrocalamus* représenté par *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* est classé durable, tandis que le genre *Bambusa* représenté par *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont moyennement durables.

Grâce à l'application de quatre moyens de traitements (l'enfumage, le traitement à l'eau, à l'eau de chaux et à l'huile de vidange), les durabilités naturelles de ces espèces ont pu être améliorées. Ce qui signifie que l'hypothèse 2 qui suppose que la durabilité naturelle des bambous

peut être améliorée par l'utilisation des moyens de préservation a été vérifié. L'ordre dans lequel se sont arrangées les espèces, suivant leur durabilité, a été encore maintenu, mais avec une valeur nettement plus élevée. *Dendrocalamus giganteus* et *Dendrocalamus asper* sont devenus très durables et *Bambusa vulgaris striata* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont devenus durables. Cette amélioration de la durabilité varie suivant le traitement employé. Parmi les méthodes de préservation employées, l'huile de vidange et le traitement à l'eau a montré une plus grande efficacité. Mais il se trouve que l'enfumage et le traitement à l'eau de chaux est la moins efficace.

Le fait que la durabilité des quatre espèces de bambous malgaches s'est amélioré, grâce à l'emploi des méthodes de préservation disponibles localement et qui soit peu onéreux, offre un avenir prometteur quant à l'utilisation des bambous. Cette recherche permet aux consommateurs malgaches de bambous d'employer les bambous pendant une durée plus longue par à l'emploi des quatre méthodes de préservation. Mais cette étude reste encore exploratoire, vu qu'elle ne repose que sur quatre méthodes de préservation et elle ne tient pas compte des différents facteurs qui pourraient affecter leur efficacité. Pourtant, la durabilité et l'efficacité des méthodes reposent aussi sur les conditions dans laquelle les bambous sont employés. Ainsi, pour mieux expliquer la réaction des bambous vis-à-vis des méthodes de préservation, il est recommandé, pour la suite de ce travail de faire varier les conditions d'emplois pour une meilleure précision. De même, il est aussi envisageable de fonder l'analyse de l'effet des moyens de préservation sur les propriétés mécaniques et physiques. En fait, sous l'effet des traitements, ces propriétés peuvent être influencées par les traitements employés (Tomak et al., 2012).

Enfin, une étude approfondie sur la relation entre les propriétés physico-mécanique, chimique et la durabilité du bambou peut également être enrichissante pour les recherches sur les bambous. Elle pourra permettre d'expliquer la variabilité durabilité des bambous en fonction des propriétés des bambous, pour pouvoir ensuite agir sur ces propriétés afin de pouvoir améliorer leur durabilité.


REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Adam, O. (2008), *Impact des produits de traitement du bois sur les amphipodes*, Franche-comté: UFR des Sciences et Techniques.
2. Adrianus, R., et al. (2010), “Durability Assessment of Chemically Treated *Bambusa blumeana*”, *World Journal of Fungal and Plant Biology*, **1** : 32-36.
3. Ashaari, Z., & Mamat, N. (2000), “Traditional treatment of Malaysian Bamboos: Resistance Towards White Rot Fungus and Durability in service”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **9**: 1453-1458.
4. Beauchene, J. (1994), *Les Agents de dégradation du matériau bois*, Cirad : Johnston
5. Bhawan, V., & Marg, S. (2006), *Preservation of bamboo*, New Dehli : NMBA, TIFAC et DST.
6. Boucher, J. (2006), *Développement d'une poutre de béton armé de bambou préfabriquée pour l'habitat urbain de Hanoi*, Thèse de Doctorat, Université Laval, Hanoi.
7. Bystriakova, N., Kapos, V., & Lysenko, I. (2004), *Bamboo biodiversity*, Beijing : UNEP-WCMC/INBAR.
8. Bystriakova, N., Kapos, V., Lysenko, I., & Stapleton, C. (2003), *Bamboo biodiversity*, Asie Pacific : UNEP-WCMC/INBAR.
9. Courtois, B. (2006), *Produits de traitement du bois : Composition, dangers, mesures de prévention*, Paris : INRS.
10. Direction de l'Architecture et du Patrimoine. (2004), *Ouvrages de charpente en bois*. France : Ministère de la Culture et de la Communication.
11. Eastern Africa Bamboo Project (2008), *Raw materials and tools for bamboo Applications*, Kenya : United Nations Industrial Development Organization.
12. ESSA-Forêts. (2012), *Livre blanc de l'ESSA-Forêts*, Madagascar : ESSA
13. Fougerousse. (1960), « Durabilité naturelle du bois », *Bois et Forêt des Tropiques*, **36** : 42-56.
14. Gnanaharan, R., & Mosteiro, A. (2011), *Local Tools and Equipment Technologies for Processing Bamboo and Rattan*, India et Phillipines : INBAR.
15. Guéneau, P. (1964), *Essais de traitements de protection des bois ronds à Madagascar*, Madagascar : CTFT
16. Guéneau, P. (1965), *Premières observations sur les pourrissoirs à bois*, Madagascar : Centre Technique Forestier Tropical
17. Kumar, S., Shukla, K., Dev, I., & Dobriyal, P. (1994), *Bamboo preservation techniques : a review*, Inde : INBAR et ICFRE.
18. Li, X. (2004), *Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing*, Thèse, Louisiana State University.
19. Liese, W., Gutiérrez, J., & González, G. (s.d.), *Preservation of Bamboo for the construction of houses for low income people*, Costa Rica : Universität Hamburg et Funbambu

20. Meredith, T. (2009), *Timber Press Pocket Guide to Bamboos*, TIMBER PressINC.
21. Rajaonalison, F. (2012), *Caractérisation des propriétés physiques des bambous dans la région Antsinanana*, Mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
22. Rakotosoloniaina, A. T. (2013). Caractérisation des propriétés technologiques des bambous malgaches en vue de leurs valorisations, Mémoire d'ingénieur, Antananarivo: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
23. Ramananantoandro, T., Rabemananjara, Z., Randrianarimanana, J., & Pommier, R. (2013), *Valorisation de la filière bambou dans les zones orientales de Madagascar : contraintes et opportunités*, Bois et Forêts des Tropiques 316 :79-91.
24. Rao, K. (2001), *Bamboo preservation by sap displacement*, India : INBAR - IWST.
25. Suprapti, S. (2009), *Decay resistance of five indonesian bamboo species against fungi*, Indonesia: Forest Products Research and Development Center
26. Tang, T., Schmidt, O., & Liese, W. (2012), "Protection of bamboo against mould using environment-friendly chemicals", *Journal of Tropical Forest Science*, **24**: 285–290.
27. Thiel, J. (1973), *Essai de résistance naturelle de bois ronds aux agents biologiques*, Madagascar : CTFT
28. Thierry, B. (2008), *La valorisation du bambou dans la région d'Analanjirifo*, Madagascar: Programme de Promotion des Revenus Ruraux
29. Tomak, E., Topaloglu, E., Ay, N., & Yildiz, U. (2012), "Effect of accelerated aging on some physical and mechanical properties of bamboo", *Wood Sci Technol*, **46**: 905-918.
30. Varma. (2007), *Developing a safer (biological) preservative against bamboo borer, based on traditional knowledge*, Kerala: Kerala Forest Research Institute.
31. 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
32. Wakchaure, M., & Kute, S. (2012), "Effect of moisture content on physical and mechanical properties of Bamboo", *Asian journal of civil engineering*, **6**: 753-763.
33. Zhou et al. (2005), "Ecological functions of bamboo forest : Research and Application", *Journal of Forestry Research*, **16**: 143-147.

Annexe 1. Disposition des échantillons lors du test de durabilité 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
Dgi2 2	Dgm2 2	Dgs2 2	Bsi2 2	Bsm2 2	Bss2 2	Bci2 2	Bcm2 2	Bcs2 2	Dai2 2	Dam2 2	Das2 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
Dgi4 4	Dgm4 4	Dgs4 4	Bsi4 4	Bsm4 4	Bss4 4	Bci4 4	Bcm4 4	Bcs4 4	Dai4 4	Dam4 4	Das4 4
Dgi5 5	Dgm5 5	Dgs5 5	Bsi5 5	Bsm5 5	Bss5 5	Bci5 5	Bcm5 5	Bcs5 5	Dai5 5	Dam5 5	Das5 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

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

m : représente un échantillon prélevé sur la partie moyenne

s : représente un échantillon prélevé sur la partie supérieure

i : représente un échantillon prélevé sur la partie inférieure

Annexe 2. Disposition des échantillons traités

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Bci2 1	Bcm3 2	Bcm2 1	Das3 1	Bcs3	Bsi2	Dgs2	Dgs1	Dam2	Dgi2	Bsm1	Dam1	Dam3	Bci3	Bci	Bcm3
2	Dai3 1	Dam3 2	Dai2 1	Bsm3 1	Dgs1 1	Dgi3 1	Bss1 1	Bss3 2	Dgi1 1	Das2 1	Dgi3 2	Dgs3 1	Bcm1 1	Dgm1 1	Dgi1 2	Dgm2 1
3	Dai3 2	Bss3 1	Bsi3 1	Bcs1 1	Dgm3 1	Bsm2 1	Bss3 1	Bsi1 1	Bsi1 1	Bcs3 1	Dgm3 1	Bsm2 1	Dgm2 1	Bci3 1	Bci1 1	Bcs1 1
4	Bci3 1	Bci3 2	Dam2 1	Bcs2 1	Dgi1 1	Dai1 1	Bci2 1	Dgs2 1	Bss3 1	Dai2 1	Das2 1	Dai3 1	Dgm1 1	Dai3 2	Dgs1 1	Dgs3 1
5	Bss1 1	Bss2 2	Dgm1 2	Bsm1 1	Das1 1	Dgi3 1	Bcm3 1	Dam3 1	Das2 2	Bcm2 1	Bcm2 1	Bss3 2	Dam1 1	Bsm3 1	Dgi2 1	Bci2 1
6	Dgi1 1	Bci3 2	Dgs3 1	Das3 1	Bss2 2	Das2 2	Bsm1 1	Dgs1 1	Dai2 1	Bsi3 3	Bci3 1	Dgi2 1	Bcs3 1	Bci2 1	Dam2 1	Bcs2 2
7	Dgs2 2	Dgm2 2	Dgm2 1	Bci2 2	Bcm1 1	Dai3 1	Dam1 1	Bss3 1	Bss2 1	Bsi3 1	Das2 1	Bsi3 2	Bss1 1	Das3 1	Bss3 2	Das1 2
8	Dgi1 2	Dgi1 1	Dgs2 1	Bss2 3	Bci2 3	Dai2 2	Dgm1 1	Bcm1 2								
9	Da1	Da2	Da3	Da4	Da5	Da6	Da7	Da8	Da9	Da10						
10	Bs1	Bs2	Bs3	Bs4	Bs5	Bs6	Bs7	Bs8	Bs9	Bs10						
	Dg1	Dg2	Dg3	Dg4	Dg5	Dg6	Dg7	Dg8	Dg9	Dg10						
	Bc1	Bc2	Bc3	Bc4	Bc5	Bc6	Bc7	Bc8	Bc9	Bc10						

Annexe 3. Perte de masse et Indice de conservation par groupe d'échantillons lors du test de durabilité

➤ *Perte de masse*

	<i>Dendrocalamus giganteus</i>			<i>Dendrocalamus asper</i>			<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>			<i>Bambusa vulgaris striata</i>		
	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
PM moy	7,04	7,34	7,59	7,33	7,87	9,73	9,53	11,44	12,30	10,56	11,50	11,53
Ecart-type	2,830	4,705	6,054	2,305	2,545	4,152	1,845	4,068	6,430	5,241	2,866	3,996

➤ *Indice de conservation*

	<i>Dendrocalamus giganteus</i>			<i>Dendrocalamus asper</i>			<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>			<i>Bambusa vulgaris striata</i>		
	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF	SUP	MOY	INF
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
IC												
Moyenne	82,143	80,000	69,667	81,667	75,357	73,214	77,857	71,000	72,308	78,929	73,929	67,500
Ecart-type	14,106	15,811	14,996	13,744	17,057	15,992	13,325	23,958	25,009	13,651	14,038	22,971

Annexe 4. Test de comparaison des pertes de masse entre les groupes d'échantillons lors du test de durabilité

➤ *Cas de Dendrocalamus asper*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
SUP	15	284,000	18,933	A
MOY	14	289,000	20,643	A
INF	15	417,000	27,800	A

- **Différences significatives**

	SUP	MOY	INF	
SUP	Non	Non	Non	
MOY	Non	Non	Non	
INF	Non	Non	Non	

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Dendrocalamus giganteus*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs
INF	15	313,000	20,867
MOY	15	353,000	23,533
SUP	15	369,000	24,600

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Bambusa vulgaris striata*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
SUP	14	278,000	19,857	A
MOY	14	318,000	22,714	A
INF	15	350,000	23,333	A

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Bambusa vulgaris constrictinoda*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
SUP	15	273,000	18,200	A
MOY	15	381,000	25,400	A
INF	15	381,000	25,400	A

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

Annexe 5. Test de comparaison des indices de conservation entre les groupes d'échantillons lors du test de durabilité

➤ *Cas de Dendrocalamus asper*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
INF	14	264,500	18,893	A
MOY	14	297,500	21,250	A
SUP	15	384,000	25,600	A

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Dendrocalamus giganteus*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
INF	15	238,500	15,900	A
MOY	15	378,500	25,233	A
SUP	14	373,000	26,643	A

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Bambusa vulgaris striata*

- **Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :**

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
MOY	15	305,500	20,367	A
INF	13	282,500	21,731	A
SUP	14	315,000	22,500	A

- **Différences significatives :**

	SUP	MOY	INF

SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

➤ *Cas de Bambusa vulgaris constrictinoda*

- Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
INF	14	257,000	18,357	A
MOY	14	291,500	20,821	A
SUP	14	354,500	25,321	A

- Différences significatives :

	SUP	MOY	INF
SUP	Non	Non	Non
MOY	Non	Non	Non
INF	Non	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0167

Annexe 6. Perte de masse par espèce lors du test de durabilité

	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	<i>Dendrocalamus asper</i>	<i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>	<i>Bambusa vulgaris striata</i>
PM moy	7,32	8,32	11,09	11,20

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Dg	45	2733,000	60,733	A	
Da	44	3352,000	76,182	A	
Bc	45	4744,000	105,422		B
Bs	43	4924,000	114,512		B

Différences significatives :

	Da	Dg	Bc	Bs
Da	Non	Non	Oui	Oui
Dg	Non	Non	Oui	Oui
Bc	Oui	Oui	Non	Non
Bs	Oui	Oui	Non	Non

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0083

Annexe 7. Comparaison des pertes de masse des échantillons non traités et traités➤ *Dendrocalamus giganteus*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeA	GroupeB	GroupeC	GroupeD
PM Moy	7,32	2,451	4,735	5,048	1,200

➤ *Dendrocalamus asper*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeE	GroupeF	GroupeG	GroupeH
PM Moy	8,32	3,195	7,673	7,945	1,374

➤ *Bambusa vulgaris constrictinoda*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeI	GroupeJ	GroupeK	GroupeL
PM Moy	11,09	4,544	9,167	8,263	2,129

➤ *Bambusa vulgaris striata*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeM	GroupeN	GroupeO	GroupeP
PM Moy	11,2	6,848	9,413	8,517	2,837

Annexe 8. Comparaison des indices de conservation des échantillons non traités et traités➤ *Dendrocalamus giganteus*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeA	GroupeB	GroupeC	GroupeD
IC Moy	77,16	96,667	92,778	88,333	90,000

➤ *Dendrocalamus asper*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeE	GroupeF	GroupeG	GroupeH
IC Moy	76,86	95,000	89,375	86,000	90,000

➤ *Bambusa vulgaris constrictinoda*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeI	GroupeJ	GroupeK	GroupeL
IC Moy	73,69	90,000	86,111	84,500	90,000

➤ *Bambusa vulgaris striata*

	Non traité	Eau	Eau de Chaux	Enfumage	Vidange
		GroupeM	GroupeN	GroupeO	GroupeP
IC Moy	73,45	88,750	86,250	77,778	88,500

Annexe 9. Comparaison des durabilités des échantillons traités et non traités par espèces➤ *Comparaison des pertes de masse*

	Dg non traité	Dg traité	Da non traité	Da traité	Bc non traité	Bc traité	Bs non traité	Bs traité
PM moy	7,32	3,47	8,32	4,81	11,09	6,05	11,20	6,84

➤ *Comparaison des indices de conservations*

	Dg non traité	Dg traité	Da non traité	Da traité	Bc non traité	Bc traité	Bs non traité	Bs traité
IC Moy	77,16	91,89	76,86	90,00	73,69	87,57	73,45	85,38

Annexe 10. Classes de risques biologiques du bois

Classe de risque	
1	Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois est sous abri, entièrement protégé des intempéries et non exposé à l'humidification
2	Situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois, est sous abri et entièrement protégé des intempéries, mais où une humidité ambiante élevée peut conduire à une humidification occasionnelle mais non persistante
3	Situation dans laquelle le bois, ou le produit à base de bois n'est ni abrité, ni en contact avec le sol. Il est soit continuellement exposé aux intempéries, ou soit à l'abri des intempéries mais soumis à une humidification fréquente
4	Situation dans laquelle le bois, ou le produit à base de bois est en contact avec le sol ou l'eau douce, et est ainsi exposé en permanence à l'humidification.
5	Situation dans laquelle le bois, ou le produit à base de bois est en permanence exposé à l'eau salée

Annexe 11. Cadre logique

Objectif global	Objectifs spécifiques	Activités	Sous-activité	IOV	Résultats attendus	Source de vérification
« Optimisation du mode d'utilisation des bambous sous des conditions climatiques malgaches »	Prolongement de la durée de vie en service	<ul style="list-style-type: none"> Améliorer la durabilité naturelle des matériaux en bambou 	<ul style="list-style-type: none"> Traiter les bambous avec des moyens de préservation (Eau, Enfumage, Eau de chaux, Huile de vidange) 	Durée de vie en année	Bambous très durables	Procès-verbal du consommateur
	Valorisation du potentiel des espèces de bambous	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation des espèces les plus résistantes aux conditions climatiques malgaches 	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer les potentialités des espèces en matière de durabilité Choisir les espèces plus durables 	Nombre d'utilisations de chaque espèce	Potentialité des espèces valorisée	<ul style="list-style-type: none"> Procès-verbal du consommateur Document de recherche sur les différents types de valorisation des bambous
	Elargissement du domaine d'utilisation du bambou	<ul style="list-style-type: none"> Trouver d'autres utilisations potentielles dans des conditions d'emplois au contact du sol et de l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> Recherche bibliographique des potentialités des espèces Recherche des utilisations possibles correspondant aux potentialités des espèces 	Nombre de domaine d'utilisation du bambou	Bambous utilisés dans des domaines élargis	<ul style="list-style-type: none"> Document de recherche ou d'inventaire des différents types d'utilisation des bambous