

# Table des matières

---

|   |     |
|---|-----|
| Liste des Abréviations, Acronymes et Sigles .....                                     | i   |
| Liste des Cartes .....  | i   |
| Liste des Figures.....  | i   |
| Liste des Photos.....   | ii  |
| Liste des Tableaux.....   | iii |
| INTRODUCTION.....   | 1   |
| Chapitre 1 : Matériels et Méthodes .....  | 4   |
| Partie A : Matériel végétal : Bambou .....  | 4   |
| I. Généralités sur les bambous .....  | 4   |
| I.1. Systématique .....   | 4   |
| I.2. Caractéristiques.....  | 4   |
| I.3. Anatomie des bambous .....   | 5   |
| I.4. Distribution .....   | 8   |
| I.5. Qualités .....   | 9   |
| I.6. Economie et bambous.....   | 9   |
| II. Présentation des deux espèces .....   | 10  |
| Partie B : Méthodes .....   | 11  |
| I. Descentes sur terrain.....   | 11  |
| I.1. Objectif .....   | 11  |
| I.2. Localisation de la zone d'étude.....   | 11  |
| I.3. Echantillonnage des chaumes à étudier .....                                      | 12  |
| I.4. Entretien informel et observation.....   | 15  |
| II. Analyses au laboratoire .....   | 15  |
| II.1. Objectif .....  | 15  |
| II.2. Paramètres à analyser.....  | 15  |
| <input type="checkbox"/> Infradensité .....   | 15  |
| <input type="checkbox"/> Humidité sur pied.....                                       | 16  |
| <input type="checkbox"/> Rétractabilité dans les trois directions d'anisotropie ..... | 16  |
| II.3. Echantillonnage pour les analyses en laboratoire .....                          | 17  |
| II.4. Façonnage des éprouvettes .....   | 17  |
| III. Traitement de données.....   | 20  |
| III.1. Objectif .....   | 20  |
| III.2. Procédés globaux adoptés .....   | 20  |
| III.3. Procédés spécifiques pour la vérification des hypothèses .....                 | 21  |
| IV. Récapitulatif de la méthodologie.....   | 23  |
| Chapitre 2 : Résultats et interprétations .....                                       | 26  |
| I. Propriétés physiques des deux espèces.....   | 26  |
| I.1. Taux d'humidité.....   | 26  |
| I.2. Infradensité .....   | 27  |
| I.3. Rétractabilité.....  | 28  |
| II. Variabilité diamétrale des propriétés.....  | 29  |
| III. Effet de la hauteur sur les propriétés physiques du bambou .....                 | 30  |
| III.1. Taux d'humidité.....   | 30  |

|  |    |
|--|----|
| III.2. Infradensité .....  | 31 |
| III.3. Rétractabilité.....   | 32 |
| IV. Effet de l'âge sur les propriétés physiques .....                            | 32 |
| IV.1. Taux d'humidité.....   | 32 |
| IV.2. Infradensité .....   | 33 |
| IV.3. Rétractabilité.....  | 34 |
| V. Effet combiné de la location la hauteur de prélèvement et de l'âge .....      | 35 |
| V.1. Taux d'humidité.....  | 35 |
| V.2. Infradensité .....  | 35 |
| V.3. Rétractabilité.....   | 36 |
| VI. Corrélations entre les diverses propriétés .....                             | 37 |
| VII. Utilisations actuelles des deux espèces .....                               | 38 |
| VII.1. Utilisations de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....                      | 39 |
| VII.2. Utilisations <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> .....                 | 42 |
| VII.3. Synthèse des utilisations actuelles des deux espèces.....                 | 43 |
| Chapitre 3 : Discussions et Recommandations .....                                | 44 |
| I. Sur la méthodologie.....  | 44 |
| I.1. Etudes bibliographiques.....  | 44 |
| I.2. Choix des âges .....  | 44 |
| I.3. Nombre d'échantillons.....  | 44 |
| I.4. Mesure des propriétés .....   | 45 |
| II. Sur les résultats.....   | 45 |
| II.1. Comparaison des deux espèces.....  | 45 |
| II.2. Comparaison avec d'autres espèces de bambou .....                          | 46 |
| II.2.1. Pour l'espèce <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....                       | 46 |
| II.2.2. Pour l'espèce <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> .....               | 47 |
| II.3. Comparaison avec le bois .....   | 47 |
| III. Vérification des hypothèses.....  | 49 |
| III.1. Effet de la position le long du chaume sur les propriétés physiques ..... | 49 |
| III.2. Effet de l'âge sur les propriétés physiques .....                         | 50 |
| III.3. Valorisation des deux espèces .....                                       | 51 |
| IV. Apports et intérêts de la recherche .....                                    | 52 |
| V. Recommandations .....   | 52 |
| V.1. Recommandations méthodologiques .....                                       | 52 |
| V.2. Recommandations pratiques .....   | 53 |
| V.3. Recommandations pour une meilleure valorisation.....                        | 56 |
| CONCLUSION .....   | 58 |
| BIBLIOGRAPHIES .....   | 60 |
| WEBOGRAPHIES.....  | 65 |
| ANNEXES .....  | 66 |

## Liste des Abréviations, Acronymes et Sigles

---

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>%</b>              | Pourcent   |
| <b>° C</b>            | degré Celsius                                      |
| <b>ANOVA</b>          | ANalyse Of VAriance (analyse de variance)          |
| <b><i>B.v.c</i></b>   | <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>             |
| <b>CNDB</b>           | Comité Nationale pour le Développement du bois     |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Gaz carbonique                                     |
| <b>CT</b>             | Court Terme  |
| <b>CTFT</b>           | Centre Technique Forestier Tropical                |
| <b><i>D.g</i></b>     | <i>Dendrocalamus giganteus</i>                     |
| <b>H</b>              | Taux d'humidité                                    |
| <b>i</b>              | Infradensité                                       |
| <b>IOV</b>            | Indicateur Objectivement Vérifiable                |
| <b>LT</b>             | Long Terme   |
| <b>MT</b>             | Moyen Terme  |
| <b>ONE</b>            | Office National pour l'Environnement               |
| <b>R</b>              | Rétractabilité                                     |
| <b>Réf</b>            | Référence  |
| <b>UNIDO</b>          | United Nations Industrial Development Organization |
| <b>UPDR</b>           | Unité de Politique pour le Développement Rural     |

## Liste des Cartes

---

|  |    |
|--|----|
| Carte 1: Distribution mondiale des bambous.....            | 8  |
| Carte 2: Localisation géographique de la zone d'étude..... | 12 |

## Liste des Figures

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Cellules du parenchyme avec des cellules allongées et cubiques (grossissement : 370)..... | 6  |
| Figure 2: Coupe transversale du chaume vue (grossissement: 90).....                                 | 7  |
| Figure 3: Distinction de l'âge par la ramification .....  | 13 |
| Figure 4: Coupe des diverses parties (inférieure, moyenne, supérieure) .....                        | 14 |
| Figure 5: Les trois directions du chaume de bambou.....   | 16 |
| Figure 6: Procédé d'échantillonnage .....   | 17 |
| Figure 7: Façonnage des échantillons pour les analyses .....  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 9: Taux d'humidité des deux espèces (%).....   | 26 |
| Figure 10: Humidité des cellules de bambou avec pourcentage .....                                   | 27 |
| Figure 11: Infradensité des deux espèces.....   | 27 |
| Figure 12: Rétractabilité des deux espèces (%).....   | 28 |
| Figure 13: Variabilité diamétrale du taux d'humidité des deux espèces .....                         | 29 |
| Figure 14: Variabilité diamétrale de l'infradensité des deux espèces.....                           | 29 |
| Figure 15: Variabilité diamétrale de la rétractabilité des deux espèces .....                       | 30 |
| Figure 16: Variabilité du taux d'humidité des deux espèces selon la location suivant le chaume..... | 30 |
| Figure 17: Infradensité des deux espèces tout âge confondu .....                                    | 31 |
| Figure 18: Rétractabilité des deux espèces suivant les trois directions en %.....                   | 32 |
| Figure 19: Variabilité du taux d'humidité des deux espèces selon l'âge.....                         | 33 |
| Figure 20: Infradensité des deux espèces (1an et 3ans) .....  | 33 |
| Figure 21: Rétractabilité des deux espèces selon leur âge (%) .....                                 | 34 |
| Figure 22: Variabilité du taux d'humidité selon la hauteur et l'âge .....                           | 35 |
| Figure 23: Variabilité de l'infradensité selon la hauteur et l'âge .....                            | 36 |
| Figure 24: Variabilité de la rétractabilité selon la hauteur et l'âge.....                          | 37 |
| Figure 25: Assemblages liés par l'intermédiaire d'une cheville .....                                | 39 |
| Figure 26: Assemblage lié par des lanières.....   | 41 |

## Liste des Photos

---

|   |    |
|---|----|
| Photo 1: Forêt de bambous située le long d'une rivière .....                          | 4  |
| Photo 2: Différentes espèces de bambous avec leur forme propre .....                  | 5  |
| Photo 3: Coupe transversale du chaume.....  | 7  |
| Photo 4: Utilisation de bambou dans l'industrie du bois (Sté Madagascar Bamboo) ..... | 9  |
| Photo 5: Touffe de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....                               | 10 |
| Photo 6: <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> .....                                 | 11 |
| Photo 7: Abattage du chaume.....  | 14 |
| Photo 8: Sciage du chaume pour avoir les sections .....                               | 14 |
| Photo 9: Sections des chaumes (parties).....  | 14 |
| Photo 10: Ecorçage d'un anneau de bambou.....   | 19 |
| Photo 11 : Division de l'anneau en plusieurs échantillons .....                       | 19 |

|   |    |
|---|----|
| Photo 12: Echantillons de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....  | 19 |
| Photo 13: Pesage d'un échantillon de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....                                 | 19 |
| Photo 14: Mesure du volume de l'éprouvette (méthode d'Archimède) .....                                    | 19 |
| Photo 15: Passage des sections à la scie circulaire .....   | 20 |
| Photo 16: Passage des sections à la dégauchisseuse.....   | 20 |
| Photo 17: Façonnage des échantillons à l'aide s'une scie circulaire.....                                  | 20 |
| Photo 18: Echantillons pour l'analyse de rétractabilité.....  | 20 |
| Photo 19: Pieds à coulisse .....  | 20 |
| Photo 20: Poutre et charpente de maisons traditionnelle en bambou ( <i>Dendrocalamus giganteus</i> )..... | 39 |
| photo 21 : Plancher fait en bambou ( <i>Dendrocalamus giganteu</i> ).....                                 | 40 |
| Photo 22: Madrier en bambou .....   | 40 |
| Photo 23: Parquet en bambou .....   | 40 |
| Photo 24: Mobilier en bambou .....  | 40 |
| Photo 25: Chaise traditionnelle .....   | 41 |
| Photo 26 : Rural transportant des marchandises a l'aide d'une tige de bambou.....                         | 41 |
| Photo 27: Clôture de maison .....   | 42 |
| Photo 28: Mur de maison traditionnelle fait en bambou ( <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> ) .....    | 42 |
| Photo 29: Fauteuil en bambou.....   | 42 |
| Photo 30: Panier en bambous .....   | 43 |

## Liste des Tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Localisation du bambou .....  | 8  |
| Tableau 2: Quantité (en Unité) et valeur (en Ariary) des exportations des produits issus des bambous .....           | 10 |
| Tableau 3: Cadre opératoire due l'étude .....  | 23 |
| Tableau 4: Nombre d'échantillons.....  | 26 |
| Tableau 5: Coefficient de corrélation entre les propriétés physiques de <i>Dendrocalammus giganteus</i> .            | 38 |
| Tableau 6: Coefficient de corrélation entre les propriétés physiques du <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> ..... | 38 |
| Tableau 7: Récapitulatif des usages des deux espèces .....   | 43 |
| Tableau 8: Résumé comparatif des deux espèces de bambous malgaches .....   | 45 |
| Tableau 9: Comparaison de <i>Dendrocalamus giganteus</i> de Madagascar avec d'autres bambous du même genre .....     | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 10: Comparaison de <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> de Madagascar avec d'autres bambous du même genre ..... | 47 |
| Tableau 11: Comparaison des deux espèces de bambou avec quelques essences.....  | 48 |
| Tableau 12: Effets des différents facteurs sur les propriétés physiques des deux espèces de bambous                       | 49 |
| Tableau 13: Essences à infradensité similaire à celle des deux bambous et usages.....                                     | 51 |
| Tableau 14: Cadre logique des trois axes stratégiques.....  | 54 |

RapportGratuit.com



# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Les bambous sont des plantes monocotylédones qui se rencontrent en abondance dans les régions tropicales, plus particulièrement en Asie. Sur plus de 2,2 millions d'hectares de bambou dans le monde, 85% se situe en Asie (Feing Kwong Chan et Sanna, 2009). Ils sont caractérisés par des tiges formées d'un chaume creux lignifié à croissance très rapide. Les bambous présentent un potentiel énorme en raison de leur importance écologique et de leurs nombreuses possibilités d'utilisations et de valorisations. En Asie, les bambous constituent un important matériel brut pour la construction et l'ameublement. Ils sont également utilisés pour la fabrication de papier et pour la réhabilitation et/ou l'entretien des sols (Lindholm et Palm, 2007). A Madagascar, les bambous détiennent une place importante pour les communautés rurales. Ils poussent, se multiplient naturellement et rapidement, et assurent plusieurs fonctions (économiques, sociales et écologiques). De nombreuses nouvelles technologies ont montré la possible substitution du bois par le bambou sur une large gamme d'applications. En effet, le bambou peut être compacté ou collé pour obtenir un matériau massif comme le « bois ». En plus, les arbres mettent à peu près une trentaine d'années avant d'être prêts à être exploités alors que les bambous sont exploitables dès leur 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> année d'après Itoh (1990), Nomura et Yamada (1991).

Dans la Grande Ile, trente-deux espèces de bambous ont été recensées (Bystrioka *et al.* 2004). Six de ces espèces se retrouvent dans la région Antsinanana dont *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*. L'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda* est la plus connue et la plus communément utilisée dans la région à cause de son abondance. Pourtant, son utilisation y est encore à dominance traditionnelle et elle y est généralement valorisée à l'état brut pour la construction de clôtures, de chaises, etc. Pour la deuxième espèce (*Dendrocalamus giganteus*), la population rurale l'utilise pour faire des planchers, des conduits pour l'irrigation, des ponts, des escaliers, des radeaux, clôtures, etc. Mais sa valorisation industrielle ne s'est produite que récemment, et actuellement cette espèce fait l'objet de transformation au sein de l'entreprise Madagascar Bamboo, à des fins industrielles (planche, madrier, parquet, etc.). Néanmoins, les technologies et les savoirs y relatant restent encore limités.

Pour optimiser donc la valorisation de ces deux espèces de bambous, leurs propriétés physiques doivent être bien connues. En effet, la connaissance de ces critères permet de connaître les utilisations adéquates de chaque espèce de bambou, d'améliorer les techniques de transformation et de trouver d'autres pistes de valorisation. La connaissance de l'effet de l'âge sur les diverses propriétés des bambous donne également une idée sur le moment optimal pour leur coupe. Les études relatant les bambous à Madagascar sont assez rares et concernent habituellement leur morphologie, leur distribution, quelques moyens de valorisation mais à un niveau encore traditionnel. En effet, jusqu'à présent, une seule caractérisation des propriétés physico-chimique sur une seule tige de *Dendrocalamus giganteus* malgache à des fins de papeterie par Doat (1967) est connue. Un certain manque de données et d'informations se fait donc ressentir, surtout lorsqu'on sait que ces matériaux



peuvent remplacer le bois. Ce constat nous a amené à poser comme question de départ : « **Quelles sont les caractéristiques des bambous dans la région Antsinanana de Madagascar ?** ».

Pour pouvoir ressortir les caractéristiques particulières aux bambous de Madagascar, nous avons décortiqué la problématique générale en la décomposant en deux problématiques spécifiques. Ces problématiques spécifiques sont formulées sous forme des questionnements suivants :

- Quelles sont les propriétés particulières aux bambous de Madagascar ?
- Comment les valoriser ?

Pour répondre aux questionnements, les hypothèses à vérifier dans cette étude sont au nombre de trois :

**H1 : Les propriétés physiques de ces bambous sont variables sur le même chaume.**

Pour mieux faire ressortir l'idée, cette hypothèse est divisée en deux sous hypothèses :

- H1.1 : Les propriétés physiques des bambous sont variables sur un même axe diamétral. Sur un anneau de bambou (même plan diamétral), les propriétés physiques ne sont pas les mêmes. Certaines parties contiennent plus d'eau, d'autres sont plus denses, etc.
- H1.2 : Les propriétés physiques des bambous diffèrent d'une localisation à une autre le long du chaume.

Les propriétés physiques des bambous ne sont pas les mêmes sur la partie inférieure, moyenne et supérieure de la chaume. Une partie peut être plus dense, plus dure et plus résistante et d'autre non.

**H2 : Les propriétés physiques de ces bambous varient selon l'âge.**

Comme les essences ligneuses, plus le bambou gagne en âge, plus ses propriétés deviennent plus intéressantes surtout pour une valorisation industrielle à des fins de construction.

**H3 : Les propriétés physiques des deux espèces étudiées sont favorables à des valorisations similaires à celles des bois.**

Le bambou est une herbacée, l'absence du cambium est notée. Pourtant les propriétés physiques de ces plantes sont comparables à celles du bois. Ce qui permet d'avancer que les utilisations des bambous sont similaires à celles du bois. D'ailleurs, l'espèce *Dendrocalamus giganteus* est déjà utilisée par la société Madagascar Bamboo pour la fabrication de planchers, madriers, parquets, etc.

Ainsi, le présent mémoire a pour objectif d'étudier les propriétés physiques de *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*, deux espèces de bambou retrouvées dans la région Antsinanana et qui y sont abondantes. La finalité de cette étude consiste à connaître de meilleures valorisations de chacune de ces espèces.

Ce mémoire se composera donc de quatre parties indépendantes. Dans la première partie seront traités les matériels et méthodes adoptés tout au long de l'étude en vue d'atteindre les objectifs. La deuxième partie relate sur les résultats obtenus à savoir les propriétés physiques des deux espèces (*Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*) ainsi que des interprétations. Enfin, dans la quatrième partie sont retrouvées des discussions sur la méthodologie adoptée et les divers résultats obtenus. Cette dernière partie comportera également des recommandations pour une continuité des recherches et une meilleure valorisation de ces ressources.



**Chapitre 1 :**  
**Matériels et**  
**Méthodes**

## Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

### Partie A : Matériel végétal : Bambou

Cette partie relate ce qu'il y a à savoir concernant les bambous. Entre autres, elle parle de leur biologie et de leur écologie. En effet, l'objectif de ce chapitre est essentiellement de comprendre d'un point de vue théorique le bambou en tant que matériel végétal et le bambou en tant que matériau afin de pouvoir interpréter les résultats de caractérisation des propriétés physiques des bambous.

#### I. Généralités sur les bambous

Les bambous sont des graminées forestières et leur cycle de vie, structure, évolution et écologie doivent être appréhendées dans ce contexte, selon Judziewiez (1999) in Andriamarivololona (2005).

##### I.1. Systématique

La classification des bambous se présente comme suit, d'après Luerssen en 1893 :

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Liliopsida
- Sous-classe : Commelinidae
- Ordre : Cyperales
- Famille : POACEAE
- Sous-famille : BAMBUSOIDEAE



**Photo 1: Forêt de bambous située le long d'une rivière**

Les bambous sont des plantes monocotylédones appartenant à la famille des *Poaceae*. Ils constituent la sous-famille des *Bambusoideae* qui compte environ 80 genres et plus de 1200 espèces.

##### I.2. Caractéristiques

Les bambous ne présentent pas d'aspect uniforme. En effet, chaque espèce renferme ses caractéristiques propres (*photo 2*). Selon l'endroit où il pousse, le climat, l'altitude, la nature du terrain, ils se différencient par la couleur, la taille et la forme. Mais généralement, les bambous présentent des tiges formées d'un chaume creux lignifié à croissance très rapide. Quelques espèces peuvent gagner 7 à 40 cm en croissance chaque jour (Liese, 1985).



**Photo 2: Différentes espèces de bambous avec leur forme propre**

*(Source : [www.auJardin.info](http://www.auJardin.info))*

Le bambou s'adapte généralement à tous types de climats notamment le climat tropical. En effet, cette plante préfère la chaleur mais supporte aussi le froid. Quant à la pédologie, ces plantes poussent sur presque tous types de sol, néanmoins elles préfèrent plutôt un sol bien drainé qu'un sol lourd.

Une autre caractéristique du bambou consiste au fait qu'il aime l'eau. Par contre, les terrains marécageux et les terres trop humides ne sont pas appréciés vu que les rhizomes de ces plantes ont besoin de respirer.

### **I.3. Anatomie des bambous**

Cette partie reflète une certaine importance du fait que l'interprétation se base sur la composition cellulaire des bambous.

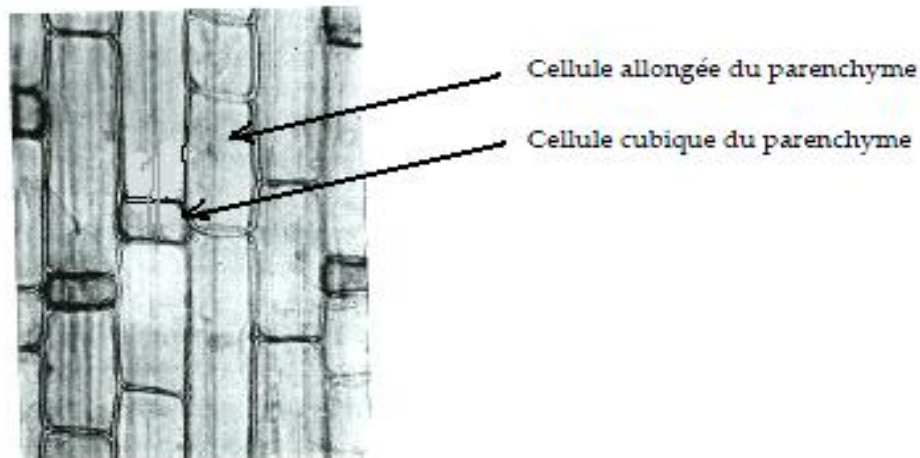
Malgré le fait que le bambou est une graminée, il a plusieurs similarités avec le bois. La constitution cellulaire et les propriétés du bambou ressemblent à la structure du bois excepté l'absence de croissance secondaire (pas de cambium et pas de rayons).

Un chaume de bambou est constitué d'épiderme, de parenchyme, de tissus structuraux et mécaniques, de tissus conducteurs, de quelques tissus produits (gommes, cire) et des cellules méristématiques. Selon Liese en 1987, un chaume est constitué en moyenne d'environ 50% de parenchyme, 40% de fibres et 10% de cellules conductrices, les autres tissus étant négligeables.

#### **➤ Parenchyme**

Les tissus du parenchyme, matrice de base du chaume, sont constitués de cellules vivantes et stockent les aliments nutritifs tels que l'amidon dont l'apport est nécessaire lors de la pousse très rapide de la plante. Ils contribuent également à la stabilité et à la flexibilité de la plante. Ces tissus sont

essentiellement constitués de cellules allongées parsemées de cellules cubiques communiquant entre elles par des ponctuations simples (*figure 1*).



**Figure 1: Cellules du parenchyme avec des cellules allongées et cubiques (grossissement : 370)**

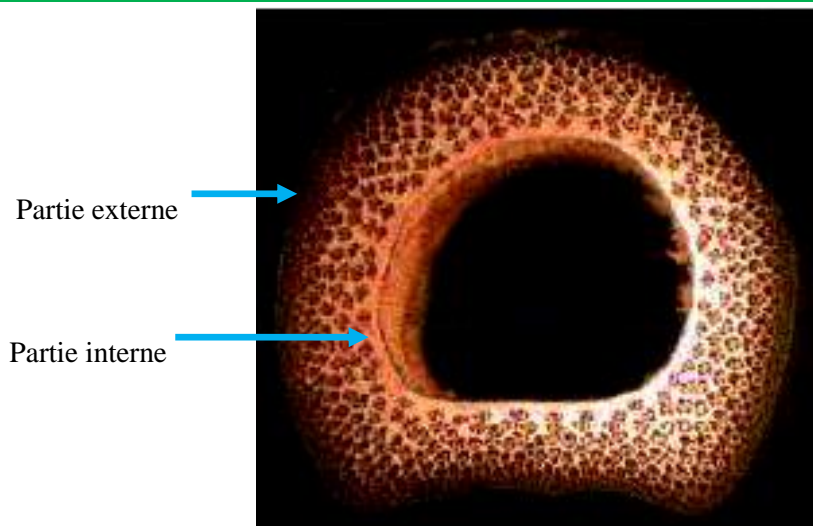
(Source : Grosser et Liese ,1971)

Les cellules allongées se lignifieraient tôt dans le cycle de développement de la plante. Les cellules de parenchyme les plus courtes ont une densité cytoplasmique plus importante et une épaisseur de paroi plus fine que les cellules les plus longues. Elles gardent leur cytoplasme et leur activité (sans lignification) très tardivement dans la vie du bambou (Grosser et Liese, 1971). Au cœur du chaume, au niveau des nœuds, il existe une membrane tendre de couleur blanchâtre essentiellement constituée de parenchyme vivant.

### ➤ **Fibres**

Les tissus structuraux et mécaniques sont divisés en deux catégories : le collenchyme et le sclérenchyme. Les cellules collenchymateuses sont allongées et vivantes ; elles ont une paroi épaisse qui leur permet de soutenir les jeunes organes en développement.

Le sclérenchyme renforce et soutient les parties de la plante qui ne s'allongent pas. Les cellules sclérenchymateuses sont mortes et allongées : ce sont les fibres de la plante. A l'âge adulte, leur pourcentage est largement supérieur aux cellules collenchymateuses. Les fibres sont longitudinales et serrées ce qui confère à la plante sa souplesse, sa flexibilité, son élasticité et sa grande résistance en traction. Selon Fonlupt en 2008, elles occupent 40% de la paroi et sont disposées autour des vaisseaux conducteurs (*photo 3*). On distingue la partie interne de la tige qui représente 70% de l'épaisseur et la partie externe de la tige. Le pourcentage de fibres est supérieur dans la partie extérieure du chaume qui est ainsi plus résistante tant en flexion qu'en traction.

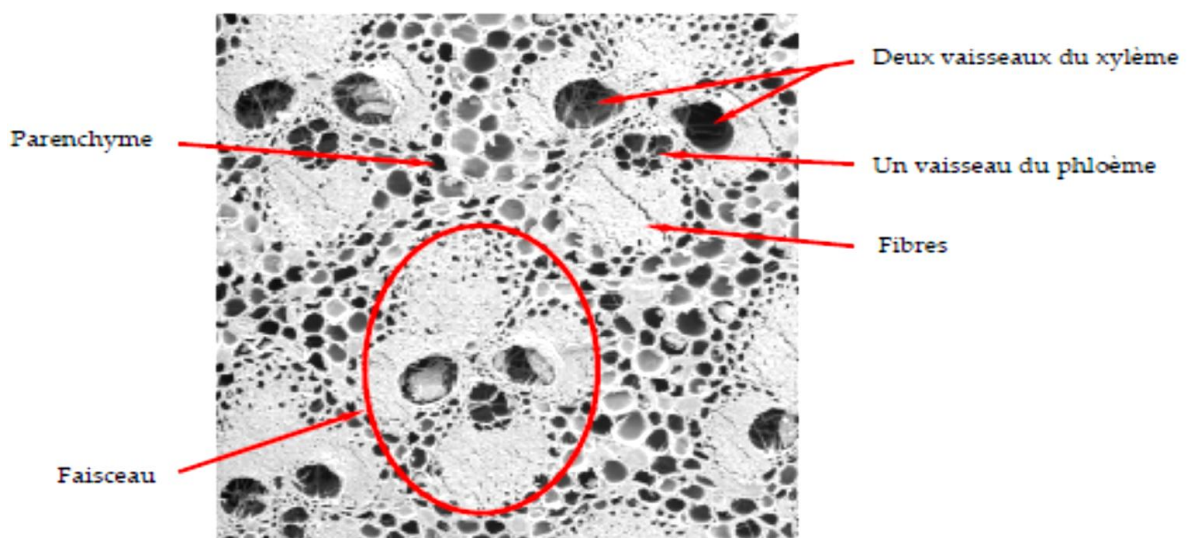


**Photo 3: Coupe transversale du chaume**

(Source : Lindholm et Palm, 2007)

➤ **Vaisseaux conducteurs**

Les vaisseaux vasculaires qui permettent la conduite de la sève dans toute la plante sont actifs tout au long de la vie du bambou. Ils sont longitudinaux sans contacts entre eux sauf au niveau des noeuds où des jonctions permettent la circulation de la sève dans le sens horizontal. Liese en 1987 a observé que le xylème conducteur est constitué d'un ou deux protoxylèmes et de deux grands vaisseaux de métaxylème. Les protoxylèmes ont une membrane simple alors que les métaxylèmes ont une double membrane.



**Figure 2: Coupe transversale du chaume vue (grossissement: 90)**

(Source : Rabot-Querci, 2001)

#### I.4. Distribution

De par leur adaptation à presque tous types de climat, les bambous sont présents naturellement sur tous les continents (Amérique, Asie, Afrique et Océanie) à l'exception de l'Europe (bien que certaines espèces puissent y pousser) et de l'Antarctique.

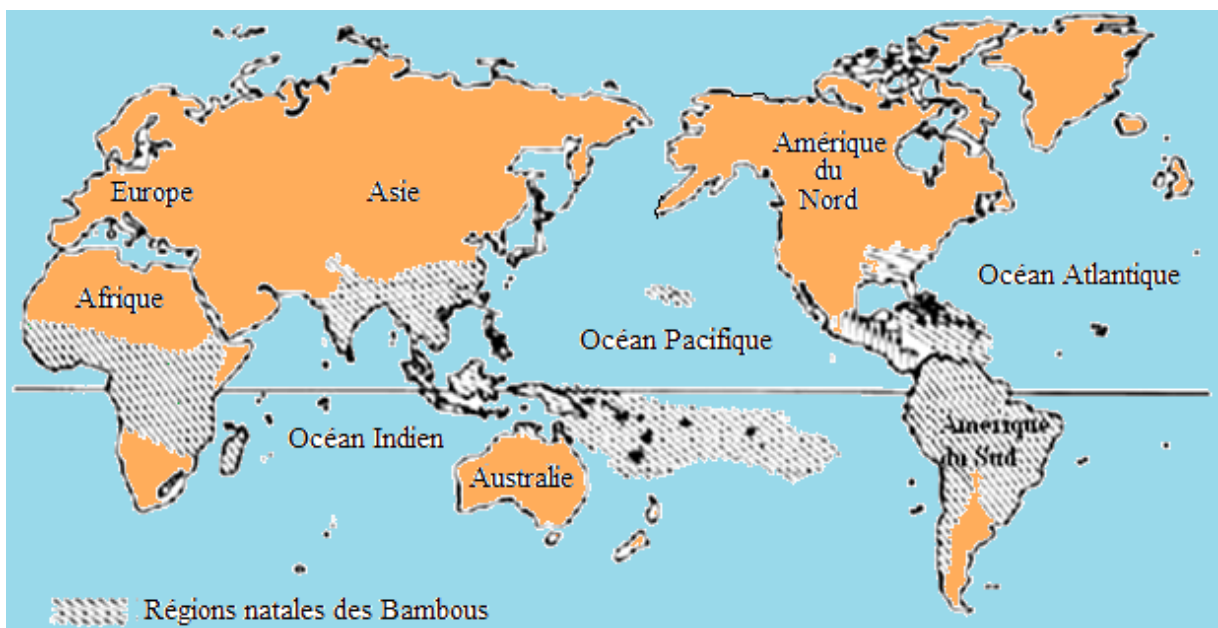
Les genres de bambou par continent ainsi que la répartition mondiale du bambou sont représentés dans le tableau 1.

**Tableau 1: Localisation du bambou**

| Localisation      | Genre | Espèces      |
|-------------------|-------|--------------|
| <b>Asie</b>       | 44    | environ 600  |
| <b>Amérique</b>   | 21    | environ 400  |
| <b>Madagascar</b> | 6     | 32           |
| <b>Afrique</b>    | 3     | 5            |
| <b>Pacifique</b>  | 2     | 4            |
| <b>Australie</b>  | 2     | 3            |
| <b>TOTAL</b>      | 68    | environ 1000 |

(Source : modifié de Feing Kwong Chan et Sanna, 2009)

La majeure partie des espèces de bambous sont principalement originaires d'Asie et d'Amérique, où on les trouve à des altitudes variables. Quelques rares espèces sont spontanées en Afrique continentale et en Océanie. Aucune n'est spontanée en Europe. Leur aire de répartition a connu une forte progression par la culture.



**Carte 1: Distribution mondiale des bambous**

(Source : Modifié de Lindholm et Palm, 2007)



## I.5. Qualités

Le bambou est une plante aux particularités remarquables. Il possède de nombreuses qualités que d'autres plantes n'ont pas. Cette plante dispose d'un feuillage persistant, elle est dite « verte » car elle peut absorber beaucoup de dioxyde de carbone (dont une partie est stockée dans ses rhizomes). Elle peut fixer 30% de plus de CO<sub>2</sub> que les arbres feuillus et libère donc 30% d'oxygène de plus que des arbres (Kermaal, 2008).

La croissance des bambous s'effectue d'une manière très rapide. Certaines espèces peuvent atteindre leur pleine croissance en quelques mois. Le bambou pousse beaucoup plus vite qu'un arbre, ce qui pourrait être une alternative à l'exploitation abusive des forêts.

L'épaisseur de ses feuilles améliore l'infiltration de l'eau dans le sol (deux fois plus qu'une forêt de feuillus), mais en même temps grâce à son immense système racinaire le bambou limite l'érosion des sols et restaure les sols appauvris.

Le bois offert par le bambou est très apprécié puisqu'il possède une forte résistance aux efforts mécaniques. Cette caractéristique en fait un bon matériau pour la construction, de plus il possède la capacité d'être associé à d'autres matériaux (béton, plastique).



**Photo 4: Utilisation de bambou dans l'industrie du bois (Sté Madagascar Bamboo)**

(Source : [www.madagascar-tribune.com/Des-madriers-en-bambou,2290.html](http://www.madagascar-tribune.com/Des-madriers-en-bambou,2290.html))

Toutes ces caractéristiques en font un matériau multi-usages qui n'engendre pas de coût de production excessif. Le bambou peut aussi être valorisé dans son intégralité. En effet, l'utilisation du bambou est totale, c'est une plante profitable de la cime à la racine.

La seule contrainte, qu'offre cette plante, consiste au fait qu'elle est appréhendée comme étant une espèce envahissante, notamment pour le cas des espèces leptomorphes. En effet, les bambous à rhizomes leptomorphes croissent d'une manière horizontale et ont tendance à s'étendre en surface. Sa régénération rapide citée précédemment comme un avantage peut être également un gros inconvénient dans la mesure où sa culture n'est pas maîtrisée.

## I.6. Economie et bambous

D'après Kermaal en 2008, le bambou rapporte chaque année 7 milliards de dollars américains partagés entre 2,5 milliards de personnes (opérations commerciales et utilisations de subsistance confondues). La plante a plus de 1.500 utilisations connues (tissage, papier, construction,

alimentation). Plus d'un million de personnes vivent dans des maisons en bambou, ou dont le bambou est un élément maître de la structure, du revêtement ou de la toiture.

A Madagascar, les bambous tiennent une place importante sur l'économie. Depuis plusieurs années, des produits issus de ces plantes (artisanat, instruments de musiques, meubles, etc.) ont fait l'objet d'exportation. Selon DVRN (2012) cette activité a rapporté des millions d'ariary pour le pays de 2008 à 2010 (tableau 2).

**Tableau 2: Quantité (en Unité) et valeur (en Ariary) des exportations des produits issus des bambous**

| Produits \ Année     | 2008  |                   | 2009  |                   | 2010  |                   |
|----------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
|                      | Unité | Valeur (Ar)       | Unité | Valeur (Ar)       | Unité | Valeur (Ar)       |
| Produits artisanaux  | 4.075 | 17.341.046        | 1.322 | 3.582.938         | 210   | 729.611           |
| Instruments musiques | 557   | 193.168           | 1.657 | 3.253.469         | 5.480 | 5.440.661         |
| Kits maison          | -     | -                 | -     | -                 | 100   | 3.859.500         |
| Meubles/mobiliers    | 471   | 10.613.656        | 79    | 3.375.088         | 312   | 8.091.863         |
| Total (annuel)       |       | <b>28.147.870</b> |       | <b>10.211.495</b> |       | <b>18.121.635</b> |

(-) Non déterminé

Source : DVRN, 2012

Ainsi le bambou, ressource renouvelable, disponible sur la majorité du globe, constitue, sous de nombreuses formes, une source de revenus pour des milliards d'individus.

## II. Présentation des deux espèces

Les deux espèces, objet d'étude, appartiennent toutes deux à la famille des POACEAE et la sous famille de BAMBUSOIDEAE. Elles diffèrent au niveau des genres.

Pour *Dendrocalamus giganteus*, la systématique est la suivante :

- Famille : POACEAE
- Sous-famille : BAMBUSOIDEAE
- Genre : *Dendrocalamus*
- Espèce : *Dendrocalamus giganteus* (Munro, 1868)
- Nom vernaculaire : volo be, volo be mavo



Photo 5: Touffe de *Dendrocalamus giganteus*

Selon Schrad. ex Wendl en 1808, l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda* présente la systématique suivante :

- Famille : POACEAE
- Sous-famille : BAMBUSOIDEAE
- Genre : Bambusa
- Espèce : *Bambusa vulgaris*
- Variété : *Bambusa vulgaris constrictinoda*
- Nom vernaculaire : volomaitso



**Photo 6: *Bambusa vulgaris constrictinoda***

La description et caractéristique des deux espèces, ainsi que leur distribution et écologie sont retrouvés an *Annexe 1* et *Annexe 2*.

## **Partie B : Méthodes**

Hormis les investigations bibliographiques, la méthodologie a comporté trois parties : descentes sur terrain, travaux au laboratoire (analyse) et enfin traitements de données.

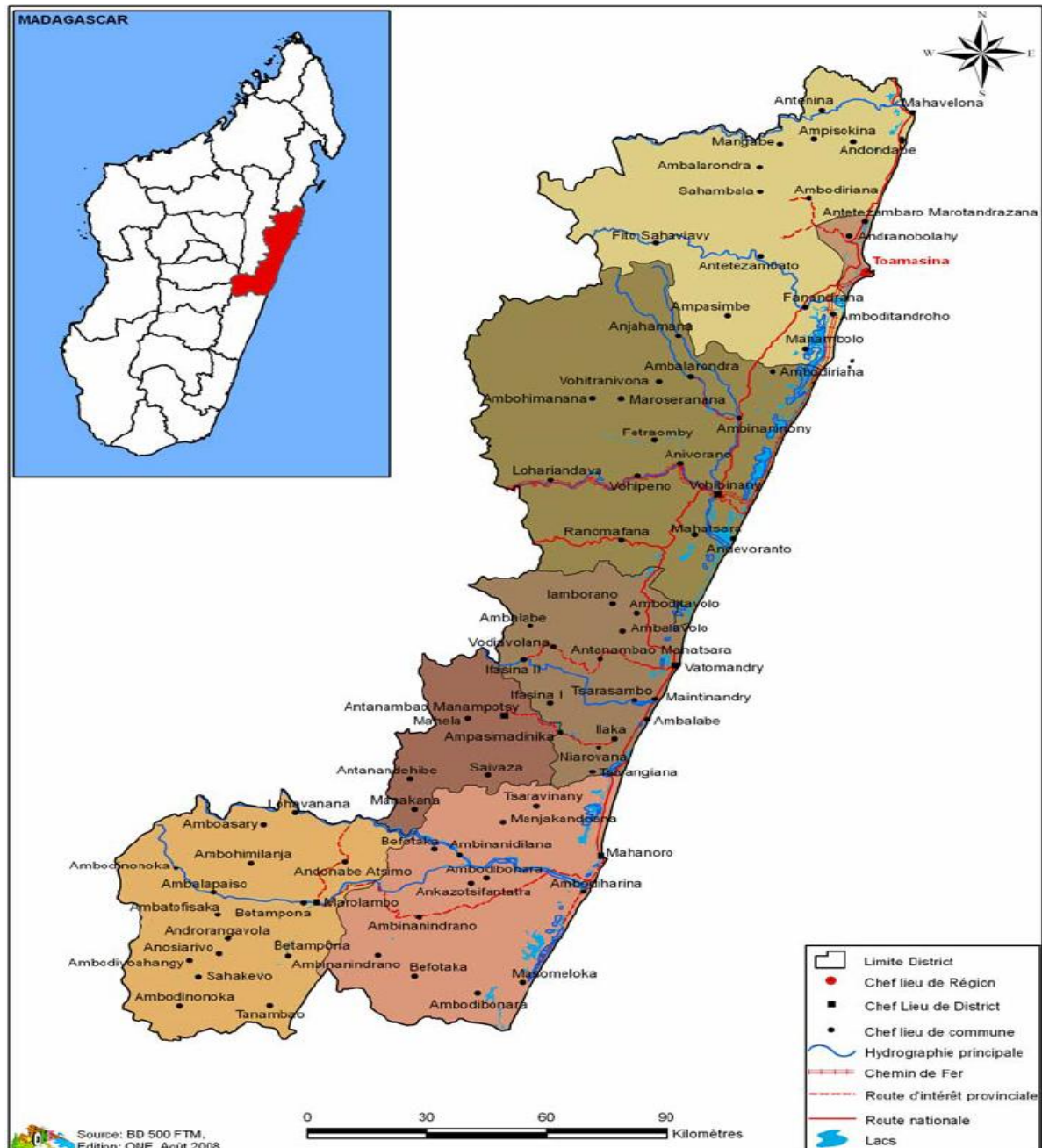
### **I. Descentes sur terrain**

#### **I.1. Objectif**

L'objectif des descentes sur terrain était principalement de prendre des échantillons des deux espèces de bambous en vue de caractériser leurs propriétés. En plus de cela, les descentes ont permis de mieux appréhender l'écologie, les utilisations locales de ces bambous et de connaître les rôles de ces plantes tant sur l'aspect écologique, économique que social.

#### **I.2. Localisation de la zone d'étude**

La zone d'étude du présent mémoire est la région Antsinanana de Madagascar. Cette région est vaste avec une superficie de 22.382 km<sup>2</sup>. Délimitée par cinq régions et à l'est par l'Océan Indien, cette partie de l'île est constituée de sept districts dont Toamasina I, Toamasina II, Brickaville, Vatondry, Antanambao Manampontsy, Mahanoro et Marolambo (*carte 2*). Les échantillons ont été prélevés dans deux de ces districts, à savoir Brickaville et Toamasina I.



**Carte 2: Localisation géographique de la zone d'étude**

(Source : ONE, 2008)

Selon Ramanantoandro et al. (2011), six espèces de bambou sont retrouvées dans cette partie de l'île, à savoir les deux espèces objets de la présente étude (*Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*), et quatre autres espèces (*Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris striata*, *Valiha diffusa* et *Cephalostachyum madagascariensis*).

Les détails concernant la zone d'étude, à savoir le climat, le milieu physique, la végétation et les menaces sur les forêts, sont reportés à l'Annexe 3.

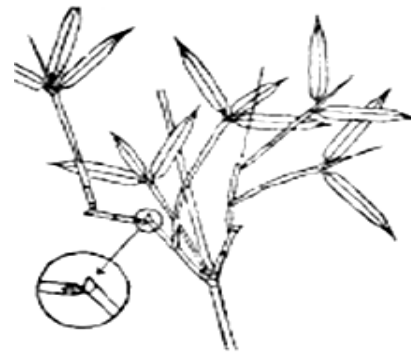
### I.3. Echantillonnage des chaumes à étudier

Pour la prise des échantillons, la première étape a consisté en la reconnaissance des lieux afin de localiser les espèces et leurs emplacements. Il a été ensuite nécessaire de mettre en place un dispositif

d'échantillonnage : plan d'expérience complet en considérant quatre facteurs (espèce, diamètre, hauteur de prélèvement et âge).

Pour chaque espèce, deux âges (1 an et 3 ans) ont été choisis afin d'analyser les variabilités temporelles des caractéristiques. En effet, comme il a été dit antérieurement, le bambou commence à être exploitable dès sa troisième année. Mais à Madagascar, les villageois commencent à les couper dès un an, même s'ils n'ont pas encore atteint la maturité. Ces deux âges représentent donc deux stades de vie distinctes, à savoir la jeunesse et la maturité.

La reconnaissance des âges des bambous s'est faite par identification du nombre de ramification des branches selon la méthode préconisée par Wei-chih Lin (1970). Chaque année, une ramification de plus se développe le long des branches. L'âge des bambous est donc donné par le nombre de ramifications qui se sont développées sur une branche (*figure 3*).

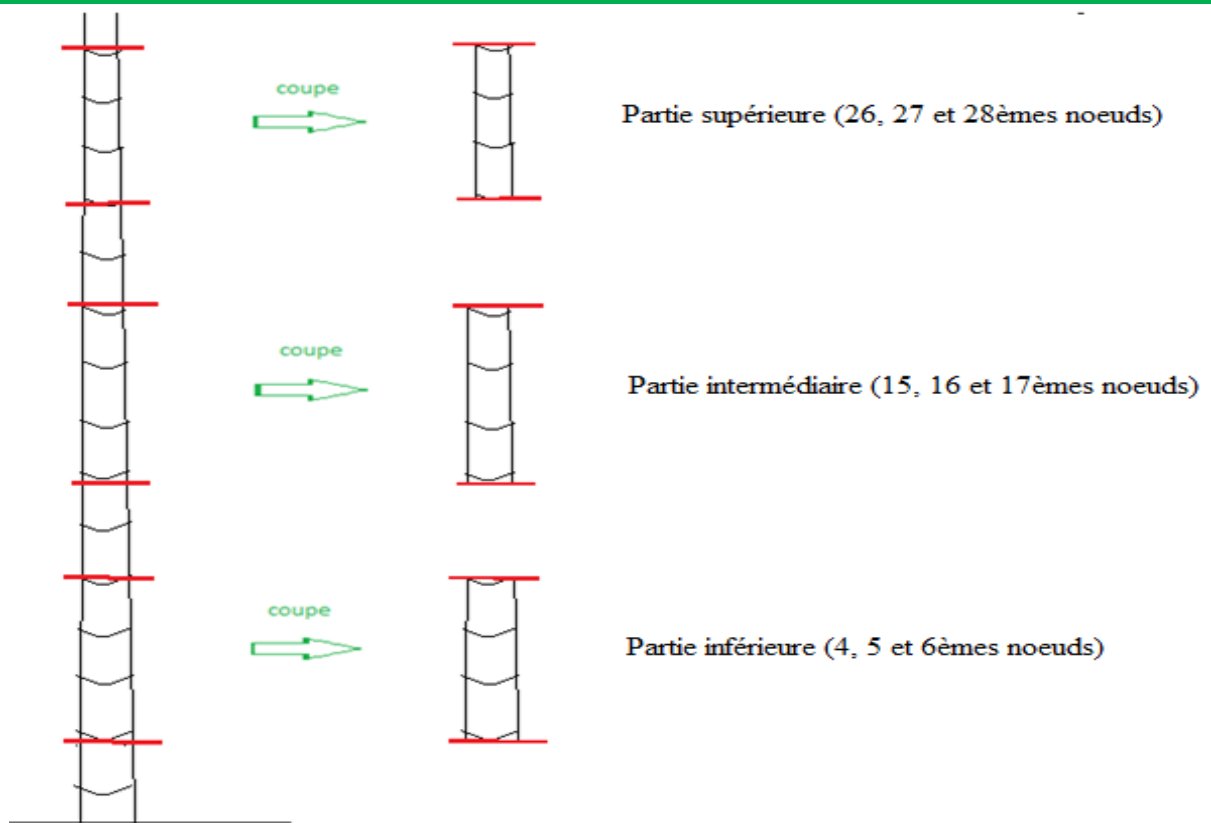


**Figure 3: Distinction de l'âge par la ramification**

(Source : Wei-Chih Lin, 1970)

Pour chacun de ces âges (1 an et 3 ans), trois pieds différents ont été pris en vue de prendre en compte les variabilités inter-chaume. Pour ce faire, la méthode adoptée a consisté en l'échantillonnage aléatoire (pour diminuer les risques d'erreur). Une fois choisis, les pieds de bambous ont été abattus (*photo 7*). De ces pieds, ensuite, une section de 1 mètre environ sur chacune des parties du bambou (partie inférieure, partie moyenne ou intermédiaire et partie supérieure) a été prélevée pour les diverses études (*figure 4, photo 8, photo 9*). Avant abattage, les diamètres de chaque section ont été relevés. Puis les sections ont été enveloppées immédiatement dans un sac hermétique pour minimiser les pertes d'humidité. Un nombre total de 18 sections ont ensuite été transportées au laboratoire de technologie du bois de l'ESSA-Forêts pour les mesures en laboratoire.

Les détails relatifs au prélèvement des échantillons sont retrouvés dans l'*Annexe 4*, à savoir la date, les descriptions des chaumes (âge, couleur, hauteur, diamètre).



**Figure 4: Coupe des diverses parties (inférieure, moyenne, supérieure)**



**Photo 7: Abattage du chaume**



**Photo 8: Sciage du chaume pour avoir les sections**



**Photo 9: Sections des chaumes (parties)**

Pour la collecte des échantillons, l'utilisation de divers outils s'est avérée nécessaire tels que :

- Hache : pour l'abattage des tiges de bambous ;
- Scie passe partout : pour la coupe des différentes sections ;
- Mètre ruban : pour la mesure de la longueur de chaque section et de la circonférence ;
- Sachet hermétique: pour envelopper les sections et ainsi minimiser les pertes d'humidité.

#### **I.4. Entretien informel et observation**

La finalité de cette méthodologie a été de connaître les utilisations actuelles des bambous, notamment les deux espèces, tant sur le plan traditionnel que sur le plan moderne. Pour cela, deux méthodes ont été appliquées. D'une part, des observations ont été faites lors des descentes sur terrain. Ces observations consistaient à observer les personnes qui utilisent ou travaillent les bambous en vue d'identifier les différentes formes d'utilisations de ces plantes dans la région Antsinanana.

D'autre part, des entretiens informels ont été effectués auprès des personnes locales utilisant le bambou et/ou artisans travaillant le bambou quotidiennement et des personnes ressources (employés de la société Madagascar Bamboo).

Il n'y a donc pas eu de plan défini pour les questions, néanmoins les questions les plus utilisées étaient :

- Quelles sont les différentes utilisations des bambous dans cette région ?
- Quelles techniques ont été adoptées pour la fabrication des produits ?
- Quelles sont les espèces les plus utilisées ?

## **II. Analyses au laboratoire**

### **II.1. Objectif**

Les analyses au laboratoire ont consisté à prendre diverses mesures (masses, volumes, etc.) qui ont permis de calculer les paramètres physiques des bambous à étudier. A cet effet, la finalité de cette étape a été de collecter ces données.

### **II.2. Paramètres à analyser**

Les caractéristiques se rattachant à l'état physique des bambous et ayant fait l'objet d'analyses au laboratoire concernaient principalement trois paramètres.

#### **➤ Infradensité**

L'infradensité est la mesure de la densité d'un corps. C'est la comparaison de la densité du corps avec celle de l'eau (Li, 2004). Elle a été obtenue par la formule :

$$I = \frac{\text{masse à l'état anhydre}}{\text{volume à l'état saturée}} \quad (1)$$

(ASTM, 1983 et AFNOR, 1985)

Ce paramètre reflète un grand intérêt tant pour le bois que le bambou car la plupart des paramètres mécaniques en dépendent, notamment la dureté et la résistance mécanique (*Gérard, 1999*). En effet, les matériaux dotés d'une infradensité plus élevée sont plus denses. Ces derniers sont généralement utilisés pour des constructions à forte sollicitation mécanique.

➤ **Humidité sur pied**

L'humidité sur pied peut être définie comme étant la quantité d'eau que renferme la plante, ici le bambou, sur pied. Elle a été obtenue par la formule :

$$H\% = \frac{(masse \text{ à l'état saturé} - masse \text{ à l'état anhydre})}{masse \text{ anhydre}} * 100 \quad (2)$$

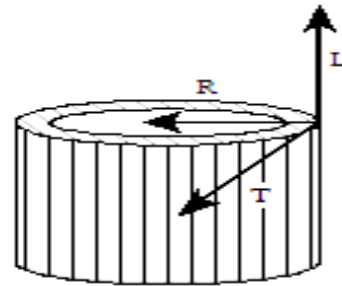
(AFNOR, 1985)

Des paramètres tels que la densité et la rétractabilité dépendent du taux d'humidité, ainsi que d'éventuelles utilisations, d'où l'intérêt de la connaissance ce paramètre. De plus, la connaissance de ce paramètre permet également de prédire le temps qu'il faut pour sécher le bambou avant transformation.

➤ **Rétractabilité dans les trois directions d'anisotropie**

La rétractabilité est la propriété que possède les matériaux ligneux de varier lorsque leur humidité varie. Le fait que le bambou soit anisotrope implique la mesure de cette rétractabilité suivant trois dimensions (*figure 5*) :

- une direction axiale (L), parallèle au fil du bambou (axe de la croissance du chaume),
- une direction radiale (R), perpendiculaire à la première et orientée dans la section droite du cœur du chaume vers l'écorce,
- une direction tangentielle (T), également dans une section droite tangentielle à l'anneau au cœur du chaume ou perpendiculaire à la direction radiale.



**Figure 5: Les trois directions du chaume de bambou**

Dans chacune de ces dimensions, la manière d'obtenir cette rétractabilité se fait comme suit :

$$R\% = \frac{(dimension \text{ à l'état saturé} - dimension \text{ à l'état anhydre})}{dimension \text{ saturée}} * 100 \quad (3)$$

(Panshin & de Zeeuw, 1980 ; AFNOR, 1985)

La nécessité de connaître la rétractabilité repose sur le fait qu'elle aide à prendre des décisions quant aux utilisations des bambous. En effet, la rétractabilité est un paramètre qui détermine sa stabilité dimensionnelle et qui conditionne les déformations des pièces pendant leur séchage et utilisation. Plus la rétractabilité est élevée, plus le matériau présente des déformations lorsque le taux d'humidité varie.



### II.3. Echantillonnage pour les analyses en laboratoire

Les analyses au laboratoire ont été groupées en deux, l'analyse de l'humidité et de l'infradensité d'une part et l'analyse de la rétractabilité d'autre part. En ceci, deux types d'échantillons ont été prélevés selon deux procédés différents (*figure 6*).

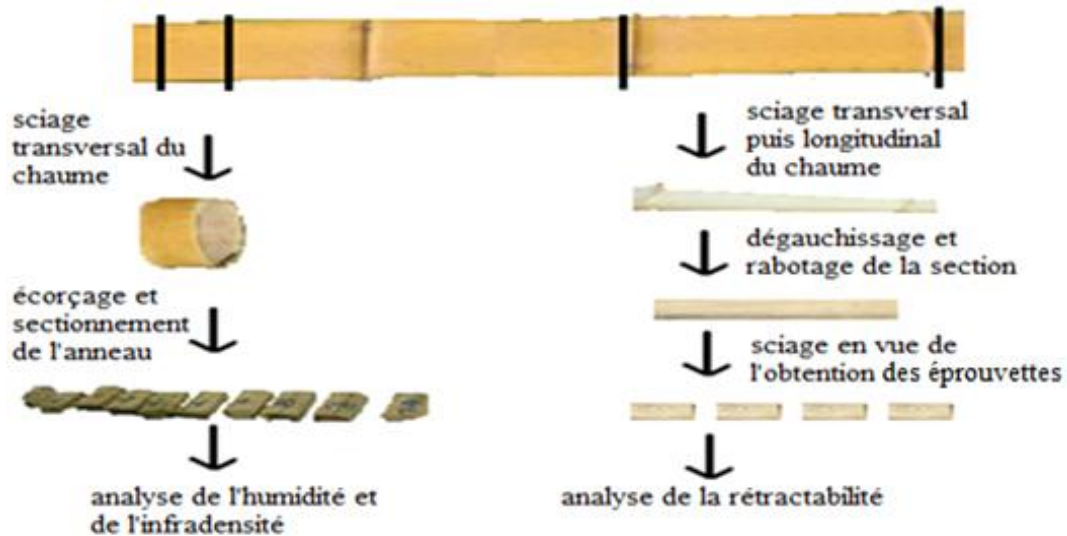
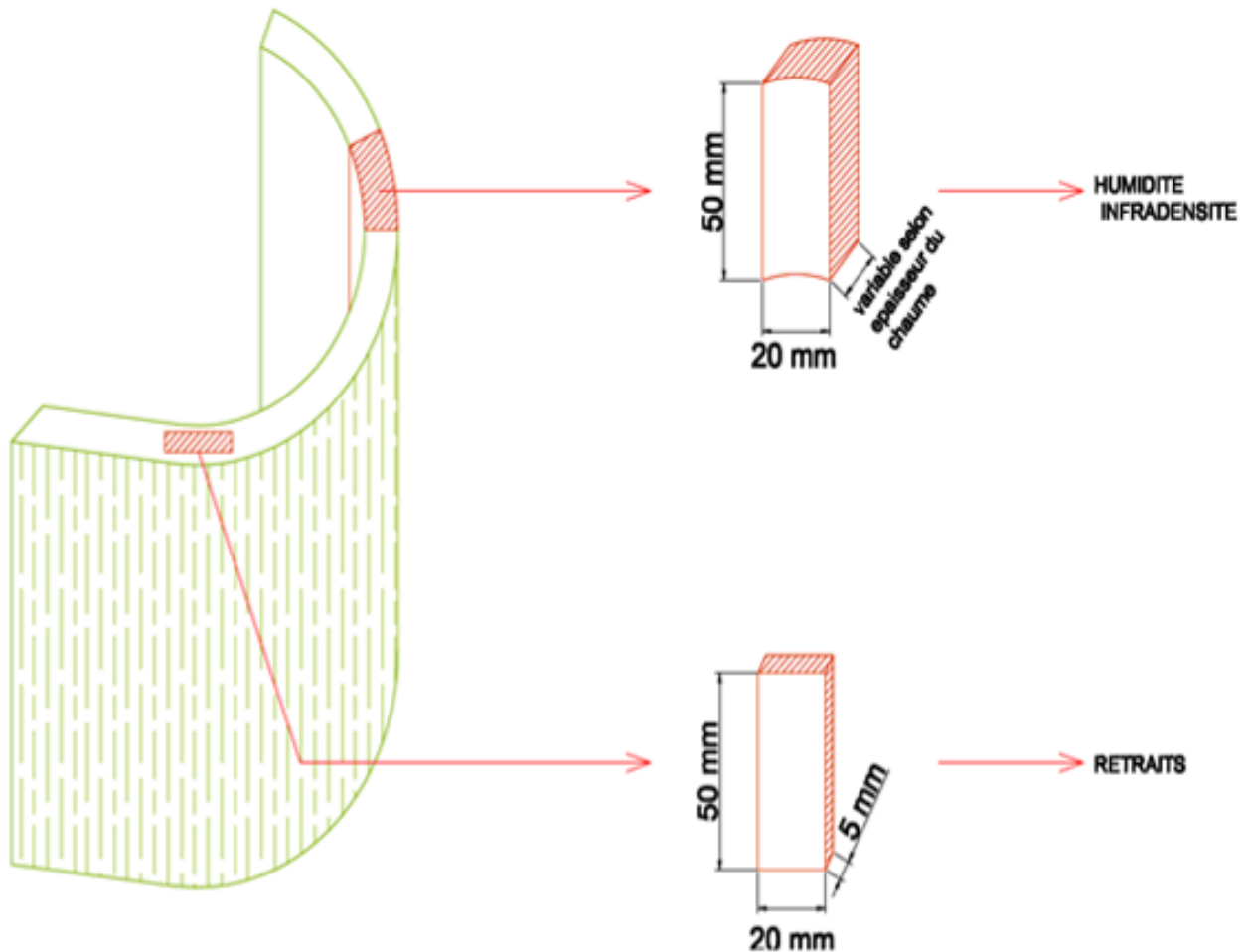


Figure 6: Procédé d'échantillonnage

### II.4. Façonnage des éprouvettes

Avant de procéder à l'analyse proprement dite, il s'est avéré nécessaire de façonner les éprouvettes sur lesquelles les mesures seraient effectuées.

Pour cela, de chaque tige de bambou cueillie a été pris un anneau de 5 cm de long environ grâce à la scie circulaire. Ces anneaux ont ensuite fait l'objet d'écorçage (*photo 10*) et ont été coupés en petites sections parallélépipédiques (*photo 11*) de 5 cm \* 3 cm sur le même axe transversal (*figure 7*). Le nombre de sections ainsi obtenu variait en fonction de la circonférence du chaume du bambou (de l'anneau). Dix de ces échantillons par partie de chaque tige de bambou ont ensuite été sélectionnés au hasard pour effectuer les diverses analyses au laboratoire pour les propriétés physiques (*photo 12*).



**Figure 7: Façonnage des échantillons pour les analyses**

Pour le cas de l'analyse du taux d'humidité, un nombre total de 180 éprouvettes par espèce a été analysé. Cette propriété ne peut être obtenue qu'après des calculs incluant les masses à un état saturé et un état anhydre des échantillons. Ainsi, chaque échantillon a été pesé à l'aide d'une balance de précision de 0,01 g. A été obtenue, par cette méthode, la masse de chaque section de bambou (*photo 13*). Ces échantillons ont ensuite été mis dans une étuve à 103°C de température durant 3 à 5 jours pour les ramener à l'état anhydre jusqu'à l'atteinte d'une masse constante, selon la norme NF B51-004 (AFNOR, 1985). Puis ils ont été une fois de plus pesés afin d'obtenir la valeur des masses anhydres. Ces données ont fait ensuite l'objet de calcul en vue de ressortir le taux d'humidité selon la formule 2.

L'infradensité a fait l'objet du même stratège. Puisque sa valeur n'a pu être obtenue qu'à l'aide de calcul, le travail au laboratoire consistait alors à analyser les composantes incluses dans la formule 1 à savoir le volume à l'état saturée et la masse à l'état anhydre. Pour obtenir le volume à l'état saturé, les échantillons ont été mis en place un à un dans un bécher rempli d'eau à  $\frac{3}{4}$  de son volume. Le volume de chaque échantillon est égal au volume du liquide déplacé (principe d'Archimède) (*photo 14*). Pour déterminer les masses à l'état anhydre, la même méthode que celle utilisée pour l'humidité

a été adoptée. Ainsi, le nombre total d'échantillons pour l'analyse de l'infradensité a été de 180 par espèce.



**Photo 10: Ecorçage d'un anneau de bambou**



**Photo 11 : Division de l'anneau en plusieurs échantillons**



**Photo 12: Echantillons de *Dendrocalamus giganteus***



**Photo 13: Pesage d'un échantillon de *Dendrocalamus giganteus***



**Photo 14: Mesure du volume de l'éprouvette (méthode d'Archimède)**

Pour l'analyse de la rétractabilité, les bambous ont été coupés longitudinalement en six sections grâce à une scie circulaire (*photo 15*). Ces sections ont ensuite été usinées à la dégauchisseuse puis à la raboteuse afin d'obtenir des sections bien planes et perpendiculaires (*photo 16*). Après quoi, ces dernières ont été coupées en des échantillons de 5 cm (L) \* 2 cm (T) \* 5mm (R) (*figure 7, photo 17, photo 18*). Comme pour la masse et le volume, les échantillons ont fait l'objet d'analyse avant et après le séchage à l'étuve. Les études diffèrent par les mesures à entreprendre. En effet, pour la rétractabilité, les mesures consistent à prendre les longueurs des échantillons suivant les trois axes (longitudinal L, radial R, et transversal T) grâce à un pied à coulisse d'une précision de 0,01 mm (*photo 19*). Tout comme pour les deux autres paramètres, le nombre d'échantillons est de 180 par espèce.



**Photo 15: Passage des sections à la scie circulaire**



**Photo 16: Passage des sections à la dégauchisseuse**



**Photo 17: Façonnage des échantillons à l'aide d'une scie circulaire**



**Photo 18: Echantillons pour l'analyse de rétractabilité**



**Photo 19: Pieds à coulisse**

### **III. Traitement de données**

#### **III.1. Objectif**

L'objectif de cette partie de l'étude consistait à faire la description des populations constituées par les deux espèces. En cela, il convient, d'une part, de déterminer si les critères « âge » et « location » le long du chaume ont des effets significatifs sur les paramètres physiques. D'autre part, il a été nécessaire de porter une comparaison entre les deux espèces (*Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris striata*) afin de ressortir les utilisations appropriées pour chaque espèce.

#### **III.2. Procédés globaux adoptés**

L'étape de traitement de données concerne la statistique. En ceci, elle a comporté deux phases. Suite aux calculs des paramètres (taux d'humidité, infradensité, rétractabilité), la première phase consistait en une analyse descriptive. La finalité de cette analyse a été de connaître les caractères généraux des populations : valeur où tendent les observations (moyenne) et dispersion des observations autour de la moyenne (écart type, variance, coefficient de variation). Concernant l'interprétation du coefficient de variation, Martin et Gendron (2004) ont donné les balises suivantes:

- entre 0,0 % et 16,0 % : variation faible dans l'échantillon, estimation de la moyenne fiable
- entre 16,0 % et 33,3 % : variation importante, moyenne avec risque de comporter beaucoup d'erreurs
- au-delà de 33,3 % : variation très élevée, moyenne non fiable.

La deuxième phase a concerné une statistique analytique. Il a été question d'effectuer les tests d'hypothèse, la première chose à faire étant de tester la normalité des données. En effet, cette étape a été nécessaire pour connaître les tests qui conviennent pour les données (tests paramétriques ou tests non paramétriques). Le traitement s'était poursuivi avec des tests de comparaison de la variance pour aboutir à des tests paramétriques, notamment ANOVA.

Ce type de test compare les moyennes et révèle si leurs différences sont significatives ou non. Pour cela deux hypothèses ont été mises en avant :

- $H_0$  : il y a une différence significative entre les moyennes des observations et donc le(s) facteur(s) a (ont) un effet sur les propriétés physiques. Cette hypothèse est vérifiée dans le cas où la valeur de  $p$  issue de l'ANOVA est inférieure au seuil de signification ( $\alpha$ ) qui est de 0,05.
- $H_1$  : il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des observations et donc le(s) facteur(s) pris n'a (ont) pas d'effet significatif sur les propriétés physiques. Cette hypothèse est acceptée si la valeur de  $p$  est supérieure à  $\alpha$  (0,05).

En plus de cette ANOVA, un test de Fisher LSD à un niveau de signification de 95% a été effectué pour les procédures de comparaison.

Un test de corrélation a également été entrepris afin de comprendre les relations existant entre les différents paramètres, l'influence que certaines propriétés a sur d'autres. Annexé à cette corrélation, un test de signification a été effectué afin d'étudier l'intensité des liaisons existantes. Pour cela, le niveau de signification (seuil) a été fixé à 0,05.

### III.3. Procédés spécifiques pour la vérification des hypothèses

Les procédés utilisés pour la vérification des trois hypothèses ne sont pas les mêmes. Après avoir calculé les différentes propriétés physiques de chaque échantillon, les données ont été regroupées en plusieurs classes selon l'hypothèse à vérifier.

La première hypothèse est scindée en deux sous hypothèses. Vu que la sous hypothèse 1 relate les effets du diamètre, les données ont été regroupées selon la position de l'échantillon sur l'axe diamétral. Puis, les paramètres ont été comparés selon leur groupe d'appartenance qui a été pris comme facteur pour le test ANOVA au seuil de 5%. La démarche pour la vérification de la deuxième sous hypothèse est la même, exception faite que le facteur considéré a été la location le long du chaume. Trois groupes ont donc été mis en exergue, entre autre les trois positions le long des chaumes (parties inférieures, moyennes et supérieures). Après l'analyse de variance effectuée, un test de Fisher LSD a été mené pour comparer deux à deux ces trois parties le long du chaume.

La deuxième hypothèse tenant compte des effets de l'âge sur les propriétés physiques des bambous a été vérifiée en regroupant les échantillons selon l'âge des chaumes sur lesquels ils ont été prélevés (un an ou trois ans). Les moyennes des propriétés physiques de chaque groupe ont été calculées puis comparées moyennant l'ANOVA au seuil de 5%.

Pour la troisième hypothèse, les statistiques descriptives ont suffi pour la vérification. En effet, les moyennes des paramètres ont été comparées avec des données similaires mais attribuées à des ligneux pour en ressortir d'éventuelles possibilités de valorisation des deux espèces de bambous étudiées.

Pour l'aboutissement du traitement de données, l'utilisation de logiciels tels que SPSS, XLSTAT a été nécessaire. Puis le logiciel EXCEL a été utile pour effectuer les différents graphes relatifs à cette étape.

IV. Récapitulatif de la méthodologie

Tableau 3: Cadre opératoire due l'étude

| Problématique  | Hypothèses   | Indicateurs                  | Méthodes  |
|--|--|------------------------------|---|
| <p>Quelles sont les caractéristiques des bambous dans la région d'Antsinanana ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quelles sont les propriétés particulières aux bambous de Madagascar ?</li> <li>- Comment les valoriser ?</li> </ul> | <p>Les propriétés physiques des bambous sont variables sur un même chaume.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les propriétés physiques des bambous sont variables sur un même axe diamétral</li> </ul> | Taux d'humidité sur pied (%) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer le taux d'humidité sur pied des diverses positions sur le diamètre pour chaque espèce</li> <li>- Calculer les moyennes pour chaque position</li> <li>- Comparer ces résultats (ANOVA)</li> <li>- Interpréter</li> </ul>     |
|  |  | Infradensité                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer l'infradensité des échantillons retrouvés sur un même plan diamétral pour les deux espèces</li> <li>- Déterminer les moyennes et procéder au test statistique pour la comparaison (ANOVA)</li> <li>- Interpréter</li> </ul> |
|  |  | Rétractabilité (%)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer les variations dimensionnelles ou rétractabilité selon le diamètre</li> <li>- Calculer les moyennes et les comparer (ANOVA)</li> <li>- Interpréter</li> </ul>   |

| Problématique | Hypothèses  | Indicateurs                  | Méthodes  |
|---------------|---|------------------------------|---|
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les propriétés physiques différent d'une localisation à une autre le long du chaume</li> </ul> | Taux d'humidité sur pied (%) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer le taux d'humidité de chaque partie pour chaque espèce</li> <li>- Sortir une moyenne pour ces parties</li> <li>- Comparer ces moyennes globalement puis deux à deux (ANOVA + test FISHER)</li> <li>- Interpréter</li> </ul>         |
|               |   | Infradensité                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer l'infradensité de chaque localisation sur un même chaume</li> <li>- Comparer les moyennes des trois parties après calculs (ANOVA + test FISHER)</li> </ul> <p>Interpréter</p>   |
|               |   | Rétractabilité (%)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer les variations dimensionnelles ou rétractabilité des deux espèces pour chaque partie</li> <li>- Procéder aux calculs des moyennes</li> <li>- Comparer les résultats obtenus (ANOVA + test FISHER)</li> <li>- Interpréter</li> </ul> |



| Problématique | Hypothèses   | Indicateurs                  | Méthodes  |
|---------------|--|------------------------------|---|
|               | Les propriétés physiques des bambous varient selon l'âge.  | Taux d'humidité sur pied (%) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer le taux d'humidité de chaque âge pour chaque espèce</li> <li>- Calculer les moyennes des deux âges</li> <li>- Comparer les résultats obtenus (ANOVA)</li> <li>- Interpréter</li> </ul>  |
|               |  | Infradensité                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer l'infradensité de chaque âge sur un même chaume</li> <li>- Calculer les moyennes</li> <li>- Comparer les résultats obtenus (ANOVA)</li> </ul> Interpréter   |
|               |  | Rétractabilité (%)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer les variations dimensionnelles ou rétractabilité des deux espèces pour chaque partie</li> <li>- Calculer les moyennes</li> <li>- Comparer les résultats obtenus (ANOVA)</li> <li>- Interpréter</li> </ul>   |
|               | Les propriétés des deux espèces sont favorables à des valorisations similaires à celles du bois. | Propriétés physiques         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculer les moyennes globales des propriétés physiques des deux espèces</li> </ul>  |
|               |  | Utilisations actuelles       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer ces propriétés physiques des deux espèces de bambous avec celles des bois et interpréter</li> <li>- Connaître les utilisations actuelles des deux espèces étudiées</li> <li>- Proposer de nouvelles pistes de valorisations par rapport aux propriétés de ces plantes et aux formes de valorisations déjà entreprise</li> </ul> |

Un résumé de la méthodologie est reporté en *Annexe 5*.

A decorative frame made of green bamboo stalks, tied with light brown twine at the corners. The frame is rectangular and surrounds a central white area with a torn-paper edge. Inside this white area, the chapter title is written in bold black text.

**Chapitre 2 :**  
**Résultats et**  
**interprétations**

## Chapitre 2 : Résultats et interprétations

Les bambous sont des plantes ayant des propriétés similaires à celles des ligneuses. Ainsi, leurs propriétés physiques dépendent de plusieurs facteurs : l'espèce, la location suivant le chaume ou la hauteur de prélèvement, l'âge, etc. (Lee et *al.*, 1994). Plusieurs études ont déjà été faites dans le monde pour observer et connaître ces caractéristiques en vue de développer autant que possible l'utilisation de ces plantes mais aucune ne concerne les bambous malgaches. Dans cette étude, les diverses analyses ont été faites sur 360 échantillons dont la répartition par espèce, par âge et par location est révélée par le tableau 4.

**Tableau 4: Nombre d'échantillons**

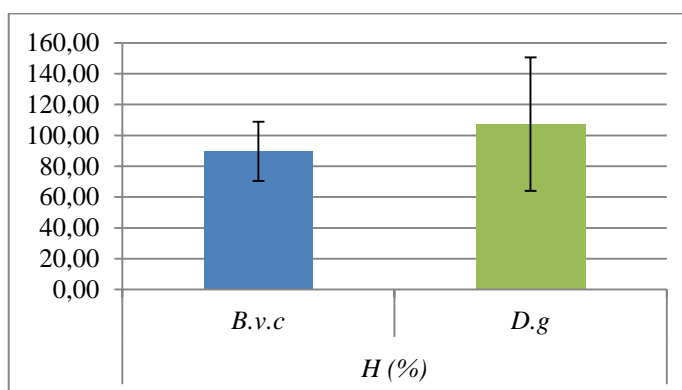
| espèces | <i>Dendrocalamus giganteus</i> |    |    |       |    |    | <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> |    |    |       |    |    |
|---------|--------------------------------|----|----|-------|----|----|--|----|----|-------|----|----|
|         | 1 an                           |    |    | 3 ans |    |    | 1 an                                   |    |    | 3 ans |    |    |
| âges    |                                |    |    |       |    |    |  |    |    |       |    |    |
| parties | I                              | M  | S  | I     | M  | S  | I                                      | M  | S  | I     | M  | S  |
| N       | 30                             | 30 | 30 | 30    | 30 | 30 | 30                                     | 30 | 30 | 30    | 30 | 30 |

*I* : partie inférieure / *M* : partie moyenne / *S* : partie supérieure / *N* : nombre d'échantillons

### I. Propriétés physiques des deux espèces

#### I.1. Taux d'humidité

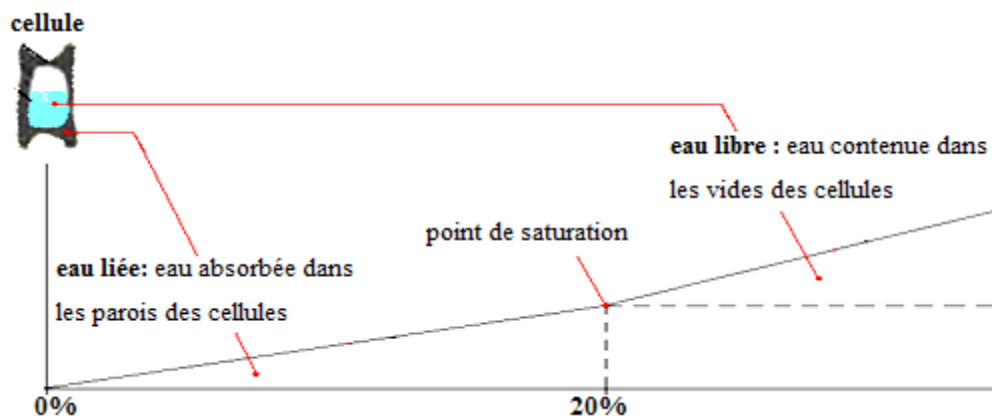
Comme le bois, le bambou est un matériau hygroscopique, il est susceptible de perdre ou de reprendre de l'humidité en fonction de la température et surtout de l'humidité relative de l'air ambiant. Au moment de l'abattage, le bambou peut contenir plus d'eau que d'autres matières. Pour les deux espèces, la majorité de leur volume sur pied est rempli d'eau. En effet, leur taux d'humidité moyen est supérieur à 80 % (*figure 8*). D'après les analyses statistiques, les taux d'humidité des deux espèces sont différents significativement à un seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 1*). *Dendrocalamus giganteus* contient plus d'eau par rapport au *Bambusa vulgaris constrictinoda*.



**Figure 8: Taux d'humidité des deux espèces (%)**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / *H* : taux d'humidité

D'après Kishen et *al.* en 1956 et repris par Sharma en 1988, le point de saturation des fibres (FSP) du bambou est d'environ 20 – 22 % (figure 9). Ceci induirait que la majorité des eaux dans ces deux espèces de bambou se trouve à l'intérieur des cellules et cavités et non mêlées à l'intérieur des fibres. Ce sont les « eaux libres ».

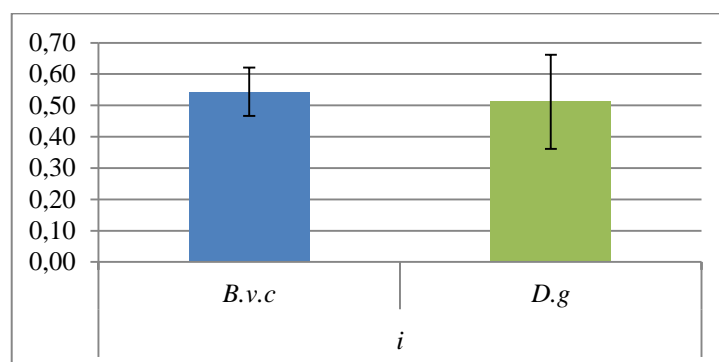


**Figure 9: Humidité des cellules de bambou avec pourcentage**

Les coefficients de variation respectifs pour les deux espèces sont de l'ordre de 0,41 % et 0,11%. D'après la balise de coefficient de variation donnée par Martin et Gendron (2004), la variation du taux d'humidité des deux espèces est faible ce qui confirme la fiabilité des estimations des moyennes.

### I.2. Infradensité

L'analyse de l'infradensité entre les deux espèces a révélé une différence significative à un seuil de 5 % (Annexe 6, tableau 1). En effet, *Bambusa vulgaris constrictinoda* est plus lourde que *Dendrocalamus giganteus* (figure 10) avec une valeur moyenne de l'infradensité de plus de 0,50 pour les deux espèces. Comparées avec les ligneuses, ces deux espèces présentent des valeurs de densité qui permettent de les classer parmi les bois dits « mi-lourds » selon la CNDB.



**Figure 10: Infradensité des deux espèces**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / *i* : infradensité

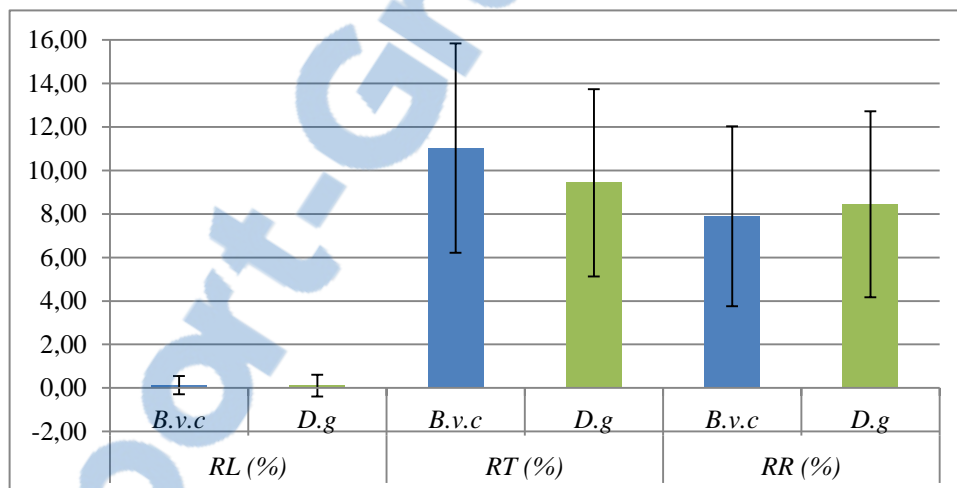
*Dendrocalamus giganteus* présente une plus grande fourchette de valeur, elle est plus hétérogène que l'autre espèce. Néanmoins, la variation de l'infradensité pour *Dendrocalamus*

*giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* est faible avec des coefficients de variation respectifs de 0,31 % et 0,15 %.

### I.3. Rétractabilité

Le changement d'humidité du bambou provoque des variations de dimensions. Ces variations se produisent dans les trois directions principales : longitudinale ou axiale, tangentielle et radiale.

Suivant la direction axiale, la différence n'est pas significative entre les rétractabilités des deux espèces (*Annexe 6, tableau 1*). Les deux espèces ont une rétractabilité minimale autour de 0,10 % (*figure 11*). L'estimation de ces moyennes est fiable puisque la variation est faible avec un coefficient de 4,43 % pour *Dendrocalamus giganteus* et de 2,70 % pour *Bambusa vulgaris constrictinoda*. Néanmoins, l'espèce *Dendrocalamus giganteus* est plus hétérogène que l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda* d'un point de vue retrait longitudinal. Pour cette rétractabilité longitudinale, des valeurs négatives ont été trouvées. En effet, certains échantillons se sont gonflés suivant la direction axiale du fait du fort rétrécissement suivant le plan tangentiel.



**Figure 11: Rétractabilité des deux espèces (%)**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / *R* : rétractabilité / *R<sub>L</sub>* : retrait longitudinal / *R<sub>t</sub>* : retrait tangentiel / *R<sub>e</sub>* : retrait radial

Suivant le plan tangentiel, la rétractabilité de *Dendrocalamus giganteus* est significativement différente de celle de *Bambusa vulgaris constrictinoda* au seuil de 5 % avec une valeur de p égale à 0,002 (*Annexe 6, tableau 1*). En suivant le classement du CTFT, *Bambusa vulgaris constrictinoda* est classé parmi les espèces à forte rétractabilité (valeur supérieure à 11 %) tandis que *Dendrocalamus giganteus* a une rétractabilité moyenne (entre 7 et 11 %) (*figure 12*). Comme pour la rétractabilité longitudinale, ces estimations de moyenne sont fiables car les deux populations sont homogènes. En effet, le coefficient de variation est de 0,46 % et de 0,44 % respectivement pour *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*.

Concernant la rétractabilité radiale, au seuil de 5 %, l'ANOVA n'a pas montré de différence significative entre les deux espèces (Annexe 6, tableau 1). Selon le classement du CTFT (Gérard, 1999), elles s'apparentent toutes deux au bois à fort retrait (valeur supérieure à 7%) (figure 12) avec la même valeur du coefficient de variation (0,50 %). Ainsi, les populations sont homogènes et les moyennes fiables.

## II. Variabilité diamétrale des propriétés

Le diamètre du chaume n'a pas d'effet sur les caractéristiques physiques des deux bambous malgaches. Au seuil de 5 %, la différence n'est pas significative que ce soit pour l'humidité, l'infradensité ou les retraits (Annexe 6, tableau 2). En effet, l'anatomie structurale du chaume de bambou ne diffère pas d'un endroit à un autre sur le même axe diamétral.

Concernant le taux d'humidité, les valeurs varient autour de 90 % pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* et autour de 110 % pour *Dendrocalamus giganteus* deux espèces (figure 13). La valeur de l'infradensité des deux espèces avoisine 0,55 (figure 14). Mais *Dendrocalamus giganteus* présente une fourchette plus grande par rapport à *Bambusa vulgaris constrictinoda*.

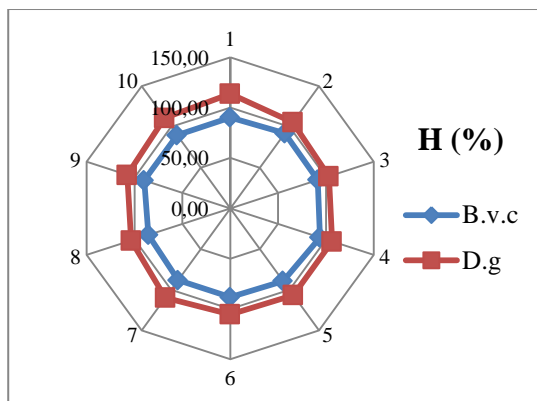


Figure 12: Variabilité diamétrale du taux d'humidité des deux espèces

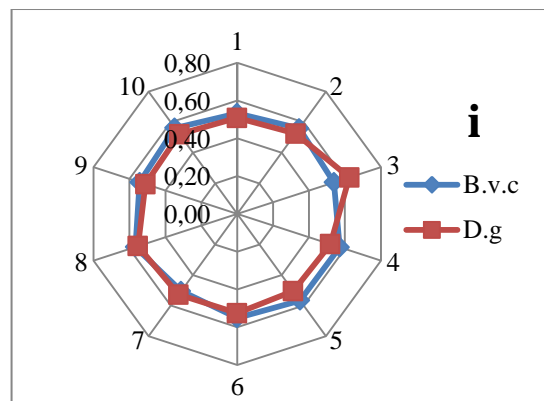
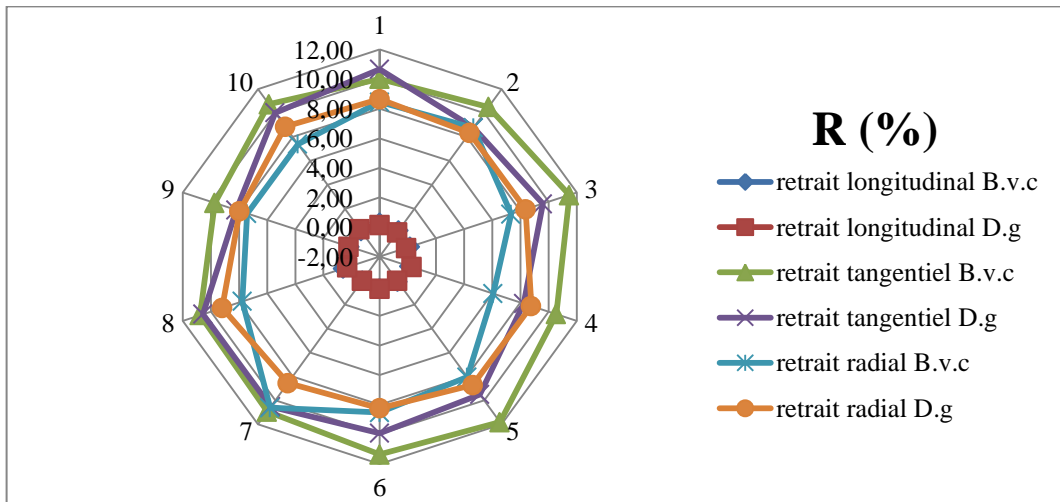


Figure 13: Variabilité diamétrale de l'infradensité des deux espèces

B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / D.g : *Dendrocalamus giganteus* / H : taux d'humidité

B.v.c : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / D.g : *Dendrocalamus giganteus* / i : infradensité

La rétractabilité suivant la direction longitudinale est minime par rapport aux deux autres. Sa valeur est toujours inférieure à 1 % pour chaque partie prélevée sur le même diamètre et pour les deux espèces. Par contre, la valeur du retrait tangentiel tourne autour de 10 % et celle du retrait radial avoisine 8 % pour *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* (figure 15).



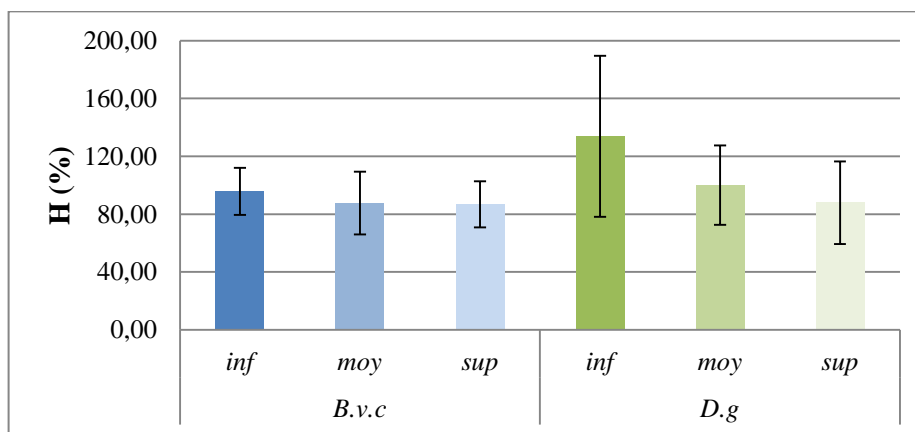
**Figure 14: Variabilité diamétrale de la rétractabilité des deux espèces**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* /  $R_L$  : retrait longitudinal /  $R_t$  retrait tangentiel /  $R_r$  : retrait radial

### III. Effet de la hauteur sur les propriétés physiques du bambou

#### III.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité pour les diverses parties du chaume (inférieure, intermédiaire et supérieure) et pour les deux espèces dépasse les 80%. D'après l'analyse de variance effectuée au seuil de 5 %, le taux d'humidité est significativement différent entre les diverses locations le long du chaume (*Annexe 6, tableau 3*). En effet, la partie inférieure du chaume retient plus d'eau avec une valeur de 95,72 % pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* et de 133,89 % pour *Dendrocalamus giganteus*. Ces valeurs décroissent au fur et à mesure que la hauteur de prélèvement s'élève (*figure 16*). Li a montré dans son étude en 2004 que le taux d'humidité des bambous diminue, selon la location du chaume, de la base à la partie supérieure.



**Figure 15: Variabilité du taux d'humidité des deux espèces selon la location suivant le chaume**

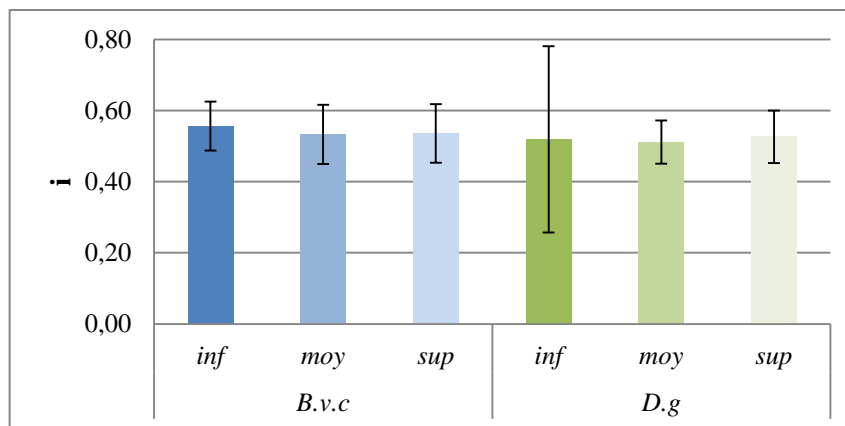
*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / inf : partie inférieure du chaume / moy : partie moyenne du chaume / sup : partie supérieure du chaume

Une explication possible de cette variation peut être le fait que les parties inférieure et moyenne du chaume sont plus proches des racines et les rhizomes qui fournissent des aliments et de l'énergie pour la plante entière. L'humidité et la nutrition suivent une trajectoire vers le haut le long des cellules du chaume. En conséquence, il y a une plus grande teneur en eau dans les cellules et les fibres de ces locations.

Cette différence pourrait également être expliquée par la variation du nombre de cellules parenchymateuses qui constituent une réserve ou stockage pour l'eau (Liese et Grover, 1961). En effet, d'après ces auteurs, le pourcentage de parenchyme diminuerait en montant le long du chaume. Cette diminution du taux d'humidité est également influencée par la force de gravité d'où la valeur élevée à la base, à proximité du sol (Islam *et al.*, 2002).

### III.2. Infradensité

L'infradensité de ces deux bambous ne présente aucune différence significative entre les diverses parties du chaume, au seuil de 95 % (Annexe 6, tableau 3). En moyenne, elle varie de 0,51 à 0,56 pour les deux espèces (figure 17).



**Figure 16: Infradensité des deux espèces tout âge confondu**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / inf : partie inférieure du chaume / moy : partie moyenne du chaume / sup : partie supérieure du chaume

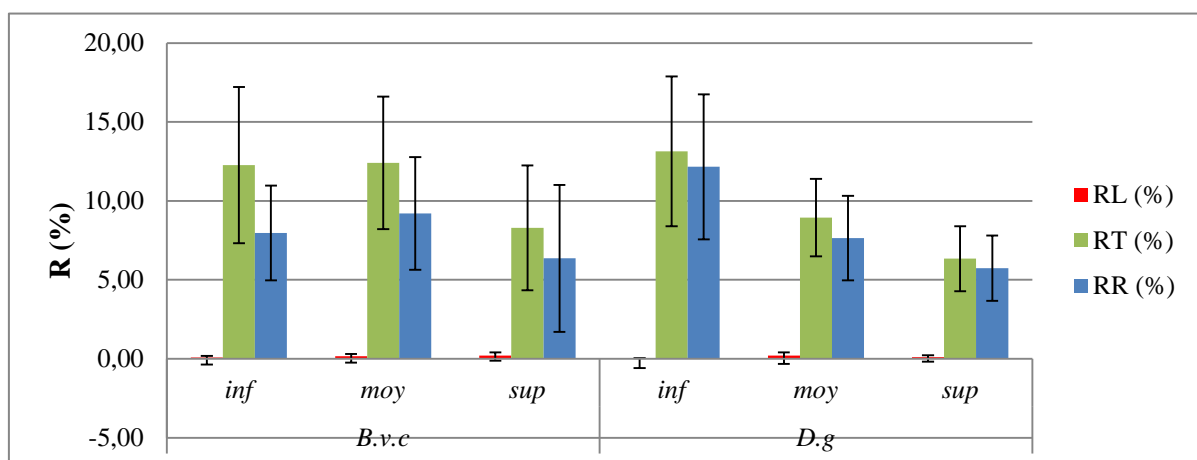
Néanmoins, les résultats révèlent que l'infradensité est légèrement plus grande à la base du chaume (figure 17). De telles différences deviennent de plus en plus minimales avec l'élévation en hauteur le long du chaume. Cette variation de l'infradensité entre les divers entrenœuds pourrait provenir du processus de maturation ou lignification, qui commence de la base à la partie supérieure du chaume (Itoh, 1990). En effet, d'après Latif *et al.* (1993), c'est l'augmentation du nombre des cellules sclerenchymateuses et des cellules conductrices qui impliquerait l'augmentation de l'infradensité.



### III.3. Rétractabilité

Concernant la rétractabilité anisotropique, le bambou est similaire au bois (Lee, 1994). La rétractabilité est minimale suivant la direction longitudinale des fibres si bien que la différence entre les parties du chaume n'est pas significative au seuil de 5 % pour les deux espèces (Annexe 6, tableau 3).

Par contre suivant les deux autres directions (tangentielle et radiale), la rétractabilité diffère significativement d'une location à une autre au seuil de 5 % (Annexe 6, tableau 3). Pour *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*, la valeur des retraits varie de 13 à 8 % suivant le plan tangentiel et de 12 à 6 % suivant le plan radial (figure 18). Cette différence pourrait être due au fait que, la base se rétracte plus par rapport aux autres parties à cause de son fort taux d'humidité (Rhemana & Ishaq, 1947).



**Figure 17: Rétractabilité des deux espèces suivant les trois directions en %**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / inf : partie inférieure du chaume / moy : partie moyenne du chaume / sup : partie supérieure du chaume

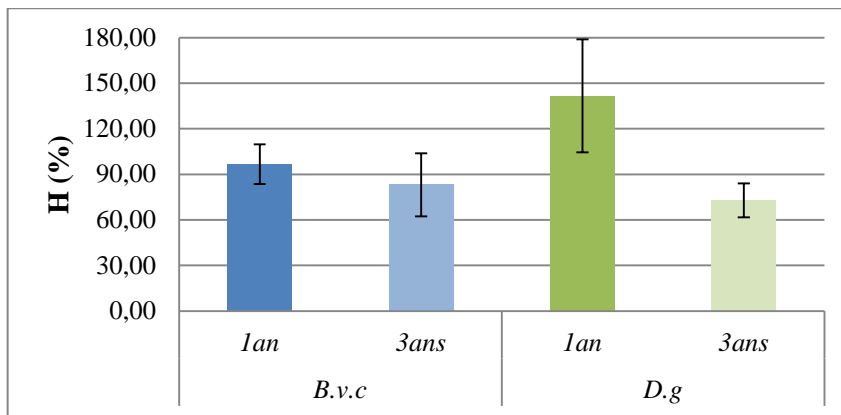
### IV. Effet de l'âge sur les propriétés physiques

L'âge est un facteur déterminant dans le développement des propriétés. En général, les bambous deviennent matures dès leur troisième année et atteignent l'optimum de leurs propriétés physiques. Les recherches effectuées sur les deux espèces (*Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*) ont montré que les bambous les plus âgés (trois ans) présentent des propriétés physiques plus intéressantes du point de vue technologie et industrie.

#### IV.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité varie non seulement suivant la location le long du chaume mais également suivant l'âge. Effectivement, l'analyse de variance a révélé une différence significative entre les deux âges pour les deux espèces au seuil de 5 % (Annexe 6, tableau 4). Aussi bien pour *Dendrocalamus giganteus* que pour *Bambusa vulgaris constrictinoda*, les jeunes chaumes de moins de trois ans, renferment une plus forte teneur en eau que les bambous matures (figure 19). Ainsi l'humidité

contenue dans les bambous diminue au fil du temps (âge). Le maximum de taux d'humidité est retrouvé chez les chaumes d'un an avec une valeur moyenne de 141,65 % chez *Dendrocalamus giganteus* et de 96,71 % chez *Bambusa vulgaris constrictinoda*.



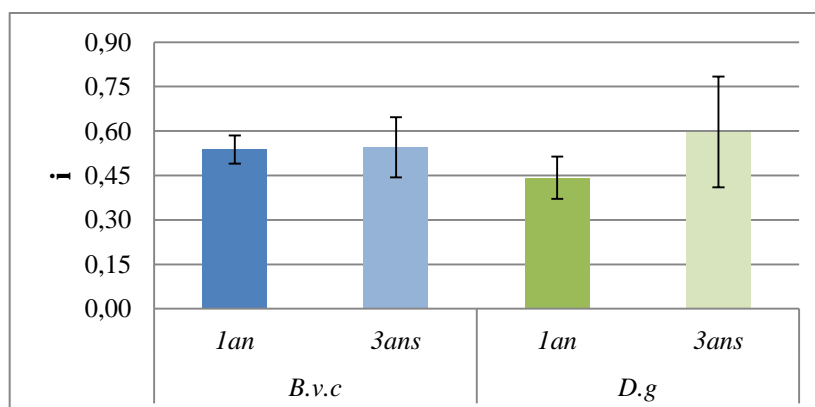
**Figure 18: Variabilité du taux d'humidité des deux espèces selon l'âge**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / H : taux d'humidité

Tout comme pour l'humidité le long du chaume, cette différence est probablement due à l'anatomie de ces plantes (Wahab *et al.*, 2009). En effet, les fibres s'épaississent et les faisceaux vasculaires gagnent en concentration avec l'âge, ce qui réduit le volume de cellules parenchymateuses et donc la réserve en eau.

#### IV.2. Infradensité

Contrairement au taux d'humidité, ce paramètre augmente avec l'âge. Chez *Dendrocalamus giganteus*, cette différence est significative au seuil de 5 % (Annexe 6, tableau 4). Les bambous âgés et donc matures sont plus denses et plus durs avec une valeur moyenne de l'infradensité de 0,60 (figure 20). Pour l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda*, la différence entre l'infradensité des chaumes d'un et trois ans n'est pas significative au seuil de 5 % (Annexe 6, tableau 4). L'infradensité semble être constante à une valeur de 0,54 (figure 20).



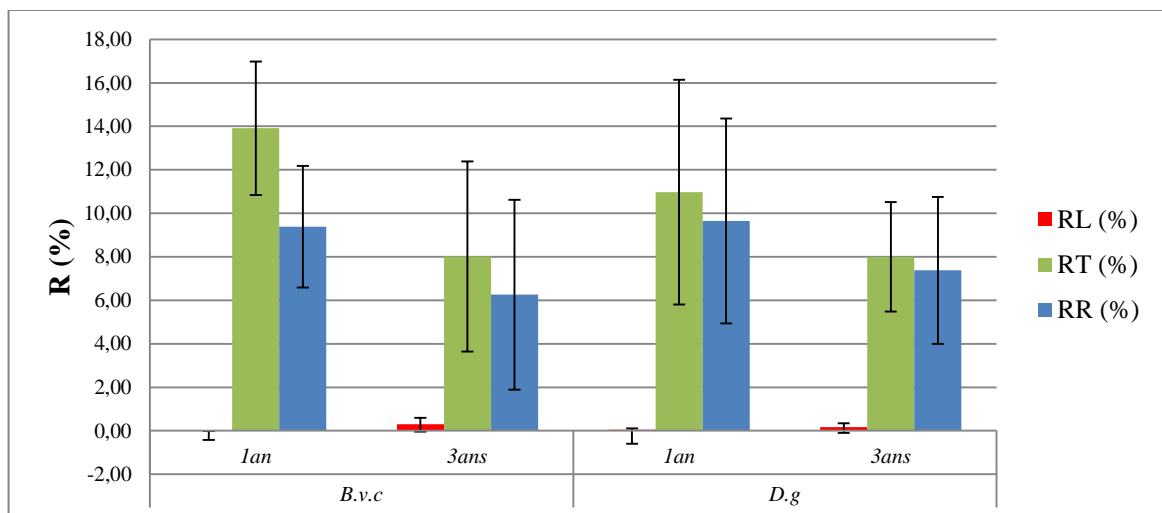
**Figure 19: Infradensité des deux espèces (1an et 3ans)**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / inf : partie inférieure du chaume / moy : partie moyenne du chaume / sup : partie supérieure du chaume

L'augmentation de l'infradensité révèle une maturation plus marquée chez *Dendrocalamus giganteus*, celle-ci s'effectuant entre les deux âges. En effet, les fibres augmentent en nombre de la jeunesse à la maturation. Ce fait est dû aux processus de dépôt d'amidon et de lignification se produisant à l'intérieur du chaume et qui croissent avec l'âge. Razak *et al.* ont trouvé, en 2007, que les faisceaux vasculaires ainsi que la lignification des bambous augmentent de la première année à la troisième année de leur croissance. En avançant en âge, le chaume subit un processus qui implique l'épaississement de la paroi des cellules végétales par le dépôt de lignine. Ces phénomènes contribuent fortement à l'accroissement de la densité des bambous matures.

### IV.3. Rétractabilité

Selon la direction longitudinale, il n'y a pas de différence significative entre les retraits des deux âges pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* au seuil de 5 %, mais pour *Dendrocalamus giganteus* la différence est significative (*Annexe 6, tableau 4*). Les chaumes âgés de *Bambusa vulgaris constrictinoda* présentent une valeur plus élevée de la rétractabilité longitudinale avec une valeur de 0,29 % (*figure 21*).



**Figure 20: Rétractabilité des deux espèces selon leur âge (%)**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* /  $R_L$  : retrait longitudinal /  $R_T$  : retrait tangential /  $R_R$  : retrait radial

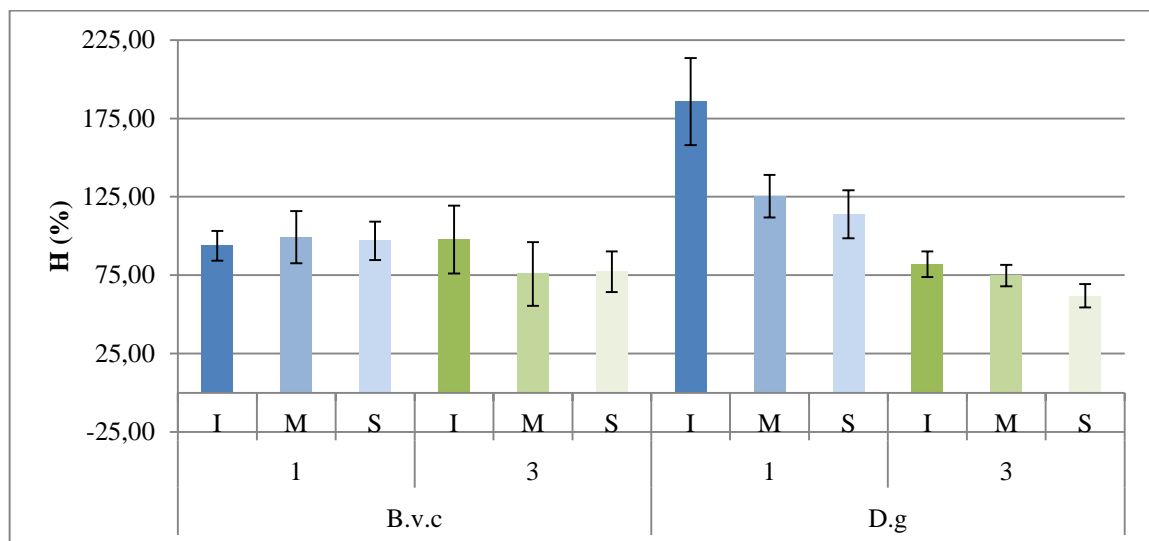
Suivant les deux autres directions (tangentielle et radiale), les bambous âgés sont dimensionnellement plus stables que les jeunes bambous. La rétractabilité des bambous de trois ans est moins importante que celle des bambous d'un an. En effet, les tests ANOVA ont montré une différence significative entre la rétractabilité de ces deux âges (*Annexe 6, tableau 4*). D'après les résultats, *Bambusa vulgaris constrictinoda* d'un an présente la valeur maximale de 13,91 % pour la rétractabilité tangentielle, la valeur la plus faible de 8 % est retrouvée chez *Dendrocalamus giganteus* âgée de trois ans. Par contre, dans le plan radial, les valeurs sont comprises entre 9,65 et 6,26 % ; la valeur la plus élevée étant remarquée chez *Dendrocalamus giganteus* d'un an et la plus faible chez *Bambusa vulgaris constrictinoda* de trois ans (*figure 21*).

## V. Effet combiné de la location la hauteur de prélèvement et de l'âge

Dans cette partie, l'interaction des facteurs location et âge sera prise en compte simultanément afin de ressortir l'effet combiné de ces derniers sur les propriétés physiques des deux espèces de bambou.

### V.1. Taux d'humidité

Statistiquement au seuil de 5 %, le taux d'humidité des deux espèces est significativement différente en combinant les facteurs hauteur et âge (*Annexe 6, tableau 5*). Pour *Dendrocalamus giganteus*, sa valeur est maximale dans la partie inférieure des chaumes d'un an avec une valeur moyenne de  $185,76 \pm 27,84$  %. Cette valeur décroît en hauteur puis en âge jusqu'à  $61,89 \pm 7,40$  % pour les parties supérieures des chaumes de trois ans (*figure 22*).



**Figure 21: Variabilité du taux d'humidité selon la hauteur et l'âge**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / *H* : taux d'humidité / *I* : partie inférieure / *M* : partie intermédiaire / *S* : partie supérieure / *1* : un an / *3* : trois ans

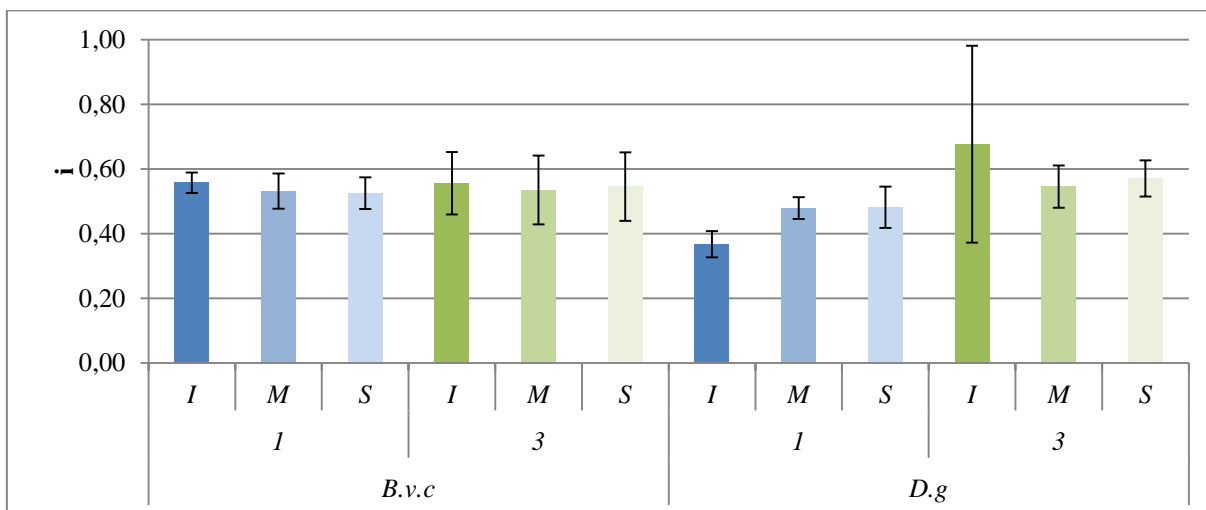
Pour le cas de l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda*, le taux d'humidité ne présente pas de tendance bien définie, la valeur maximale de  $99,33 \pm 16,67$  % est retrouvée dans les parties moyennes des jeunes chaumes (*figure 22*).

Pour les deux espèces, les variations sont plus remarquées entre les divers âges qu'entre les différentes locations le long d'un même chaume. L'âge des bambous est donc le facteur déterminant qui porte le plus d'effet sur le taux d'humidité.

### V.2. Infradensité

D'après les tests ANOVA, les variations de l'infradensité de *Dendrocalamus giganteus* sont significatives au seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 5*). En effet, sa valeur varie de 0,37 à 0,68 entre les différentes parties du chaume selon leur âge (*figure 23*).

Par contre, l'infradensité de *Bambusa vulgaris constrictinoda* ne présente pas de différence au seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 5*). En moyenne, sa valeur fluctue autour de 0,54 (*figure 23*).



**Figure 22: Variabilité de l'infradensité selon la hauteur et l'âge**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* / i : infradensité / I : partie inférieure / M : partie intermédiaire / S : partie supérieure / 1 : un an / 3 : trois ans

Ainsi, les variations de l'infradensité sont plus marquées avec l'âge, notamment pour l'espèce *Dendrocalamus giganteus*.

### V.3. Rétractabilité

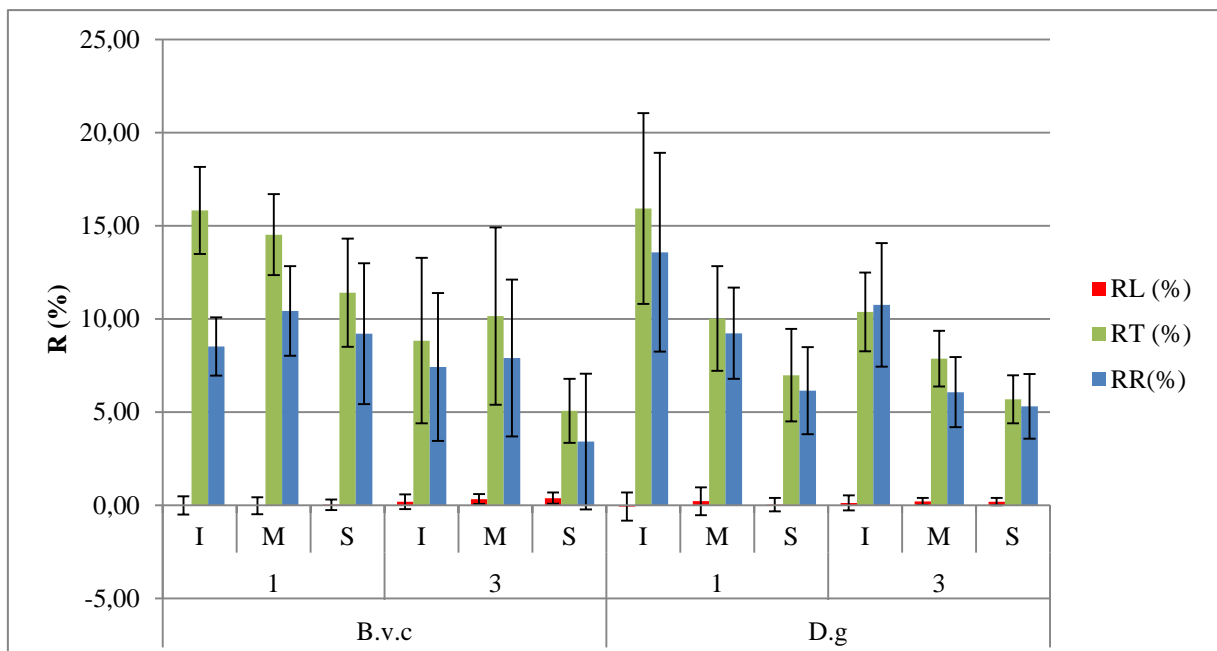
Tout comme l'infradensité, la rétractabilité suivant chaque direction varie plus selon le facteur âge que le facteur position le long du chaume.

Suivant la direction longitudinale, la rétractabilité ne présente aucune variation significative entre les différentes parties des chaumes d'un et trois ans (*Annexe 6, tableau 5*). En effet, sa valeur est moindre tant pour *Dendrocalamus giganteus* que pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* (*figure 24*).

Concernant la rétractabilité la direction tangentielle, des différences significatives ont été retrouvées pour *Dendrocalamus giganteus* au seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 5*). Elle varie de 15,92 à 5,69 %, la valeur maximale étant retrouvée à la base des jeunes chaumes (*figure 24*). Pour l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda*, globalement, les variations de la rétractabilité tangentielle ne sont pas significatives au seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 5*). Néanmoins, un test de la différence des modalités / Fisher (LSD) à intervalle de confiance de 95 % a pu mettre en évidence trois groupes selon les valeurs de la rétractabilité : les parties inférieure et moyenne des chaumes d'un an ( $R_t \approx 15\%$ ), la partie supérieure des chaumes d'un an avec les parties inférieure et moyenne des chaumes de trois ans ( $R_t \approx 10\%$ ) et la partie supérieure des chaumes de trois ans ( $R_t \approx 5,14\%$ ) (*Annexe 7*). L'optimum de valeur est donc retrouvé à la base des chaumes d'un an qui semble se rétracter plus (*figure 24*).

Suivant le plan radial, les variations de la rétractabilité sont significatives pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* tandis que *Dendrocalamus giganteus* ne présente aucune différence de rétractabilité au seuil de 5 % (*Annexe 6, tableau 5*). Pour *Bambusa vulgaris constrictinoda*, la rétractabilité varie pour chaque partie des chaumes des deux âges avec des valeurs comprises entre

3,41 et 10,42 % (figure 24). Pour *Dendrocalamus giganteus*, suite à un test de la différence des modalités / Fisher (LSD) à intervalle de confiance de 95 %, les valeurs de la rétractabilité radiale ont permis la distinction de trois groupes : la partie inférieure des jeunes chaumes ( $R_r \approx 13,79$  %), la partie moyenne des chaumes d'un an et inférieure des chaumes de trois ans ( $R_r \approx 9,79$  %) et les parties supérieures des deux âges ainsi que la partie moyenne des chaumes de trois ans ( $R_r \approx 5,83$  %) (Annexe 8).



**Figure 23: Variabilité de la rétractabilité selon la hauteur et l'âge**

*B.v.c* : *Bambusa vulgaris constrictinoda* / *D.g* : *Dendrocalamus giganteus* /  $R_L$  : retrait longitudinal /  $R_T$  : retrait tangentiel /  $R_R$  : retrait radial / I : partie inférieure / M : partie intermédiaire / S : partie supérieure / 1 : un an / 3 : trois ans

En bref, la rétractabilité varie selon l'âge et la location le long du chaume mais les plus grandes variations sont observées entre les chaumes de différents âges et surtout à leur base.

## VI. Corrélations entre les diverses propriétés

Il est intéressant d'étudier la corrélation entre les propriétés physiques car elle renseigne sur les comportements de certains de ces paramètres vis-à-vis de la variation des autres, sur la nature et l'intensité des relations existant entre eux.

Le tableau 5 montre que pour l'espèce *Dendrocalamus giganteus*, c'est le taux d'humidité qui influence le plus les autres paramètres sauf le retrait tangentiel. Il est en corrélation négative avec l'infradensité avec une valeur de coefficient de -0,361. Ainsi qu'il a été dit antérieurement, plus le chaume retient de l'eau, moins il est dense et vice versa. Concernant les retraits, ils sont en corrélation positive avec le taux d'humidité à l'exception du retrait dans le plan longitudinal. La raison en est que plus le taux d'humidité est élevé, plus la quantité en eau libre est grande et plus le chaume est instable, c'est-à-dire qu'il peut varier en dimension. Mais cette rétractabilité se fait surtout suivant les directions

tangentielles et radiales vue que l'eau libre ou intracellulaire remplit les vaisseaux, les vides cellulaires intérieurs des fibres. Et ces derniers se retrouvent dans ces deux directions. Par contre, l'effet de l'infradensité sur les rétractabilités est moindre.

**Tableau 5: Coefficient de corrélation entre les propriétés physiques de *Dendrocalammus giganteus***

| Variables          | H (%)         | i             | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>T</sub> (%) | R <sub>R</sub> (%) |
|--------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H (%)              | <b>1</b>      |               |                    |                    |                    |
| i                  | <b>-0,507</b> | <b>1</b>      |                    |                    |                    |
| R <sub>L</sub> (%) | <b>-0,169</b> | 0,138         | <b>1</b>           |                    |                    |
| R <sub>T</sub> (%) | <b>0,661</b>  | <b>-0,270</b> | <b>-0,197</b>      | <b>1</b>           |                    |
| R <sub>R</sub> (%) | <b>0,549</b>  | -0,015        | <b>-0,181</b>      | <b>0,775</b>       | <b>1</b>           |

Valeurs en gras : corrélations significatives à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$   
 H : taux d'humidité / i : infradensité / R<sub>L</sub> : rétractabilité longitudinale / R<sub>T</sub> : rétractabilité tangentielle /  
 R<sub>R</sub> : rétractabilité radiale

Les mêmes constatations sont remarquées pour l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda* mais avec des valeurs plus basses (tableau 6). Le taux d'humidité et les retraits sont en corrélation positive, plus il y a de réserve en eau, plus la rétractabilité est forte. Par contre, ces paramètres ont une corrélation négative avec l'infradensité.

**Tableau 6: Coefficient de corrélation entre les propriétés physiques du *Bambusa vulgaris constrictinoda***

| Variables          | H (%)         | i             | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>T</sub> (%) | R <sub>R</sub> (%) |
|--------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H (%)              | <b>1</b>      |               |                    |                    |                    |
| i                  | <b>-0,383</b> | <b>1</b>      |                    |                    |                    |
| R <sub>L</sub> (%) | <b>-0,154</b> | -0,096        | <b>1</b>           |                    |                    |
| R <sub>T</sub> (%) | <b>0,556</b>  | <b>-0,218</b> | <b>-0,281</b>      | <b>1</b>           |                    |
| R <sub>R</sub> (%) | <b>0,482</b>  | <b>-0,240</b> | -0,095             | <b>0,636</b>       | <b>1</b>           |

Valeurs en gras : corrélations significatives à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$   
 H : taux d'humidité / i : infradensité / R<sub>L</sub> : rétractabilité longitudinale / R<sub>T</sub> : rétractabilité tangentielle /  
 R<sub>R</sub> : rétractabilité radiale

Les valeurs de la signification pour le test de corrélation seront trouvées en Annexe 9.

## VII. Utilisations actuelles des deux espèces

Les observations sur terrain ainsi que les entretiens auprès de quelques personnes ressources ont montré que les populations des zones rurales dans la partie Est de Madagascar ainsi que celles des villes utilisent les bambous de diverses manières. Puis les données ont été recoupées avec les résultats des études faites par Ramanantoandro et *al.* en 2011 et par Capo-Chi-Chi en 2008.

## VII.1. Utilisations de *Dendrocalamus giganteus*

Le chaume du *Dendrocalamus giganteus* présente une grande taille et une résistance assez élevée, caractères perçus par la population de la région Antsinanana. De ce fait, les ruraux utilisent cette espèce quotidiennement et de différentes formes. Néanmoins cette forte résistance présente un désavantage, le chaume de cette espèce est difficile à travailler. En effet, les outils traditionnels n'arrivent pas à équarrir les chaumes, il est donc valorisé sous sa forme brute.

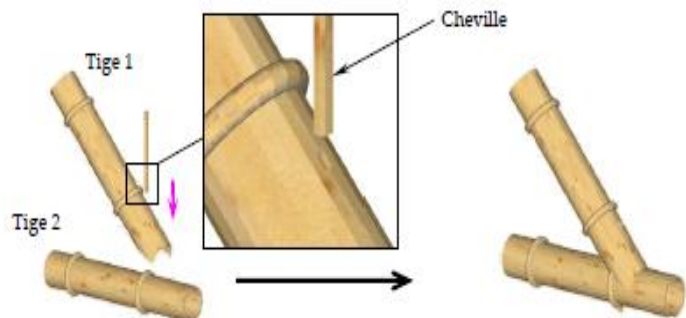
### VII.1.1. Dans la construction

L'espèce *Dendrocalamus giganteus* est utilisée pour les poutres ainsi que les charpentes des maisons traditionnelles (*photo 20*). Pour constituer les poutres, les chaumes abattus sont coupés à la longueur voulue avec des couteaux aiguisés. Les poutres seront élevées puis assemblées par une cheville en bambou même (*figure 25*). Dans le cas où cette espèce de bambou est utilisée simultanément avec du bois, la méthode d'assemblage des matériaux se fait à l'aide de clou.

Les tiges de cette espèce, sans aucune transformation, peuvent aussi être utilisées dans la construction de pilier. Pour cela, elles sont juste coupées à la longueur recherchée et encastrée au sol par l'une des extrémités.



**Photo 20:** Poutre et charpente de maisons traditionnelle en bambou (*Dendrocalamus giganteus*)



**Figure 24:** Assemblages liés par l'intermédiaire d'une cheville

Source : Janssen, 2000

*Dendrocalamus giganteus* est utilisé localement pour construire des planchers. Pour cela, les tiges sont coupées longitudinalement en lamelles sans être séparées (*photo 21*).





**photo 21 : Plancher fait en bambou**  
(*Dendrocalamus giganteus*)

Source : Ramananantoandro, 2011

### VII.1.2. En industrie : Madagascar bamboo

*Dendrocalamus giganteus* est utilisée comme matière première pour l'usine Madagascar bamboo. En effet, cette société produit des madriers, des planches, des parquets, etc. sous forme de composites de bambou (photo 22, 23, 24).



**Photo 22: Madrier en bambou    Photo 23: Parquet en bambou    Photo 24: Mobilier en bambou**

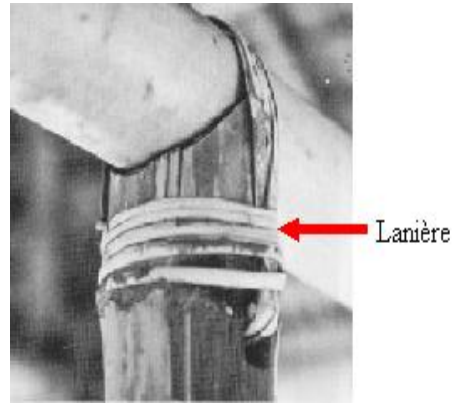
Source : [www.madascarbamboo.com/gallery.html](http://www.madascarbamboo.com/gallery.html)

### VII.1.3. En aménagement extérieur

L'espèce est utilisée dans l'aménagement extérieur pour la fabrication des bancs (photo 25), des petits tabourets, des tables fixées au sol, des échelles, etc. Les chaumes sont coupés à la longueur nécessaire et assemblés pour fabriquer ces meubles.



**Photo 25: Chaise traditionnelle**



**Figure 25: Assemblage lié par des lanières**

*Source : Rottke, 2009*

Le mode d'assemblage employé pour cela consiste en l'utilisation de lanière constituée par des cordages en lianes (figure 26).

#### VII.1.4. Autres

En prenant les chaumes de *Dendrocalamus giganteus* comme matière première, la population de la région Antsinanana fabrique des radeaux pour faciliter la traversée des petits cours d'eau. Pour cela, ils assemblent plusieurs chaumes déjà coupés au moyen de cordages en lianes bien résistants. Le nombre de chaumes assemblés dépendra de la largeur voulue des radeaux.

L'espèce est également très utilisée dans le domaine de l'agriculture et l'élevage. En effet, les chaumes coupés en deux sont utilisés en guise de mangeoires et/ou abreuvoir pour les animaux domestiques. Les tiges évidées de l'intérieur sont utilisées pour faciliter le drainage de l'eau dans les rizières et dans certains élevages piscicoles.

Une autre forme d'utilisation de cette espèce par les ruraux consiste en un matériel pour transporter divers produits comme les fruits, charbon, bois, etc. Pour cela, le chaume, sous sa forme brute, est coupée à la longueur voulue puis les produits sont attachés aux deux extrémités (*photo 26*).



**Photo 26 : Rural transportant des marchandises à l'aide d'une tige de bambou**

*Source : Ramananantoandro, 2011*

## VII.2. Utilisations *Bambusa vulgaris constrictinoda*

Le *Bambusa vulgaris constrictinoda* est également une plante à usages multiples. De par sa facilité à être travaillée, l'espèce est très exploitée à Antsinanana.

### VII.2.1. Dans la construction

Le chaume de l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda* peut être valorisé sous sa forme brute pour confectionner des clôtures des maisons. Ces clôtures sont faites de tiges de bambou entières ou découpées taillées de façon à avoir des pointes dans les parties supérieures. L'une des extrémités de ces tiges est encastrée au sol tandis que l'autre est relié par une traverse en bambou même (*photo 26*).



**Photo 27: Clôture de maison**



**Photo 28: Mur de maison traditionnelle fait en bambou (*Bambusa vulgaris constrictinoda*)**

L'espèce s'emploie également dans la construction des murs et/ou cloisons. Les tiges sont coupées longitudinalement. Les lamelles ainsi obtenues font l'objet de tresse pour former le mur (*photo27*). Le procédé ne nécessite pas un matériel élaboré : on se sert d'un couteau pour tailler et pour tisser.

### VII.2.2. En ameublement

Cette espèce est également utilisée dans la confection de meubles ou mobiliers plus élaborés comme des tables basses, des fauteuils, des chaises, etc. (*photo 29*).



**Photo 29: Fauteuil en bambou**

Source : Rabemananjara, 2011

Pour la fabrication de ces meubles, les chaumes sont séchés au soleil puis découpés à la longueur voulue. Pour rechercher une certaine coloration, les tiges coupées sont mis au feu. Enfin, elles sont assemblées soit à l'aide colle vinylique, soit au moyen de chevilles, également en bambou, et suivant la technique tenon-mortaise.

### VII.2.3. Autres

L'écorce du *Bambusa vulgaris constrictinoda* est également taillé puis tressé pour confectionner des paniers (photo 30). Ces derniers sont très solides et servent à transporter des produits agricoles vers les marchés (ruraux et urbains).



**Photo 30: Panier en bambous**

Source : Ramananantoandro, 2011

### VII.3. Synthèse des utilisations actuelles des deux espèces

Les utilisations de *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont à dominances traditionnelles au sein de la Grande île. Les techniques et matériels utilisés sont encore rudimentaires. Les usages actuels de ces deux espèces de bambous sont résumés dans le tableau 7.

**Tableau 7: Récapitulatif des usages des deux espèces**

| Usages                                     | <i>Dendrocalamus giganteus</i>                              | <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> |
|--|---|--|
| <b>Construction</b>                        | - Poutres, charpentes<br>- Planchers                        | - Clôtures<br>- Murs / cloisons        |
| <b>Industrie</b>                           | Madriers, planches, parquets, etc. sous forme de composites |  |
| <b>Aménagement extérieur / Ameublement</b> | Bancs, tables, échelles, etc.                               | Tables basses, fauteuils, chaises      |
| <b>Autres</b>                              | Radeaux, abreuvoirs, moyens de transport des produits, etc. | Paniers                                |

A decorative frame made of green bamboo stalks, tied with light brown twine at the corners. The frame is rectangular and surrounds the central text. The bamboo stalks are arranged in two vertical and two horizontal pieces, with small green leaves sprouting from the joints.

**Chapitre 3 :**  
**Discussions et**  
**Recommandations**

## **Chapitre 3 : Discussions et Recommandations**

Cette dernière partie sera consacrée à la discussion des méthodes utilisées au cours de la recherche, la comparaison des résultats obtenus avec ceux qui existent dans la littérature, la vérification des hypothèses formulées et aux recommandations.

### **I. Sur la méthodologie**

#### **I.1. Etudes bibliographiques**

Les études concernant les bambous à Madagascar sont encore restreintes, seuls des documents relatant sur la taxonomie et la biologie de quelques espèces ont pu être retrouvés. Il y a un grand manque d'informations sur les propriétés des bambous à Madagascar. Le travail s'est appuyé sur des ouvrages et publications étrangères. On ne verra donc, dans ce mémoire que la comparaison des résultats avec ceux retrouvés dans les études menées dans d'autres pays. Ajouté à cela, les espèces étudiées n'ont pas pu être retrouvées dans ces publications. De ce fait, les comparaisons ont été rapportées au genre seulement et non à l'espèce.

#### **I.2. Choix des âges**

Pour les variabilités des propriétés selon l'âge, il a été prévu au tout début de cette recherche d'étudier trois âges différents, c'est à dire des chaumes âgés d'un an, de trois ans et de cinq ans afin de ressortir les variabilités à divers stades de vie des bambous. Selon Alipon et *al.* en 2009, les bambous atteignent leur maturité à partir de 3 ans. Ces trois âges représenteraient donc trois phases distinctes dans la croissance du chaume des bambous : pendant la première année les bambous sont encore jeunes, à la troisième année débute le stade de maturation puis les chaumes deviennent complètement matures à la cinquième année. Pourtant, lors des descentes sur terrain, seuls les pieds âgés d'un an et de trois ans ont été retrouvés. En effet, les ruraux coupent les pieds de bambous dès leur premier âge et au plus tard à leur troisième âge. Cette réalité ne porte pas d'influence sur les résultats obtenus, ces deux âges ont suffi pour comparer le stade de jeunesse et le stade de maturation, la majorité des espèces de bambous deviennent matures à leur troisième année (Nomura et Yamada, 1991).

#### **I.3. Nombre d'échantillons**

Pour un chaume, 10 éprouvettes ont été sélectionnées à partir de chaque localisation (I, M et S), ce qui donne un nombre de 30 échantillons. Pour quantifier la dispersion des mesures, les manipulations ont été répétées sur trois chaumes différents et pour chaque âge. Le nombre total d'échantillons a donc été de 180 pour chaque espèce. Selon Colbert en 2011, ce nombre d'échantillons est considéré suffisant pour la représentativité ( $n > 30$  et choisis de façon aléatoire). Le plan d'expérience effectué a été complet, il n'y a donc aucune perte d'informations. Ainsi, la fiabilité des résultats, d'un point de vue statistique, est assurée.

#### I.4. Mesure des propriétés

Les mesures de propriétés ont été effectuées suivant des normes internationales. En effet, les mesures pour le taux d'humidité et l'infradensité ont été réalisées suivant les normes NF B51-004 et NF B51-005 (AFNOR, 1985). Quant aux retraits, ils ont également été mesurés en suivant la norme NF B51-006 (AFNOR, 1985), la rétractabilité a été calculée par rapport aux dimensions saturées.

En outre, les mesures ont été accomplies à l'aide de matériels dotés de précision suffisante. La balance ayant servi pour la mesure des masses (anhydre et saturée) est une balance électronique avec une précision de  $1/100^{\text{ème}}$  de g. La précision du pied à coulisse pour la mesure des dimensions des éprouvettes (longueur, largeur et épaisseur) présente également une précision  $1/100^{\text{ème}}$  de mm.

Ainsi, non seulement les résultats de cette étude sont fiables (précis et suivant les normes), mais ils sont comparables à ceux retrouvés dans les ouvrages bibliographiques.

## II. Sur les résultats

### II.1. Comparaison des deux espèces

D'après les résultats de l'ANOVA (Annexe 6, tableau 1), seuls les paramètres taux d'humidité, infradensité et retrait tangentiel présentent une différence significative entre les deux espèces.

Tout âge confondu, *Bambusa vulgaris constrictinoda* semble avoir des propriétés plus intéressantes du point de vu humidité et infradensité. Mais les chaumes de *Dendrocalamus giganteus* de trois ans présente l'infradensité la plus élevée (tableau 8). Les deux espèces sont instables dimensionnellement, leur rétractabilité est équivalente.

**Tableau 8: Résumé comparatif des deux espèces de bambous malgaches**

| Espèces                                | âge (an) | H (%)  | i    | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>t</sub> (%) | R <sub>r</sub> (%) |
|--|----------|--------|------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <i>Dendrocalamus giganteus</i>         | 1        | 141,65 | 0,44 | 0,06               | 10,97              | 9,65               |
|  | 3        | 72,88  | 0,59 | 0,17               | 8,00               | 7,37               |
| <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> | 1        | 96,71  | 0,54 | -0,01              | 13,91              | 9,38               |
|  | 3        | 83,11  | 0,54 | 0,29               | 8,01               | 6,26               |

*H* : taux d'humidité / *i* : infradensité / *R<sub>L</sub>* : rétractabilité longitudinale / *R<sub>t</sub>* : rétractabilité tangentielle / *R<sub>r</sub>* : rétractabilité radiale

Si on confronte avec les résultats de ce travail, la relation entre l'utilisation locale et la caractérisation des propriétés physiques des bambous au laboratoire n'est pas évidente. En effet, l'espèce *Dendrocalamus giganteus* est utilisée pour les ouvrages ayant des contraintes mécaniques plus élevées pourtant ses propriétés physiques ne sont pas si différentes de celles de *Bambusa vulgaris constrictinoda*. Cela amène à poser l'hypothèse que les ruraux utilisent les chaumes de trois ans de *Dendrocalamus giganteus* pour la construction et les chaumes non matures pour les autres valorisations.

## II.2. Comparaison avec d'autres espèces de bambou

### II.2.1. Pour l'espèce *Dendrocalamus giganteus*

Cette étude a montré que le taux d'humidité de *Dendrocalamus giganteus* à Madagascar est élevé (tableau 9). L'espèce *Dendrocalamus giganteus* offre un taux d'humidité de 141,65 % (1 an) et de 72,88 % (3 ans). Par contre, le genre *Dendrocalamus* a un taux inférieur de 60 % avec l'espèce *Dendrocalamus strictus* provenant d'Inde selon l'étude de Liese en 1985 (tableau 9). Une raison possible d'un tel écart de valeur serait le climat de la partie orientale de Madagascar qui caractérisé par une abondance de précipitations apportées par les courants d'Est et une absence de saison sèche marquée (Monographie UPDR, Toamasina). Selon Liese en 1987, la saison a une forte influence sur la teneur en eau du chaume, avec une valeur minimum à la fin de la saison sèche et une valeur optimum pendant la saison des pluies (jusqu'au double de l'humidité durant la saison sèche).

**Tableau 9: Comparaison de *Dendrocalamus giganteus* de Madagascar avec d'autres bambous du même genre**

| Espèces / localités   | H (%)           | i                 | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>t</sub> (%) | R <sub>r</sub> (%) | Réf                      |
|---|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| <i>Dendrocalamus giganteus</i><br>(Madagascar)  | 141,65 (1 an)   | 0,44              | 0,06               | 10,97              | 9,65               |                          |
|   | 72,88 (3 ans)   | 0,59              | 0,17               | 8,00               | 7,37               |                          |
| <i>Dendrocalamus giganteus</i><br>(Burma, Bangladesh, Inde, Sri Lanka, Thaïlande, Madagascar) | -               | 0,62              | -                  | -                  | 7,87               | Ahmad, 2000              |
| <i>Dendrocalamus strictus</i><br>(Inde)   | 120 à 130 (1an) | -                 | -                  | -                  | -                  | Liese, 1985              |
|   | 100 (3 ans)     | 0,66              | -                  | -                  | -                  |                          |
| <i>Dendrocalamus asper</i><br>(Thaïlande)   | 60,24           | 0,61<br>à<br>0,87 | -                  | -                  | 8,8                | Kamthai et Puthson, 2005 |

H : taux d'humidité / i : infradensité / R<sub>L</sub> : rétractabilité longitudinale / R<sub>t</sub> : rétractabilité tangentielle / R<sub>r</sub> : rétractabilité radiale / Réf : références bibliographiques

(-) Non déterminé

L'infradensité moyenne de *Dendrocalamus giganteus* est de 0,51. Liese a trouvé en 1985 que la valeur de cette propriété est comprise entre 0,5 à 0,9 pour les chaumes. Comptant ce fait et en comparant quatre espèces du genre, *Dendrocalamus giganteus* présente une infradensité plus faible (tableau 9).

Concernant la rétractabilité, aucune étude ne s'est focalisée sur ce paramètre suivant les directions longitudinale et tangentielle. Il convient juste de dire que cette espèce a un fort taux de rétractabilité tangentielle (R<sub>t</sub> = 9,43%). Par contre, suivant la direction radiale, la rétractabilité de *Dendrocalamus giganteus* de Madagascar est supérieure à celle retrouvée par Ahmad en 2000 mais légèrement inférieure à celle de *Dendrocalamus asper* trouvée en 2005 par S. Kamthai1 et P. Puthson (tableau 9).



### II.2.2. Pour l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda*

Les résultats de l'étude sur le taux d'humidité pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont similaires à celui de *B. blumeana* retrouvés par Ahmad en 2000. La fourchette de valeur serait entre 57 et 97 % pour cette dernière espèce. Par contre, *Bambusa vulgaris constrictinoda* de Madagascar présente un taux d'humidité plus faible par rapport à *B. balcooa*. L'étude de Kamruzzaman (2008) a trouvé un taux d'humidité compris entre 99 à 133 % le long du chaume pour celle-ci (tableau 10).

**Tableau 10: Comparaison de *Bambusa vulgaris constrictinoda* de Madagascar avec d'autres bambous du même genre**

| Espèces / localités   | H (%)  | i    | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>t</sub> (%) | R <sub>r</sub> (%) | Réf                     |
|---|--|------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> (Madagascar)                       | 95,72 (I)<br>87,57 (M)<br>86,74 (S)            | 0,54 | 0,13               | 11,02              | 7,89               |                         |
| <i>Bambusa vulgaris</i> (Malaisie, Indonésie, Amérique du sud, Thaïlande) | -  | 0,58 | -                  | -                  | 22,45              | Ahmad, 2000             |
| <i>Bambusa blumeana</i> (Malaisie, Indonésie, Amérique du sud, Thaïlande) | 57 à 97  | 0,54 | -                  | 6,2                | 13,30              | Ahmad, 2000             |
| <i>Bambusa balcooa</i> (Bangladesh)                                       | 119 à 133 (I)<br>108 à 122 (M)<br>99 à 109 (S) | 0,59 | -                  | 4 à 9              | 10 à 24            | Kamruzzaman et al. 2008 |

*H* : taux d'humidité / *i* : infradensité / *R<sub>L</sub>* : rétractabilité longitudinale / *R<sub>t</sub>* : rétractabilité tangentielle / *R<sub>r</sub>* : rétractabilité radiale / *Réf* : références bibliographiques

(-) Non déterminé

Les résultats sur l'infradensité de *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont similaires à ceux retrouvés sur *B. blumeana* en 2000 par Ahmad (tableau 10). Mais sa valeur est légèrement inférieure à l'infradensité de la même espèce retrouvée en Malaisie, Indonésie, Amérique du sud, Thaïlande par Ahmad (2000).

La rétractabilité suivant le plan tangentiel est grande par rapport aux autres espèces du genre *Bambusa* (tableau 10). Par contre, la rétractabilité radiale est moindre. En effet, les études menées par Ahmad en 2000 ont révélé une valeur de 22,45 % pour la même espèce. Kamruzzaman (2008) donne un intervalle de valeur de 10 à 24 % pour *B. balcooa*.

### II.3. Comparaison avec le bois

Il serait intéressant de comparer les propriétés des deux espèces de bambou étudiées avec les propriétés du bois parce que ces plantes, bien qu'elles sont des herbacées, présentent des propriétés

similaires à certaines essences de bois. De plus, cette comparaison pourrait apporter des idées quant à l'amélioration de valorisation de ces bambous.

La motivation du choix de ces essences s'est reposée sur le fait qu'elles constituent les bois les plus utilisées en France mais également dans la Grande Ile.

Peu d'études relatent sur le taux d'humidité des ligneux à l'état vert ainsi que sur la rétractabilité suivant la direction longitudinale. La comparaison entre les deux espèces de bambous avec quelques ligneux se rapportera sur l'infradensité et la rétractabilité dimensionnelle suivant les plans tangentiel et radial.

**Tableau 11: Comparaison des deux espèces de bambou avec quelques essences**

| Espèces  | H (%) | i            | R <sub>L</sub> (%) | R <sub>T</sub> (%) | R <sub>R</sub> (%) | Réf                                     |
|--|-------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|
| <i>Dendrocalamus giganteus</i>                   | 107,3 | 0,59         | 0,1                | 9,4                | 8,4                |   |
| <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i>           | 89,7  | 0,54         | 0,1                | 11,0               | 7,9                |   |
| <i>Acacia mangium</i> **                         | -     | 0,47         | -                  | 7,0                | 3,1                | Schmidt, 2011<br>CIRAD, 2012            |
| <i>Canarium madagascariensis</i> (Ramy) *        | -     | 0,55         | -0,01              | 3,37               | 5,23               | Ramanakoto, 2011                        |
| <i>Eucalyptus grandis</i> **                     | -     | 0,42         | -                  | 8,7                | 5,3                | Dos Santos, 2009                        |
| <i>Eucalyptus robusta</i> **                     | 88    | 0,60<br>0,83 | -                  | 10,7               | 6,1                | Skolmen, 1963<br>Razafindramanana, 2008 |
| <i>Fagus sylvatica</i> (Hêtre) ***               | -     | 0,44         | 0,5                | 11,5               | -                  | Bucur, 1986                             |
| <i>Intsia bijuga</i> (Hintsy) *                  | -     | 0,55         | -0,03              | 2,85               | 1,60               | Ramanakoto, 2011                        |
| <i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i> *** | -     | 0,47         | -                  | 7,1                | 3,8                | Dos Santos, 2009<br>CIRAD, 2012         |
| <i>Pinus patula</i> **                           | -     | 0,50         | -                  | 8,3                | 3,4                | Razafindramanana, 2008<br>CIRAD, 2012   |

*H* : taux d'humidité / *i* : infradensité / *R<sub>L</sub>* : rétractabilité longitudinale / *R<sub>T</sub>* : rétractabilité tangentielle / *R<sub>R</sub>* : rétractabilité radiale

\* : essences des forêts naturelles / \*\* : essences des forêts artificielles / \*\*\* : essences très utilisées en France

(-) Non déterminé

Les deux espèces présentent une infradensité moyenne similaire à celle des essences *Canarium madagascariensis* et *Intsia bijuga* avec une valeur de 0,55 dans l'étude menée par Ramanakoto en 2011, et *Pinus patula* s'élevant à 0,50 retrouvée Razafindramanana en 2008 (tableau 11). Comparé aux ligneux *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis*, *Fagus sylvatica* et *Pinus caribea*, les bambous

malgaches offrent une valeur plus élevée de l'infradensité. Par contre, ces valeurs sont nettement plus faibles par rapport à *Eucalyptus robusta*.

Concernant la rétractabilité tangentielle, *Dendrocalamus giganteus* est comparable au bois à retrait moyen ( $7\% < R_T < 11\%$ ) comme *Acacia mangium*, *Pinus caribea* var. *hondurensis* et *Pinus patula*. L'autre espèce, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, a un fort retrait radial ( $11\% < R_R$ ) similairement aux essences *Eucalyptus grandis* et *Fagus sylvatica*.

Sur le plan radial, les deux espèces présentent une forte rétractabilité ( $R_R < 7\%$ ), valeur qui est supérieure à celle des huit essences.

### III. Vérification des hypothèses

Les propriétés physique des bambous présentent des variations intra et interchaume. La signification de ces variations à différent seuil est résumée dans le tableau 12.

**Tableau 12: Effets des différents facteurs sur les propriétés physiques des deux espèces de bambous**

| Facteurs      | H (%) | i  | R <sub>L</sub> (%)                         | R <sub>T</sub> (%)                         | R <sub>R</sub> (%)                         |
|---------------|-------|--|--|--|--|
| Espèce        | ***   | **   | ∅  | ***  | *  |
| Diamètre      | ∅     | ∅  | ∅  | ∅  | ∅  |
| Hauteur       | ***   | ∅  | ∅  | ***  | ***  |
| Age           | ***   | ∅ pour <i>B.v.c</i><br>*** pour <i>D.g</i> | *** pour <i>B.v.c</i><br>∅ pour <i>D.g</i> | ***  | ***  |
| Hauteur * Age | ***   | ∅ pour <i>B.v.c</i><br>*** pour <i>D.g</i> | ∅  | ∅ pour <i>B.v.c</i><br>*** pour <i>D.g</i> | *** pour <i>B.v.c</i><br>∅ pour <i>D.g</i> |

\*\*\* : significatif au seuil de 0,1% / \*\* : significatif au sein de 1% / \* : significatif au seuil de 5% / ∅ : non significatif

#### III.1. Effet de la position le long du chaume sur les propriétés physiques

La première hypothèse selon laquelle : « *Les propriétés physiques des bambous sont variables sur le même chaume* » est composée en deux sous hypothèses.

- H1.1 : « *Les propriétés physiques des bambous sont variables sur un même axe diamétral.* »

H1.1 est réfutée tant pour *Dendrocalamus giganteus* que pour *Bambusa vulgaris constrictinoda*. En effet, la partie de prélèvement sur l'axe diamétrale n'influe en rien les propriétés physiques des bambous. D'après les analyses de variance effectuées, les résultats ne révèlent aucune différence significative au seuil de 5 %.

- H1.2 : « Les propriétés physiques des bambous diffèrent d'une localisation à une autre le long du chaume. »

H.1.2 est confirmée pour les deux espèces. L'ANOVA a révélé une différence significative pour le taux d'humidité des diverses locations du chaume pour *Dendrocalamus giganteus* mais non significative pour *Bambusa vulgaris constrictinoda*. Pour les retraits dimensionnels, les valeurs sont significativement différentes d'une partie à une autre sur le même chaume. Le taux d'humidité et la rétractabilité dimensionnelle sont élevés à la base en raison de son anatomie structurale, c'est-à-dire un pourcentage élevé de cellules parenchymateuses qui constituent des réservoirs d'eau, ainsi que sa proximité des racines qui fournissent le chaume en eau et d'autres éléments utiles pour sa croissance.

Concernant l'infradensité, elle présente une corrélation négative avec le taux d'humidité. Les analyses statistiques ont montré une différence significative entre les trois parties pour *Bambusa vulgaris constrictinoda* mais non significative pour *Dendrocalamus giganteus*. Sa valeur augmente donc de la base au sommet du chaume. Ce fait est peut-être dû à la quantité de fibres qui augmenterait et le nombre de faisceaux vasculaires qui diminuerait de bas en haut le long du chaume ( Gnanaharan et al. en 1995).

➔ Ainsi, la première hypothèse est partiellement confirmée, les propriétés physiques d'un même chaume de bambou varient selon la location du chaume et non selon l'axe diamétrale.

### III.2. Effet de l'âge sur les propriétés physiques

La deuxième hypothèse selon laquelle : « Les propriétés physiques des bambous varient selon l'âge » est confirmée pour les trois paramètres étudiés (taux d'humidité, infradensité et rétractabilité).

L'ANOVA a montré pour les deux espèces que le taux d'humidité, l'infradensité, la rétractabilité tangentielle ainsi que la rétractabilité radiale des chaumes sont significativement différents de la jeunesse des chaumes à leur maturité. Le retrait longitudinal est négligeable, mais sa valeur augmente avec l'âge du bambou.

L'âge est un élément important pour l'amélioration des propriétés physiques des bambous. En effet, les bambous ont des propriétés plus intéressantes à trois ans qu'à un an. Et la teneur en eau et conséquemment la rétractabilité diminue au fur et à mesure que la maturation s'accomplit. Les analyses avec les deux espèces *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* ont montré que les jeunes chaumes, d'un an, sont tendres avec un taux d'humidité élevé et un fort retrait. Par contre les chaumes ayant atteint la maturation contiennent moins d'eau et deviennent plus durs, plus dense.

### III.3. Valorisation des deux espèces

La troisième hypothèse stipulant que : « *Les propriétés des deux espèces sont favorables à des valorisations similaires à celles du bois.* » est confirmée.

Les propriétés physiques de *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* sont similaires, voire meilleures que celles de certaines essences de bois. Ces caractéristiques, notamment l'infradensité, leur permet de nombreuses formes de valorisations sous forme massifs, panneaux, papiers. Entre autre, ces deux bambous malgaches peuvent ainsi substituer le bois.

En plus de ces utilisations déjà connues, d'autres pistes de valorisation existent pour ces deux espèces de bambou. Puisque les propriétés mécaniques des bois dépendent de leur infradensité (Armstrong et al., 1984) et les usages des bois de ces propriétés mécaniques, le paramètre « infradensité » influe donc fortement sur les utilisations des bois. Les bambous, étant apparentés au bois de par leurs caractéristiques (chaume lignifié), présentent les mêmes phénomènes. Les formes de valorisations de ces bambous dépendent de leur infradensité et pourraient, ainsi, s'apparenter à celles des essences ayant une infradensité similaire et/ou inférieure à la leur. Des exemples d'essences ayant une infradensité inférieure ou égale à celle de *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* ainsi que leur utilisation sont retrouvés dans le tableau 13.

**Tableau 13: Essences à infradensité similaire à celle des deux bambous et usages**

| Usages<br>Essences                       | Bois<br>massif | Charbon | Lamellés<br>collé | OSB | Panneaux<br>massifs | Papier | Parquet |
|--|----------------|---------|-------------------|-----|---------------------|--------|---------|
| <i>Acacia mangium</i>                    | √              | √       |                   | √   | √                   | √      |         |
| <i>Canarium<br/>madagascariensis</i>     | √              | √       |                   | √   | √                   |        | √       |
| <i>Eucalyptus grandis</i>                | √              | √       | √                 |     |                     |        | √       |
| <i>Fagus sylvatica</i>                   | √              | √       | √                 |     | √                   | √      | √       |
| <i>Intsia bijuga</i>                     | √              |         |                   | √   | √                   |        | √       |
| <i>Pinus caribea<br/>var.hondurensis</i> | √              |         |                   | √   |                     | √      | √       |
| <i>Pinus patula</i>                      | √              |         | √                 | √   | √                   | √      | √       |

Ainsi, *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* pourraient être valorisés dans l'industrie du bois, dans la papeterie, dans l'énergie.

#### IV. Apports et intérêts de la recherche

A Madagascar, les demandes en bois ne cessent d'augmenter. La construction, la menuiserie, la papeterie ainsi que d'autres domaines nécessitent une grande quantité de bois. Le bambou est un matériau pouvant substituer le bois, il présente plus d'avantages à bien des égards. Cette herbe géante est renouvelable avec une croissance rapide, trois ans suffisent pour pouvoir l'exploiter. Une connaissance suffisante de ses propriétés permettrait de le valoriser d'une façon optimale et de satisfaire les besoins en bois. Cette étude contribue donc au développement de la technologie du bambou à Madagascar et modestement à la protection des forêts. Une meilleure valorisation de ces ressources permettrait de gérer leur envahissement.

Un des intérêts de ce travail consiste également en l'innovation qu'elle apporte. Puisque peu d'étude a été faite concernant les caractéristiques des bambous malgaches. Cette recherche est l'une des premières relatant les propriétés physiques des bambous malgaches et leurs variabilités. Elle participe non seulement à l'avancement des sciences et technologie des bois mais également à la promotion de la valorisation des produits forestiers non ligneux au sein de la Grande Ile en présentant les intérêts de ces plantes en tant que substitut du matériau bois.

Toutefois, des recherches complémentaires devraient être menées pour étoffer les connaissances sur ces plantes et confirmer les potentialités réelles de ces plantes.

#### V. Recommandations

##### V.1. Recommandations méthodologiques

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

- ☞ Pour les **travaux antérieurs au prélèvement d'échantillons**, afin d'avoir plus de confiance par rapport aux tests statistiques, il est suggéré d'augmenter le nombre de répétitions et multiplier le nombre de prélèvement. Par ailleurs, considérer les saisons de récolte des chaumes comme un facteur supplémentaire pourrait être intéressant du fait que les propriétés physiques dépendent des saisons, surtout le taux d'humidité.
- ☞ Pour les **descentes sur terrain**, dans l'objectif d'apporter plus de précisions aux résultats mais également de discuter des explications possibles à ces résultats, il serait mieux de décrire les conditions du milieu où les chaumes prélevés étaient installés, ce qui constituerait un plus pour l'étude. L'importance socio-économique des bambous serait également intéressante à connaître en effectuant des enquêtes plus approfondies.
- ☞ Pour le **choix des âges**, il aurait été intéressant de considérer les bambous âgés de cinq ans pour bien marquer la maturité des chaumes et de faire sortir une évolution des propriétés avec l'âge. Compte tenu du fait qu'aucun bambou de cet âge n'a été trouvé sur terrain, la considération d'un âge intermédiaire (deux ans) constituerait également un plus.

Le bambou constitue un matériau de substitut potentiel pour le bois. Une partie seulement de ses propriétés est reflétée dans cette étude (propriétés physique). Si bien que dans l'objectif de valoriser au mieux cette ressource, il est obligatoire de compléter cette étude par la caractérisation des propriétés mécaniques et chimiques et de la durabilité naturelle de ces deux espèces de bambou.

## V.2. Recommandations pratiques

Le bambou est une matière première précieuse avec des propriétés physiques intéressantes et des intérêts écologiques. Mais les biens et services fournis par cette ressource ne sont pas encore connus à Madagascar, une lacune dans les aspects de la production et l'utilisation se fait ressentir. Les résultats obtenus dans cette étude peuvent être utilisés dans l'objectif de développer les produits non ligneux et de valoriser la ressource bambou dans la Grande Ile. Toutefois, des recherches supplémentaires méritent encore d'être menées dans l'atteinte de ces objectifs, entre autre l'étude d'autres espèces de bambous retrouvés à Madagascar.

Il convient ensuite de valoriser les différents résultats des recherches en développant la filière bambou. En ce sens, trois axes d'orientation sont proposés :

### ☛ **Envisager la sylviculture de bambou pour accroître la production.**

Certaines études antérieures concernent la morphologie ainsi que les caractéristiques des bambous. Ces informations devront être valorisées afin de mener à bien la plantation de bambou. Cette plantation pourrait permettre le contrôle et la satisfaction des demandes. En plus, Le bambou est économiquement intéressant du fait qu'il pousse vite, arrive rapidement à maturité et a un rendement élevé. D'après DHR (2010), avec un bon entretien et une bonne alimentation, la culture de bambou permet d'avoir un rendement de 200 à 400 tonnes par hectare.

### ☛ **Effectuer des renforcements de capacité auprès des producteurs (artisanat, ébénisterie, papeterie, etc.).**

L'idée est de donner des formations envers ces producteurs sur la manière de valoriser les bambous. Par exemple, les fabricants de meubles et de produits d'artisanat devraient bénéficier d'une formation de base dans cette optique. En effet, l'amélioration de l'exploitation du bambou concerne sa qualité et son design. Des assistances techniques et matérielles sont également à envisager pour aider les au mieux.

### ☛ **Promouvoir la création d'usines de transformations des bambous et de marché des produits.**

Les demandes en produits issus de bambous se font de plus en plus grandes aussi bien du point de vue national qu'international. La filière bambou pourrait apporter plus de valeurs ajoutées que d'autres. Il convient donc de créer des usines de transformations (en plus de Madagascar Bamboo) pour la production de matériaux composites, panneaux et autres en bambou.

Les détails concernant ces axes d'orientations (activités, IOV, échéances) sont présentés dans le tableau 14.

**Tableau 14: Cadre logique des trois axes stratégiques**

| Résultats attendus   | Activités  | IOV  | Echéance |
|--|--|--|----------|
| <b>Axe 1</b> : Envisager la sylviculture de bambou pour accroître la production. |  |  |          |
| RA1 : Multiplication et plantation des bambous réussies                          | Choix du terrain   | Degré d'ensoleillement, disponibilité en eau       | CT       |
|  | Multiplication par bouturage :<br>- Coupe de jeunes tiges (boutures) présentant 1 à 3 nœuds<br>- Installation des boutures | Taux de survis                                     | CT       |
|  | Plantation proprement dite :<br>- Transport des plants dans des sacs de toile de jute humides<br>- Plantation des plants   | Taux de réussite                                   | CT       |
| RA2 : Bambous vigoureux, non envahissants  | Entretien des plantes :<br>- Arrosage<br>- Paillage<br>- Mise en place de barrière anti-rhizome en cas d'envahissement     | Forme des feuilles, quantité du feuillage, densité | CT       |



| Résultats attendus   | Activités   | IOV   | Echéance |
|--|---|---|----------|
| <b>Axe 2</b> : Effectuer des renforcements de capacité auprès des producteurs (artisanat, ébénisterie, papeterie, etc.). |   |   |          |
| RA3 : Savoirs et moyens des producteurs améliorés  | Formation des ressources humaines sur bambou, utilisations, transformations, etc. | Nombre et durée des formations, nombre de personnes formées | CT à MT  |
|  | Dotation / Amélioration des matériels   | Type de matériels utilisés, qualité des produits obtenus    | CT       |
| <b>Axe 3</b> : Promouvoir la création d'usines de transformations des bambous et de marché des produits.                 |   |   |          |
| RA4 : Filière bambou développée  | Etude de marché   | Nombre d'acteurs, bilan (offre et demande)                  | CT       |
|  | Création d'entreprises et de réseaux des produits                                 | Nombre d'entreprises, existence de débouché des produits    | MT       |

*CT (court terme) < 5ans / MT (moyen terme) : 5 à 30 ans / LT (long terme) > 30 ans*

### V.3. Recommandations pour une meilleure valorisation

Comme il a été dit ultérieurement, *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* présentent des propriétés physiques comparables à celles du bois. Leurs potentialités en tant que matériau pourraient donc servir dans de nombreux domaines.

#### ➤ A l'état brut

L'infradensité des deux bambous est comparable à des bois mi-lourds et durs. Ce fait leur permet une possible valorisation sous forme de bois massif dans la construction. Néanmoins, pour la construction d'ouvrages à forte sollicitation mécanique (poutres, piliers, échafaudages, etc.), il serait plus juste de choisir les chaumes de *Dendrocalamus giganteus* âgés de trois ans car ils ont une densité plus grande.

Comme il a été évoqué auparavant, les ruraux coupent les bambous à partir d'un an déjà. Selon les résultats de cette étude et se basant sur les valeurs de l'infradensité et de la rétractabilité, la coupe de *Bambusa vulgaris constrictinoda* ne semble pas influencer sur la propriété des ouvrages. Par contre, la coupe à cette âge n'est pas recommandée pour *Dendrocalamus giganteus*. En effet, une élévation de 34,09% de l'infradensité de un à trois ans et peut être encore plus si on avait considéré, dans l'étude, un âge supérieur à trois ans.

#### ➤ Panneau contre-collé / lamellé-collé

Les essences utilisées pour la fabrication de panneau massif ou lamellé-collé sont généralement très légères, légères et mi-lourdes. D'après les résultats de l'étude, *Dendrocalamus giganteus* est assimilé à des bois mi-lourds et *Bambusa vulgaris constrictinoda* à des bois légers. Les deux espèces peuvent donc être prises comme matière première pour la fabrication de lamellé-collé. Seulement la forme cylindrique creuse des bambous reflète une certaine contrainte. En effet, par rapport au bois, la quantité de matériaux obtenue est moindre.

#### ➤ Matériau composite / Panneau de fibres / panneau de particules / OSB

Le matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscible (mais ayant une forte capacité d'adhésion). L'étude menée par Ahmad en 2000 a révélé que l'infradensité des espèces couramment utilisées comme matériau composite devrait être en dessous de 0,5. L'espèce adéquate pour cette forme de valorisation est donc *Dendrocalamus giganteus* mais uniquement les jeunes chaumes. Leur faible infradensité leur confère une possibilité de valorisation en tant que matériau composite. *Bambusa vulgaris constrictinoda* peut également être valorisé dans ce type de procédé. Néanmoins, il est à signaler que plus les matériaux composites sont lourds, plus ils sont difficiles à travailler et les coûts alloués pour le transport reviennent à plus chers.

➤ **Pâte à papier**

L'infradensité des deux espèces est similaire à celle de *Pinus patula*, essence utilisée couramment dans l'industrie de papier. Des études menées par Doat en 1967 sur la fabrication de pâte à papier à partir de ces deux espèces de bambou ont montré qu'elles donneraient une pâte adaptée au papier avec une résistance exceptionnelle à la déchirure. Il est vrai qu'il n'y a plus d'usine de fabrication de papier à Madagascar. Mais à l'avenir, si des papeteries rouvriront, les bambous seraient des matières premières intéressantes. Leur pâte pourrait être utilisée pour les catégories souples de papier d'emballage, soit seule soit mélangée à d'autres fibres. Chacune des deux espèces peut être valorisée dans la papeterie, néanmoins il serait préférable de ne pas choisir des chaumes de *Dendrocalamus giganteus* âgés d'un an. En effet, des études menées par Sesbou et Nepveu en 1991 ont montré que plus la densité est faible, plus le rendement diminue.

➤ **Charbon**

Les deux espèces présentent une valeur d'infradensité comparable à celle d'*Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* et *Fagus sylvatica*, trois espèces très utilisées dans la fabrication de charbon. De plus, d'après Doat et Petroff (1975), la densité des charbons résultants est fortement liée à la densité du bois pris comme matière première. *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* pourraient également être une alternative au bois dans la fabrication de charbon.

Nombreuses sont les pistes de valorisations qui peuvent être attribuées à ces deux espèces de bambous. Toutefois, des essais supplémentaires sont nécessaires pour apporter des précisions et appuyer ces propositions. Les propriétés à prendre en compte pour cela et selon les formes d'utilisations sont les suivantes :

- état brut : propriétés mécaniques (module d'élasticité, contrainte de rupture en flexion, contrainte de rupture en traction, contrainte de rupture en compression) et dureté ;
- panneau contre-collé / lamellé-collé : propriétés mécaniques, dureté, test de collage ;
- papier : caractéristiques anatomiques des fibres (longueur, largeur, coefficient de souplesse, pouvoir feutrant, etc.), composition chimique et rendement ;
- charbon : pouvoir calorifique, teneur en cendres, teneur en carbone, teneur en matières volatiles, énergie utile et rendement.



**Conclusion**

## CONCLUSION

La prise de conscience de la pression grandissante envers les forêts a conduit à la recherche de solutions pour substituer le bois. Dans ce sens, l'homme s'est tourné un peu plus vers les produits forestiers non ligneux. Parmi cela, le bambou présente un intérêt majeur. En effet, il constitue, en raison de ses performances, un matériau pouvant substituer le bois à bien des égards. A Madagascar, trente deux espèces de bambou sont rencontrées et valorisées. L'utilisation de cette ressource est, pourtant, limitée, un manque d'informations se fait connaître surtout en ce qui concerne ses qualités en tant que matériau.

La présente étude s'est alors donnée comme objectif principal de connaître les caractéristiques de deux espèces, *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* (deux espèces rencontrées en abondance dans la région Antsinanana) et d'ainsi contribuer au développement de la valorisation de ces bambous au sein de la Grande Ile. Cette recherche renseigne sur les propriétés physiques de ces deux espèces ; à savoir le taux d'humidité, l'infradensité et la rétractabilité dimensionnelle suivant les trois directions anisotropiques ; ainsi que sur leurs variabilités suivant trois facteurs (position diamétrale, position verticale sur le chaume et âge).

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs méthodes ont été combinées. Pour chaque espèce, divers échantillons ont été prélevés sur trois parties (base, intermédiaire et sommet) des jeunes chaumes (un an) et des chaumes matures (trois ans) pour tenir en compte les facteurs sur lesquels reposent les variabilités des propriétés. Des mesures ont été ensuite faites sur ces échantillons pour connaître les propriétés physiques en question.

Cette étude a montré que ces deux espèces de bambou renferment un taux d'humidité élevé par rapport aux autres bambous. Ce taux d'humidité diminue sur le même chaume de la base au sommet et au fur et à mesure que l'âge avance. *Dendrocalamus giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda* s'apparentent aux bois mi-lourds. Leur infradensité diminue au fur et à mesure que la position en hauteur s'élève le long du chaume. Par contre, les bambous deviennent plus lourds quand ils gagnent en âge. Les deux espèces sont moins stables dimensionnellement, elles présentent une forte rétractabilité. La rétractabilité longitudinale est négligeable pour les bambous, seules les rétractabilités suivant les directions tangentielles et radiales sont palpables. Comme le taux d'humidité, la valeur de ces rétractabilités diminue de la base au sommet mais augmente de la jeunesse à la maturité.

La valorisation de ces matériaux dans la Grande Ile se résume à des utilisations traditionnelles. Les ruraux n'utilisent ces deux espèces que sous sa forme brute dans la construction, menuiserie, artisanat et fabrication de divers outils. Seul le genre *Dendrocalamus* est valorisé industriellement en matériau composite.

L'intérêt de cette étude réside surtout dans sa considération de la ressource bambou en tant que matériau de substitut du bois à Madagascar pour lesquelles la littérature ne dispose pas encore suffisamment de données. Par ailleurs en caractérisant les propriétés physiques de *Dendrocalamus*

*giganteus* et *Bambusa vulgaris constrictinoda*, deux espèces exploitées à l'échelle locale, cette étude contribue de manière modeste à la constitution d'une base de données sur ces ressources.

Toutefois multiples points sur la méthodologie méritent d'être améliorés pour un affinage des résultats. Une augmentation du taux d'échantillonnage, la considération du facteur saison ainsi qu'une analyse socio-économique sur l'importance des bambous effectuées en parallèle avec cette étude constitueraient autant d'améliorations qui peuvent être apportées à cette étude. Par ailleurs, l'étude devrait être étayée par des études supplémentaires comme la caractérisation des propriétés mécaniques, chimiques et calorifiques.

Néanmoins, ces résultats contribuent à compléter certaines lacunes de données concernant les propriétés des bambous malagasy et aide à réflexion quant aux éventuelles utilisations/valorisations de chaque espèce selon les propriétés qu'elle offre. Aussi nous pouvons dire que le bambou représente un atout pour les pays émergents et en développement si les connaissances sont suffisantes. C'est pour cela qu'il convient de continuer les efforts en matière de recherche et développement de cette plante promue à un bel avenir.

A decorative frame made of green bamboo stalks, tied with light brown twine at the corners. The frame encloses a white, torn-edge banner. Inside the banner, the words 'Références' and 'Bibliographiques' are written in bold black font.

**Références**

**Bibliographiques**

## BIBLIOGRAPHIE

---

1. AFNOR (1971), Panneaux de fibres - Définitions - Classification - Désignation, NF B 54-050.
2. AFNOR (1985), Bois - Détermination de l'humidité, NF B 51-004.
3. AFNOR (1985), Bois - Détermination de la masse volumique, NF B 51-005.
4. AFNOR (1985), Bois - Détermination du retrait, NF B 51-006.
5. Ahmad M. (2000), Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials, Doctor of Philosophy In Wood Science And Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University.
6. Alipon M., Bondad E. et Moran S. (2009), *Effect of silvicultural management on the basic properties of bamboo*, 23p.
7. Andriamarovololona M. (2005), Evaluation de la ressource "Bambou" en vue de son utilisation durable, Mémoire de DEA, Essa-Forêts Madagascar.
8. Armstrong J.P., Skaar C., and deZeeuw C. (1984), The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. *Wood Sci.Technol.* 18:137-146.
9. ASTM (1983), Standard D 2395-83. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials, *Annual Book of ASTM Standards* 4: 501–511.
10. Brink M. (2008), *Dendrocalamus giganteus* Munro, Fiche Protabase, PROTA récupéré sur <http://database.procta.org/recherche.htm>.
11. Bucur V. (1986), Mesures sur carottes de sondage de quelques propriétés physiques de bois de hêtre à fortes contraintes de croissance, I.N.R.A Station de Recherches sur l'laa Qualité des Bois.
12. Bystriakova N., Kapos V. et Lysenko I. (2004), Bamboo biodiversity: Africa, Madagascar and the Americas, UNEP-WCMC/INBAR.
13. Capo-Chi-Chi M. (2008), La valorisation du bambou dans la région d'Analanjirofo (Tamatave, Madagascar), Programme de Promotion des Revenus Ruraux (PPRR).
14. CIRAD (2012), *Acacia mangium*, TROPIX 7, récupéré sur: [http://tropix.cirad.fr/ame/ACACIA\\_MANGIUM.pdf](http://tropix.cirad.fr/ame/ACACIA_MANGIUM.pdf).
15. CIRAD (2012), *Pin des Caraïbes*, TROPIX 7, récupéré sur: [http://tropix.cirad.fr/ame/PIN\\_DES\\_CARAIIBES.pdf](http://tropix.cirad.fr/ame/PIN_DES_CARAIIBES.pdf).



16. CIRAD (2012), Pinus patula, TROPIX 7, récupéré sur: [http://tropix.cirad.fr/ame/PINUS\\_PATULA.pdf](http://tropix.cirad.fr/ame/PINUS_PATULA.pdf).
17. CIRAD Forestry Department (2003), Pinus kesiya, TROPIX 5, récupéré sur <http://tropix.cirad.fr/asi/pinuskesiya.pdf>.
18. Colbert F. (2011), L'étude de marché, Séminaires de management culturel, récupéré sur <http://www.gestiondesarts.com/index.php?id=1224>
19. DHR (2010), La Vérité du 30 novembre 2010, récupéré sur [http://bamboo-project.net/index.php?p=actu\\_det&id\\_actu=7&idcat=14](http://bamboo-project.net/index.php?p=actu_det&id_actu=7&idcat=14).
20. Doat J. (1967), Les Bambous: sources éventuelles de cellulose pour l'Afrique, Revue Bois et Forêts des Tropiques, n°113.
21. Doat J. et Petroff G. (1975), La carbonisation des bois tropicaux - "Essais de laboratoires et perspectives industrielles", Bois et Forêts des Tropiques, n°159.
22. Dos Santos D.V.B. (2009), Effets du traitement thermique sur les propriétés physico-mécanique et le comportement viscoélastique des résidus forestiers d'Eucalyptus grandis et de Pinus caribea var.hondurensis, Mémoire de fin d'études AgroParisTech.
23. Doutrelepont C. (2006). Quand une herbe concurrence le bois. Récupéré sur <http://www.brusselsgreentech.be>
24. DVRN (2012), Données économiques des bambous malgaches.
25. Feing Kwong Chan C. et Sanna C. (2008-2009), Le bambou, Master1 Génie Urbain & Environnement, Université de la Réunion.
26. Fonlupt S. AST OFF GCC (2008), Le Bambou dans la construction, Séminaire piloté par le département Génie Civil et Construction.
27. Gnanaharan R., Jassen J.J.A & Arge O. (1995), Bending strength of Guada bamboo - Comparison of different testing procedures, INBAR Working Paper No.3.FAO, Rome.
28. Gerard J. (1999), Comportement et caractéristiques technologiques des bois de forêt naturelle : évolution des méthodes d'études en relation avec l'adéquation, Wayer Actes du séminaire FORAFRI de Libreville, Gabon.
29. Grosser D. & Liese W. (1971), On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles, Wood Science and Technology 5: 290-312.

30. Hargot B., Mahy A. (2009), Etude, réalisation et analyse de poutres lamellé-collé en bambou, Revue Scientifique des ISILF n° 23, ECAM – Bruxelles.
31. Islam M. N., Hannan M. O. et Lahiry A. K. (2002), Effect of age and height positions of borak, jawa and mitinga bamboo on their physical properties, Journal of the Timber Development Association of India 48: 16–22.
32. Itoh T. 1990. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocyla* Mitf) during its growth. Holzforschung 44: 191-200.
33. Janssen J.A. (2000), Design and building with bamboo. INBAR Technical report, 20.
34. Kamthai S. et Puthson P. (2005), The Physical Properties, Fiber Morphology and Chemical Compositions of Sweet Bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer), Kasetsart J. (Nat. Sci.) 39 : 581 – 587.
35. Kermoal (2008), Un milliard de personnes vivent dans le bambou, récupéré sur <http://www.moohve.org>
36. Kermoal P. (2008), Un milliard de personnes vivent dans le bambou, récupéré sur <http://www.moohve.org>
37. Kishen, Ghosh J.D.P. et Rehman M.A (1956), Studies on moisture content, shrinkage, swelling and intersection point of mature (*Dendrocalamus strictus*) male bamboo. Indian For. Rec. 1: 1-30
38. Latif M. A., Ashaari A., Jamaluddin K. et Zin J. M. (1993), Effects of anatomical characteristics on the physical and mechanical properties of *Bambusa blumeana*, Journal of Tropical Forest Science 6: 159–170.
39. Lee A.W.C., Bai X. et Peralta P. N. (1994), Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina, Forest Prod.J. 44(9): 40-46.
40. Li X. (2004), Physical, Chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing, The School of Renewable Natural Resources.
41. Liese W. (1985), Anatomy and properties of bamboo. Recent research on bamboos. Proceedings of the International Bamboo Workshop. Hangzhou, China. October 6-14.
42. Liese W. (1987), Anatomy and properties of bamboo, Pp.196–208 in Proceedings of the International Bamboo Workshop on Recent Research on Bamboo, Hangzhou.
43. Liese W. (1987), Research on bamboo, Wood and Science Technology 21(3): 189-209.

44. Liese W. et Grover P.N. (1961), Untersuchungen über den Wassergehalt von indischen Bambushalmen, Ber. Deutsche Botanische Gesellschaft 74: 105- 117.
45. Lindholm M. et Palm S. (2007), *Guadua chacoensis* in Bolivia -an investigation of mechanical properties of a bamboo species, Centre for Wood Technology & Design.
46. Louppe D. (2008), Bois d'œuvre 1 – Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7(1), Fondation PROTA / Backhuys Publishers / CTA.
47. Luerssen C. (1893), Grundzüge der Botanik. Repetitorium für Studierende der Naturwissenschaften und Medizin und Lehrbuch für polytechnische land- und forstwirtschaftliche Lehranstalten, Haessel-Leipzig.
48. Martin L. et Gedron A. (2004), Méthodes statistiques appliquées à la psychologie: Traitement de données avec Excel, Trois-Rivières: SMG.
49. Messaoudène M., Tafer M., Loukkas A. et Marchal R. (2008), Propriétés physiques du bois de chêne zéen de la forêt des Aït Ghobri (Algérie), Gestion de la ressource ligneuse *Quercus canariensis*, Bois et Forêts des Tropiques, n° 298 (4).
50. Munro W. (1868), A monograph of the Bambusaceae, Trans. Linn. Soc. London 26: 1–157.
51. Nomura T. et Yamada T. (1991), Growth of Moso Bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) I, Wood research institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611.
52. Office National pour l'Environnement (2008), Rapport de synthèse sur l'état de l'environnement Région Atsinanana.
53. Panshin A. J. et deZeeuw C. (1980), Textbook of wood technology, 4ed, NY: McGraw-Hill.
54. Programme Régional de Développement Rural/PRDR (2006), Groupe de Travail pour le Développement Rural /GTDR Atsinanana.
55. Rabot-Querci (2001), Mise au point d'un mode d'assemblage sur du bambou, Mémoire de DEA de l'Université Henri Poincaré, Nancy I.
56. Ramananantoandro T., Rabemananjara Z.H., Randrianarimanana J.J. et Pommier R. (2011), Développement et valorisation de la filière bambou dans les zones orientales de Madagascar.
57. Razafindramanana N., Serpantié G., Carrière S., Razafindrakoto M.A, Blanchart E. & Albrecht A. (2008), Afforestation et stockage du carbone dans le sol et la végétation. Cas de lisière ouest du corridor de Fianarantsoa (Madagascar), Terre malgache - Tany malagasy, 26:121 - 123.

58. Razak W., Janshah M., Hashim W. S. et Shirley B. (2007), Morphological and anatomical characteristics of managed natural Bamboo stands *Gigantochloa scortechinii*, *J. Bamboo Rattan*, 6: 115 - 122.
59. Rehman M. A. et Ishaq S. M. (1947), Seasoning and shrinkage of bamboo, *Indian Forest Records* 4: 1–22.
60. Roger G. Skolmen (1963), *Robusta Eucalyptus Wood: Its Properties and Uses*, U. S. Forest Service Research Paper PSW.
61. ROTTKE E. (2009), Rebrique: "Construction with Bamboo" - "Bamboo Connections", récupéré sur <http://bambus.rwth-aachen.de/index.html>.
62. Sattar M.A. et Kabir M.F. (1990), Effect of age and height position of muli (*Melocanna bmcifea*) and borak (*Bambusa bulcoa*) on the physical and mechanical properties, *Bangladesh Journal Forest Science*, 19(1&2): 29 - 38.
63. Schmidt F. 2011), Evaluation de la structure anatomique et chimique des espèces *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus globulus* et *Populus tremuloides* pour la production de pâte Kraft, Mémoire de fin d'études - Université de Sao Polo.
64. Schrad. ex Wendl J.C. (1808), Name - *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl., *Collectio Plantarum* 2: 26, pl. 47.
65. Sharma S. N. (1988), Seasoning behaviour and related properties of some Indian species of bamboo. *Ind. For.* 114(10): 613-621.
66. Thierry B. et Capo-Chihi M. (2008), La valorisation du bambou dans la région d'Analanjifofo (Tamatave, Madagascar), Programme de Promotion des Revenus Ruraux (PPRR).
67. Toussaint P. (2010), Application et modélisation du principe de la précontrainte sur des assemblages de structure bois, Thèse de doctorat en Sciences du Bois et des Fibres.
68. Wahab R., Mohamed A., Mustafa M.T. et Hassan A. (2009), Physical characteristics and anatomical properties of cultivated bamboo (*Bambusa vulgaris* Shrad.) culms, *Journal of Biological Sciences* 9 (7): 753-759.
69. Wei-Chi Lin (1970), La culture du Bambou à Madagascar, Centre de Formation pour l'Artisanat du Bambou Sino-Malagasy.

## WEBOGRAPHIE

---

1. <http://www.auJardin.info>
2. <http://www.bambootouch.com>
3. <http://www.epphoto.fr/voyages-selection-photos/madagascar-29>
4. <http://www.goetgheluck.com>
5. <http://www.madagascarbamboo.com/produits.html>
6. <http://www.madagascar-tribune.com/Des-madriers-en-bambou,2290.html>
7. <http://www.moso-bambou.fr>
8. <http://www.wikipedia.com/bambou>

Rapport-Gratuit.com



# **Annexes**

## Listes des Annexes

---

|   |      |
|---|------|
| Annexe 1 : Présentation de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....   | I    |
| I. Description et caractéristiques.....   | I    |
| II. Distribution et écologie .....  | I    |
| Annexe 2 : Présentation de l'espèce <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> .....  | II   |
| I. Description et caractéristiques.....   | II   |
| II. Distribution et écologie .....  | II   |
| Annexe 3 : Présentation de la zone d'étude .....  | III  |
| I. Climat .....   | III  |
| II. Milieu physique.....  | III  |
| III. Végétation .....   | IV   |
| IV. Menaces et pressions des forêts.....  | V    |
| Annexe 4 : Fiche des échantillons.....  | VII  |
| Tableau 1: Fiche de prélèvement des chaumes de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....   | VII  |
| Tableau 2: Fiche de prélèvement des chaumes de <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> .....   | VIII |
| Annexe 5 : Résumé méthodologique .....  | IX   |
| Annexes 6 : Signification des différences (test ANOVA) .....  | XII  |
| Tableau 1 : Signification de la différence entre les deux espèces .....   | XII  |
| Tableau 2 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur diamètre....  | XII  |
| Tableau 3 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur hauteur....   | XIII |
| Tableau 4 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur âge .....   | XIII |
| Tableau 5 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant l'interaction des facteurs hauteur et âge .....  | XIV  |
| Annexe 7 : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% / Fisher (LSD) pour la rétractabilité tangentielle de <i>Bambusa vulgaris constrictinoda</i> ..... | XV   |
| Annexe 8 : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% / Fisher (LSD) pour la rétractabilité radiale de <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....              | XVI  |
| Annexe 9 : Signification des corrélations.....  | XVII |

## ***Annexe 1 : Présentation de Dendrocalamus giganteus***

L'espèce *Dendrocalamus giganteus* est un bambou géant et le plus imposant des bambous tropicaux. Elle est originaire de Birmanie mais a été introduit dans plusieurs pays dont Madagascar.

### **I. Description et caractéristiques**

Cette espèce constitue un des plus grands bambous. Les chaumes sont étroits avec de minces branches, ils atteignent environ dans les 24 à 30 m de haut avec un diamètre avoisinant les 20 à 30 cm, généralement à paroi épaisse (de 2 à 2,5 cm). Sa couleur externe est vert terne à vert bleuâtre, couvert de croûtes blanches cireuses quand le pied est jeune. Les entrenœuds mesurent environ 35 à 40 cm de long environ, et les nœuds inférieurs présentent des cicatrices profondes appelées culm-gaine d'environ 30 à 50 cm de long et de couleur jaune terne. Les feuilles sont de taille variable et disposées sur une tige principale jusqu'à 50 cm de long. Ces feuilles sont acuminées (en forme de lances), lisses par-dessus mais poilues par-dessous.

Les traits les plus distinctifs de cette espèce sont d'un côté le grand diamètre des chaumes et d'autre côté la largeur de la gaine.

### **II. Distribution et écologie**

*Dendrocalamus giganteus* se développe dans les régions tropicales humides, généralement sur sols plus riches, jusqu'à 1200 m, il tolère des températures jusqu'à -2 ° C.



## **Annexe 2 : Présentation de l'espèce *Bambusa vulgaris constrictinoda***

Le *Bambusa vulgaris constrictinoda* est une espèce introduite. Elle est originaire de l'Asie, comme la majorité des bambous.

### **I. Description et caractéristiques**

Mesurant entre 15 m à 20 m environ, *Bambusa vulgaris constrictinoda* fait aussi partie de la catégorie des bambous géants.

Leur rhizome est de type cespiteux. Quant aux chaumes, ils sont de couleur verte foncée. Le diamètre des chaumes varient de 8 à 10 cm. Les gaines des jeunes chaumes sont pourvues de poils à caractère urticant.

### **II. Distribution et écologie**

L'aire de répartition naturelle de cette espèce englobe l'Asie du Sud mais elle a été introduite dans presque tous les pays tropicaux. Cette espèce préfère une pleine exposition au soleil mais arrive à résister une température allant jusqu'à - 3°C. Cependant elle demande un coin abrité à la fois du vent et du froid.

Cette espèce pousse dans les sols de toute texture s'il y a suffisamment d'humidité (en constante humidité et bien drainé). Les argiles denses ou les sols argileux sont plus appropriés pour la croissance de ce bambou car ils peuvent retenir plus d'humidité durant les périodes sèches et nécessitent moins d'irrigation pendant les périodes de pluies.

### ***Annexe 3 : Présentation de la zone d'étude***

#### **I. Climat**

Le climat est assez homogène et de type tropical humide, caractérisé par une abondance des précipitations apportées par les courants d'Est et une absence de saison sèche marquée (Monographie UPDR, Toamasina).

Les précipitations diminuent toutefois au fur et à mesure de la pénétration vers l'intérieur (zone côtière), de même que la température fait nuancer l'impression d'humidité.

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

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

#### **II. Milieu physique**

##### **II.1. Relief**

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

- Plaine côtière étroite :

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

- Zone de relief accidenté :

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

- Zone des hauts massifs :

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

## **II.2. Géologie**

Des sols hydromorphes de bas fonds « Horaka » sont rencontrés entre Brickaville et Vatomandry, sols de couleur noirâtre et dégageant une odeur de soufre. Ce type de sol est peu favorable à la riziculture et aux cultures de rente : les matières organiques y sont mal décomposées.

Les sols essentiellement formés d'alluvions argileuses ou sablonneuses « Baiboho » (dans la zone côtière) sont appelés sols alluvionnaires. Ils sont favorables aux cultures de rente et peuvent être aménagés en rizières.

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

- Sols sédimentaires :

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

- Sols cristallins :

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

## **III. Végétation**

La Région Atsinanana ne dispose actuellement que de quelques bandes de forêts dites « naturelles ». Les formations secondaires ou « savoka » occupent la plus importante partie de la superficie.

### **III.1. Forêts naturelles ou forêts primaires**

Les forêts naturelles sont localisées dans les zones difficilement accessibles. Ce sont les zones rocheuses à pente raide et la falaise. La Région possède un climat propice au développement d'une forêt dense et toujours verte. C'est ici que les espèces d'affinités extrêmes orientales sont les plus fréquentes dans la flore. Mais celle-ci se modifie selon l'altitude, les sols et l'influence des

destructions humaines. Aux aspects de parc qu'elle présente encore parfois, la région des dunes se caractérise par ses pandanus, ses étendues marécageuses à roseaux (Cypéracées) et à Viha (Avacées), ses tourbières à sphaignes, ses associations parfois encore halophiles de rives de lagunes où la salure augmente avec la rémission des pluies.

### **III.2. Forêts secondaires**

Les forêts secondaires « savoka » succèdent à la formation primaire après une déforestation. Les espèces ligneuses sont rares et les « savoka » ne peuvent pas empêcher l'érosion qui menace la fertilité du sol. La zone des collines ne porte plus qu'une forêt secondaire où abondent certaines espèces comme le « ravinala », le *Haronga Madagascariensis*, le *Salanum Auriculatum* d'origine asiatique.

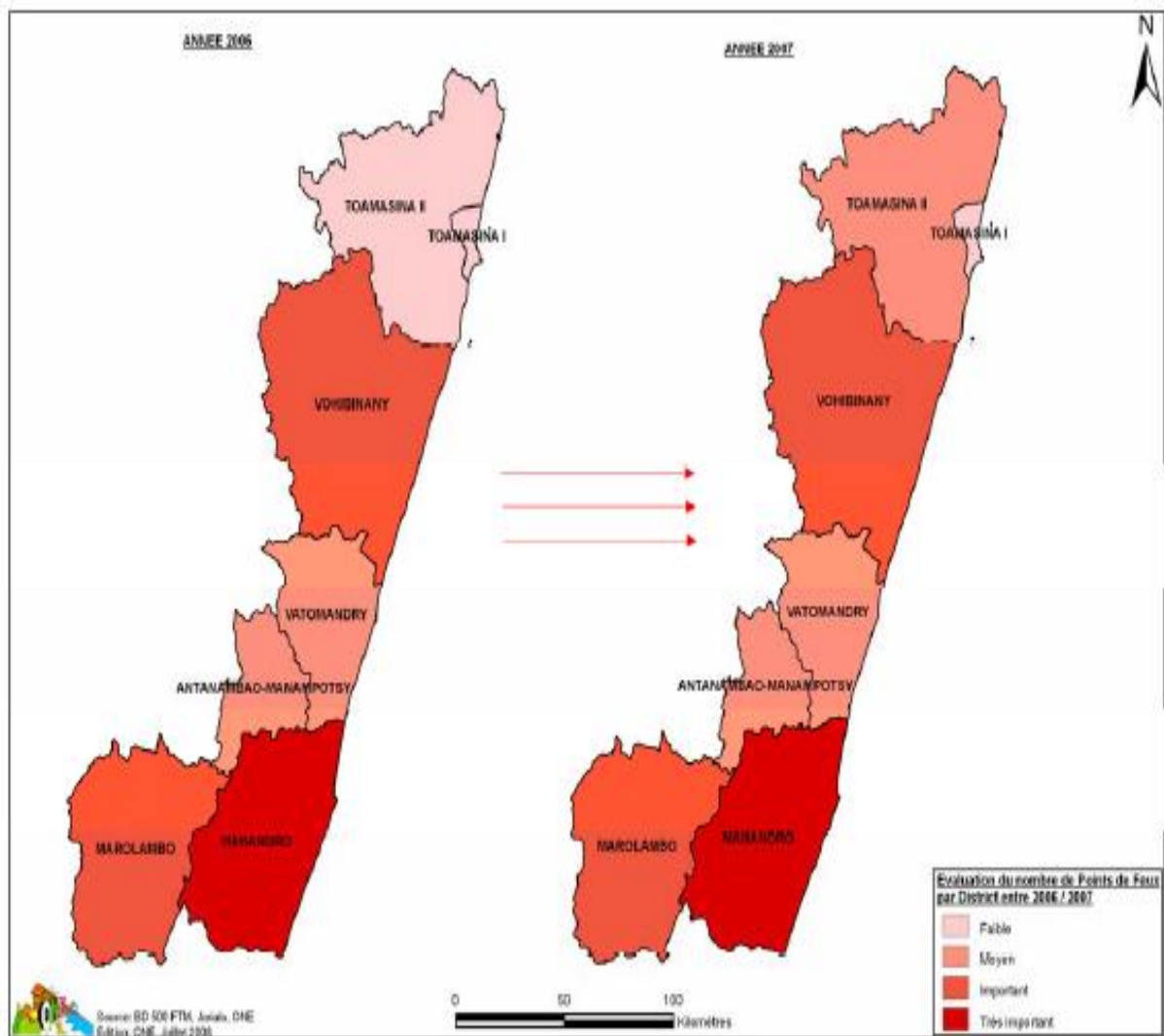
Cette partie de l'île renferme une diversité biologique exceptionnelle avec un taux d'endémisme très élevée. En effet, une large gamme de faune se trouve cette région telle que de nombreuses espèces d'amphibiens et reptiles, et des oiseaux rares.

Par ailleurs, presque toutes les familles endémiques de plantes ligneuses de Madagascar se rencontrent dans cette partie.

## **IV. Menaces et pressions des forêts**

La principale menace qui pèse sur la forêt de la région Atsiranana consiste en la déforestation. Entre 2000 et 2005, le taux de déforestation annuel dans cette partie de l'île a été de 0,56%, légèrement supérieur à celui observé au niveau national qui était de 0,53% (MEFT).

De tout temps les populations ont utilisé les ressources de la forêt : récolte de bois de chauffe, coupe sélective de bois de construction ou de bois précieux. Même si ces prélèvements altèrent le milieu, ils ne conduisent pas à la déforestation. Les principales causes en sont les feux de toute sorte. En effet, en 2007, le nombre de points de feux a augmenté dans cette région, particulièrement au niveau de Toamasina II (*figure 1*).



**Figure 1: Etat et tendance de la répartition des points de feux (2006-2007)**

*(Source : Programme Régional de Développement Rural, 2006)*

Les causes de ces feux peuvent être nombreuses mais la plus flagrante est la culture sur brûlis ou « tavy ». Ce type d'incendie agricole conduit à la destruction totale de la forêt. La forêt primaire humide, qui maintient les sols et un climat relativement humide, brûle chaque année et disparaît à vue d'œil. En effet, la répétition des « tavy » empêche trop souvent la reconstitution d'un couvert forestier au profit de la savane à hautes herbes. C'est entre 800 et 1500 mètres que la forêt primaire s'est le mieux conservée. Mais là encore, elle ne représente qu'une frange étroite, trouée de vastes clairières effilochées parfois jusqu'à disparaître (PRDR, 2006).

**Annexe 4 : Fiche des échantillons**

**Tableau 1: Fiche de prélèvement des chaumes de *Dendrocalamus giganteus***

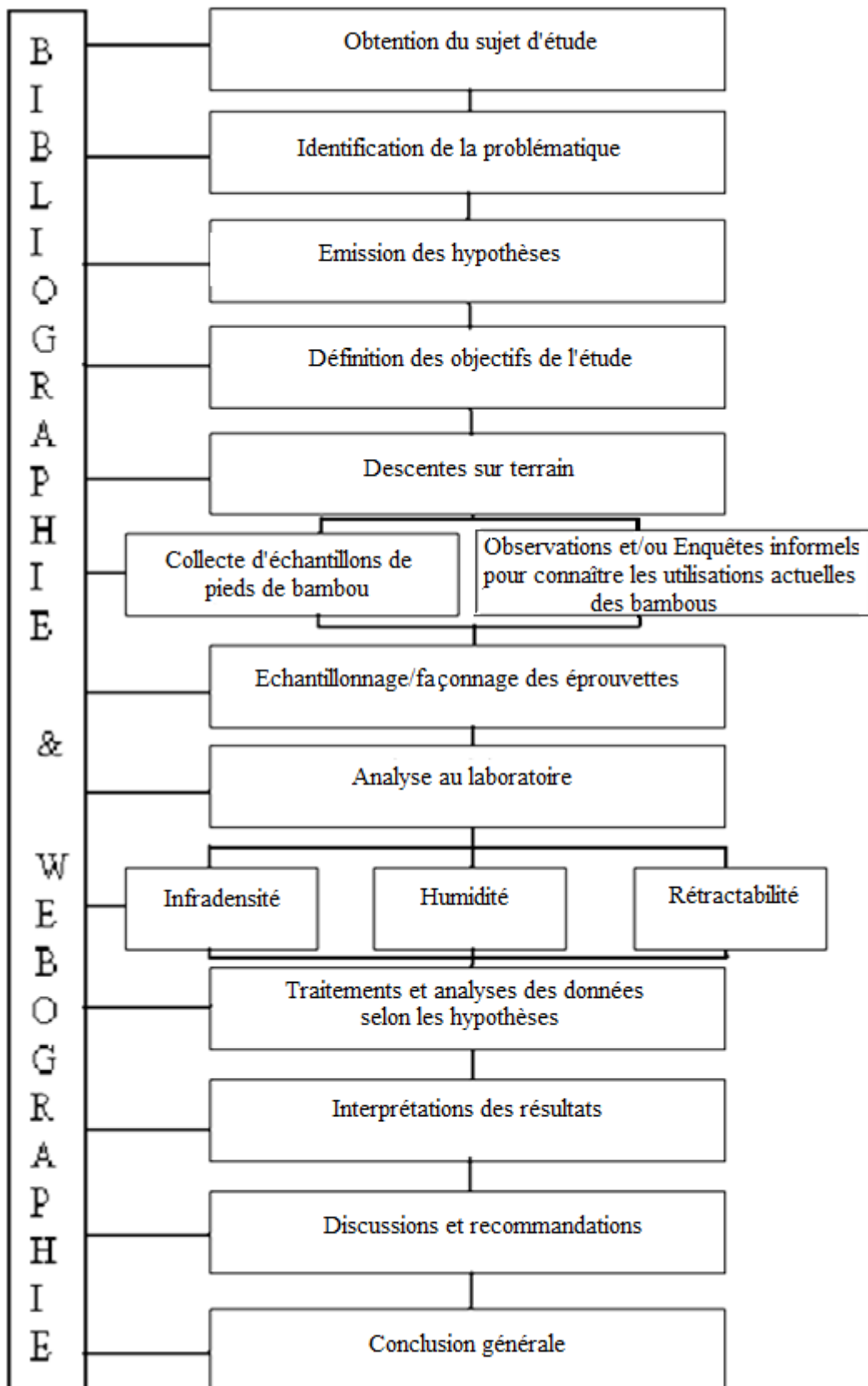
| N° tige                    |          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          |
|----------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Date de prélèvement</b> |          | 20.08.11   | 20.08.11   | 20.08.11   | 03.10.11   | 03.10.11   | 03.10.11   |
| <b>Age</b>                 |          | 3          | 3          | 3          | 1          | 1          | 1          |
| <b>Couleur chaume</b>      |          | Vert brun  | Vert brun  | Vert brun  | Vert       | Vert       | Vert       |
| <b>Hauteur (m)</b>         |          | 17         | 18         | 16         | 16         | 16         | 15         |
| <b>Diamètre (cm)</b>       |          |            |            |            |            |            |            |
| <b>Nombre de nœuds</b>     |          | 60         | 63         | 59         | 51         | 55         | 47         |
| <b>Location</b>            | <b>I</b> | 4, 5, 6    | 5, 6, 7    | 4, 5, 6    | 4, 5, 6    | 3, 4, 5    | 4, 5, 6    |
|                            | <b>M</b> | 13, 14, 15 | 16, 17, 18 | 15, 16, 17 | 13, 14, 15 | 14, 15, 15 | 16, 17, 18 |
|                            | <b>S</b> | 26, 27, 28 | 28, 29, 30 | 25, 26, 27 | 27, 28, 29 | 27, 28, 29 | 26, 27, 28 |
| <b>Epaisseur (cm)</b>      | <b>I</b> | 1,3        | 1,1        | 1,1        | 1,42       | 1,62       | 1,47       |
|                            | <b>M</b> | 0,9        | 0,7        | 0,9        | 0,86       | 0,79       | 0,70       |
|                            | <b>S</b> | 0,7        | 0,6        | 0,6        | 0,53       | 0,61       | 0,48       |

**Tableau 2: Fiche de prélèvement des chaumes de *Bambusa vulgaris constrictinoda***

| N° tige                    |          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          |
|----------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Date de prélèvement</b> |          | 20.08.11   | 20.08.11   | 20.08.11   | 03.10.11   | 03.10.11   | 03.10.11   |
| <b>Age</b>                 |          | 3          | 3          | 3          | 1          | 1          | 1          |
| <b>Couleur</b>             |          | Vert brun  | Vert brun  | Vert brun  | Verte      | Verte      | Verte      |
| <b>Hauteur (m)</b>         |          | 16         | 17         | 16         | 16         | 17         | 15         |
| <b>Diamètre (cm)</b>       |          |            |            |            |            |            |            |
| <b>Nombre de nœuds</b>     |          | 55         | 64         | 58         | 56         | 66         | 54         |
| <b>Location</b>            | <b>I</b> | 5, 6, 7    | 6, 7, 8    | 5, 6, 7    | 6, 7, 8    | 5, 6, 7    | 5, 6, 7    |
|                            | <b>M</b> | 16, 17, 18 | 19, 20, 21 | 14, 15, 16 | 17, 18, 19 | 16, 17, 18 | 16, 17, 18 |
|                            | <b>S</b> | 27, 28, 29 | 31, 32, 33 | 26, 27, 28 | 26, 27, 28 | 30, 31, 32 | 25, 26, 27 |
| <b>Epaisseur (cm)</b>      | <b>I</b> | 1, 2       | 1,5        | 1          | 1,78       | 1,31       | 1,62       |
|                            | <b>M</b> | 0,8        | 0,9        | 0,7        | 0,88       | 0,86       | 0,71       |
|                            | <b>S</b> | 0,5        | 0,6        | 0,5        | 0,69       | 0,67       | 0,61       |

## Annexe 5 : Résumé méthodologique

La démarche méthodologique suivie tout au long de l'étude peut être résumée dans la figure suivante.





## Annexes 6 : Signification des différences (test ANOVA)

Tableau 1 : Signification de la différence entre les deux espèces

| Paramètres               | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F          | Significatif |
|--------------------------|-----|------------------|--------------------|-------|-----------------|--------------|
| <b>H (%)</b>             | 1   | 24533,96         | 24533,96           | 20,72 | < <b>0,0001</b> | <b>oui</b>   |
| <b>i</b>                 | 1   | 0,08             | 0,08               | 5,36  | <b>0,021</b>    | <b>oui</b>   |
| <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | 1   | 0,03             | 0,03               | 0,15  | 0,698           | non          |
| <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | 1   | 198,98           | 198,98             | 9,65  | <b>0,002</b>    | <b>oui</b>   |
| <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | 1   | 24,28            | 24,28              | 1,37  | 0,243           | non          |

Tableau 2 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur diamètre

| Espèces      | Paramètres               | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F    | Pr > F | Significatif |
|--------------|--------------------------|-----|------------------|--------------------|------|--------|--------------|
| <b>B.v.c</b> | <b>H (%)</b>             | 9   | 957,12           | 106,35             | 0,33 | 0,96   | non          |
|              | <b>i</b>                 | 9   | 0,04             | 0,00               | 0,73 | 0,68   | non          |
|              | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | 9   | 0,86             | 0,10               | 0,61 | 0,79   | non          |
|              | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | 9   | 80,62            | 8,96               | 0,85 | 0,58   | non          |
|              | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | 9   | 27,18            | 3,02               | 0,21 | 0,99   | non          |
| <b>D.g</b>   | <b>H (%)</b>             | 9   | 1196,83          | 132,98             | 0,38 | 0,94   | non          |
|              | <b>i</b>                 | 9   | 0,07             | 0,01               | 0,40 | 0,93   | non          |
|              | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | 9   | 3,04             | 0,34               | 1,36 | 0,21   | non          |
|              | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | 9   | 87,58            | 9,73               | 1,11 | 0,36   | non          |
|              | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | 9   | 50,93            | 5,66               | 0,57 | 0,82   | non          |

**Tableau 3 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur hauteur**

| Espèces      | Paramètres         | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F             | Significatif |
|--------------|--------------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------|
| <i>B.v.c</i> | H (%)              | 2   | 2212,82          | 1106,41            | 3,48  | <b>0,03</b>        | <b>oui</b>   |
|              | i                  | 2   | 0,01             | 0,00               | 0,60  | 0,55               | non          |
|              | R <sub>L</sub> (%) | 2   | 0,31             | 0,16               | 1,00  | 0,37               | non          |
|              | R <sub>T</sub> (%) | 2   | 511,86           | 255,93             | 24,16 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>R</sub> (%) | 2   | 181,20           | 90,60              | 6,37  | <b>0,00</b>        | <b>oui</b>   |
| <i>D.g</i>   | H (%)              | 2   | 61888,39         | 30944,19           | 88,65 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | i                  | 2   | 0,02             | 0,01               | 0,56  | 0,57               | non          |
|              | R <sub>L</sub> (%) | 2   | 0,84             | 0,42               | 1,69  | 0,19               | non          |
|              | R <sub>T</sub> (%) | 2   | 1277,70          | 638,85             | 73,00 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>R</sub> (%) | 2   | 1193,06          | 596,53             | 59,86 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |

**Tableau 4 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant le facteur âge**

| Espèces      | Paramètres         | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F             | Significatif |
|--------------|--------------------|-----|------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------|
| <i>B.v.c</i> | H (%)              | 1   | 7943,75          | 7943,75            | 25,02  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | i                  | 1   | 0,01             | 0,01               | 1,42   | 0,23               | non          |
|              | R <sub>L</sub> (%) | 1   | 3,64             | 3,64               | 23,17  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>T</sub> (%) | 1   | 1354,83          | 1354,83            | 127,90 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>R</sub> (%) | 1   | 383,64           | 383,64             | 26,96  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
| <i>D.g</i>   | H (%)              | 1   | 202310,14        | 202310,14          | 579,55 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | i                  | 1   | 0,84             | 0,84               | 45,40  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>L</sub> (%) | 1   | 0,54             | 0,54               | 2,19   | 0,14               | non          |
|              | R <sub>T</sub> (%) | 1   | 404,27           | 404,27             | 46,20  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | R <sub>R</sub> (%) | 1   | 294,95           | 294,95             | 29,60  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |

**Tableau 5 : Signification de la variabilité des propriétés physiques suivant l'interaction des facteurs hauteur et âge**

| Espèces      | Paramètres               | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F             | Significatif |
|--------------|--------------------------|-----|------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------|
| <i>B.v.c</i> | <b>H (%)</b>             | 2   | 8154,41          | 4077,20            | 16,36  | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | <b>i</b>                 | 2   | 0,01             | 0,01               | 1,14   | 0,32               | non          |
|              | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | 2   | 0,21             | 0,10               | 0,68   | 0,51               | non          |
|              | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | 2   | 41,67            | 20,83              | 2,01   | 0,14               | non          |
|              | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | 2   | 174,48           | 87,24              | 7,00   | <b>0,00</b>        | <b>oui</b>   |
| <i>D.g</i>   | <b>H (%)</b>             | 2   | 23449,071        | 11724,535          | 58,352 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | <b>i</b>                 | 2   | 0,350            | 0,175              | 10,986 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>oui</b>   |
|              | <b>RL (%)</b>            | 2   | 0,405            | 0,203              | 0,801  | 0,450              | non          |
|              | <b>RT (%)</b>            | 2   | 142,303          | 71,152             | 8,794  | <b>0,00</b>        | <b>oui</b>   |
|              | <b>RR (%)</b>            | 2   | 50,327           | 25,164             | 2,661  | 0,073              | non          |

**Annexe 7 : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% / Fisher (LSD) pour la rétractabilité tangentielle de *Bambusa vulgaris constrictinoda***

| Contraste                          | Différence | Différence standardisée | Valeur critique | Pr > Diff | Significatif |
|------------------------------------|------------|-------------------------|-----------------|-----------|--------------|
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-S | 10,52      | 11,77                   | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-I | 7,00       | 7,57                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-M | 5,52       | 6,11                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-1*hauteur-S | 4,35       | 4,76                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-1*hauteur-M | 1,08       | 1,21                    | 1,98            | 0,23      | non          |
| age-1*hauteur-M vs age-3*hauteur-S | 9,44       | 10,36                   | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-M vs age-3*hauteur-I | 5,93       | 6,30                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-M vs age-3*hauteur-M | 4,44       | 4,82                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-M vs age-1*hauteur-S | 3,27       | 3,52                    | 1,98            | 0,00      | oui          |
| age-1*hauteur-S vs age-3*hauteur-S | 6,17       | 6,63                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-S vs age-3*hauteur-I | 2,65       | 2,76                    | 1,98            | 0,01      | oui          |
| age-1*hauteur-S vs age-3*hauteur-M | 1,17       | 1,24                    | 1,98            | 0,22      | non          |
| age-3*hauteur-M vs age-3*hauteur-S | 5,00       | 5,43                    | 1,98            | < 0,0001  | oui          |
| age-3*hauteur-M vs age-3*hauteur-I | 1,49       | 1,56                    | 1,98            | 0,12      | non          |
| age-3*hauteur-I vs age-3*hauteur-S | 3,51       | 3,73                    | 1,98            | 0,00      | oui          |

| Modalité        | Moyenne | Groupes |   |   |   |
|-----------------|---------|---------|---|---|---|
| age-1*hauteur-I | 15,65   | A       |   |   |   |
| age-1*hauteur-M | 14,57   | A       |   |   |   |
| age-1*hauteur-S | 11,30   |         | B |   |   |
| age-3*hauteur-M | 10,13   |         | B | C |   |
| age-3*hauteur-I | 8,65    |         |   | C |   |
| age-3*hauteur-S | 5,14    |         |   |   | D |

**Annexe 8 : Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% / Fisher (LSD) pour la rétractabilité radiale de *Dendrocalamus giganteus***

| Contraste                          | Différence | Différence standardisée | Valeur critique | Pr > Diff | Significatif |
|------------------------------------|------------|-------------------------|-----------------|-----------|--------------|
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-S | 8,61       | 10,66                   | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-M | 7,64       | 9,46                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-1*hauteur-S | 7,63       | 9,44                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-1*hauteur-M | 4,56       | 5,69                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-I vs age-3*hauteur-I | 3,44       | 4,14                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-3*hauteur-I vs age-3*hauteur-S | 5,17       | 6,23                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-3*hauteur-I vs age-3*hauteur-M | 4,20       | 5,05                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-3*hauteur-I vs age-1*hauteur-S | 4,18       | 5,04                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-3*hauteur-I vs age-1*hauteur-M | 1,12       | 1,36                    | 1,97            | 0,18      | non          |
| age-1*hauteur-M vs age-3*hauteur-S | 4,05       | 5,06                    | 1,97            | < 0,0001  | oui          |
| age-1*hauteur-M vs age-3*hauteur-M | 3,08       | 3,85                    | 1,97            | 0,00      | oui          |
| age-1*hauteur-M vs age-1*hauteur-S | 3,07       | 3,83                    | 1,97            | 0,00      | oui          |
| age-1*hauteur-S vs age-3*hauteur-S | 0,99       | 1,22                    | 1,97            | 0,22      | non          |
| age-1*hauteur-S vs age-3*hauteur-M | 0,01       | 0,02                    | 1,97            | 0,99      | non          |
| age-3*hauteur-M vs age-3*hauteur-S | 0,97       | 1,20                    | 1,97            | 0,23      | non          |

| Modalité        | Moyenne | Groupes |   |   |
|-----------------|---------|---------|---|---|
| age-1*hauteur-I | 13,79   | A       |   |   |
| age-3*hauteur-I | 10,35   |         | B |   |
| age-1*hauteur-M | 9,23    |         | B |   |
| age-1*hauteur-S | 6,16    |         |   | C |
| age-3*hauteur-M | 6,15    |         |   | C |
| age-3*hauteur-S | 5,18    |         |   | C |

**Annexe 9: Signification des corrélations**

| <b>Espèces</b> | <b>Variables</b>         | <b>H (%)</b>       | <b>i</b>     | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> |
|----------------|--------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>B.v.c</i>   | <b>H (%)</b>             | <b>0</b>           |              |                          |                          |                          |
|                | <b>i</b>                 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>0</b>     |                          |                          |                          |
|                | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | <b>0,039</b>       | 0,200        | <b>0</b>                 |                          |                          |
|                | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>0,003</b> | <b>0,000</b>             | <b>0</b>                 |                          |
|                | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>0,001</b> | 0,205                    | <b>&lt; 0,0001</b>       | <b>0</b>                 |
| <i>D.g</i>     | <b>H (%)</b>             | <b>0</b>           |              |                          |                          |                          |
|                | <b>i</b>                 | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>0</b>     |                          |                          |                          |
|                | <b>R<sub>L</sub> (%)</b> | <b>0,023</b>       | 0,065        | <b>0</b>                 |                          |                          |
|                | <b>R<sub>T</sub> (%)</b> | <b>&lt; 0,0001</b> | <b>0,000</b> | <b>0,008</b>             | <b>0</b>                 |                          |
|                | <b>R<sub>R</sub> (%)</b> | <b>&lt; 0,0001</b> | 0,840        | <b>0,015</b>             | <b>&lt; 0,0001</b>       | <b>0</b>                 |

*Valeurs en gras : significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05.*