



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE



Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention du
diplôme d'INGENIEUR EN GENIE CHIMIQUE



Valorisation du BAMBOU GEANT de Madagascar



Impétrant : Mlle Sonnette Ruffine RAFALIMANJAKA

Soutenu le 07 Avril 2011

----***-- Promotion 2010 --***----



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE



Premier Partenaire des
Professionnels

Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention du
diplôme d'INGENIEUR EN GENIE CHIMIQUE



Valorisation du BAMBOU GEANT de Madagascar

Impétrant : Mlle Sonnette Ruffine RAFALIMANJAKA



Soutenu le 07 Avril 2011

Membres de Jury :

Président : Professeur Philippe Antoine ANDRIANARY

Examineurs :

- Docteur Nambinina Richard Fortuné RANDRIANA
- Docteur Tovo Robin RAHARIJAONA
- Docteur Jean De Dieu RAMAROSON

Rapporteur : Professeur Titulaire Benjamin RANDRIANOELINA

-----***-- Promotion 2010 --***-----

À ma famille

« La bonne volonté quand elle existe, est agréable en raison de ce qu'elle peut avoir à sa disposition, et non de ce qu'elle n'a pas, ... »

II Corinthiens 8:12

“Ne crains rien, car Je suis avec toi, ne promène pas des regards inquiets car Je suis ton Dieu, Je te fortifie, Je viens à ton secours, Je te soutiens de ma droite triomphante” Esaie 41:10

Sans ta parole, je ne serai jamais arrivée à bout de ce parcours. Merci.

REMERCIEMENT :

Avant d'aborder ce travail, je tiens à exprimer mes profonds gratitude à tout ceux qui ont permis à la réalisation de cette mémoire de fin d'étude par : leurs aides, assistance, encouragements, confiances et conseils, leurs soutiens moraux et appuis financiers.

Je tiens particulièrement à présenter mes plus sincères remerciements aux :

- Professeur Philippe Antoine ANDRIANARY, Directeur de l'ESPA, qui nous honore de sa présence en tant que président des jurys.
- Docteur Richard Fortuné RANDRIANA, Chef de département de la Génie Chimique, qui siège ici présent parmi les jurys.
- Docteur Tovo Robin RAHARIJAONA, enseignant à l'ESPA, qui a aussi accepté de faire partie des jurys en tant qu'examineur.
- Docteur Jean De Dieu RAMAROSON, ancien élève de l'ESPA et maître de recherche en Département matériaux et génie civil du Centre National des Recherches Industrielle et Technologique, qui a accepté de faire partie des jurys en tant qu'examineur aussi.
- Monsieur Benjamin RANDRIANOELINA, Professeur Titulaire de l'ESPA, qui a accepté de m'encadrer et de siéger parmi les jurys, malgré ses temps que j'ai déjà accaparé par le passer. Alors je ne saurais oublier ses conseils judicieux, son encouragement et ses précieuses aides qu'il a mis à ma disposition.

Je tiens également à adresser mes sincères et vifs remerciements à :

- Mr Emma RAKOTOARIVONY, Chef de Département chimique au CNRIT,
- Monsieur Roger Andrianalimanana REJO; Chef de Département «environnement et qualité des vies», du Centre National des Recherches sur l'Environnement,
- Monsieur Andriamalala RAJOELISOA, Responsable technicien au CNRE,
- Aux équipes de laboratoire de la Génie Chimique, du CNRIT, du CNRE ainsi que du bloc technique de l'ESPA,

Qui m'ont accordé durant les travaux expérimentaux de l'aide matériel.

Entre autre, mes remerciement vont également à :

- Tous les enseignants de l'ESPA, responsables de notre formation d'ingénieur, ainsi qu'à mes amis qui m'ont toujours soutenu lors de mon séjour ici à l'ESPA.
- Ma famille qui m'a toujours encouragé durant mes études car sans leur soutien moral et financière, cet ouvrage n'aurait pu être réalisé.

Enfin, je loue l'Eternel qui m'a offert son amour et sa miséricorde : je lui adresse ma gratitude et mon respect.

SOMMAIRE :

Introduction générale

Partie I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA VALORISATION DU BAMBOU À MADAGASCAR

Chapitre I : Rappel sur les bambous

Chapitre II : La valorisation du bambou

Chapitre III : Raison du choix du projet

Partie II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.

Chapitre I : Élaboration de matériaux de construction :

Chapitre II : Pyrolyse du bambou

Chapitre III : Valorisation des produits de la pyrolyse

Partie III : ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE.

Chapitre I : ETUDE DE MARCHÉ

Chapitre II : ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Conclusion generale

LISTE ET NOMENCLATURE DES TABLEAUX :

Tableau 1: <i>Distribution mondiale du bambou [S-03]</i>	9
Tableau 2 : <i>Exemples de bambou par classement botanique et par type. [01]</i>	9
Tableau 3 : <i>Différents types d'utilisation du bois en menuiserie.</i>	13
Tableau 4 : <i>rapport retrait séchage</i>	15
Tableau 5: <i>Résumé de la production de bois à Madagascar de 1985 à 1989. [18]</i>	25
Tableau 6: <i>Bambous de Madagascar et leur distribution.</i>	30
Tableau 7: <i>Étude de l'humidité, séchage et rétractibilité du bambou géant.</i>	45
Tableau 8: <i>étude de retrait du Phyllostachys Pubescens et/ou Viridis.</i>	47
Tableau 9: <i>étude de la résistance du bambou géant.</i>	48
Tableau 10: <i>Détermination du poids spécifique et de la densité de l'espèce de bambou considérée.</i>	49
Tableau 11: <i>Borne de la résistance à la traction du bambou géant.</i>	50
Tableau 12: <i>Résistance à la compression de différentes sections de tiges et de lattes de bambou.</i> ..	50
Tableau 13: <i>Étude comparative des Résistances du bambou vis à vis des autres essences.</i>	51
Tableau 14: <i>Comparaison de composition chimique de deux essences.</i>	53
Tableau 15: <i>Température caractéristique de la pyrolyse.</i>	60
Tableau 16: <i>Présentation des matières premières.</i>	63
Tableau 17: <i>Présentation de résultat de la pyrolyse.</i>	64
Tableau 18: <i>évolution de la pyrolyse avec la température.</i>	65
Tableau 19: <i>Présentation des résultats de caractérisation du charbon de la pyrolyse.</i>	67
Tableau 20: <i>Rendement en charbon actif de bambou (2<math>\phi</math><math><5\text{ mm}</math>).</i>	74
Tableau 21: <i>Rendement en charbon actif de bambou ($\phi<2\text{ mm}</math>).$</i>	74
Tableau 22: <i>Augmentation de masse du charbon actif de bambou en trois jours (2<math>\phi</math><math><5\text{ mm}</math>).</i>	74
Tableau 23: <i>Mesure de la capacité d'adsorption de chlore par le charbon de bambou.</i>	75
Tableau 24: <i>Mesure de la capacité d'adsorption de couleur par le charbon de bambou.</i>	76
Tableau 25: <i>Variation des caractéristiques physiques des eaux de rejets suite à une filtration sur charbon de bambou.</i>	77
Tableau 26: <i>Mesure de la capacité d'adsorption d'odeur par le charbon de bambou.</i>	77
Tableau 27: <i>Résultat comparative de la densité et porosité de charbon de bambou après pyrolyse et activation.</i>	77
Tableau 28: <i>Étude comparative des caractéristiques thermiques des charbons.</i>	80
Tableau 29: <i>Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques des charbons.</i>	81
Tableau 30: <i>Étude des caractéristiques des briquettes de charbon de bambous.</i>	81
Tableau 31: <i>Caractéristiques physique du vinaigre de bambou.</i>	82
Tableau 32: <i>Prix actuel du parquet et de ses dérivés dans la région d'Analamanga.</i>	85
Tableau 33: <i>Consommation annuelle de Madagascar en combustible de charbon de bois.</i>	86
Tableau 34: <i>Quelques exemples d'industries utilisant du charbon actif à Madagascar.</i>	86
Tableau 35: <i>Masse de l'importation de charbons activés enregistrée par Madagascar</i>	87
Tableau 36: <i>Prix de l'importation de charbons activés enregistrée par Madagascar</i>	88
Tableau 37: <i>Résumé de la force et faiblesse des produits concurrents.</i>	90
Tableau 38: <i>Résumé de la force et faiblesse des produits à lancer.</i>	90
Tableau 39: <i>Programme de production durant les dix premières années du projet.</i>	91
Tableau 40: <i>Coût des immobilisations corporelles.</i>	93
Tableau 41: <i>Rémunération mensuel et annuel des salariés (x1000Ar).</i>	95

Tableau 42: Charge annuelle des personnels pour les huit premières années du projet	95
Tableau 43: Coût d'achats des approvisionnements	96
Tableau 44: Récapitulation des investissements :	96
Tableau 45: Tableau de récapitulations.	96
Tableau 46: Remboursement de l'emprunt à long terme	97
Tableau 47: Compte des résultats prévisionnels	98
Tableau 48: Résultats prévisionnels de la production annuelle (en pleine capacité)	98
Tableau 49: Calcul de la VAN	99
Tableau 50: Calcul de TRI.	99
Tableau 51: Calcul du DRCL.....	100
Tableau 52: Bilan matière du processus de valorisation des bambous :.....	103

LISTE ET NOMENCLATURE DES FIGURES :

Figure n° 1: Rhizome de bambou traçant	3
Figure n° 2 : Rhizome de bambou cespiteux.....	4
Figure n° 3 : La coupe d'un arbre	11
Figure n° 4: Compartiments et activités de la filière bois	24
Figure n° 5: Importance des surfaces forestières (en km ²) de 1971 au 2007	24
Figure n° 6: Flux de bois dans la filière Malgache.	26
Figure n° 7 : Schéma de procédé de fabrication de parquet et de plancher de bambou	38
Figure n° 8: Diagramme de composition du bois anhydre.[11]	53
Figure n° 9 : Schéma de procédé de la pyrolyse	55
Figure n° 10: Échangeur à faisceau tubulaire. [14]	58
Figure n° 11: Schéma de procédé de valorisation des produits de la pyrolyse.	70
Figure n° 12: ORGANIGRAMME de la Société.	94

LISTE ET NOMENCLATURE DES PHOTOS :

Photo 1: Ceinture tropicale équatoriale du Bambou [S-03]	8
Photo 2 : Évolution du parquet de bambou obtenu par lamellé collé [S-02]	17
Photo 3: Exemples d'étapes de fabrication de parquet de bambou.	18
Photo 5 : Matériaux de construction en Bambou géant ayant subi un traitement complet.	20
Photo 4 : Bambou géant utilisé en tant que matériaux de construction après traitement chimique uniquement.....	20
Photo 6: Charbon de bambou	21
Photo 7: Choix et Coupe de Bambou Géant: Dendrocalamus Gigantius à Toamasina. [S-01].....	36
Photo 8: Parquet de Bambou après usinage (carbonisé et non carbonisé).	43
Photo 9: Foyer dans un réacteur. Charbon de bambou dans un réacteur.	56
Photo 10: Unité de pyrolyse de bambou.	57
Photo 11: Dimensions de l'appareil.	57
Photo 12: Échange thermique dans le condenseur.	58
Photo 13: Charbon de bambou eu suite à une pyrolyse.....	63
Photo 14: Evolution de la qualité des eaux de rejets traités par le charbon de bambou.	76
Photo 15: Comparaison de l'état initiale et finale de l'eau résiduaire traitée par le charbon actif de bambou	76
Photo 16: Comparaison de l'aspect du vinaigre de Charbon	84

LISTE ET NOMENCLATURE DES ANNEXES :

Annexe 0 1 : <i>Methode de preparation de savons de toilette de type refondu</i> :.....	a-1
Annexe 0 2: <i>Teneur en matières volatiles</i>	a-1
Annexe 0 3: <i>Teneur en eau</i>	a-1
Annexe 0 4: <i>Protocole scientifique pour le test d'inflammabilité du charbon combustible</i>	a-3
Annexe 0 5 : <i>Processus de fabrication de la féculé de manioc</i>	a-4

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS :

A	teneur en cendres en % en masse
Ar	Ariary
ALE	Agent de laboratoire et environnement
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNRIT	Centre national de recherche industrielle et technologique
CNRE	Centre national de recherche sur l'environnement
CNaPS	Caisse nationale de prévoyance sociale
CEC	Chef d'équipe de conditionnement
CEM	Chef d'équipe de maintenance
°C	Degré Celsius
DAF	Directeur administratif et financière
DG	Directeur général
DRCI	Durée de récupération des capitaux investis
DRH	Directeur ressources humaines
DU	Directeur d'usine
EIE	Étude d'impact environnementale
ESPA	École supérieure polytechnique d'Antananarivo
FM	Femmes de ménages
H	Humidité en % en masse
INSTAT	Institut national de la statistique
IP	Indice de profitabilité
OSTIE	Organisation sanitaire de Tananarive inter-entreprise
VAN	Valeur annuelle nette
TRI	Taux de rentabilité interne
Kg	Kilogramme
Kgf	Kilogramme force
L	Litre
.m	Mètre
.mn	Minute
N	Newton
pH	Potentiel d'hydrogène
RC	Responsable de conditionnement
R.Cm	Responsable commercial
RLE	Responsable laboratoire et environnement
RM	Responsable maintenance
R.mk	Responsable marketing
SAF	Service administratif et financière
SP	Service personnel
V	Indice de matière volatil en % en masse

Introduction générale

Cela fait déjà très longtemps que Madagascar ait été prénommée “l’île verte” mais non plus aujourd’hui. De nos jours elle rencontre des crises économiques et énergiques. Les effets néfastes de ces crises ont des impacts sur l’environnement. En effet, face à une ressource énergétique trop chère, les consommateurs n’ont de recours qu’à l’utilisation des ressources naturelles telles que le charbon de bois ou le bois de chauffage. Il en est de même au niveau de la construction, vu que l’importation des matériaux synthétiques se fait chère.

Aussi, le souci environnemental est laissé de côté, les pressions sur nos ressources forestières sont de plus en plus fortes. C’est pourquoi la recherche de produit de substitution est encouragée.

Le constat de cette situation nous a donné l’idée de la valorisation de bambou géant à des fins matériels physiques, chimiques et écologiques. En effet, Madagascar dispose d’énormes ressources forestières. L’abondance de pied de bambou géant sur la littorale Est et Sud-Est de Madagascar en fait partie.

Ce travail nous aidera à étudier la possibilité de valoriser le Bambou géant de Madagascar en Matériaux de construction, en brique combustible et en charbon. Par conséquent, faire des analyses socio-économiques et environnementales du projet, afin de démontrer les avantages de la technologie sur ces deux plans serait indispensable.

Compte tenu de ces faits, le présent rapport comprendra les parties suivantes :

- Première partie : une étude bibliographique sur le bambou, le bois et la filière bois à Madagascar qui nous rappellent quelques notions et données techniques, essentielles pour la compréhension du travail ;
- Deuxième partie : une étude expérimentale à laquelle on rencontrera les divers procédés essentiels pour la valorisation ainsi que les caractéristiques et propriétés des produits ;
- Troisième partie : étude technico-économique et analyse environnementale afin d’évaluer l’intérêt socio-économique du projet et de cerner les enjeux environnementaux rattachés.
- Nous clorons l’ouvrage par une conclusion générale.

Partie I :

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LA VALORISATION**

DU BAMBOU A MADAGASCAR

Chapitre I : Rappel sur les bambous

I.1. Généralités :

1.1.1. Morphologie : [05], [07]

Les bambous ne sont ni des arbres ni des arbustes mais des herbes ligneux, ce qui signifie que les tiges sont dures comme du bois. Tous les bambous sont construits selon la même architecture. Un axe principal vertical, la tige ou chaume, d'où partent des branches qui portent les feuilles et parfois les fleurs. Ces chaumes sont insérés sur une tige souterraine, le rhizome, sur lequel se développent des racines.

a. *Le chaume*

On appelle chaume la tige principale des graminées, cette vaste famille dont font partie tous les bambous, au même titre que le blé, le maïs,...Le chaume est une tige fistuleuse, c'est-à-dire creuse et régulièrement cloisonnée par des membranes rigides en correspondance avec les nœuds.

Les chaumes sont dépourvus d'écorce et présentent une partie extérieure généralement lisse. Cette partie extérieure est très dure et très souple, contrairement à la partie interne de la paroi qui est plus tendre, plus rigide et qui casse plus facilement sous la flexion.

♣ *Les nœuds* : Ce sont des anneaux qui se succèdent plus ou moins régulièrement sur le chaume. Chaque nœud abrite un ou plusieurs bourgeons qui, en se développant, vont donner les branches.

b. *Les branches* :

Ce sont les ramifications secondaires qui se développent sur les chaumes à partir des nœuds. Elles présentent la même structure cloisonnée que les chaumes et sont elles-mêmes ramifiées. Le nombre de branches que porte chaque nœud est parfois un élément important pour déterminer le type de bambou. A l'extrémité des branches se trouvent les feuilles.

c. *Les feuilles*:

Elles ont une nervure principale très marquée et des nervures secondaires parallèles, de formes allongées, arrondies à la base et plus ou moins effilées à l'extrémité. Elles s'insèrent sur l'axe qui les porte au moyen d'un fourreau engainant.

♣ *La gaine du chaume :*

Bien qu'elle ne ressemble pas du tout à une feuille classique, la gaine de chaume possède tous les éléments constitutifs de la feuille. Elle n'a cependant aucun rôle dans la fonction chlorophyllienne, sa fonction est essentiellement protectrice. Elle protège le chaume tout au long de sa croissance. En sortant de terre, le jeune chaume, nommé "Turion", est tendre et craquant comme une pomme de terre, c'est à ce stade d'ailleurs que les gourmets l'apprécient.

A chaque entre-nœud correspond une gaine, elle protège des coups et des agressions. Aussi a-t-elle besoin d'être dure et coriace, surtout dans la partie engainante qui est le fourreau. Chez la plupart des espèces, les gaines des chaumes tombent lorsque ceux-ci ont terminé leur croissance.

d. *La fleur :*

Chez les bambous, les fleurs sont groupées en épis, il s'agit d'une "inflorescence". On ne peut pas vraiment parler de l'aspect décoratif d'un bambou en fleur : lorsque la floraison est importante, la plante prend le plus souvent un aspect souffreteux, les feuilles jaunissent et tombent.

e. *Le rhizome : [01]*

C'est la tige souterraine dont la croissance est à tendance horizontale. Il se trouve dans les trente premiers centimètres du sol, rarement plus profond. Il présente la même structure que le chaume, fistuleux, lui aussi, mais avec un canal plus rétréci, également cloisonné et porteur de bourgeon en principe solitaire au niveau du nœud. On distingue deux sortes de rhizomes :

☞ *Le rhizome leptomorphe* : dont les entre-nœuds sont longs et minces, la croissance se fait presque exclusivement à l'horizontal (mais il arrive qu'elle se verticalise pour avoir un chaume).

Les bambous pourvus de rhizomes leptomorphes sont dits *traçants* : ils ont tendance à s'étendre en surface.

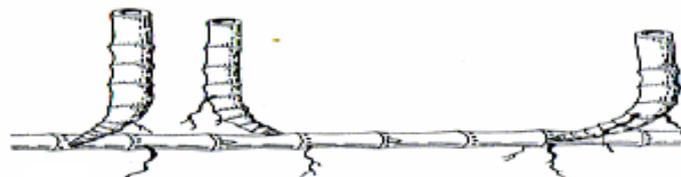


Figure n° 1: *Rhizome de bambou traçant.*

☞ *Le rhizome pachymorphe* : dont les entre-nœuds sont courts et plus ou moins renflés. La croissance n'est horizontale que sur quelques centimètres. Très vite l'extrémité du rhizome se redresse vers la surface du sol qu'il ne tardera pas à percer pour donner un chaume.

Les bambous pourvus de rhizomes pachymorphes restent contenus en touffe serrée, ils ne s'étendent pas en surface comme les traçants, ils sont dits *cespiteux*.

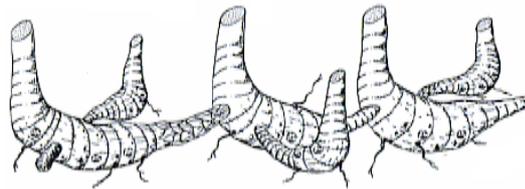


Figure n° 2 : *Rhizome de bambou cespiteux.*

f. Les racines :

On rencontre deux catégories de racines :

☞ *Les racines d'amarrage* : qui sont directement insérées à la base des chaumes et jouent un rôle d'encrage et de soutien, sans elles, les chaumes seraient couchés au sol par le vent.

☞ *Les racines assimilatrices* : qui s'insèrent au niveau du rhizome, à la périphérie des nœuds, elles puisent de l'eau et des éléments nutritifs indispensables à plusieurs mètres sous terre pour la survie et au développement de la plante.

1.1.2. Physiologie :[05],[07]

a. La croissance et le développement du bambou :

Quelque soit la taille du bambou, les chaumes se développent entre huit à dix semaines. Couverts de feuilles, ils ne grandiront plus et peuvent rester sur pied de quinze à vingt ans, parfois davantage.

En se développant, les bourgeons situés sur le rhizome peuvent donner soit un nouveau rhizome soit un chaume. Dès sa sortie de terre, le diamètre définitif d'un chaume adulte est atteint par le bourgeon destiné à donner un chaume. La vitesse spectaculaire de croissance s'explique par l'utilisation des réserves contenues dans le rhizome. Ces réserves ont été élaborées par les racines et par les feuilles l'année précédente.

Un chaume devenu adulte en deux mois ne grandira plus. Cependant, la première année de plantation, un jeune plant de bambou géant ne donnera pas des chaumes gigantesques. En effet, les réserves accumulées par le jeune plant pourvu de deux ou trois chaumes de 80 cm de haut permettront de nourrir deux ou trois turions. Ceux-ci produiront

des chaumes de 1.50m, lesquels accumuleront, à leur tour, des réserves pour produire l'année suivante de nouveaux chaumes, plus nombreux et plus grands, et ainsi de suite jusqu'à la taille adulte propre à l'espèce au regard des conditions locales. Cette taille est atteinte, en partant d'un petit plant en conteneur de 3 à 7 litres, de quatre à cinq ans pour un bambou moyen et de sept à dix ans pour un bambou géant. Ainsi bien que les bambous poussent très vite, pour avoir un effet immédiat de grand bambou, on peut être conduit à planter des conteneurs de gros volumes avec des chaumes déjà élevés. Sinon, il faut faire preuve de patience et attendre chaque année la sortie des chaumes plus grands que ceux des années précédentes.

b. La multiplication :

C'est par voie végétative que le bambou est propagé dans la plupart des cas. Les principales techniques sont : le bouturage de chaume (bambou tropical), l'enracinement de rhizome (bambou traçant) ou division de touffes (bambou cespiteux).

c. Le sol : [05]

Le sol idéal pour le bambou est un sol légèrement acide ou neutre, riche en éléments nutritifs et matières organiques, frais et filtrant, dépourvu de cailloux. Cependant, on peut rencontrer des bambous sur des sols alcalins, relativement pauvres, pierreux et peu filtrant, ce qui illustre la faculté d'adaptation de ces végétaux. En fait, les seuls sols totalement contre-indiqués aux bambous sont les sols marécageux ou hygromorphes, c'est-à-dire qui ont tendance à garder l'eau.

Le pH du sol qui convient aux bambous est entre 6 et 7,2. Cela ne veut pas dire qu'en dehors de cette valeur ils ne poussent pas, seulement ils auront des difficultés. Pour un sol trop acide, l'apport de chaux est la meilleure solution. Par contre, par l'apport de tourbe blonde à la plantation, l'incorporation au sol du compost acide et l'utilisation d'engrais acidifiant, on peut ramener le pH à une valeur convenable.

Un sol argileux a un rôle essentiel dans la bonne croissance du bambou. Seulement une teneur excessive en argile entraîne une asphyxie des racines en période de pluie, et le sectionnement des racines superficielles en période de sécheresse à cause des fentes de retrait. Ces effets nocifs peuvent être contournés par l'apport des sables grossiers et selon le pH, la chaux peut rendre l'argile plus perméable.

Il est impératif de connaître le sous-sol car cela permet d'imaginer comment va évoluer l'eau et vont se comporter les racines. Par exemple si un sol est saturé d'eau plus de 10 à 15 jours, il est impropre à la culture des bambous.

d. La pluie :

La pluie joue un rôle essentiel dans le bon développement des bambous. Son rôle devient moindre si les plantes disposent en permanence d'une réserve d'eau où puiser (nappe phréatique suffisamment proche, bord de rivière,...), ou bien sûr si l'arrosage vient suppléer son absence. Le bambou étant une plante à feuillage persistant, il n'y a pas de saison durant laquelle il puisse se passer d'eau. En revanche, lors de la sortie des nouvelles pousses ou lors des chaudes et sèches journées d'été, la demande sera bien supérieure.

Il faut aussi parler de l'eau contenu dans l'air, ce que l'on appelle l'hygrométrie et qui s'exprime en pourcentage de vapeur. La plupart des bambous se délectent d'une hygrométrie de 80%, s'accommodent d'un 60%, tolèrent à peine 50%, et font piètre figure à 40%. Il y a, bien sûr, des exceptions telles le *Dendrocalamus strictus*, un tropical (Madagascar) dont les réactions sont quasi inverses.

e. La floraison :

Alors que la plupart des végétaux fleurissent régulièrement chaque année, les bambous restent de longues années sans développer la moindre fleur. Le record est détenu par le bambou à tiges noires, dont la dernière floraison remonte à 1920. Lorsqu'un bambou fleurit, sa floraison peut être soit individuelle, c'est-à-dire ne se manifeste que sur un ou quelques plantes de l'espèce ou de la variété - on dit alors que la floraison est "sporadique" -, soit collective, ce qui signifie que tous les plants d'une lignée de la même espèce ou variété fleurissent en même temps quelque soit leur situation géographique et les conditions climatiques sous lesquelles ils vivent. Cette floraison est dite "grégaire". Après cela les chaumes se dessèchent et meurent après avoir fleuri.

Constatée maintes fois, la simultanéité de floraison n'a pas encore été scientifiquement expliquée. Une des hypothèses serait une mémoire génétique, une information contenue dans l'ADN du bambou et différente selon chaque variété. Les fleurs, plutôt rares, apparaissent à l'aisselle des feuilles, aussi bien sur des tiges jeunes que sur des tiges âgées. Elles sont groupées en épillets.

1.1.3. Les maladies et parasites : [05]

Même s'ils ne mettent pas en danger la survie de la plante, il est bon et nécessaire de connaître ces principaux agresseurs.

a. Les pucerons :

Sur les plus jeunes pousses et les rameaux feuillés, plusieurs types de pucerons peuvent être rencontrés. Le principal inconvénient de leur présence réside dans le développement de la fumagine, un champignon qui se développe sur le miellat des pucerons et forme une pellicule noire inesthétique.

b. Les acariens :

Le *Schizotetranychus Celarius* est un acarien spécifique du bambou. D'autres acariens rouges et jaunes se rencontrent surtout si l'air est sec : les feuilles se décolorent et la plante cesse son développement. D'où l'utilisation d'un acaricide.

c. Les maladies :

Pour mémoire citons seulement les rouilles, fusarioses, helmintosporioses... dont il n'est pas nécessaire de se préoccuper car les dégâts qu'elles provoquent sont négligeables.

L'avortement des turions n'est pas rare à observer, lors de la sorties des jeunes pousses, l'arrêt de croissance de certaines d'entre elles.

1.1.4. Classifications:

a. Classement botanique :

La classification que l'on pourrait qualifier de scientifique est celle des botanistes. Ce sont eux qui donnent un nom à chacun les rattachant à un genre, à un espèce, puis à une variété, un cultivar ou une forme,...cette classification repose en grande partie sur l'organisation du système floral. Non seulement elle est assez complexe chez les bambous, mais, en outre, les caprices de leur floraison font qu'il est difficile, voire impossible parfois de les observer.

Exemple : *Phyllostachys nigra* 'Boryana' : genre, espèce, variété ou cultivar ou même forme.

Les bambous appartiennent à la famille des Graminées. Les 520 espèces connues correctement sont classées en 42 genres différents, parmi lesquels sont cultivés en Europe, notamment, les *Arundinaria*, *Dendrocalamus*, *Fargesia*... Les genres *Phyllostachys* et *Sasa* sont très représentés parmi les bambous d'ornement.

b. Classement par types :

Sans entrer dans le détail de la nomenclature des bambous, nous ferons la différence entre deux types bien distincts par leur mode de développement:

☞ Les bambous cespiteux :

Ils restent en touffes plus ou moins compacte. Les rhizomes pachymorphes ont pour devise "allons voir là-haut s'il fait beau" : croissance verticale.

☞ Les bambous traçants :

Ils ont tendance à s'étendre en surface. Les rhizomes leptomorphes ont pour devise "toujours droit devant" : croissance souterraine. On constate qu'en générale les bambous tropicaux sont cespiteux et les bambous tempérés sont traçants.

c. Classement par taille : [05]

Ce classement est purement horticole car il ne peut être rigoureux. On y distingue :

- Les bambous nains : < 1,50m,
- Les petits bambous : 1,50 – 3 m,
- Les bambous moyens : 3 - 9 m,
- Les bambous géants : > 9 m

I.2. La répartition :

1.2.1. Répartition mondiale[S-03] :



Photo 1: Ceinture tropicale équatoriale du Bambou [S-03]

La majeure partie des espèces de bambous sont principalement situées dans la ceinture tropicale équatoriale. Elles sont originaires d'Asie et d'Amérique où on les trouve à

des altitudes variables, jusqu'à 3000 m dans l'Himalaya. 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. Leur distribution mondiale est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 1: Distribution mondiale du bambou [S-03]

Localisation	Sous-tribus	Genres	Espèces
Asie	6	44	environ 650
Amériques	4	21	environ 400
Madagascar	2	10	32
Afrique	2	3	5
Pacifique	2	2	4
Australie	2	2	3
Total	18	82	Environ 1100

1.2.2. Quelques exemples d'espèces de bambous :

Tableau 2 : Exemples de bambou par classement botanique et par type. [01]

Bambous	Classe botanique	Hauteur (m)	Caractéristiques
NAINS	<i>Arundinaria auricoma</i>	0,03 – 1.5	Feuillage panaché jaune vert
	<i>Arundinaria vagans</i>	<1	Feuillage vert clair
	<i>Arundinaria fortunei</i>	0,02 - 1	Feuille longue panaché longitudinalement de blanc crème.
PETITS	<i>Fargesia nitida</i>	2 - 4	cespiteux
	<i>Sasa tessellata</i>	1,5 - 2	Feuille longue : >50cm
	<i>Phyllosasa tranquillans</i>	2 - 3	Hybride de Phyllostachys et de Sasa
MOYENS	<i>Phyllostachys aurea</i>	6 - 9	Chaumes droit, feuillage vert clair
	<i>Phyllostachys nigra</i>	6 - 8	Chaume vert et noircit en vieillissant
	<i>Phyllostachys flexuosa</i>	6 - 8	Chaume vert et jaunisse au soleil
GEANTS	<i>Phyllostachys nigra 'Boryana'</i>	12 - 18	Feuillage vert foncé,
	<i>Phyllostachys pubescens</i>	15 - 25	Imposant, majestueux, petites feuilles et nombreuses,
	<i>Phyllostachys viridis</i>	5 - 12	chaume vert foncé brillant, très droit,

Source : Auteur.

I.3. Domaines d'application :

On ne peut parler de bambou sans évoquer les multiples utilisations dont il fait l'objet. Il n'est pas question de les citer toutes. David Ferrelly rapporte que Hans Sporry en 1903 avait dénombré 1043 usages du bambou seulement au Japon, auxquels il fallait encore ajouter 498 utilisations à des fins décoratives. Il n'existe pas sur terre d'autre plante dont on puisse tirer autant de ressources. Pourtant, l'Europe sut bien s'en passer puisque son introduction toute récente ne date que du XIX^{ème} siècle [05]. Le bambou est un matériau utile que ce soit :

- Dans la vannerie, dans les jardins (palissade, clôture, barrières,...) ;
- En matériaux de construction (toiture, séparation de chambre, cloison, poutre artisanal,...).
- Pour conduire l'eau,
- Comme mobilier de jardin

Au Japon, le bambou est réputé être le végétal qui isole le plus efficacement du bruit.

L'extrême solidité de la fibre de bambou (3500 kg/cm²) a permis de la comparer à l'acier. Associer à de nouvelles technologies, le bambou fait son entrée dans l'industrie et permet d'obtenir des produits performants (rayonne, béton armé, structures lamellées collées, parquets, pâte à papier...).

N'oublions pas que la première ampoule conçue en 1884 par Thomas Edison a fonctionné grâce à un filament en bambou. Pour terminer sur une superbe leçon d'optimisme, il faut savoir que Thomas Edison avait fait plus de mille essais infructueux avant de découvrir le bambou. [05].

I.4. Conclusion partielle :

Ainsi donc on peut dire que, le bambou, dont les vertus furent déjà connues depuis des lustres, est une plante aux particularités uniques dans le monde végétal, et qui ne présente pas pour autant un aspect uniforme. Il en existe plus d'un millier d'espèces aux caractéristiques propres. Suivant l'endroit où il pousse, la nature du terrain, le climat, l'altitude, il peut être très différent de taille, de forme, voire de couleur.

Chapitre II : La valorisation du bambou

II.1. Généralités :

2.1.1. Rappel sur les bois de menuiseries :

a. Le bois : [13]

Le bois est un matériau vivant, hétérogène (de dureté irrégulière), anisotrope.

➤ La coupe d'un arbre :

L'examen de la coupe d'un tronc permet d'en déterminer les différentes parties qui le composent :

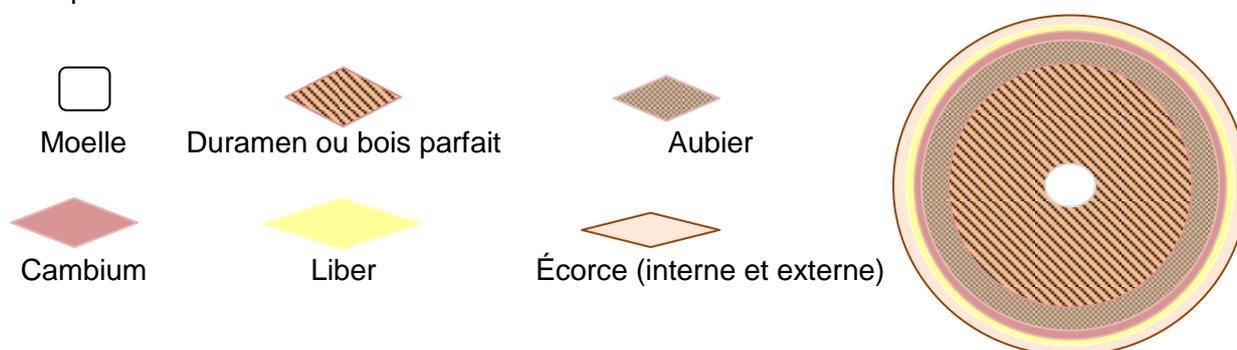


Figure n° 3 : La coupe d'un arbre

L'aubier est le bois jeune, pas encore "duramenisé". Il a un rôle très important pour l'arbre. La sève y circule, permettant à l'arbre tout entier d'être alimenté en éléments vitaux. Pour certaines essences, l'aubier est peu ou pas visible et est utilisé comme du bois parfait (ex : sapin, épicéa, hêtre). Il n'est pas seulement sujet aux attaques d'insectes, il est également sensible à l'humidité, tout particulièrement lorsqu'elle est stagnante.

Le duramen se décompose en cernes annuels comportant le bois de printemps à croissance rapide, et le bois d'été, plus dense.

➤ Les altérations du bois :

Les altérations du bois sont dues essentiellement à deux causes : les champignons lignicoles et les insectes xylophages. Certains insectes ne s'attaquent qu'à des bois déjà atteints par des champignons. Nos ormes dépérissent sous les assauts simultanés d'un insecte et d'un champignon.

➤ *Durabilité et imprégnabilité d'une essence :*

La durabilité d'une essence, c'est la capacité de celle-ci à se défendre contre l'attaque des agents biologiques d'altération : les insectes xylophages et les champignons lignivores.

L'imprégnabilité, par contre, c'est la capacité des essences à se laisser pénétrer par un liquide et donc, par extension, par les divers produits de traitement proposés sur le marché.

Ainsi les diverses matières organiques : résines, tanins, huiles naturelles, qui constituent une essence, outre la cellulose et l'eau, font qu'elle n'a pas naturellement les mêmes qualités pour résister aux agressions extérieures.

➤ *Les facteurs d'agressions du bois : [13]*

Principalement, le bois est agressé par: les insectes xylophages, les champignons lignivores et les déformations. Cette dernière est due aux : intempéries (pluie, gel), soleil (rayon U.V., chaleur) et les éventuelles pollutions. Ce qui entraîne rapidement le grésillage du bois en surface et des déformations, le voilage, le fendillage en bout, voire l'éclatement.

➤ *Les différents types de traitements :*

Les traitements de préservation et de conservation industriels sont : étuvage, trempage, traitement autoclave, injection. Les traitements de protection sont: les lasures, les saturateurs, les imperméabilisants, les vernis.

b. Le bois de menuiseries : [04]

Il est évident que tout bois est impropre à tout travail de menuiserie faite de : l'insuffisance de ses caractéristiques, le prix trop élevé et la rareté.

Les bois de menuiseries sont destinés pour les ouvrages de bâtiment de second ordre (massif). Il est à noter que ceux du premier ordre (pièce de charpente, ensemble de ossature, armature, élément de remplissage, paroi d'ouvrage préfabriqué : porte planes, cloisons, sèches...) ne sont pas concernés.

➤ **EMPLOIS**

Comme bois de menuiserie, on distingue : le bois de menuiserie intérieur et extérieur.

Tableau 3 : Différents types d'utilisation du bois en menuiserie.

MENUISERIE INTERIEURE ET EXEMPLES		MENUISERIE EXTERIEURE ET EXEMPLES	
Commune (à peindre)	<p>huisserie de portes (de communication, palière, placards, rayonnages,....</p> <p>Plinthes, moulures, couvre-joints à peindre.</p>	Les menuiseries et fermeture extérieure	<p>Châssis de fenêtre et porte-fenêtre (dormant, châssis fixe ou ouvrant, en bois apparent ou à peindre, portes de garage, persiennes et volet, barres d'appui et balconnages.</p>
Décoratives (à vernis ou à cirer)	<p>huisseries et chambranles de portes, portes menuisées et lambrissages décoratifs.</p>	Les revêtements extérieurs non fonctionnels :	<p>Bardages et art extérieur de façades ou pignon, habillages de loggia-balcon,...</p>
Les parquets	<p>Traditionnel mosaïques ou en panneaux pré-assemblés et les escaliers</p>	Ouvrages spéciaux	<p>Menuiserie lourde, marches d'escalier, parquets et plancher à forte usure, platelages, chaussées,....</p>

Source : auteur et [13]

c. Propriétés physiques et mécaniques :

➤ **Aspect physiques du bois : [04]**

Pour l'ouvrage traité en bois apparent, les critères de valeurs esthétiques sont subjectifs et s'apparentent à ceux retenus en ébénisterie. A l'aspect propre à l'essence, couleur, fil et grain, s'ajoutent la qualité de la mise en teinte et l'aptitude à recevoir une finition transparente, en conservant durablement un aspect satisfaisant dans les conditions particulières de services (menuiseries extérieures, parquets, aménagement de cuisine, etc.).

C'est la structure (grain, fil et texture) et la stabilité (coefficient de rétractibilité) qui conditionnent la qualité de la surface pour la peinture comme pour le vernis ou les finitions non filmogènes (lasures).

☞ **LE GRAIN :**

Faisant partie de la structure du bois, le grain est apprécié d'après les dimensions des pores (bois feuillus) ou d'après la finesse d'accroissement (bois conifères). Il est classé comme : Fin, Moyen, Grossier. [04]

☞ **LE FIL :**

Il peut être considéré comme : sensiblement droit, sans ondulation importante; ondulé ; contrefil léger, régulièrement rubané ; contrefil fort et irrégulier. Les bois fortement ronceux et à fil très enchevêtré sont considérés être inaptes à la menuiserie. [04]

☞ **LA COULEUR (Bois parfait sec)**

Concernant la couleur, elle peut être de: teinte pâle (blanchâtre, jaunâtre...), jaune, marron à marron brun, brun-rose foncé à brun-ocre soutenu, gris à gris-jaune, violet à violet brun, brunâtre sombre ou noirâtre, marbré ou persillé. [04]

➤ **Propriétés physiques et mécaniques [04] :**

▪ **Densité (d) et dureté (N)**

La connaissance de la dureté évite une détérioration rapide des pièces quelque peu exposées aux chocs, rayures et épaufrures et aussi pour assurer une tenue convenable des organes de fixation (clous et vis).

▪ **Resistance (R) et Rigidité (r)**

La résistance R et la rigidité r dépend non seulement des caractéristiques propres à l'essence, mais également du choix des pièces.

▪ **DURABILITE (D)**

En l'absence de traitement préventif, c'est donc la durabilité naturelle qui conditionne la durée de vie d'un ouvrage. Tout fois il conviendra également, pour estimer cette longévité, de prendre en considération les conditions de mise en œuvre des ouvrages. Cette durabilité naturelle est fonction de l'essence.

▪ **IMPREGNABILITE (I)**

La pénétration du produit par le bois de bout est toujours meilleure que la pénétration par les faces des pièces : on a donc l'avantage de traiter les pièces usinées avant montage. Concernant la protection contre les champignons (traitement fongicide), lors de l'imprégnabilité, on peut citer trois méthodes :

- L'aspersion (passage dans un tunnel),
- Trempage (immersion dans une cuve),

- Double vide (imprégnation dans un autoclave) : le vide préliminaire évacue l'air contenue dans le bois pour faciliter la pénétration du produit puis suivi de l'introduction du produit à la pression normale, et le vide de propreté élimine le produit en excès.

▪ **SECHAGE : [04]**

La facilité et les conditions du séchage dépendent principalement du retrait du bois, de sa densité, des particularités du fil, et d'autres facteurs liés à la structure et dont l'action est parfois encore mal déterminée.

Tableau 4 : rapport retrait séchage

Retrait	d ₁₅	Fil	Séchage
Fort	Moyenne	Assez régulier	Délicats
Faible	Dure	Peu contrefilé	Lentement

Source : auteur et [4]

2.1.2. Rappel sur la carbonisation et le charbon de bois [21] :

Une méthode complète et efficace de transformation du bois en vue de son utilisation ultérieure consiste à le carboniser.

La carbonisation est la décomposition du bois par combustion très partielle de ses constituants.

Le charbon de bois se fabrique à partir de morceaux de bois de faible diamètre (la charbonnette) et se présente sous forme de solide de dimensions limitées (20 – 100 mm en général) contenant essentiellement du carbone friable mais aussi des cendres, des poussières. Sa densité apparente est très faible, il est hygroscopique et est donc conditionné en sacs fermés. [21]

a. **Caractéristiques :**

C'est un combustible solide noir, brillant, sonore mais très friable et salissant. Il est constitué de 80% environ de carbone, mais ses caractéristiques exactes dépendent de ses conditions de fabrication. Sa teneur en eau normale est de l'ordre de 5% ; comme il absorbe facilement l'humidité cela peut être bien plus ; il est alors peu sonore, sa cassure est mate et la poussière est plus lourde.

Le pouvoir calorifique varie suivant la température de carbonisation ; normalement avec une température de carbonisation de 500 – 700°C, le pouvoir calorifique est de 7500 kcal/kg. [21]

Le charbon de bois est un combustible qui s'allume très facilement malgré l'absence de matières volatiles. Par suite de la surface poreuse et très réactive, il brûle sans flamme ni fumée, il ne dégage pas d'odeur spécifique. Les risques d'incendie sont très réduits, les risques d'explosion sont nuls. L'extinction est rapide si on le désire.

b. Fabrication:

La carbonisation est toujours largement pratiquée dans le monde. Il s'agit d'un chauffage du bois avec un minimum d'air. La carbonisation est en partie endothermique et en partie exothermique. Si le bois était parfaitement sec, la pyrolyse ou carbonisation serait légèrement exothermique, mais il faut compter avec l'humidité normale du bois.

Les meules en forêts existent toujours, de même que ceux qui peuvent être artisanales. Les usines, même de taille limitée, préfèrent les fours modulaires avec cornues qui s'imposent en demandant moins de main d'œuvre pénible à la tonne de ce charbon fabriquée.

Les installations valorisant chimiquement le bois en élaborant des liquides et des gaz en même temps la carbonisation ne produisent que 3% du charbon de bois dans monde. [11].

c. Utilisations :

Les emplois du charbon de bois correspondent à une valorisation intéressante essentiellement dans les industries chimiques et métallurgiques. Si dans le monde 65% du charbon de bois est utilisé dans l'industrie, ses usages domestiques deviennent de plus en plus importants, sinon rentables.

L'utilisation la plus noble et d'un grand avenir des charbons de bois durs consiste en la préparation de charbons actifs. Cette préparation consiste à créer de nouvelles porosité, à ouvrir les porosités fermées.

Elle est produite vers 800°C à l'aide de CO₂, de vapeur d'eau ou simplement de gaz de combustion à partir de matières ligno-cellulosiques dont la nature présente une forte influence. [11]

D'ailleurs l'industrie moderne réclame de très forts tonnages de charbon actif.

II.2. Les procédés d'élaborations de valorisation du bambou géant :

2.2.1. Procédé par lamellé collé :

Au niveau mondial, ce procédé est suffisamment en vogue pour la valorisation du bois et surtout pour le bambou.

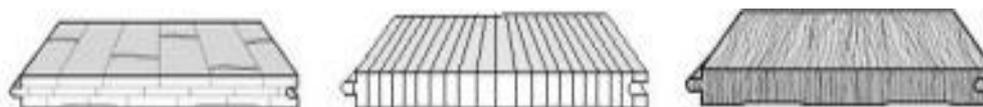


Photo 2 : Évolution du parquet de bambou obtenu par lamellé collé [S-02]

Ce procédé est très évident pour la réalisation des matériaux de constructions à partir du bambou. Ceci étant voici quelques étapes de préparation de parquets de bambou dans une usine chinoise: **[S-02]**

- Les tiges de bambou de 4/5 ans sont découpées en fine lame de 15x5 mm (a).
- Les lames sont mécaniquement nettoyées pour aplanir les nœuds. (b)
- Les lames sont bouillies pour éliminer toute impureté. (c)
- Les lames sont séchées (d) puis triées suivant leur coloration. (e)
- Les lames sont assemblées (f) et mise sous presse (les colles liantes sont des colles de marques répondant aux normes en vigueur).

Pour la production de masse, les usines de fabrication sont immenses et outillées avec des machineries de dernières générations.

Les lames mise bout à bout dans la longueur donne un parquet à structure horizontale, les nœuds sont apparents. Quand les lames sont assemblées verticalement, la structure et le dessin du parquet se caractérise par de longues lignes, les nœuds ne sont plus visibles tous les parquets sont "massifs", c'est à dire 100% bambou et la coloration est naturelle. (g)

Les lames sont mises en étuve à 300- 400°C pour obtenir une coloration d'une teinte caramélisée que l'on obtient par "carbonisation" (h). Les lames sont mises sur des tapis roulants et passent au travers des machines qui pulvérisent les différentes couches de vernis séchées par des lampes UV. (i)



Photo 3: Exemples d'étapes de fabrication de parquet de bambou.

2.2.2. Carbonisation ou pyrolyse : [11],[15]

La pyrolyse du bois est une transformation du bois suivant un apport de chaleur en atmosphère non oxydante. Le seul oxygène qui peut intervenir est celui qui provient de la décomposition du bois. La pyrolyse n'est pas une combustion (ni lente ni incomplète).

Une expérience facilement réalisable en laboratoire, la pyrolyse est une décomposition thermique du bois en l'absence de l'air. En réalisant une distillation sèche : "pyrolyse" dans un ballon pyrex et à l'abri de l'air, on chauffe des petits morceaux de bois. Puis les gaz échappés lors de cette distillation sont condensés. Et, l'ensemble des liquides résultant de l'expérience s'appelle : jus pyroligneux.

a. Les charbons de bambou[S-05]

Des charbons de bois en bambou sont obtenus par pyrolyse des morceaux de bambou, qui sont pris des usines cinq ans ou plus vieux, et brûlés à l'intérieur d'un four aux températures au-dessus de 800° C. Il fournit non seulement une nouvelle manière d'utiliser le bambou, mais bénéficie également à la protection de l'environnement de réduire la pollution de résidus.

Selon les types de matière première, le charbon de bois en bambou peut être classifié en tant que charbon de bois en bambou cru et de la brique de charbon de bois de bambou.

Le charbon de bois en bambou cru est fait en corps en bambou tel que les chaumes, la branche, et la racine.

Le charbon de bois en bambou de brique est fait en résidu en bambou, tels que la poussière, la poudre de scie, etc. en bambou, en comprimant le résidu dans certains bâtons de forme et en carbonisant les bâtons.

b. Les vinaigres de bambou : [S-09]

Du vinaigre de bambou de charbon de bois est extrait durant la pyrolyse. Il est employé pour des centaines de traitement sur presque tous les aspects.



Le vinaigre en bambou, nommé par les Japonais "L'Or Liquide", contient du charbon de bambou. Cela a son importance pour la conservation de sa pureté. C'est un liquide naturellement dérivé pris de la condensation qui se produit pendant la production du charbon de bois en bambou. Il est composé principalement (80-90%) de l'eau et de 10-20% composés organiques, ayant pour résultat approximativement 200 ingrédients séparés. Plusieurs de ses composés sont de différents types d'acide qui donnent au liquide un maquillage de pH semblable à celui du vinaigre de ménage. D'où le terme « vinaigre en bambou ». En effet c'est le jus pyroligneux, qui après une macération de 10 à 15 ans, le vinaigre de bambou sera embouteillé et commercialisé.

2.2.3. Activation du charbon de bois en bambou : [S-03]

Activer un charbon de bambou consiste à lui retirer les goudrons, résidus de la pyrolyse, qui sont restés inclus dans le charbon. Autrement dit : pendant la pyrolyse des matières organiques, la plupart de l'oxygène et de l'hydrogène est extrait. Le carbone restant s'organise sous une forme cristalline irrégulière avec des interstices plus ou moins remplis

par des goudrons. Cette obstruction des interstices diminue considérablement la capacité d'adsorption du charbon produit normalement. Cette capacité d'adsorption est directement liée à la surface spécifique du charbon, qui est de l'ordre de 1 à 5m²/g, par contre, les charbons activés atteignent 2000m²/g. on peut l'assimiler à un vaste réseau de minuscules canaux, une telle structure augmente considérablement les capacités de filtration et d'adsorption du charbon.

On peut activer le charbon en le chauffant dans de la vapeur d'eau surchauffée, ou en utilisant des solvants adéquats.

II.3. Les domaines d'application de ces valorisations de bambous:

2.3.1. En tant que matériaux de constructions : [S-06]

A part le fait d'être transformé pour avoir des parquets et des poutres modernes, le bambou peut aussi être utilisé en matériaux de construction sans transformation mais avec quelques traitements préventifs et curatifs.



Photo 4 : Bambou géant utilisé en tant que matériaux de construction après traitement chimique uniquement.



Photo 5 : Matériaux de construction en Bambou géant ayant subi un traitement complet.

2.3.2. En tant que charbon de bois : [S-07]

Le charbon de bois en bambou est principalement employé comme combustible pour faire cuire et sécher le thé (en Chine, au Japon). Utilisé en tant que combustible, le charbon de bois en bambou est en briquette de charbon de bambou pour la plupart. Mais on peut aussi rencontrer des gens qui emploient le charbon de bois en bambou cru en tant que tel.

Le matériel en bambou a la microstructure extraordinaire : il produit la capacité d'absorption élevée après carbonisation, et devient plus efficace après activation. Le charbon de bois en bambou peut être employé pour épurer l'eau, éliminant les substances d'impureté et les odeurs organiques. L'eau potable stérilisée avec du chlore doit être traitée avec le charbon de bois en bambou pour éliminer le chlore et les chlorures de résidu.

Le charbon de bois en bambou est connu pour avoir la haute porosité. De diverses impuretés ou corps étrangers seront absorbés sur la superficie large du charbon de bois. Quand l'humidité est élevée dans l'air, le charbon de bois adsorbera l'humidité, et l'air sera converti en air sec. Si l'air est trop sec, alors le charbon de bois déchargera son humidité, de ce fait, il est capable d'ajuster l'humidité dans le ciel.



Photo 6: *Charbon de bambou*

2.3.3. En tant que produits chimiques : [S-09]

Le jus pyroligneux de bambou aussi bien que son vinaigre possède des propriétés multiples : désodorisante, médicamenteux, cosmétique,... Ce liquide contient 400 genres d'éléments chimiques et peut être appliqué dans beaucoup de buts comme produits de beauté, insecticides, désodorisants, transformation des produits alimentaires, et agriculture.

Concernant les charbons de bambou, ils peuvent aussi être utilisés dans la fabrication de savon cosmétique.

2.3.4. Autres applications :

Les matériaux de bambous intéressent des industriels pour promouvoir des produits respectueux de l'environnement, comme le plastique "écologique", mis au point à partir de fibre de bambou. D'ailleurs des produits de la vie quotidienne, tels pansements, serviettes hygiénique, chemises, sont déjà élaborés dans les pays asiatiques. De plus, le bambou est un matériau idéal pour conserver la chaleur aussi bien que pour isoler le son.

Le charbon de bambou peut aussi être destiné à la confection de tissu écologique durable, facile à laver et plus imper-respirant que le coton ou les fibres synthétiques.

II.4. Conclusion partielle :

Ainsi donc, on a constaté que le bambou peut être classé comme bois de menuiserie intérieure qu'extérieure. On sait qu'il est utilisé en construction sans problème et que les déchets après la coupe peuvent être valorisés en charbon et en jus pyroligneux.

Au sujet de ce dernier, ses fonctions sont d'expulser l'odeur, de tuer des bactéries, et de nourrir le massage facial et la peau des corps. Concernant les charbons, étant activés, leur valeur marchande augmente considérablement, mais représente un important investissement.

En tout cas, d'autres applications de valorisation de bambou sont déjà à envisager.

Chapitre III : RAISON DU CHOIX DU PROJET

III.1. La filière bois à Madagascar :

3.1.1. Rappel sur la filière bois : [18]

a. Définition :

La filière bois est par définition l'ensemble des activités de transformation ou de production, de transport et de commercialisation du bois de l'amont (production de bois sur pied) vers l'aval (différentes utilisations du bois dans la vie courante de la société).

b. Les compartiments de la filière bois :

Elle comprend en général quatre compartiments d'activités que sont : la sylviculture, l'exploitation forestière, la première transformation et la seconde transformation.

La sylviculture est le compartiment englobant l'ensemble des activités contribuant à la production de bois sur pied (arbre).

L'exploitation forestière constitue l'ensemble des activités qui contribuent au prélèvement du bois sur pied et donc à la production de bois façonnés, débardés et classés.

La première transformation réunit les activités qui contribuent à la transformation du bois façonné en produit semi-fini (qui constituera encore donc une composante dans la production d'un produit fini).

La seconde transformation constitue enfin l'ensemble des activités qui ont pour finalité la production de produit à base de bois propre à la consommation finale.

Le terme consommation englobe ici les différentes utilisations des bois et produits dérivés (B.P.D) notamment l'utilisation dans la construction (éléments constitutifs du bâtiment, matériau bois servant à la construction comme les échafaudages ou les coffrages, etc...), la consommation de papiers et cartons ou la consommation de bois énergie (bois de chauffe, charbon)...

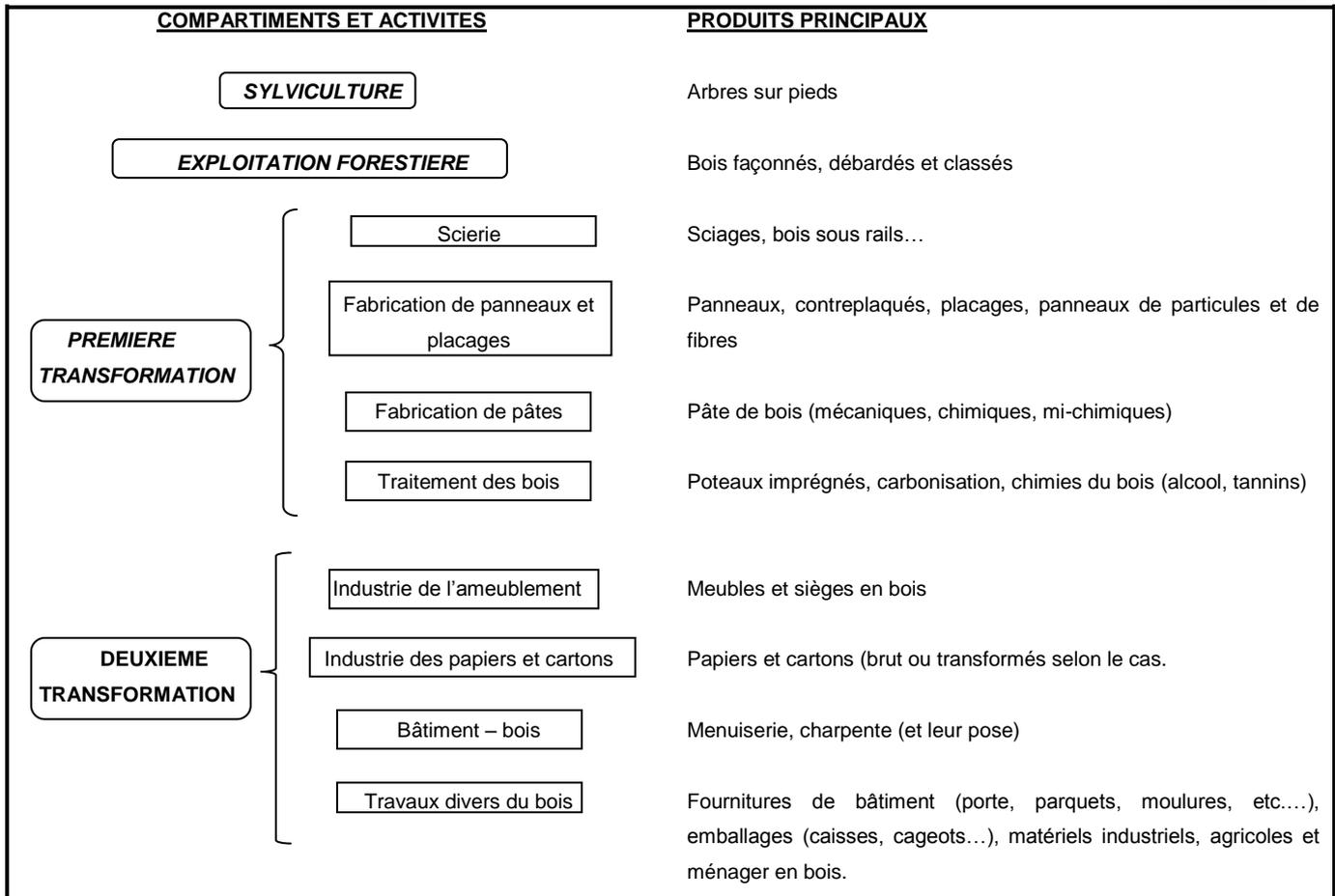


Figure n° 4: *Compartiments et activités de la filière bois (d'après BUTTOUD, 1987).*

3.1.2. La filière bois malgache : situation et constat

a. La sylviculture [18]

Elle est une branche de l'agriculture consacrée à la culture et à l'exploitation des bois et des forêts. Elle se traduit par compartiment d'activité exclusivement dominé par l'Etat (différentes opérations de reboisement) et les organismes nationaux ou internationaux (Coopération Suisse, Coopération allemande, SAF FJKM etc....).

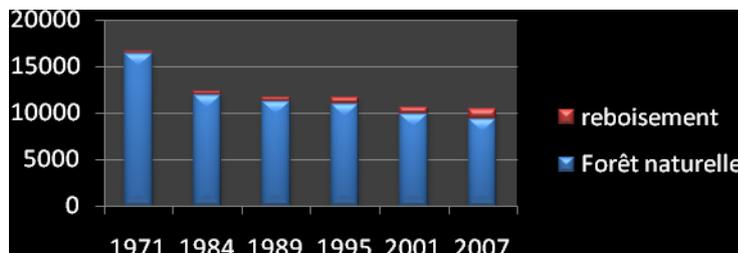


Figure n° 5: *Importance des surfaces forestières (en km²) de 1971 au 2007 d'après "analyse de la filière bois Malgache" 2008*

Le poste "Sylviculture" de la filière bois Malgache n'englobe donc, en fait, aucune activité précise. La forêt vouée à elle-même sert de source de prélèvement. Le comportement économique est encore au stade primitif de la cueillette, réduisant à pratiquement zéro l'activité de sylviculture.

Le défrichement, le plus destructeur, car la finalité de l'action aboutit à un stade irréversible pour la forêt, a détruit en moyenne entre 1975 et 1985 139 000 ha/an selon les statistiques officielles. Si l'on suppose que 50% des défrichements effectifs seulement sont recensés par l'administration, ce chiffre atteindrait près de 300 000 ha/an soit l'équivalent de la surface annuelle moyenne détruite entre la période de 1971 à 1985. Elle est concentrée dans la partie orientale de l'île (Toamasina, Antsiranana et Fianarantsoa) où se concentre plus de la moitié de la population Malgache. Le défrichement a détruit près de 4% de la ressource forestière globale entre 1985 et 1989 (année de l'évaluation du potentiel bois Malgache) soit près de 500 000 ha en 4 ans. Le défrichement est un phénomène lié à la démographie, mais il est avant tout un problème agricole.

Cependant, selon la production forestière recensée par le service forestier entre 1985 et 1989, on peut résumer la production dans le tableau qui suit :

Tableau 5: Résumé de la production de bois à Madagascar de 1985 à 1989. [18]

Production forestière	Pourcentage		Exemples
Production Bois d'œuvre	20,45%		Production de grume,...
Production Bois d'Énergie	79,04%	18,28%	Production de charbon
		60,76%	Bois de chauffage

b. L'exploitation forestière :

Elle se distingue par trois types de prélèvement : les permis de coupe à titre onéreux ou gratuit sur forêts domaniales, les permis de coupe non onéreux sur forêts privées et les permis d'exploiter qui se caractérisent par un débitage préliminaire en forêt.

c. La transformation du bois :

Le secteur de la transformation du bois est le plus mal connu de la filière. On ignore le nombre d'entreprise intervenant dans la transformation, il en est de même de leur mode d'organisation, de leur mode d'approvisionnement, du nombre d'intervenant dans chaque entreprise (nombre d'ouvriers, types de matériel utilisés, etc....).

Suivant un raisonnement théorique, on peut quand même avancer.

L'importance du pré-débit en forêt a favorisé la reconversion du secteur de la 1^{ère} transformation en une industrie de retraitement des bois débités. Les machines comme les dégauchisseuses et les raboteuses sont devenues les plus utilisées. Le compartiment de la 1^{ère} transformation devient l'ensemble des activités de retraitement du bois mais comme cela constitue un travail peu important chaque atelier qui comporte une dégauchisseuse ou une raboteuse comporte aussi divers matériels de menuiserie.

Le schéma général suivant donne un aperçu de la complexité du secteur de la transformation du bois à Madagascar : flux de bois dans la filière Malgache

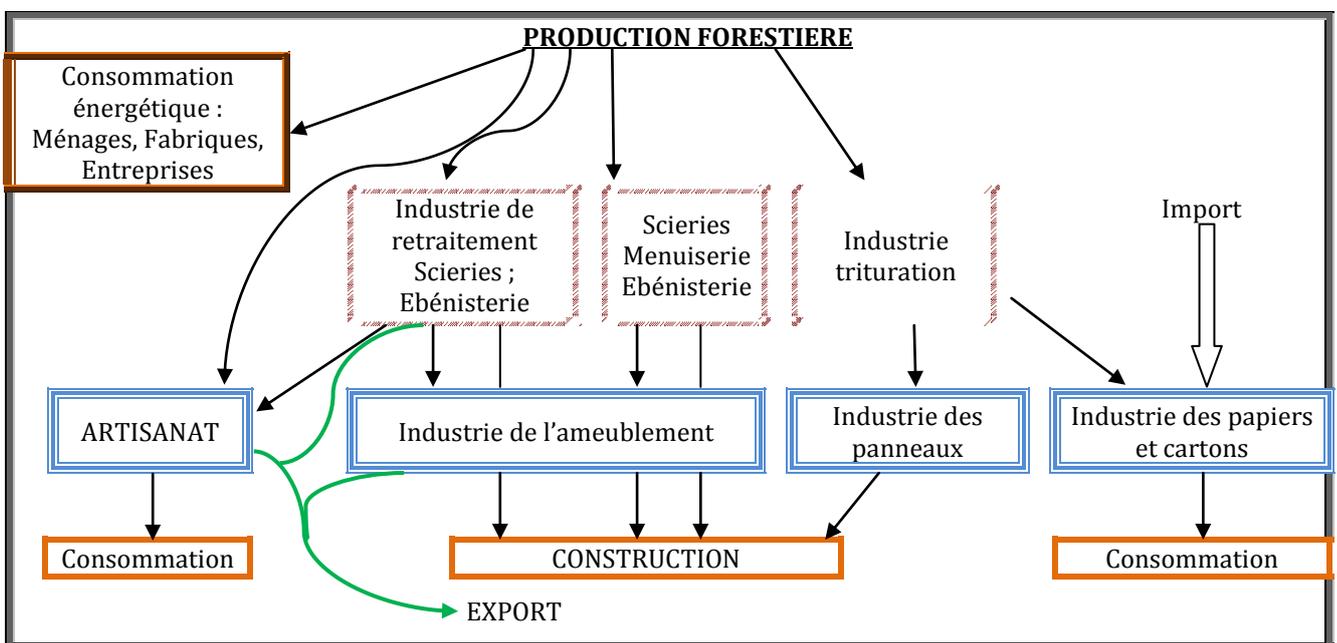


Figure n° 6: Flux de bois dans la filière Malgache.

Le secteur de la transformation du bois se divise probablement en trois ou quatre sous-filières distincts. Les sous filières grumes qui comprennent le circuit passant par l'industrie de trituration ou pressage et celui passant par l'industrie des sciages. Compte tenu de la production forestière recensée ces deux sous-filières ne sont probablement pas très importantes pour ne pas dire négligeable.

Les deux autres sous-filières sont constituées par les circuits passant par l'industrie de retraitement du bois et par ceux qui contournent cette industrie pour être utilisés directement par les artisans. Ces deux derniers sont assurément les plus importants tant en volume, en valeur ajoutée qu'en nombre d'agent économiques intervenant dans les filières.

Les industries du bois à Madagascar sont caractérisées par trois types bien distincts : les industries du sciage, les industries des panneaux et des contreplaqués, ainsi que l'industrie de la pâte du papier et des cartons.

✿ *Industrie de retraitement du bois*

Elle peut être scindée en deux : les scieries non mécanisées et qui sont donc constituées par les débitages à la scie de long ou à la hache en forêt et les scieries mécanisées.

✿ *Industrie de panneaux de fibres (PANOMAD) [18]*

Une seule unité de panneaux de fibres existe à Madagascar. Située dans une zone riche en plantations (Moramanga), l'usine intègre pour le chauffage des chaudières et pour sa production de panneaux 10 000 stères par an de bois. L'approvisionnement est assuré par les exploitants forestiers de la zone de Moramanga. Cette usine a été conçue pour satisfaire les besoins locaux relativement faibles et sa production est sur le marché local, sans aucune perspective d'exportation. D'ailleurs la société a déjà commencé à périlcliter.

✿ *Industrie de contreplaqués et tronçage (TIBMAD) [18]*

Un matériau contreplaqué est un matériau formé de minces feuilles de bois collées à contre-fil et compressées.

Une unité de production de placages et de contreplaqués existe à Madagascar à Antsirabe, dénommé TIBMAD (Transformation Industrielle du Bois à Madagascar), capable de produire 6000 m³ de panneaux de contreplaqués par an et 6000m² de tranchage par jour. Ils produisent aussi des matériels de production de cageots et d'emballages légers à agraffer.

✿ *Industrie de la pâte du papier et du carton (PAPMAD) [18]*

La seule et unique industrie de pâte à papier installée à Madagascar, la PAPMAD, ne constitue un débouché que pour le peuplement artificiel de Pins ou d'Eucalyptus. Elle utilisait tout au début de l'Eucalyptus grandis mais à cause de l'épuisement des ressources en cette espèce elle a dû se tourner vers le pin. Elle produit quatre types bien distincts : la pâte mécanique, la pâte mi-chimique, le papier et le cahier.

✿ *Entreprise de fabrication de planche: "MADAGASCAR BAMBOO" [S-01], [09]*

Jusqu'ici, c'est la seule entreprise exploitant le bambou géant : "Dendrocalamus Giganteus" se trouvant à Madagascar. L'entreprise se situe à Toamasina. Elle produit des parquets en bambou fusionné, avec languette et rainure, des planches utilisées dans la construction comme les parois de maison, les toitures, les clôtures, les soutiens de construction,...

III.2. Justification du choix sur Le bambou :

3.2.1. Les propriétés et caractéristiques des Bambous :

D'abord concernant l'espèce elle-même :

☞ Les bois de chaumes sont riches en silice, très durs, très résilients, flexibles. Leurs tailles peuvent atteindre plus de 10 mètres. Leur vitesse de croissance atteint 20 centimètres à 1 mètre par jour.

☞ Le bambou est une espèce qui résiste beaucoup au moulage. [S-01]

Ensuite, au niveau esthétique : son grain délicat, naturel ou ambre ton, permet une élégance distinctive en matières subtiles pour le plancher, le placage et les meubles.

Et au niveau environnemental, il l'améliore.

☞ En tant que végétal, le bambou est une plante organique autosuffisante qui ne nécessite ni pesticides, ni herbicides, ni engrais. Il stabilise la terre avec ses racines, empêchant l'érosion. Il séquestre des émissions de gaz à effet de serre et produit de l'oxygène. En fait, les plantations de bambou absorbent cinq fois plus de dioxyde de carbone et offrent en oxygène 35% de plus que l'équivalent des peuplements d'arbres. Il peut également servir d'habitat pour les oiseaux et les animaux. [S-04]

☞ Le bambou possède un système de racines considérables et du fait même se reproduit naturellement après la récolte, ce qui élimine l'interférence agricole menaçante telle que les tracteurs au diesel utilisés pour entretenir le sol et semer les graines.

☞ Il pousse vite : Le bambou n'est pas un arbre - c'est une herbe. Quand il est récolté, il ne doit pas être replanté, car il se développera une nouvelle pousse de son système racinaire étendu. Donc le bambou se renouvelle facilement, contrairement aux arbres feuillus, qui, une fois coupé, est définitivement révolue. Le bambou est une ressource renouvelable à l'infini. [S-03]

Puis, concernant la qualité des produits finis :

☞ Il est fort : Le bambou peut résister à beaucoup d'utilisation sans dommage. C'est plus fort même que le chêne, considéré comme le bois de feuillus les plus durables. Lorsque feuilleté, le bambou est presque aussi résistant que l'acier doux. Le bambou ne gonfle pas et ne se rétrécit pas comme feuillus, le rendant idéal pour les planchers et les meubles.

Et enfin, la concurrence :

- ☞ Localement, il est connu à nos jours certes, ici à Madagascar, que l'exploitation de bambou est en pleine expansion. Seulement, la plupart ne sont qu'artisanale (vannerie, meubles,...) ; une seule entreprise franche développe la filière en l'axant en tant que matériaux de construction. Or, on sait que le bambou est source de plusieurs autres produits intéressants pour le développement de ce pays comme il l'est pour d'autres déjà.
- ☞ Au niveau mondial, l'ouverture du marché ne fait que commencer.

3.2.2. Les bambous à Madagascar :

a. Historique de la taxonomie des bambous à Madagascar [01]

Madagascar est particulièrement riche en espèces de bambou comparé aux autres pays africains. Il possède 32 espèces endémiques réparties dans 10 genres. A lui seul, Madagascar compte beaucoup plus d'espèces que le continent africain réuni.

Kunth a commencé la description en 1829 mais il y a eu très peu d'études dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle : Munro a décrit 2 espèces en 1868. Au terme de la description par Camus en 1960, un total de 27 espèces a été décrit. Des années plus tard, d'autres révélations ont vu le jour.

b. Distribution : [01]

Les bambous de Madagascar sont distribués essentiellement le long des massifs centraux de l'île et dans la forêt humide de l'Est où les habitats naturels subsistent. La distribution de ces espèces selon les auteurs est donnée dans le tableau suivant. D'après leur estimation, dix espèces ont moins de 2 000 km² de forêt correspondant à leur habitat.

Tableau 6: Bambous de Madagascar et leur distribution.

ESPECES	Distribution	Habitat restant	Auteurs
Arundinaria			
<i>ambositrensis</i>	Ranomena (Ambositra), Ranomafana ; forêt, 1 300 m-1 400 m.	1 001-5 000 km ²	Et Tan 2000
<i>humbertii</i>	Andringitra ; forêt 2 000 m	0-500 km ²	
<i>ibityensis</i>	Ibity, rocailles 1 800-2 800 m		
<i>madagascariensis</i>	Tsaratana ; forêt moussueuse, 2 000 m-2 800 m	0-500 km ²	
<i>marojejyensis</i>	Marojejy ; forêt moussueuse, 2 000 m	0-500 km ²	
<i>perrieri</i>	Manongarivo, Vohiparara* ; forêt 1000 m	1 001-5 000 km ²	*Lin 1967
Cathariostachys			
<i>capitata</i>	Masoala et Mananara Nord ; forêt, 50-700 m	1 001- 5 000 km ²	
<i>madagascariensis</i>	Analamazaotra à Ranomafana ; forêt, 800-1 200 m	15 001-20 000 km ²	Et Tan 2000,
Cephalostachyum			
<i>chapelieri</i>	Analamazaotra, forêt de basse altitude		
<i>perrieri</i>	Mananara Nord, Ranomafana*, 900m		*Tan 2000
<i>viguieri</i>	Masoala à Analamazaotra, Ranomafana* ; forêt, 50-1 200 m	15 001-20 000 km ²	*Tan 2000
<i>spp</i>	Masoala, forêt, 50 m		
<i>Decaryochloa diadelpha</i>	Analamazaotra, forêt de montagne	1001-5 000 km ²	
Hickelia			
<i>alaotrensis</i>	Lac Alaotra ; forêt, 1 500m	5001-10 000 km ²	
<i>madagascariensis</i>	Haute terre ; forêt montagneuse, 1 000-1 600m, Ranomafana*		*Dransfield 1994
<i>perrieri</i>	Tsaratana, forêt montagneuse, 900-1 200 m	0-500 km ²	
Hitchcockella			
<i>baronii</i>	Andringitra et Manongarivo ; forêt montagneuse.		
Nastus			
<i>aristatus</i>	Manongarivo à Analamazaotra ; forêt montagneuse 900-1 200 m		
<i>elongatus</i>	Andringitra et Ranomafana, forêt montagneuse, 1 000 m	10 001- 15 000 km ²	Et Tan 2000
<i>emirnenis</i>	Analamazaotra, forêt montagneuse, 1 000 m	5001-10 000 km ²	
<i>humbertianus</i>	Andohahela	1001-5 000 km ²	
<i>lokohoensis</i>	Forêt de Lokoho	1001-5 000 km ²	
<i>madagascariensis</i>	Plaine centrale ; forêt	5001-10 000 km ²	
<i>manongarivensis</i>	Forêt de Manongarivo, 500-1 600 m	1001-5 000 km ²	
<i>perrieri</i>	Tsaratana , Vohiparara* ; forêt moussueuse, 1 700 m	1001-5 000 km ²	*Lin 1967
<i>tsaratananensis</i>	Tsaratana ; forêt moussueuse, 2 000 m	0-500 km ²	
<i>Perrierbambus</i>			
<i>madagascariensis</i>	Loky, Mahajanga, forêt sèche de basse altitude.	5001-10 000 km ²	
<i>tsarasaotrensis</i>	Tsarasaotra		
<i>Sirochloa*</i>		10 001-15 000 km ²	*Dransfield 2002.
<i>parvifolia</i>	Forêt littorale de la côte Est	10 001- 15 000 km ²	
Valiha			
<i>diffusa</i>	Marojejy à Ifanadiana ; forêt, espaces ouvertes, 50-500 m	15001-20000km ²	
<i>perrieri</i>	Andrafiarana (Antsiranana) ; forêt	1001- 5000 km ²	
<i>sp.</i>	Morondava; forêt sèche.	0 - 500 km ²	

Source : Dransfield 2003 sauf mention particulière.

c. Morphologie :

Les bambous de Madagascar sont de type sympodial (bambou cespiteux). Le rhizome est constitué de deux parties : le cou et le rhizome propre. Le cou peut-être court de quelques centimètres pour former une touffe dense, ou plus longue, de 40 cm à 4 m, pour former une touffe diffuse ou indistincte. Tous les types de port, dressé, semi dressé et grimpant se rencontrent chez les bambous de Madagascar.

d. Floraison :

La floraison n'est connue que par les dates où des spécimens ont été collectés. On ignore ce qui s'est passé pendant les années où il n'y a pas eu de collecte de spécimens. Les périodes de floraison, longue de 5 ans étaient espacées de 50 ans. *Cephalostachyum viguieri* a été observée en fleur dans le Parc National Ranomafana en 1997 et les bambous ont périés trois mois après le pic de la floraison en mars 1998.

e. Écologie :

Tan (2000) fournit quelques éléments de biologie de bambou dans son étude sur les lémuriniens de bambou au Parc National Ranomafana. Elle a observé la pousse des bambous qui a atteint son maximum aux mois de janvier et de février au moment de son étude (observation de novembre 1998 à octobre 1999). Elle a noté que la pousse de bambou démarre généralement avec la saison de pluie de la mi-novembre à décembre.

f. Domaine d'application :

L'intervention des bambous dans la vie quotidienne des Malgaches ne date pas d'hier. Une maison entière peut être construite à partir des bambous : le toit, le mur, la porte, les palissades, le parquet et le plafond. A l'intérieur, les bambous sont aussi utilisés pour les ustensiles de cuisines, les meubles et les instruments de musique comme la flûte (*sodina*), le hockey en tuyau et la cithare sur tuyau (*valiha*). En agriculture, les bambous sont utilisés comme canaux d'irrigation, des paniers (*garaba*) pour le transport des produits.

La consommation des pousses des bambous n'est pas encore très répandue même si quelques communautés savent que les pousses de certaines espèces sont comestibles.

Les bambous jouent également un rôle clé dans la conservation en abritant des espèces endémiques menacées d'extinction à très haute valeur de conservation telles que les lémuriniens de bambou du genre *Hapalemur* et la tortue *Geochelone yniphora*.

III.3. Intérêt de l'étude :

L'homme a toujours utilisé une grande variété de produits provenant de la forêt. Pourtant, le développement de l'aménagement forestier s'est focalisé sur le bois d'œuvre, marginalisant les autres produits. L'intérêt pour les produits forestiers ligneux est relativement récent. Les recherches y afférentes sont encore en développement. Cette étude est focalisée sur le bambou, un produit forestier non ligneux très utilisé.

3.3.1. Dépendance de Madagascar aux ressources naturelles :

Bien qu'étant un pays de "méga-biodiversité", Madagascar, est aussi connu pour l'ultime pauvreté de sa population. D'après le Document Stratégique pour la Réduction de la Pauvreté (DSRP 2003), le revenu de l'économie malgache dépend directement des ressources naturelles pour au moins 50%.

3.3.2. Objectifs de l'étude :

Les bambous constituent une ressource d'intérêt général. Ils intéressent les écologues et sont également très importants pour la vie socio-économique de la communauté locale.

Objectifs spécifiques :

Ce travail est élaboré afin de valoriser le bambou géant du genre de l'espèce de "Dendrocalamus Gigantius" et/ou aussi du "Phyllostachys Viridis" en tant que:

- Matériaux de construction comme : poutre, madrier et parquets et même planchers.
- Charbons de bois, charbons actifs, savon et vinaigre de charbon de bambou.
- Briquette combustible.

D'ailleurs, les parties du bambou qui ne conviennent pas pour les constructions sont utilisés pour de nombreux autres produits, comme l'artisanat, tapis,... Bien que le bambou soit en croissance rapide et renouvelable, on doit toujours être engagé à utiliser chaque tige de bambou, sans gaspillage.

III.4. Conclusion partielle :

Ainsi donc, on peut dire que la filière bois à Madagascar n'a jamais atteint son apogée. Elle est toujours en phase de croissance. Elle ne s'oriente pas trop dans l'exportation mais souvent pour l'approvisionnement local à défaut de la qualité du produit fini et du pouvoir d'achat des consommateurs cibles. C'est pourquoi, la pratique de la transformation du bambou est prépondérante et attire l'attention en ce jour.

Partie II :

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Élaboration de matériaux de construction :

Depuis 1992, seulement dans les pays asiatiques, le parquet de bambou, un matériau de construction interne utile, a été fabriqué à partir de la matière première *Dendrocalamus Giganteus* et/ou du *Phyllostachys Pubescens*, *Phyllostachys Viridis*, faisant partie des plantes à croissance et régénération rapides. Cette espèce de bambou est exploitée après trois à quatre ans et se régénère immédiatement après la récolte. Par sa structure de cellule extrêmement dense, ces espèces surpassent toutefois en fermeté et en élasticité, les bois de chêne, de peuplier et d'autre encore.

Une des raisons du choix du bambou en matériaux de construction consiste sur le fait qu'il soit un matériel écologiquement performant. En tout cas, une équipe hollandaise a comparé l'empreinte écologique de l'acier, du béton, du bois local et exotique, et du bambou - importé du Costa Rica - pour des constructions aux Pays-Bas. C'est l'empreinte du bambou qui est la moins importante.

I.1. Généralités :

1.1.1. But :

Ce travail a pour objectif de réduire la déforestation à Madagascar ainsi que ses inconvénients et de proposer un habitat écologique au Malgache.

1.1.2. Principe :

Il consiste à offrir des matériaux de construction à base de plante - qui est le bambou "*Dendrocalamus Giganteus*" - avec des propriétés prodigieuses, efficaces et durables, tout en veillant sur l'environnement.

P.S: La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-Glucose (entre 200 et 14 000), qui est un principal constituant des végétaux et en particulier de la paroi de leurs cellules. Celui-ci est présent dans le bambou. Il est le responsable principal des fentes qui apparaissent sur les bambous.

1.1.3. Les matières premières :

a. *Le bambou : “Dendrocalamus Giganteus”*

C'est une espèce de bambou géant présent dans la région Est et Sud-Est de Madagascar (littorale Est) en abondant et surtout à l'état sauvage. Concernant ses dimensions, on a métré que son épaisseur est de 16 mm environ, alors que son diamètre est dans les 175 mm en moyenne.

b. *Les produits pour les traitements :*

- Les préservants chimiques (pour la cure) : solutions de peroxyde et de formol.
- Les colles : pour l'assemblage.
- Solution retardateur de feu
- Vernis hydrofuge

1.1.4. Expériences au laboratoire :

Elle se résume à la mesure comme le pesage, le séchage, et aussi la carbonisation ainsi que les préparations des solutions.

a. *Préservant chimique : composition à base de cuivre et d'acide acétique [02]*

⊕ *Matériels utilisés :*

- Bidon de 10 litres ;
- Une louche (sous forme de spatule).

⊕ *Produits utilisés :*

- 9 litres d'eau
- 145 g de cristaux de sulfate de cuivre
- 125g de dichromate de sodium
- 6g d'acide acétique

⊕ *Mode opératoire :*

Dissoudre dans l'eau (contenue dans le bidon) les cristaux de sulfate de cuivre, un chauffage s'impose si nécessaire. Une fois fait, introduire le dichromate de sodium jusqu'à homogénéisation, ensuite verser l'acide acétique petit à petit. Et enfin bien mélanger. Éviter la brûlure de l'acide.

b. Retardateur de feu: [02]

Les risques d'incendies sont dus à la vitesse de propagation du feu. C'est pourquoi l'importance des retardateurs.

⊕ Matériels utilisés :

- Un récipient ;
- Une spatule.

⊕ Produits utilisés :

- Phosphate di-ammonium : retardateur chimique au feu ;
- Fluorure de sodium : insecticide et fongicide ;
- 14% du mélange de cette solution mixé dans de l'eau

⊕ Mode opératoire :

Préparer la solution chimique de phosphate di-ammonium et de fluorure de sodium à une proportion 70/30. Bien mélanger. Puis verser dans de l'eau 14% d'une solution pré-mixé.

c. Vernis hydrofuges: [07]

Des vernis hydrofuges sont nécessaires car les retardateurs sont inefficaces après le ruissellement d'eau et des pluies.

⊕ Produits utilisés :

- Oxyde de zinc ;
- Acétate de polyvinyle;
- White spirit ou essence de térébenthine.

⊕ Mode opératoire :

Préparer l'oxyde de zinc dans un récipient, puis verser petit à petit l'émulsion d'acétate de polyvinyle jusqu'à homogénéisation. Ajouter le white-spirit en quantité suffisante pour avoir une consistance approprié. Et enfin, stocker le vernis dans un récipient étanche à l'air.

I.2. Préparation de la matière première :

Livré aux intempéries, aux changements d'humidité et à l'action d'organismes végétaux et animaux, le bambou une fois coupé, de même que le bois, s'altère, pourrit et finalement se réduit en poussière. Pour éviter que ces organismes ne se développent et se propagent, il est nécessaire de préparer ces bambous destinés à la construction. Pour ce faire, on les soumet à un traitement de conservation depuis le moment de la coupe des tiges jusqu'à l'utilisation finale.

Ce traitement comprend une série de soins et d'opérations physiques et chimiques dont l'ordre est le suivant :

1.2.1. COUPE :

L'âge est en effet celui qui détermine la dureté, la résistance physique et mécanique du bambou. Pour couper le bambou on utilise une machette ou une scie. La coupe doit se faire le plus possible au ras du premier ou du second nœud à partir du niveau du sol et juste au-dessus de celui-ci.



Photo 7: Choix et Coupe de Bambou Géant: *Dendrocalamus Gigantius* à Toamasina. [S-01]

Le bambou, une fois coupé, en particulier la tige jeune ou moins de trois ans, est attaqué par des insectes xylophages comme le *Dinoderus minutus*, qui, attiré par les dépôts d'amidon dans la paroi de la tige, y creuse de longues galeries et rend le bambou inutilisable.

Le **dinoderus** fait partie de la famille des **Bostrichidea** qui comprend une douzaine d'insectes parmi lesquels on peut citer : *Rhyzopertha dominica*, *Lyctoderma africanum*, *Scolyptus destructor* et l'*Hylaster ater*.

Il faut savoir qu'on diminue les risques d'attaque par les insectes en abattant les bambous lorsque sa teneur en amidon est la plus faible, c'est-à-dire au début de la saison froide.

1.2.2. CURE :

Pour prolonger la durée de vie du bambou et lui permettre de résister mieux aux insectes et aux champignons, il convient de le soumettre soit à une cure, qui réduira ou décomposera l'amidon qu'il contient, soit à un traitement à base de préservants chimiques contre les champignons et les insectes.

La cure est moins efficace que le traitement avec des préservants, mais étant donné son coût faible ou nul, c'est ce qui est le plus utilisé dans les zones rurales. Il existe plusieurs formes de cure : cure de l'arbre, cure par immersion dans l'eau, cure à la chaleur et à la fumée, cure chimique.

👉 CURE CHIMIQUE :

C'est celle qui nous intéresse car elle nous permet de gagner du temps en plus du fait que c'est la plus efficace bien que l'emploi des préservants est assez coûteux au niveau de l'achat de ces produits pour les utilisateurs individuels.

Étant donné la dureté et l'imperméabilité de la partie externe du bambou, les insectes pénètrent par les extrémités et dans certains cas par les nœuds. Il est pour cela beaucoup plus efficace de faire pénétrer le produit chimique par les extrémités que de l'appliquer extérieurement avec un pinceau ou un vaporisateur. Plusieurs méthodes sont donc employées pour cela comme celle par capillarité, par capuchonnage ou la méthode boucherie, l'immersion, et la fumigation.

👉 *La fumigation:*

Les tiges sont placées dans une enceinte contenant des vapeurs abondantes de méthyle, de bromure d'éthylène, d'acide sulfurique. Le traitement est efficace mais d'un coût important.[07]

👉 *L'immersion :*

C'est le procédé le plus efficace quant à l'adhésion de la protection et le non gaspillage des produits de traitement. On range pour cela les troncs horizontalement ou verticalement à l'intérieur d'une citerne avec le liquide traitant pendant un minimum de 12 heures.

Le temps d'immersion peut être réduit si on procède à l'enlèvement de la peau extérieure et à la perforation des cloisons nodales. La température du bain doit être de 90°C environ, après quoi on laisse le bain se refroidir. Si l'immersion du bambou dans l'eau prolonge la durée de vie de celui-ci, l'efficacité du procédé varie selon les espèces.

Pour tout dire, l'immersion est une méthode comparable au trempage pour améliorer les qualités physico-mécaniques du bambou surtout si les peaux extérieurs sont ôtées.

I.3. Schéma de procédé de fabrication de planche de bambou:

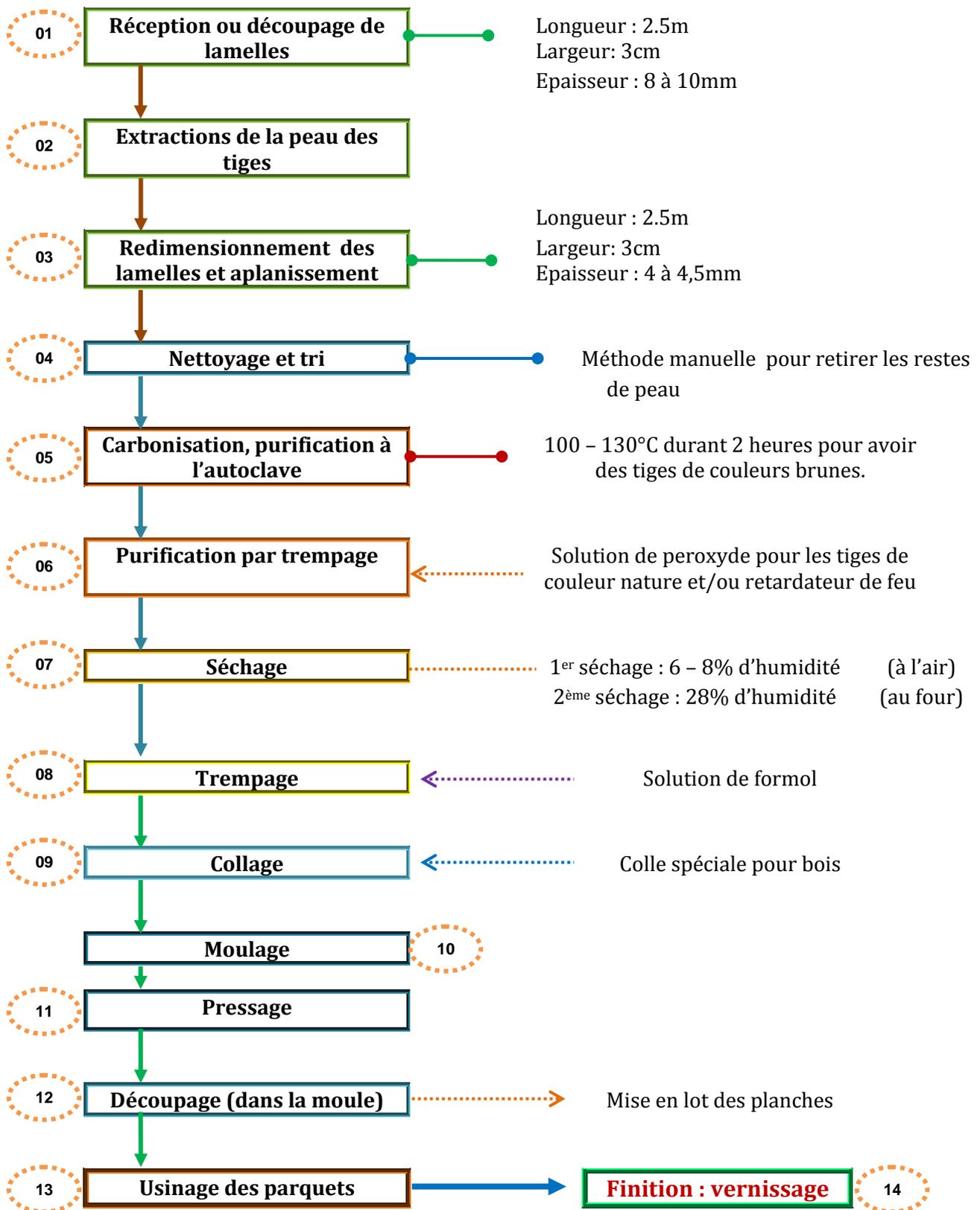


Figure n° 7 : Schéma de procédé de fabrication de parquet et de plancher de bambou

1.3.1. Dimensionnement :

Suite à la coupe, les tiges de bambou géant âgés de quatre à cinq ans minimum sont découpées et lamellées en fine lame de 2500 x 30 x 8 à 10 mm. Après que les peaux des chaumes soient extraites des tiges, ces derniers seront uniformisés subséquentement le nettoyage et triage afin que l'épaisseur soit entre 4 à 4,5 mm le long de la tige (y compris les nœuds).

Seulement, comme on est à l'échelle laboratoire, on prendra comme dimension : **200 x 250 x 15 mm** qui sera **200 x 250 x 10 mm** après aplanissement.

1.3.2. Carbonisation et purification :

Afin de veiller à l'esthétique de la couleur finale des matériaux de construction en bambou, la carbonisation doit bien être maîtrisée. Cette dernière peut être sautée si on souhaite une couleur naturelle et non caramélisée. D'ailleurs, la purification consiste à ôter toute impureté présente dans les lamelles à l'aide des solutions de peroxyde. De plus l'usage d'une solution anti-feu juste après est un atout.

1.3.3. Séchage et trempage :

Quant à la maîtrise des retraits, le contrôle du séchage ne doit point être délaissé. C'est pourquoi, il s'étale en deux étapes :

- Séchage à l'air : qui ôte 6 – 8% de l'humidité ;
- Séchage au four ou à l'étuve dans notre cas : qui ôte 28% de l'humidité.

Suite à cela, les lames sont de nouveau trempées dans une solution de formol puis séchées afin d'augmenter son imprégnabilité pour l'étape suivante.

1.3.4. Collage, moulage et pressage :

Avant d'entamer la suite, un triage des lames, suivant leur coloration, s'impose.

Les lamelles de même catégorie sont noyées dans une solution de colle liant spéciale durant une période donnée. Il est à noter que les excès sont inacceptable, ainsi il faut les récupérer en inclinant l'ensemble.

La mise en moule se fait juste après avoir corrigé la teneur colle-lamelle. Il faut noter que ce moule est une des pièces maitresses du dimensionnement des appareillages à utiliser et dépend de celle du produit fini désiré. En tout cas la dimension du moule va de paire avec celle de la presse.

Le temps de prise de la colle est de deux jours au maximum, donc, il faudra en prendre compte lors de la mise sous presse.

1.3.5. Découpage et usinage :

Au sujet du découpage, il se fait dans le moule lui-même. Il consiste à avoir la longueur selon le produit cible. Par contre, l'usinage, il consiste en un travail de menuiserie, c'est-à-dire au niveau de la forme, des largeurs et des épaisseurs.

Pour faire court, c'est cette étape qui décide, si c'est un parquet, une planche, une poutre ou un madrier.

1.3.6. Finition :

En un mot, elle consiste à procéder au vernissage. Suite à l'usinage, le produit est mis sur un plat sur lequel, on pulvérise divers strates de vernis qui sera séché par de la vapeur sec.

I.4. Les matériels et les dispositifs expérimentaux :

L'utilisation du bambou, pour la construction, exige que les tiges soient refendues avec soin.

1.4.1. La re-fente du bambou pour le dimensionnement :

a. Outils et matériaux :

- Barres de fer ou de bois dur (2.5 cm d'épaisseur) ;
- Hache ;
- Coins d'acier ;
- Poteaux de bois ;
- Scie électrique.

b. Détails :

Pour fendre un gros bambou, on fabriquera une croix avec des barres d'acier ou de bois dur d'environ 2.5 cm d'épaisseur et on la fixera sur des poteaux solidement enfoncés d'environ 10 cm d'épaisseur et 90 cm de haut. Au sommet de la perche on fera deux paires d'entailles avec une hache, à angle droit l'une de l'autre. On maintiendra les entailles ouverte à l'aide de coins d'acier jusqu'à ce que la perche soit enfilée sur la croix. Pousser et tirer la

perche jusqu'à ce qu'elle soit complètement fendue par la croix. On peut utiliser un simple coin d'acier monté sur un poteau pour refendre les quatre lattes que l'on obtient de la sorte.

Pour avoir des lattes aux cotés bien parallèles, on peut utiliser une paire de coins solidement fixés, dont les lames sont légèrement plus rapprochées que l'arrière.

Par la suite, les lattes sont sciées électriquement pour avoir les dimensions des lamelles désirées.

1.4.2. Épluchage, carbonisation et purification du bambou :

a. Épluchage de la tige de chaume :

L'extraction de la peau des tiges de chaume de bambou se fait manuellement à l'aide d'une machette sans oublier de respecter l'épaisseur demandée.

b. Carbonisation et purification des lamelles de bambou :

Comme on l'a déjà énoncé auparavant, la carbonisation est nécessaire pour teinter le produit. Et concernant les impuretés, des méthodes sont élaborées :

- Soit durant la carbonisation, on bouillit les lames avec des produits chimiques préservatifs pour éliminer toute impureté, pendant laquelle on les maintient entre 100 à 130°C pendant deux (2) heures dans un autoclave.
- Soit on procède par une purification par trempage dans une solution de peroxyde durant 2 à 3 heures pour les tiges de couleur nature (non teintée).

Faute d'autoclave, on adaptera la carbonisation au four à l'échelle laboratoire.

1.4.3. Trempage et séchage:

Il est connu que l'utilisation des solutions préservants et un séchage correct rendent le bambou beaucoup plus résistant à l'attaque des insectes.

Le séchage que l'on a appliqué se fait en deux étapes. Le premier est à l'air, dont la température est aux environs de 20°C face au soleil afin d'éliminer une partie de l'humidité. Le second est à l'étuve à une température 105°C durant une période déterminée, vu que c'est à l'échelle laboratoire.

Concernant le trempage, avant le séchage, il se réalisera avec une solution de peroxyde de concentration minime pour éliminer le reste d'impureté qui pourrait attirer les insectes ainsi que favoriser le développement des champignons. Puis après le séchage, un

autre trempage avec du formol est conçu afin d'assurer la protection contre les intempéries ainsi qu'améliorer les caractéristiques physico-mécaniques du produit.

♣ **Étuvage :** Il consiste en un séchage du bambou en utilisant des séchoirs spéciaux qui permettent d'injecter de la vapeur sous pression dedans. Ce procédé permet à la sortie du séchoir de fournir une lamelle indemne de tout germe cryptogamique (champignons). De même, tout début d'attaque par des insectes xylophages est enrayé.

♣ **Trempage :** Comme son nom l'indique, c'est une immersion des pièces dans des bacs divers ; c'est un procédé efficace et commode qui consiste à tremper les morceaux de bois de bambou dans des solutions fongicides et insecticides. Il nécessite des bacs de grandes dimensions, contenant de produits qui sont différents en fonction des risques à protéger.

De nombreux facteurs influencent la qualité du trempage comme : la concentration des produits de traitement, la période d'abattage, son humidité ainsi que la durée du trempage.

♣ **Traitement autoclave :** Ce traitement consiste à mettre les lames dans des cuves spéciales remplies de produit qui est mis sous forte pression, chauffé dans certains cas.

Ce traitement qui est le meilleur, en fonction des produits utilisés, et offre une quasi-imputrescibilité même pour des bois de qualité moyenne.

Exemple : les traverses de chemin de fer, les poteaux télégraphiques. On peut y traiter avec des produits offrant une bonne esthétique, des pièces en résineux très jeunes comme le bambou.

1.4.4. Assemblage des bambous :

a. Lamellé – Collé :

Suite au traitement de préservation, juste avant celui de la protection, on procède à quelques étapes qui sont nécessaires pour l'assemblage des lamelles afin d'obtenir les produits finis.

■ **Collage :** Il consiste à submerger les lamelles préparées de colles spéciales pour bois durant un délai bien déterminé selon le temps de prise de la colle elle-même. Les excès de colles ne sont pas tolérés.

■ **Moulage et Pressage :** Il convient de les énoncer ensemble vu que le moulage se fait juste avant le séchage de la colle et suivi directement du pressage pour assurer la prise de celle-ci. Du côté de la presse, une presse mécanique de laboratoire y fut utilisée. Le pressage est utile afin d'augmenter l'imprégnabilité de la colle et la compacité du matériau.

■ **Découpage** : Comme nous ne sommes qu'à l'échelle laboratoire, celui-ci est équivalent à un démoulage qui ne nécessite que la pesanteur après la prise de la colle ; mais à l'échelle industrielle, il demandera surement une scie électrique.

b. L'usinage :

C'est une des pièces maitresses de cette partie de valorisation du bambou. C'est aussi la mise en forme et la mise en valeur du matériau. C'est là qu'interviennent les menuisiers pour faire des découpes, des sciages afin d'avoir soit des poutres, des madriers, soit des planches et des parquets.



Photo 8: Parquet de Bambou après usinage (carbonisé et non carbonisé).

I.5. Étude comparative de la qualité et analyse caractéristique des produits :

1.5.1. Propriétés physiques et mécaniques :

Les propriétés physico-chimiques d'un matériau de construction se déterminent au moyen d'essais de laboratoire sur la base de normes établies par l'A.S.T.M (American Society for Testing Matériaux) : depuis 1902 cet organisme est chargé de systématiser les méthodes d'essai des différentes sortes de matériaux, parmi lesquels figure le bois mais non le Bambou. [07]

En l'absence de normes s'appliquant à l'étude des propriétés physico-mécaniques du bambou, la plupart des chercheurs ont basé leurs travaux sur les normes de l'A.S.T.M concernant le bois, en tenant compte des nombreuses différences qui existent entre les deux matériaux.

Des données importantes du bambou comme par exemple son âge avant la coupe, qui a une grande influence sur le comportement des matériaux, ne peuvent être omises durant l'expérience pour déterminer ses caractéristiques.

a. Propriétés physiques :

a.1. Taux d'humidité :

Le bambou que l'on vient de couper contient une grande quantité d'eau ou sève qui se présente sous deux formes : celle d'eau "libre" à l'intérieur des cavités de la tige et celle d'eau "liée" ou de saturation contenue dans les parois des cellules.

Lors du séchage c'est l'eau libre qui disparaît la première puis c'est le tour de l'eau de saturation. A la fin de la première phase on dit que l'humidité se trouve au "point de saturation des fibres", c'est-à-dire que le bambou ne contient plus que l'eau liée.

Dans le bois, l'eau retenue dans les parois cellulaires varie entre 0 et 30% (25-35%), mais dans le bambou la part de l'eau de saturation est plus faible et fluctue entre 0 et 19% (16-22%), selon les études réalisées sur des espèces tropicales. Ceci signifie que le point de saturation des fibres dans le bois correspond à 30% d'humidité et pour le bambou à 20%.

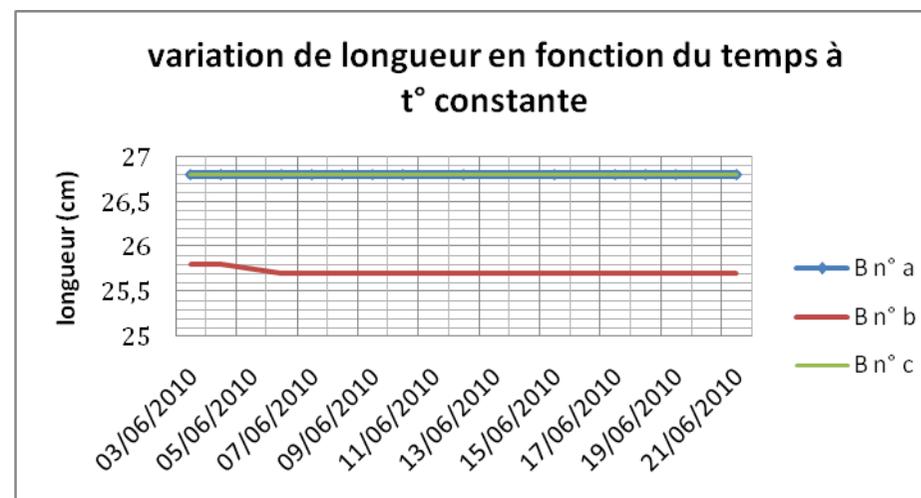
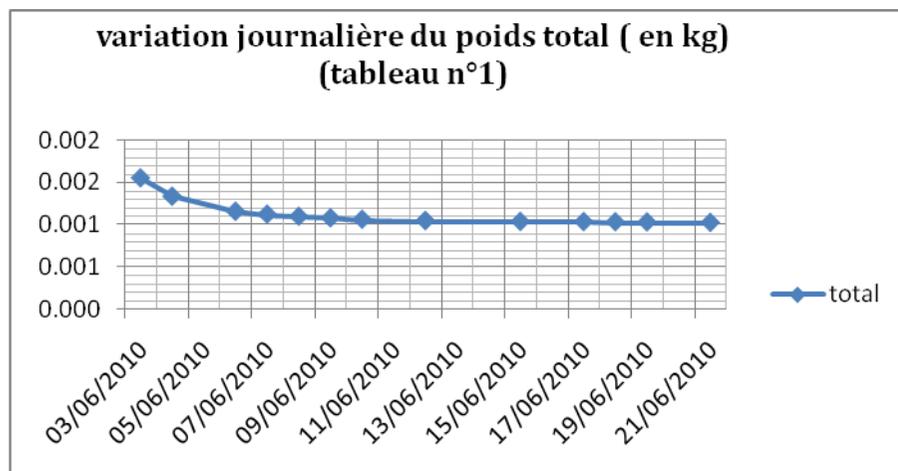


La rétractibilité :

A mesure que son eau de saturation diminue, ses propriétés mécaniques s'améliorent ainsi que sa résistance à l'attaque des champignons mais parallèlement des retraits dans le plan radial, tangentiel et axial commencent à apparaître. Le retrait le plus fort se présente dans le plan radial, il est moins important dans le sens longitudinal. La relation entre les déformations radiale, tangentiel et axiale est de 1/0,6/0,07.

Ce dernier fut vérifié au laboratoire et on a les résultats qui suivent :

Date	03/06/10	04/06/10	06/06/10	07/06/10	08/06/10	09/06/10	10/06/10	12/06/10	15/06/10	17/06/10	
Heure	16:40	10:59	15:50	10:33	12:50	10:00	11:55		10:16	08:54	15:31
Bambou N°	Poids (Kg)										
a	0,101	0,084	0,069	0,066	0,065	0,064	0,063	0,063	0,063	0,062	0,062
b	0,099	0,092	0,088	0,088	0,087	0,087	0,086	0,086	0,085	0,085	0,085
c	0,100	0,084	0,071	0,069	0,067	0,067	0,066	0,066	0,065	0,065	0,065
Total	0,300	0,260	0,228	0,223	0,219	0,218	0,215	0,215	0,213	0,212	0,212
Bambou N°	Longueur (cm)										
a	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
b	25,8	25,8	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	
c	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8





De plus, on a observé le retrait du bambou *Phyllostachys Pubescens* de Madagascar (Toamasina), après séchage à l'air et au four, et obtenu les pourcentages suivants :

Tableau 8: étude de retrait du *Phyllostachys Pubescens* et/ou *Viridis*.

Sens du retrait	Mode de séchage	Face externe %	Face interne %
Tangentiel	à l'air	13	6
	au four	1,4	1,8
Radial	à l'air	20	10
	au four	6,5	3,0
Longitudinal	à l'air	1,3	0,6
	au four	0,5	0,3
Condition opératoire	5 jours, à 20°C (à l'air) - 105°C pendant 5 jours (au four)		

En conséquence, il n'est pas recommandé d'utiliser des bambous verts ou non séchés dans la construction de structures permanentes, car le retrait des tiges risque d'entraîner le relâchement des liens d'assemblage.

On dit que le bambou devient plus résistant à mesure qu'il sèche. Selon Sekhar et Rawat (1956) la résistance des bambous séchés artificiellement augmente entre 40-60%. Cette augmentation est supérieure pour les bambous jeunes que pour les vieux. C'est la raison pour laquelle on insiste sur la sélection de l'âge de coupe et le séchage à l'air ainsi qu'au four. [07]

a.2. Caractéristiques hygroscopiques :

Le bambou, de même que le bois, est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il a la faculté d'absorber et de libérer de l'humidité sous forme de vapeur. Grâce à cette propriété, le bambou sec absorbe la vapeur d'eau d'une atmosphère humide jusqu'à atteindre son équilibre hygroscopique par rapport à l'humidité relative et à la température de l'air ambiant. Comme nous l'avons expliqué récemment, la teneur en eau joue un rôle important dans les caractéristiques du bambou.

On peut observer ce phénomène à travers les résultats des expériences réalisées avec des lattes provenant de deux espèces de bambou : *Phyllostachys Pubescens* et *Phyllostachys Viridis*; ces lattes ont permis de tester l'influence de l'humidité sur la résistance du matériau à la traction, à la compression et à l'effort tranchant, avec les résultats suivants :

Tableau 9: étude de la résistance du bambou géant.

Position	Résistance à la :		Teneur en eau (%)
Parallèle au sens de la fibre	Traction	Maximale	5-15
Dans un bambou anhydre ou séché au four		Maximale	>16
		Constante	<16
Parallèle à la fibre	Effort tranchant	Constante	>Point de saturation
		Diminue	>08
		Maximum	8

a.3. Densité et poids spécifique :

La densité est le rapport entre le poids et le volume d'un corps. Le poids du bambou se compose du poids de sa partie solide en plus du poids de l'eau qu'il contient. De même que pour le bois, on distingue quatre types de densités :

- La densité verte (DV) qui est le rapport entre le poids et le volume du bambou frais.
- La densité après séchage à l'air (DSA) qui se calcule à partir du poids et du volume du bambou séché à l'air.
- La densité anhydre (DA) qui est le rapport entre le poids et le volume du bambou séché au four.
- La densité de base (DB) qui correspond au rapport entre le poids du bambou séché au four et le volume du bambou vert.

Le poids spécifique (P_e) est le rapport entre le poids du bambou avec un certain pourcentage d'humidité et le poids du volume d'eau contenu dans le volume du bambou. Sachant que la densité de l'eau est égale à 1, la densité du bambou est ainsi égale à son poids spécifique. D'autre part, la gravité spécifique est équivalente au poids spécifique.

Voici la valeur moyenne du poids spécifique et les densités de l'espèce de bambou que l'on a:

Tableau 10: Détermination du poids spécifique et de la densité de l'espèce de bambou considérée.

<i>Essai n°01</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		14,06	12,65	10,71
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	126,66	109,33	109,33
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		1 jour à l'air	1 jour à 105°C	
<i>Essai n°02</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		13,47	10,88	9,21
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	116,38	94	94
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		2 jours à l'air	2 jours à 105°C	
<i>Essai n°03</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		12,85	10,22	8,65
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	111,03	88,33	88,33
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		2 jours à l'air	1 jour à 105°C	
<i>Essai n°04</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		12,80	9,99	8,45
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	110,60	86,33	86,33
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		5 jours à l'air	5 jours à 105°C	
<i>Essai n°05</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		12,77	9,91	8,38
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	110,33	85,56	85,56
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		13 jours à l'air	13 jours à 105°C	
<i>Essai n°06</i>	<i>DV</i>		<i>DSA</i>	<i>DA</i>	<i>DB</i>
Densité	15,96		12,76	9,87	8,35
<i>Masse (g)</i>	3990	162,95	110,25	85,33	85,33
<i>Volume (cm³)</i>	250	10,21	8,64	8,64	10,21
<i>Condition opératoire</i>	Après la coupe		20 jours à l'air	20 jours à 105°C	

b. Caractéristiques mécaniques :

b.1. Résistance à la traction :

Ces essais se font à partir des lattes de formes et de dimensions spéciales obtenues en découpant des tronçons de tige dans le sens de la longueur ou du rayon. Nous indiquons ci-après quelques-unes des valeurs minimales et maximales obtenues lors des essais à la traction sur différentes espèces de bambou:

Tableau 11: Borne de la résistance à la traction du bambou géant.

Zone	Résistance à la traction Kg/cm ²	Élongation : coefficient de déformation des fibres
Externe	3 068 – 3 843	1 / 310 000
Interne	1 353 – 1 947	1 / 110 000

De tels résultats démontrent que la partie externe de la paroi de la tige est deux fois plus résistante que la face interne.

Sachant que le module d'élasticité à la traction de l'acier est de 2 100 000 Kg/cm², celui du bambou varie entre 42 186 Kg/cm² pour le *Bambusa arundinacea* et un maximum de 365 000 Kg/cm² pour la *Bambusa tulda*, d'après les calculs réalisés par Heck en 1956. [07]

b.3. Résistance à la compression :

Pour les essais à la compression parallèle à la fibre, nécessaire pour les poutres, on teste à la fois des sections du sommet, de la base et de la partie moyenne des tiges, avec et sans nœud, vertes ou séchées au four. La hauteur de l'échantillon ne doit pas être supérieure à dix fois l'épaisseur de la cloison. Sont citées ci-dessous quelques valeurs de résistance à la compression du bambou, provenant de quelques essais au bloc technique universitaire d'Ankatso – Antananarivo MADAGASCAR.

Lors de ses essais de compression, on a utilisé des sections de tige et des lattes d'une même espèce pour obtenir les résultats suivants sur des échantillons avec ou sans nœud au centre alternativement :

Tableau 12: Résistance à la compression de différentes sections de tiges et de lattes de bambou.

ESPECE	Nœuds	RESISTANCE A LA COMPRESSION en Kg/cm ²	
		Section de tige	Lattes
<i>Bambusa vulgaris</i>	Sans	583	641
	Avec	582	483
<i>Bambusa arundinacea</i>	Sans	390	386
	Avec	380	250
<i>Bambusa tulda</i>	Sans	723	758
	Avec	696	637
<i>Dendrocalamus strictus</i>	Sans	540	471
	Avec	528	373

Source : Auteur.

Pour les essais à la compression orthogonale à la fibre, nécessaire pour les parquets et madriers, on teste à la fois les épaisseurs et les largeurs des lamelles, collées ou non, séchées à l'air ou au four. La hauteur de l'échantillon ne doit pas être supérieure à vingt fois

l'épaisseur. Le tableau 11 cite quelques-uns des valeurs de ce genre de résistance à la compression du bambou, provenant également des essais au bloc technique universitaire d'Ankatso – Antananarivo MADAGASCAR.

Tableau 13: Étude comparative des Résistances du bambou vis à vis des autres essences.

Espèces	Bois blanc	Varongy rouge	Fameloha	Palissandre	Bois précieux (autre)	Bambou n°1	Bambou n°2	
État	S	S	S	S	S	S	LC	
L x l x e (mm)	200x24x10	200x24x10	200x24x10	200x24x10	200x24x10	200x21x8	200x21x14	
Masse (g)	33	43	44	37	39	29	55	
Force (N) nécessaire pour une compression suivant	e	3320	3400	4480	3100	4200	1800	5200
	l	1780	2700	2360	1900	2200	1260	4400
Flèche (mm) suivant	e	4	2	2	4	13	3	3
	l	4	9	3	5	6	12	3.5

LC : lamellé-collé

S : simple

e: épaisseur

l: largeur

L : longueur.

Le défaut de résistance à la flexion se manifeste sur une tige de bambou par l'apparition d'une fente parallèle à l'axe et qui est le résultat des efforts tranchants qui s'exercent sur le matériau lors de la flexion.

I.6. Conclusion partielle :

En comparaison avec le bois, le bambou utilisé comme élément de structure présente de nombreux avantages. C'est un matériau très léger, ce qui non seulement facilite son transport mais aussi permet son utilisation dans la construction de structures également légères. Son extraordinaire résistance à la compression et à la traction dépasse celle de la plupart des espèces ligneuses.

Le bambou est très utile pour les constructions importantes car il est très résistant pour son poids. Ceci est dû au fait que les fibres les plus solides étant à l'extérieur où elles apportent le maximum de résistance ainsi qu'une surface extérieure dure et d'aspect agréable.

Généralement, on ne peut pas clouer les bambous sans qu'elles se fendent, seulement, étant donné la compacité suite au pressage ainsi que la prise des colles, ce cas devient sans risque.

Chapitre II : Pyrolyse du bambou

En voyant l'état actuel de l'économie et de l'environnement Malgache ainsi que la devise du pays (Fitiavana - Tanindrazana – Fandrosoana), on peut affirmer avec certitude que le gaspillage n'est point tolérable. A ce propos, la valorisation des déchets de même que sa gestion fait l'affaire. Ainsi donc, concernant le bambou, la pyrolyse ou la carbonisation est une solution raisonnable vis-à-vis des sciures, des morceaux de tiges inutilisés pour les matériaux de constructions, et pourquoi pas pour le bambou entier lui-même.

II.1. Rappels :

2.1.1. Le charbon de bois :

Il résulte de la carbonisation, c'est-à-dire de la combustion partielle du bois dans un milieu où la quantité d'oxygène est contrôlée, afin que les ingrédients volatils du bois s'échappent, laissant un résidu formé de carbone presque pur. On utilise essentiellement des bois durs.

Divers genres de fours de carbonisation ont été utilisés, dont ceux de forme rectangulaire ou de forme hémisphérique, en brique ; d'autres types de fours, en métal ou en blocs de béton, ont aussi servi à la carbonisation. Dans ces fours, les bûches sont empilées très serrées. [11], [21]

2.1.2. Le charbon de bambou :

Il se compose des morceaux de bambou, qui sont pris des usines cinq ans ou plus vieux, et brûlés à l'intérieur d'un four aux températures au-dessus de 700° C.[S-02]. Il fournit non seulement une nouvelle manière d'utiliser le bambou, mais bénéficie également à la protection de l'environnement de réduire la pollution de résidus.

Selon les types de matière première, le charbon de bois en bambou peut être classifié en tant que charbon en bambou cru, et en briquette. Celui cru est fait du corps de bambou tel que les chaumes, la branche, et même les racines ; alors que celui en briquette est fait en résidu de bambou, tel que la poussière, la poudre de scie ou sciure en bambou, obtenu en comprimant le résidu dans certains bâtons de forme et en le carbonisant.

Du vinaigre en charbon de bambou est extrait en faisant le charbon de bois et est employé pour des centaines de traitement sur presque tous les aspects.

2.1.2. La pyrolyse :

a. La composition élémentaire du bois de bambou :

En faisant la synthèse de plusieurs études, on obtient pour la composition élémentaire du bambou anhydre dont les portions qui suivent :

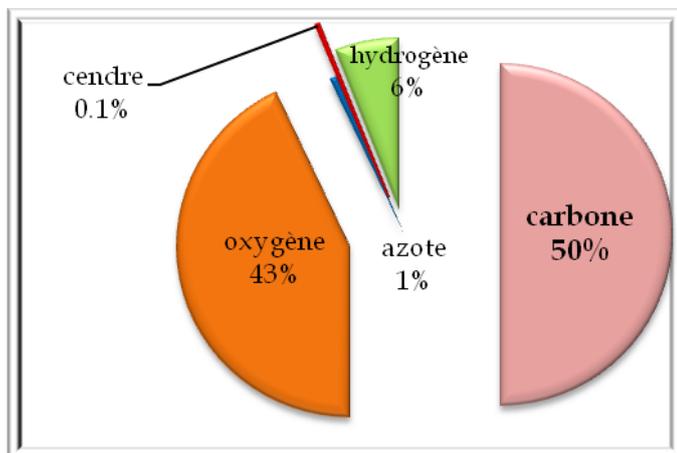


Figure n° 8: Diagramme de composition du bois anhydre.[11]

Ces proportions ne varient pas significativement d'une espèce à une autre.

↳ Composition chimique :

Les proportions des divers constituants chimiques varient notablement d'une essence à l'autre, tout en restant dans les plages suivantes :

Tableau 14: Comparaison de composition chimique de deux essences. [11]

Constituants chimiques	Les résineux (bois de pin) %	Les feuillus (bambou) %
Cellulose	40 – 55	35 – 50
Hémicellulose :		
- Hexosane	10 – 15	2 – 6
- Pentosane	5 – 10	15 – 25
Lignine	25 – 35	20 – 30
Divers extractibles	0,2 – 10	2 – 20
Cendres	0,5 - 5	0,5 – 5

b. La pyrolyse proprement dite :

Avant d'inventer le mot « pyrolyse », on parlait de « distillation sèche ». C'est le procédé en vase clos qui était utilisé à l'époque où la distillation du bois produisait l'acide acétique appelé alors acide pyroligneux, le méthanol appelé aussi « esprit de bois » et divers produits chimiques. [14]

Ainsi donc, la pyrolyse est la dégradation thermique d'un composé organique qui a lieu lorsque la concentration d'oxygène est nulle ou suffisamment basse pour qu'aucune combustion ne se produise.

Concrètement, les déchets sont mis dans un four hermétique chauffé à une température quelconque suivant les types de déchets. En l'absence d'air et sous l'effet de la chaleur, les déchets traités se décomposent en deux parties : un résidu solide et un gaz.

Le résidu solide contient à la fois des cendres (30 à 40 %) et des matières minérales non altérées par le traitement. Le gaz issu de la pyrolyse est constitué d'une fraction condensable pouvant être liquéfiée et d'une fraction non-condensable à température ambiante généralement de l'hydrogène, du méthane, d'oxyde de carbone et des hydrocarbures volatils. [11]

II.2. Généralités :

2.2.1. But :

Ce travail a pour objectif de réduire la déforestation à Madagascar ainsi que ses inconvénients et de proposer une nouvelle source d'énergie domestique ainsi que des matières premières pour la cosmétologie au Malgache et des industries chimiques.

2.2.2. Principe :

Dans le mot « pyrolyse », on retrouve : “pyros” qui signifie ‘feu’ et le suffixe “-lyse” qui évoque la décomposition (Hydrolyse, analyse,..).

Le charbon de bambou résulte de la carbonisation de ses chaumes et de ses sciures. Cela se fait suite à la pyrolyse de la cellulose $(C_6H_{10}O_6)_n$ et de la lignine, produit aromatique, qui est le principal constituant du bambou. Ils sont brûlés en absence de l'air de façon à ce qu'ils ne se réduisent pas en cendre. Une partie des gaz dégagés sera condensée et récupérée. [21]

Ainsi, sous l'action de la chaleur, un corps organique complexe voit sa chaîne se rompre pour donner des petites molécules organiques.

2.2.3. Les matières premières :

a. Le bambou :

Ce sont : des tiges de bambou sec (à l'air); des tiges de bambou frais ; des sciures de bambou (à l'air).

b. Éléments pour la pyrolyse :

Ce sont : le pyrolyseur ; Charbon de bois pour le foyer ; Eau froide pour le réfrigérant.

II.3. Description de la méthode :

2.3.1. Schéma de procédé :

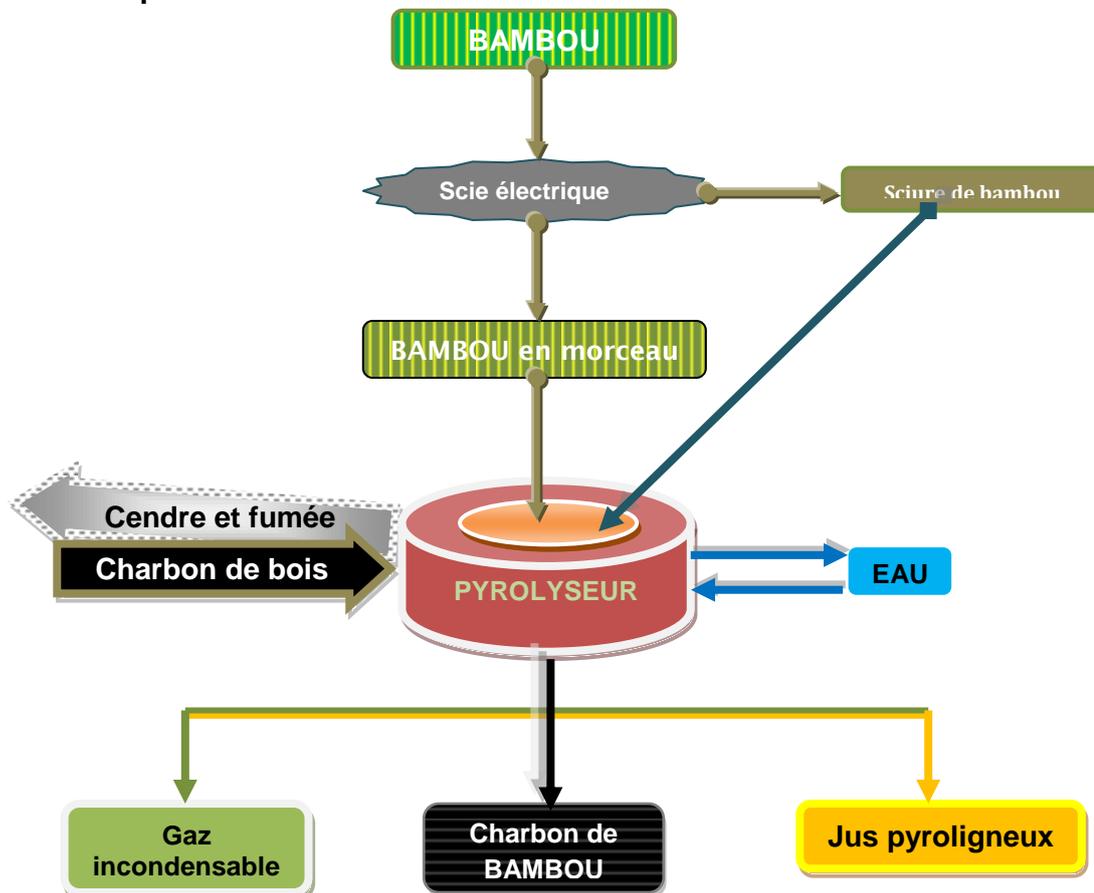


Figure n° 9 : Schéma de procédé de la pyrolyse

2.3.2. Description de la procédure :

Tout d'abord, il est bien de noter que les bambous utilisés comme matières premières peuvent être : soit des parties inutilisés lors de l'élaboration des matériaux de construction ou bien soit des bois de bambou en entiers (frais ou sec à l'air).

Ces derniers sont sciés en morceau afin d'être introduits dans le pyrolyseur. Par contre concernant les sciures, issues des matériaux de constructions de même que le sciage, ils constituent aussi une autre forme des matières premières pour la pyrolyse.

La source de chaleur pour alimenter la pyrolyse n'est autre que le charbon de bois. Du côté du liquide réfrigérant, ce sera seulement de l'eau ordinaire des robinets. A la sortie

du pyrolyseur, on aura du jus pyroligneux qui sera récupéré et du gaz incondensable, qui ne sera point récupérable faute de matériel.

Et enfin le plus essentiel, à la fin de la procédure, du charbon de bambou restera dans le réacteur qui ne serait ouvert qu'après refroidissement pour éviter l'auto-ignition due à l'excès d'oxygène.

2.3.3. Appareillage : “ Le pyrolyseur”

a. Description de l'installation :

Il s'agit d'un appareil mobile, destiné à être transporté dans différents endroits, sa conception devrait permettre alors un transport facile, et une mise en œuvre qui ne demande pas beaucoup de mains d'œuvre. D'où les dispositions particulières de l'installation. L'appareil se divise en 3 portions :

☞ *Le foyer :*

Qui sert à donner d'énergie aux réacteurs afin qu'il puisse décomposer les bambous. Le combustible utilisé pour le chauffage est le charbon de bois.

☞ *Le réacteur :*

Il est constitué par une bouteille à gaz vide qui a subi une certaine modification afin que l'on puisse y charger la matière première (morceau de bambou ou sciure) et de décharger le résidu solide (charbon) après la pyrolyse. Sa capacité est environ 8 litres et il peut contenir 2 Kg de cette plante au maximum. [14]



Photo 9: Foyer dans un réacteur.



Charbon de bambou dans un réacteur.

☞ *La conduite et le condenseur : [14]*

La conduite sert pour récupérer le gaz issu du réacteur lors de la réaction de pyrolyse. Par ailleurs, le condenseur effectue un échange de chaleur entre le réfrigérant et le gaz pour récupérer la fraction condensable (jus pyroligneux).

La figure suivante montre l'ensemble de l'installation.



Photo 10: Unité de pyrolyse de bambou.

Concernant ses dimensions, le schéma suivant le fournit : [14]

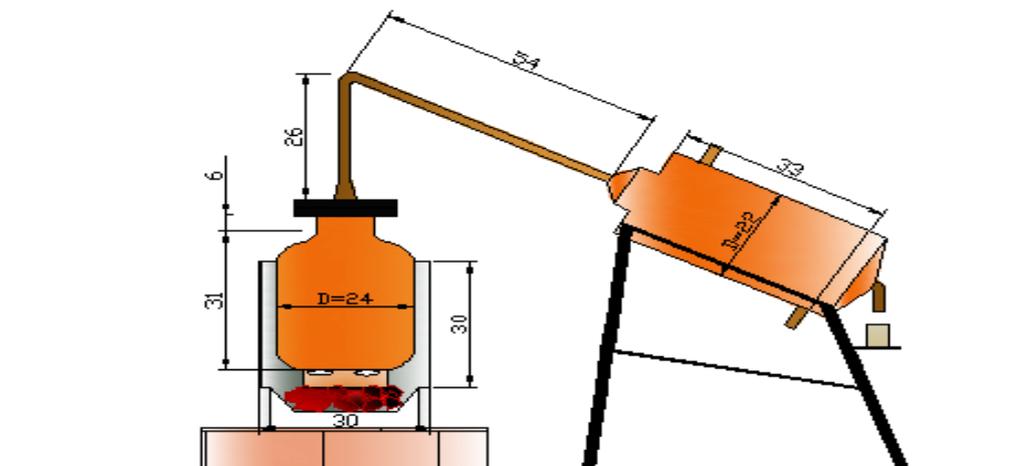


Photo 11: Dimensions de l'appareil.

b. Les échangeurs de chaleur : [14] [20]

Un échangeur de chaleur est un système qui permet de transférer un flux de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid à travers une paroi sans contact direct avec les deux fluides. Pour ces types d'échangeurs, l'échange thermique se fait généralement entre deux fluides distincts.

Le schéma de l'échange thermique dans le condenseur peut être représenté par la figure suivante :

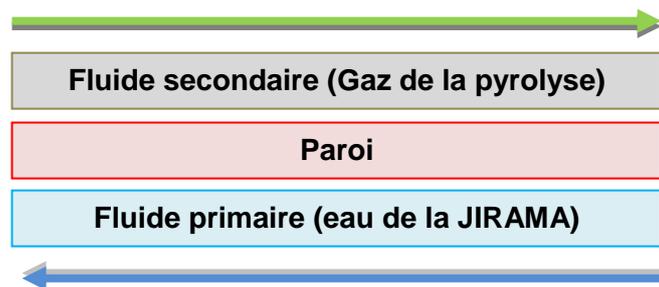


Photo 12: Échange thermique dans le condenseur.

Lors de la décomposition de la chaîne carbonée du bambou, le gaz sortant du pyrolyseur s'appelle le fluide secondaire (le fluide chauffé), et l'eau de JIRAMA utilisée comme refroidisseur est le fluide primaire (eau froide).

Les mécanismes de transfert thermique utilisés sont :

☞ **La convection forcée entre fluide primaire et paroi :**

Le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température. En général, ceci est assuré par une pompe ou un ventilateur.

☞ **La conduction à travers la paroi :**

La conduction est une mode de transfert de chaleur provoquée par une différence de température entre deux régions d'un même milieu ou entre deux milieux en contact sans déplacement appréciable de matière.

☞ **La convection libre ou forcée entre paroi et fluide secondaire :**

D'une part, l'un des fluides peut subir un changement de phase : Condensation, Vaporisation, ébullition. D'autre part, la condensation du gaz pyrolytique permet d'obtenir son jus.

Au sujet des échangeurs utilisés, ils sont à courants perpendiculaires, ce qui signifie que l'écoulement des deux fluides est orthogonal l'un par rapport à l'autre. Concernant son type, c'est un échangeur à faisceaux tubulaires, car il possède plusieurs tuyaux disposés parallèlement et soudés à deux extrémités à deux disques ou plaques.

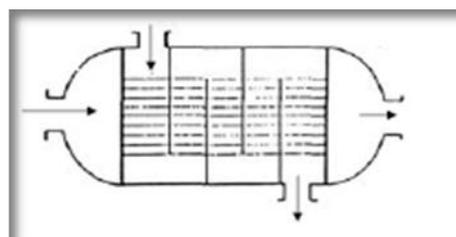


Figure n° 10: Échangeur à faisceau tubulaire. [14]

II.4. Expérimentation :

2.4.1. Étude de l'influence de la température sur la pyrolyse du bambou :

Réalisée en laboratoire, la pyrolyse est une décomposition thermique du bambou en l'absence de l'air.

Dans un ballon pyrex et à l'abri de l'air, on chauffe des petits morceaux de bambou. Si ceux-ci n'ont pas été préalablement déshydratés dans une étuve, on note d'abord un dégagement gazeux (C), absolument ininflammable. En refroidissant le tube en verre (B) avec de l'eau, on constatera que ce n'est que de la vapeur d'eau. En refermant le robinet d'eau, le dégagement gazeux s'intensifie et change de couleur, devenant jaune brunâtre, facilement condensable, c'est encore de l'eau à laquelle se mêlent des goudrons que l'on peut recueillir en (D).

En continuant la chauffe, le dégagement s'intensifie de plus en plus, accompagné d'un distillat de couleur brunâtre à marron foncé. Les gaz qui se dégagent maintenant sont inflammables. On constate que le bambou a pris une couleur brun café, s'obscurcissant de plus en plus. Le distillat condensé est de plus en plus épais (goudrons). Même si on diminue la chauffe par le bec (Bunsen ou Mecker), la production de gaz combustible se perpétue. L'ensemble des liquides résultant de l'expérience s'appelle : jus pyroligneux.

Par la suite, la production de gaz combustibles diminue jusqu'à extinction, même si l'on persévère à chauffer avec le bec.

Le bambou est devenu noir. En arrêtant toute chauffe extérieure, en laissant refroidir lentement le ballon et en évitant surtout toute introduction d'air dans celui-ci, on aura une condition adéquate pour l'obtention du charbon. Lorsque la température a suffisamment baissé (<50°C), on récupère le principal résidu contenu dans le ballon. C'est un produit noir, plus ou moins foncé, plus léger (moins dense) que celui initialement introduit, friable, susceptible d'absorber facilement de l'eau (hydrophile). C'est du charbon de bois de bambou, on a réalisé une carbonisation. Il se peut que le résidu obtenu ne soit pas homogène, et qu'un ou plusieurs morceaux ne soient pas complètement carbonisés, ces parties sont appelées les incuits.

a. Les différentes phases de processus de carbonisation :

Pour décrire le processus de carbonisation, on divise le déroulement en une suite de plages de températures, qui sont, en effet, invariables quelque soit le procédé de

carbonisation, tandis que, par exemple, les durées des transformations correspondant à ces plages varient considérablement selon la technologie utilisée.

Les différentes plages de température caractéristiques sont représentées par le tableau suivant :

Tableau 15: Température caractéristique de la pyrolyse.

Légendes		Température (°C)	Étapes
A	Bois dans le ballon	Ambiant → 120	Chauffage
B	Évaporation des produits légers	100 → 200	Séchage
C	Décomposition des constituants les moins stables	180 → 270	Torréfaction
D	Dégagement de chaleur : réaction exothermique	260 → 280	Amorce exothermique
E		275 → 600 → 1200	Carbonisation proprement dite : phase exothermique
F		600 → ambiant	Refroidissement

Source : Auteur et [11]

b. Observation et interprétation des résultats :

Étape (A) : le bois commence à perdre son eau, et tant que la température du bois elle-même ne dépasse pas 100 ou 200°C, il se dessèche simplement, mais ne subit pas encore de changements d'ordre chimique. En condensant ce qui s'échappe du réacteur de carbonisation, on a un liquide limpide comme l'eau. Il n'en est pas tout à fait ainsi : l'eau s'échappant du bambou entraîne avec elle des huiles essentielles.

Étape (B) : 100 – 200°C, il perd essentiellement l'eau qu'il contenait. On peut noter l'apparition des premiers produits les plus volatiles. "Au fur et à mesure que la chaleur augmente, disons vers 150°C, le bois brunit et on peut déceler la présence de l'acide acétique dans l'eau condensée" [19]. Cette phase nécessite un fort apport de chaleur externe pour se poursuivre, elle est dite endothermique.

Étape (C) : la température du bambou passe de 180 - 270°C par apport de chaleur. La phase est donc toujours endothermique. Ses constituants les moins stables se décomposent de plus en plus, les produits volatiles se dégagent de plus en plus abondamment. On constate la présence de gaz carbonique, monoxyde de carbone et encore

de la vapeur d'eau dans les fumées qui s'échappent. Le bois roussit franchement, il prend la couleur du café torréfié (45 – 65% de carbone fixe. [11]).

Étape (D) : la cellulose et la lignine du bois sont partiellement transformées en charbon de bois solide et partiellement volatilisées en produits liquides ou gazeux, à la suite de quelques réactions avec l'oxygène et l'hydrogène provenant également de la décomposition pyrogénée du bambou. Ses constituants peu stables continuent à se dégager de plus en plus intensément. Ils contiennent du gaz carbonique (CO_2), du monoxyde de carbone (CO), de la vapeur d'eau (H_2O), de l'acide acétique (CH_3COOH), du méthanol (CH_3OH), de l'hydrogène en très faible quantité et quelques hydrocarbures [11]. La production de jus pyroligneux devient importante et les dégagements gazeux, en augmentant considérablement, approchent de leur débit maximum.

Étape (E) : à partir de 275°C , les réactions qui ont lieu deviennent exothermiques. Elles continueront jusqu'à ce que tout le bois de bambou ait atteint une température de l'ordre de $480 - 500^\circ\text{C}$.

Vers 180°C , le bambou est en pleine décomposition ; par condensation des vapeurs qui se dégagent, on obtient un liquide abondant qui se sépare, par repos, en deux couches : une couche inférieure de goudrons d'un noir intense, et une couche supérieure aqueuse, de couleur rouge foncé, à réaction fortement acide. C'est à ce liquide aqueux, contenant l'acide acétique et l'alcool méthylique ou méthanol, que l'on donne le nom de "pyroligneux". En plus de cela, on constate qu'il se dégage aussi des composés méthylés tel l'acétone, du méthyle-éthyle cétone, ... Parallèlement, des dégagements oxygénés continuent, tels que le gaz carbonique et également le monoxyde de carbone, mais en moindre proportion que dans les deux phases antérieures, et aussi des hydrocarbures légers tel que : méthane, éthane et éthylène [11]. A noter que par rapport à la phase précédente, la proportion d'hydrocarbures est passée de 3% à 40% du total du dégagement des gazeux incondensables. Ceci nous permet de comprendre pourquoi, dans certains procédés de carbonisation, on peut réutiliser une partie des dégagements gazeux pour "chauffer" le four.

En effet, c'est aux alentours de $280 - 300^\circ\text{C}$, que la décomposition du bois est la plus violente. La température s'élève alors très rapidement, "toute seule", c'est-à-dire sans chauffage annexe. C'est le moment où les réactions chimiques sont les plus intenses, non seulement quantitativement (les réactions sont individuellement exothermiques) mais qualitativement (c'est le moment où se produit le plus grand nombre de réactions, la plus grande densité de réaction. [11]).

La quantité de gaz produits à l'intérieur du réacteur et leur température croissent. Le volume qu'ils occupent ayant alors tendance à s'accroître, les pressions internes augmentent. C'est donc la phase la plus destructrice pour les matériaux solides constituant le four.

Il faut pouvoir analyser les gaz à partir de 350 – 380°C pour noter une nette diminution des composés oxygénés (CO₂ et CO), qui passe d'environ 65 – 40% en volume de gaz, et une augmentation des hydrocarbures de 37 – 50%. C'est aussi au cours de cette période que sont dégagés les goudrons lourds. Les hydrocarbures produits alors sont plus "lourds" que les précédentes. Si l'on stoppe la réaction à ce stade, on obtient un charbon de bois de bambou contenant de 75 – 90% environ de carbone fixe selon les essences. Au-delà de 500°C, la réaction n'est plus exothermique. Si l'on continue encore à chauffer au-dessus de 500°C, les gaz produits deviennent moins importantes. Le taux de carbone fixe s'accroît aussi, atteignant 90 - 95%.

Étape (F) : la phase de refroidissement nécessite moins de précautions, seulement il faut empêcher absolument toute introduction d'air frais ; l'air contient de l'oxygène qui provoquerait une reprise locale d'une combustion vive. Le risque est grand alors de voir la combustion se propager au reste du charbon, et détruire ainsi une part significative de la production. Le charbon de bois est pyrophorique : il peut s'enflammer dans l'air... il est important de bien laisser refroidir le charbon avant la mise en sac.

c. Conclusion :

Ainsi donc, pour un morceau de bambou donné, aucune réaction conduisant à la carbonisation ne peut se produire tant qu'il contiendra de l'eau. Donc plus le bois est humide :

- Plus le rendement, qu'il soit pondéral ou volumique, sera faible,
- Plus les périodes A et B dureront.

2.4.2. La pyrolyse :

Elle consiste en une pyrolyse lente à haute température, vu que sa vitesse de chauffage est faible alors que la température utilisée est supérieure à 500°C mais non plus de 600°C.

a. Préparation des matières premières :

Les déchets de bambou sont triés, puis réduits sous forme de morceaux avant d'être traités thermiquement dans le pyrolyseur. Cette étape est exclue pour les sciures.

☞ *Le pesage, chargement et alimentation du combustible :*

Après avoir morcelé les bambous, on pèse m_0 de ce dernier que l'on introduit dans le réacteur du pyrolyseur. Suite au boulonnage hermétique du réacteur à la colonne de cygne, le feu du foyer allumé, la pyrolyse débute.

Le combustible que l'on a utilisé est le charbon de bois. Mais, on peut très bien se servir d'autres combustibles comme le bois sec.

☞ *Le refroidissement :*

L'eau de refroidissement nécessaire pour la condensation est assurée par l'eau de la JIRAMA.

b. Présentation des RESULTATS :

Pour les différents essais suivants, l'étape à suivre est presque la même (pesage, chargement, alimentation et condensation).

Prenons trois sortes de matières premières et une autre espèce de bambou de masse m_0 lors de notre expérimentation :

Tableau 16: Présentation des matières premières.

Espèces de bambou	<i>Dendrocalamus Giganteus</i>			<i>Phyllostachys Viridis</i>
État du bambou	Sec	Sciure semi-sec	Frais	Frais
Notation	K	X	Y	Z
Localisation (lieu de récolte)	TOAMASINA			ANTANANARIVO

Les produits obtenus après la pyrolyse sont du :

- Résidu solide de masse m_1 - Jus pyrolytique de masse m_2 - Gaz incondensable de masse m_3

☞ *Le résidu solide :*

Il se présente sous forme de charbon solide noire, homogène. Celui des sciures est identique sauf en forme.



Photo 13: Charbon de bambou eu suite à une pyrolyse.



☞ Le jus pyrolytique :

Cette fraction est obtenue par condensation du gaz lors de son passage sur l'échangeur de chaleur.

☞ Le gaz incondensable :

Sa récupération demande plusieurs appareils conformes. Malheureusement, faute de ces derniers, il ne peut être récupéré, c'est la raison de son non quantification. Alors, cette fraction de gaz incondensable m_3 sera déduite par la différence entre la masse initiale et la somme de celle du résidu solide et du jus pyrolytique.

$$\text{Ainsi: } m_3 = m_0 - (m_1 + m_2).$$

Les résultats obtenus suite à trois essais pour chaque échantillon sont rassemblés sous forme du tableau suivant :

Tableau 17: Présentation de résultat de la pyrolyse.

Échantillons		K	X	Y	Z
Masse (en gramme)	m_0	1688	1046	2025	1925
	m_1	570	395	692	660
	m_2	514	324	566	740
	m_3	604	327	767	525
Rendement (%) : $\eta_i = \frac{m_i}{m_0} \times 100$	η_1	33,76	37,77	34,18	34,28
	η_2	30,45	30,97	27,95	38,45
	η_3	35,78	31,26	37,87	27,27
Volume (en mL)	v_0	5000	5000	5000	5000
	v_2	501	300	1825	1500
Rendement volumique (%) : $\mu_i = \frac{v_i}{v_0} \times 100$	μ_2	10,02	6	36,5	30
Durée de cuisson (en heure)		3,20	2,75	3,20	3,00
Débit de l'eau de refroidissement		2 L/mn			

Ainsi, le rendement en charbon de bambou après pyrolyse d'un bambou géant sec est de 34%, alors que celui du jus pyrolytique est de variable selon l'espèce ainsi que l'humidité.

A part cela, la variation de la température n'a été point négligée. C'est pourquoi elle fut suivi, d'où le tableau suivant :

Tableau 18: évolution de la pyrolyse avec la température.

Phénomènes prépondérants		Départ de l'eau	Dégagement gaz oxygènes	Début du départ des hydrocarbures	Phase à hydrocarbures $C_m H_n$	Dissociation
Température (°C)		150 - 200	200 - 280	280 - 380	380 - 500	>500
Teneur en carbone (% du charbon)		50 - 60	60 - 70	70 - 78	78 - 85	85 - 90
Gaz incondensables						
(%)	CO ₂	68,0	66,5	35,5	31,5	12,2
	CO	30,0	30,0	20,5	12,3	24,6
	H ₂	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7
	Hydrocarbures	2,0	3,3	37,5	48,7	20,5
Pouvoir calorifique par m ³ gaz		4,6	5,06	16,4	20	15,2
MJ (kcal)		(1100)	(1210)	(3920)	(4780)	(3630)
Constituants condensables dans les gaz		Eau	Eau Acide acétique	Acide acétique Méthanol Goudron léger	Beaucoup de goudron épais	Goudron paraffine
Quantité de gaz		Très faible	faible	importante	importante	faible

Source : Auteur et [11].

c. Interprétation des résultats :

Subséquemment, jusqu'à 280°C, les réactions sont endothermiques. A partir de 280°C, les réactions deviennent exothermiques, le phénomène peut alors s'auto-entretenir thermiquement. Il faut que le bambou atteigne au moins 400°C, selon le procédé de carbonisation utilisé, pour que l'on obtienne du charbon. La qualité du charbon de bois produit, c'est-à-dire en fait, son degré de pureté, dépend de la température maximale atteinte pendant la carbonisation : plus la température est élevée, plus le processus de décomposition est poussé.

2.4.3. Expériences au laboratoire :

a. Analyse de caractérisation du charbon obtenu :

⊕ Densité D :

Sa détermination fut effectuée lors de la sortie du réacteur. La méthode utilisée est assez banale. Après pulvérisation, on en remplit un récipient de 10 cm^3 déjà taré, sans le presser, puis on le pèse et on a la masse M en gramme.

$$D = \frac{M \text{ (g)}}{10[(\text{cm})^3]} \quad D = \frac{M \text{ (g)}}{10(\text{cm}^3)}$$

⊕ Humidité H :

On sèche à l'étuve à 105°C une masse m_1 de charbon de bambou (50 à 70g) durant 2 heures. On le laisse au dessiccateur pendant 30 mn, ensuite on le pèse après refroidissement, on aura m_2 .

L'expression des résultats est obtenue par :

$$H = \frac{100 \times (m_1 - m_2)}{m_1}$$

⊕ Teneur en cendre A :

D'abord, on porte la nacelle ou le creuset à 950°C au four pendant 15 minutes, puis à l'étuve à 105°C pendant 30 minutes. On le refroidit au dessiccateur avant de le peser, on aura m_1 . Du charbon à granulométrie 2 à 0.2 mm sera ajouté à la nacelle pour avoir une masse m_2 .

Ce dernier sera calciné à 950°C au four pendant trois heures à raison de $250\text{-}300^\circ\text{C/h}$. Le tout sera sorti et refroidi à l'étuve, au dessiccateur puis pesé, et on a m_3 .

L'expression des résultats est obtenue par :

$$A = \frac{100 \times (m_3 - m_1)}{m_2 - m_1}$$

Ainsi donc, 100 gramme de ce charbon offre 52 mg de cendre.

⊕ Indice de matière volatile V :

On pèse m_1 gramme (2 à 3g) de charbon dont la granulométrie est entre 2 à 0,2 mm. Durant sept minutes, on les garde à 900°C au four. Ensuite les sortir et les refroidir puis peser pour avoir la masse m_2 .

Ainsi, on a :

$$V = \frac{100 \times (m_1 - m_2)}{m_1} - H$$

☉ *Teneur en carbone fixe C%:*

En suivant la norme Française NF B55-101 du septembre 1984, la teneur en carbone fixe de l'échantillon de charbon de bambou analysé est obtenue par la relation qui suit :

$$C\% = 100 - (H + A + V)$$

H : humidité en % en masse

A : teneur en cendres en % en masse

V : indice de matière volatiles en % en masse.

Les résultats des déterminations sont portés sur ce tableau :

Tableau 19: Présentation des résultats de caractérisation du charbon de la pyrolyse.

Échantillons	H (%)	A (%)	V (%)	C (%)
K	3,64	0,1035	65,94	30,31
X	4,54	0,1793	50,04	45,24
Y	7,02	0,3239	38,96	53,69
Z	5,26	0,0640	72,09	22,58

b. Interprétation des résultats :

Ainsi, on peut dire que la teneur en carbone fixe du *Dendrocalamus Giganteus* est largement supérieure à celle d'un *Phyllostachys Viridis*. L'humidité du charbon de la pyrolyse est variable selon la teneur en eau initial de la plante.

II.5. Conclusion partielle :

On sait que les résineux (ex : sapin) ont un meilleur rendement pondéral (calculé sur poids sec) que les feuillus comme les bambous. Par contre les feuillus étant plus denses, le rendement volumique est meilleur.

Ainsi, l'humidité du bambou enfourné n'influe pas sur la qualité du produit mais sur la quantité finale : plus la quantité d'eau à évaporer est grande, plus on consomme de bois pour sécher la charge, tel est l'influence de la teneur en eau du bambou. Alors, la température influe sur la qualité du produit au détriment du rendement : quand le rendement baisse, la teneur en carbone augmente avec la température.

Chapitre III : Valorisation des produits de la pyrolyse

Des arbres de chêne ou de pin sont normalement employés pour le charbon de bois, mais le charbon de bois en bambou est principalement employé pour des fonctions spéciales dans la bio-industrie. Commencé en 1968 par l'université de Tokyo au Japon, la recherche de développement du charbon de bois en bambou a été conduite en grande partie par beaucoup de pays et de compagnies.

Le charbon de bois est non seulement excellent carburant, mais bloque également les ondes électromagnétiques nocives basées sur son excellente fonction de conduction électrique. D'ailleurs, il produit les ions négatifs, qui épurent l'air, et émet les rayons lointains, qui favorisent le métabolisme. Ses trous et crevasses fins fortement développés absorbent et enlèvent les substances toxiques, et absorbent aisément des liquides. **[S-06]**

III.1. Généralités :

3.1.1. But :

Que ce soit au niveau environnemental, industriel ou économique, ce travail a pour objectif de réduire le gaspillage et la pollution à Madagascar.

3.1.2. Principe :

Le charbon de bambou résultant de la pyrolyse citée dans le chapitre II(2) va être utilisé et transformé afin d'avoir une autre forme avec plus de valeur, de même que le jus pyrolytique.

3.1.3. Les produits de la pyrolyse :

Pareil à la carbonisation, la pyrolyse permet d'avoir aussi du charbon, en plus du jus pyrolytique que l'on peut y récupérer. A part cela, on peut aussi parler du gaz incondensable, seulement l'appareil cité précédemment ne le permet pas.

III.2. La valorisation :

3.2.1. Les valorisations réalisables :

A ce propos, une partie des produits de la pyrolyse peut être consommée directement sans changement en tant que charbon combustible, seulement ce qui nous intéresse est ceux nécessitant des transformations.

En effet, les valorisations intéressantes sont :

- Des charbons actifs, des savons de charbon de bambou, des briquettes combustibles pour les charbons.
- Du vinaigre de bambou pour le jus pyrolytique.

3.2.2. Schéma de procédé :

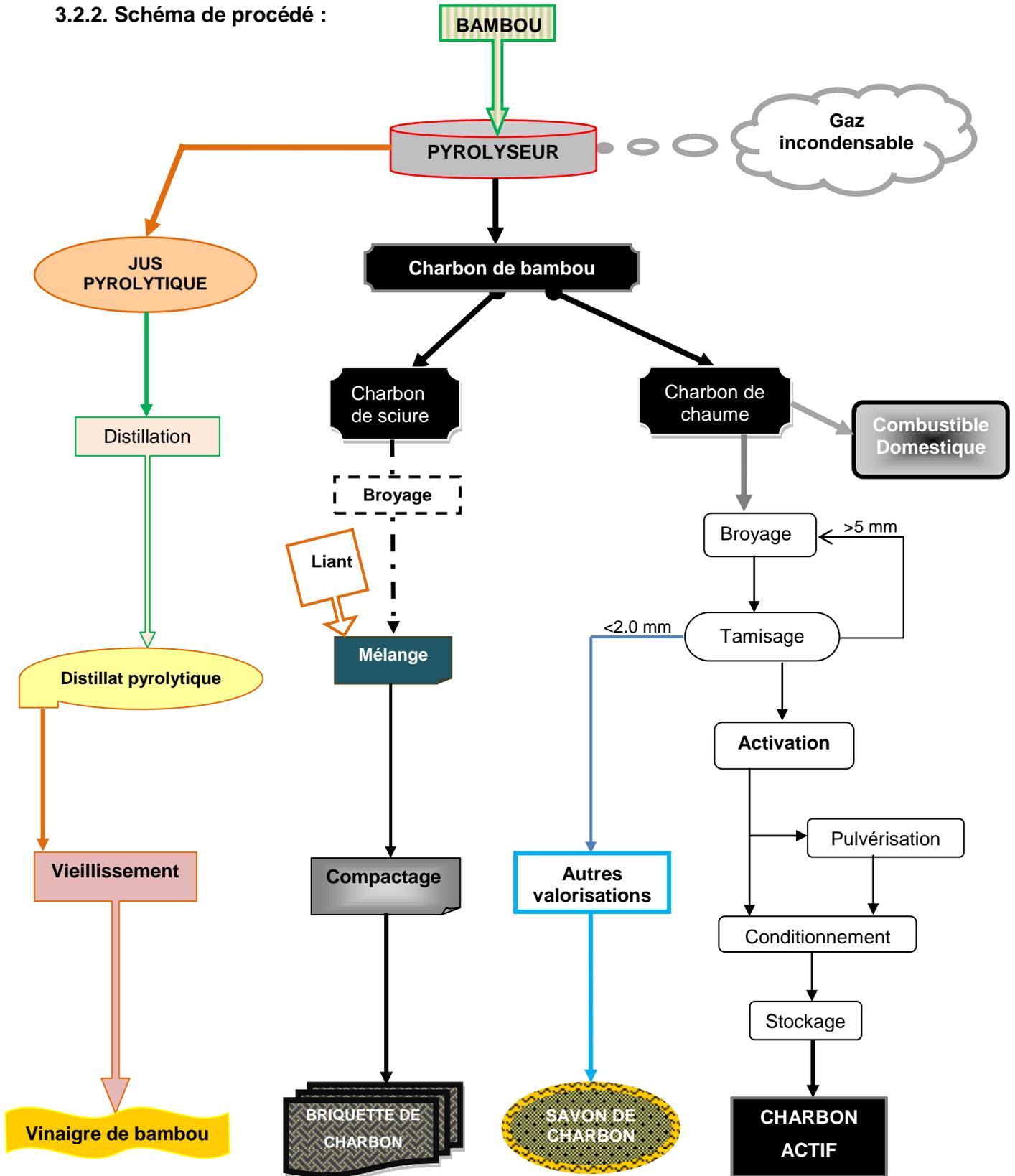


Figure n° 11: Schéma de procédé de valorisation des produits de la pyrolyse.

III.3. Expériences en laboratoire :

3.3.1. Le charbon actif :

Par définition, un charbon est dit actif après avoir subi diverses opérations telles que la pyrolyse ou l'oxydation ménagée qu'il s'agit d'un charbon d'origine organique ou minérale. Ces opérations permettent de le rendre poreux et ainsi d'augmenter sa surface d'échange avec un fluide. Théoriquement une activation consiste à faire subir au charbon, des traitements visant à accroître sa surface spécifique, lui donnant une capacité d'adsorption importante. [15]

Concernant les charbons actifs, divers procédés sont connus pour les réaliser : activation chimique, thermique, par les gaz et aussi mixte.

D'une manière générale, l'activation d'un charbon consiste à l'élimination des substances qui bloquent la plupart des pores y existant ou même une partie du charbon afin de créer de nouveaux pores. Et cela se réalise par un traitement thermique et/ou chimique.

Seulement pour notre expérimentation, l'activation thermique suffira vu que le but est uniquement de montrer que le charbon de bambou peut être valorisé en tant que charbon actif.

Principe : Le charbon actif retient certains éléments (chlore, résidus chimiques, etc....) mais en aucun cas ne les supprime. Dans un système de filtration le charbon doit être placé en dernier afin que les déchets organiques ne le saturent trop rapidement. D'autre part, plus longtemps l'eau reste en contact avec ce matériau, plus efficace sera la filtration. C'est pourquoi on préconise plus la longueur (dans le sens de circulation de l'eau) que la surface. La quantité de charbon actif à utiliser dépend bien sûr du volume d'eau à filtrer.

a. Préparation de la matière première :

La matière première n'est autre que le charbon de la pyrolyse. Pour se faire, elle est broyée à l'aide d'un broyeur à marteau puis tamisée afin d'avoir la granulométrie désirée.

b. Opération d'activation:

Pour réaliser une activation, les matériels indispensables sont :

- Balance de précision
- Un moule céramique à couvercle de bon étanchéité
- Four programmable

Ainsi, il faut passer par un pesage du charbon brut non activé et on a la masse m_0 qui sera introduit dans la moule à couvercle de dimension intérieur : 50x50x150 mm, et d'épaisseur 10 mm.

Le tout sera placé dans le four préchauffé à l'avance. La température d'activation est fixée à 800°C pendant 30 mn. Suite à ce dernier, une période de refroidissement et un pesé (m_1) du charbon actif est nécessaire avant le conditionnement et le stockage.

Afin de réunir ces conditions opératoires, un stage au sein de la CNRIT (centre national de recherches industrielle et technologie) s'impose afin de réaliser cette activation.

c. Analyse de caractérisation :

Le charbon actif de bois de bambou, encore appelé «diamant noir» dans certains pays asiatiques, possède des propriétés désodorisantes, décolorantes et désinfectantes remarquables. Alors pour évaluer si celui que l'on a élaboré y répond des analyses s'impose. Ainsi, afin de le faire, on réalise trois tests qui ont été effectués lors d'un stage de fin d'étude au sein du centre national de recherche sur l'environnement (CNRE) et une mesure réalisée au CNRIT:

- Test de déchloration ;
- Test de décoloration ;
- Test de désodorisation ;
- Mesure de la porosité.

Test de déchloration :

Soit M la masse de charbon versée dans 500 mL d'eau chlorée. Bien agiter le mélange dans une fiole avec couvercle et laisser un temps de rétention de 15 mn avant de le filtrer.

Le filtrat ainsi obtenu est analysé et lu directement par un disque comparateur DPD avec un kit spécial pour le chlore libre et/ou chlore résiduel.

Test de décoloration :

Pour ce test, l'eau de rejet de l'usine SATIE à TANJOMBATO fut prélevée. SATIE est une entreprise de teinture.

Soit M' la masse de charbon versée dans 500 mL de l'eau à décolorer. Bien agiter le mélange dans un récipient de verre avec couvercle et laisser au repos avec un temps de rétention de deux heures ensuite le filtrer.

Répéter la même opération avec une masse de charbon $\frac{M'}{2}$ et 250 mL du filtrat avec le même temps de rétention.

Le second filtrat ainsi obtenu et un échantillon de l'eau initiale seront lus directement par la méthode spectrophotométrique avec un colorimètre à échelle platine cobalt.

↳ *Test de désodorisation :*

Étant donné qu'aucun appareil mesurant l'odeur ne soit trouvé, alors la méthode sensorielle est la seule à porter de main.

Soit M'' la masse de charbon versée dans 500 mL du liquide à désodoriser. Bien agiter le mélange dans un récipient de verre avec couvercle et laisser au repos avec un temps de rétention de deux heures avant de le filtrer.

Répéter la même opération avec une masse de charbon $\frac{M''}{2}$ et 250 mL du filtrat avec le même temps de rétention.

Faute d'appareil de mesure, utiliser le filtrat selon son usage de même que le liquide initial afin de sentir la différence d'odeur par soi-même.

Lors de ce test, le liquide utilisé n'est autre que du pétrole, l'utilisation quotidienne choisie est la fabrication de cire pour parquet, mais on peut aussi prendre à sa place de l'huile alimentaire non raffinée.

↳ *Porosité P_0 :*

On immerge un volume V (cm³) de charbon dans un volume d'eau distillée durant 48 heures. Soit V_1 le volume mesuré. Après égouttage, V_2 est le volume d'eau distillé restant.

Ainsi, on a :

$$P_0 = \frac{V_1 - V_2}{V}$$

d. Représentation des résultats :

Concernant les tests, les valeurs admises sont fournies par la moyenne de trois essais.

■ *Essai d'activation de charbon de bambou géant :*

Tableau 20: Rendement en charbon actif de bambou ($2 < \phi < 5$ mm).

Essais N°	01	02	03	Moyenne
$m_0(g)$	40,0494	40,0084	50,0101	43,3559
$m_1(g)$	22,2280	19,6675	33,6293	25,1749
Rendement	55,50%	49,16%	67,25%	58,06%
T° _{initial} du four	53°C	23°C	147°C	

Tableau 21: Rendement en charbon actif de bambou ($\phi < 2$ mm).

Essais N°	01'	02'	03'	Moyenne
$m_0(g)$	100,0333	70,0044	90,0054	86,6810
$m_1(g)$	64,4099	40,0460	55,0127	53,1562
Rendement	64,39%	60,06%	61,12%	61,32%
T° _{initial} du four	54°C	50°C	52°C	

Tableau 22: Augmentation de masse du charbon actif de bambou en trois jours ($2 < \phi < 5$ mm).

Essais N° Jour N°	01	02	03	Moyenne
1	5,0016 g	19,6675 g	38,9739 g	21,2114 g
2	5,1973 g	21,5539 g	40,5098 g	22,4203 g
3	5,2027 g	21,7521 g	40,8003 g	22,5805 g
Augmentation de masse (%)	3,86%	9,58%	4,47%	6,06%

Concernant ce tableau 22, l'augmentation de masse du charbon actif abandonné à l'air permet d'expliquer qu'il est capable de capturer l'humidité de celui-ci.

Ainsi, on peut affirmer que l'influence de la température initiale est probante sur la qualité du charbon actif. Plus elle est moindre, plus la qualité sera mieux.

La granulométrie efficace pour une activation selon cette expérimentation est comprise entre 2 à 5 mm car cela évite le colmatage et augmente la porosité du charbon actif obtenu.

Il est vérifié que le charbon actif de bambou utilise le phénomène d'adsorption pour capturer l'humidité de l'air.

■ Test de déchloration :

Tableau 23: Mesure de la capacité d'adsorption de chlore par le charbon de bambou.

Masse de charbon <i>M</i>		Teneur en chlore libre (Cl ₂) (mg/L)		
		2g	4g	5g
Eau de la JIRAMA		2,0	1,8	2,1
Filtration au Charbon de :	Bambou (brut)	0,35	0,25	0,2
	Bambou (actif)	0,15	0,1	0,0
	Bois de pin (brute)	0,4	0,35	0,4
% déchloration (charbon actif)		92,5%	94,4%	100,0%

Comparer au charbon de bois de pin, un charbon de bois de bambou adsorbe beaucoup plus de chlore. Pareil à ce dernier, un charbon actif de bambou le fait encore mieux.

Ainsi donc, pour un même volume de 500 mL d'eau chloré à 2 ppm près, en minimum un charbon actif de bambou de 2g suffit pour le déchlorer à 92,5% et 5g pour une déchloration totale.

Alors, pour les sociétés alimentaires utilisant de l'eau traitée à 0,0 ppm près de teneur en chlore résiduel comme l'industrie STAR de Madagascar, ce résultat est intéressant.

■ Test de décoloration :

Concernant la décoloration, pour une granulométrie de 2 à 5 mm, 6g de charbons actifs de bambou arrivent à ôter 43.59% à l'échelle Pt-Co de la couleur d'une eau résiduaire de teinture. Alors qu'après pulvérisation, une granulométrie inférieure à 2 mm, 6g de charbons actifs de bambou réussissent à retirer 87.5% de la couleur.

D'ailleurs, afin de préserver les ressources en eaux, les eaux de rejets dans les normes doivent être incolores et inodores. Et dans les normes de qualités à suivre, la couleur est inférieure ou égale à 20 mg/L en échelle Pt-Co.

Au niveau des facteurs organoleptiques et physiques de ces eaux de rejets, on peut dire que ses charbons actifs de bambous ont des effets aléatoires, étant donné qu'ils peuvent augmenter de 16% le pH, de 34% la conductivité et la salinité de 25% et diminuer d'autres facteurs.

Ainsi, on a pu constater que les molécules constituant les pigments de la couleur naturelle de l'eau des effluents industriels choisi s'adsorbent facilement avec un charbon actif de bambou de faible granulométrie, de même qu'un charbon de bambou tout court.

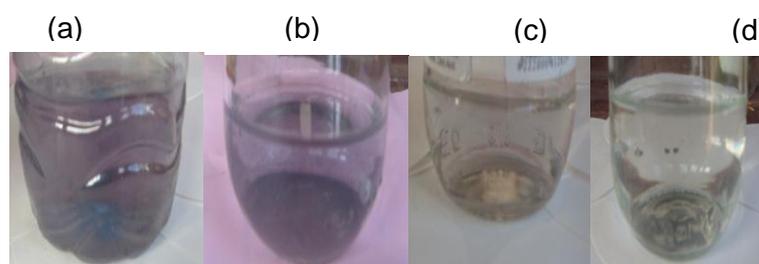


Photo 14: Evolution de la qualité des eaux de rejets traités par le charbon de bambou.



Photo 15: Comparaison de l'état initiale et finale de l'eau résiduaire traitée par le charbon actif de bambou

- (a) : eau de rejet "E" d'une société de textile
- (b) : "E" traitée au charbon de bois de pin
- (c) : "E" traitée au charbon de bois de bambou cru ou brut
- (d) : "E" traitée au charbon de bois de bambou activé

- (e) : eau de rejet "F" d'une autre société textile
- (f) : "F" traitée au charbon de bois de bambou activé.

Tableau 24: Mesure de la capacité d'adsorption de couleur par le charbon de bambou.

Masse M' du charbon		Couleur (mg/L : échelle Pt-Co)			
		4g (<2 mm)	6g (<2 mm)	4g (2 à 5 mm)	6g (2 à 5 mm)
Eau de rejet (SATIE)		400	400	350	390
Filtration au Charbon de :	Bambou (brut)	230	210	310	300
	Bambou (actif)	70	50	200	220
	Bois de pin (brut)	380	340	345	380
% décoloration (charbon actif)		82,5%	87,5%	42,85%	43,59%

Tableau 25: Variation des caractéristiques physiques des eaux de rejets suite à une filtration sur charbon de bambou.

Filtration avec du Charbon de :		pH	Conductivité (µS/cm)	Salinité (mg/L)	Couleur (mg/L: échelle Pt-Co)
**Eau de rejet (SATIE)		6.92	11.65	5.80	400
Filtration au Charbon de :	Bambou (brut)	7.48	12.95	6.21	210
	*Bambou (actif)	8.27	17.64	7.79	50
% de variation (** et *)		+ 16,32%	+ 33,95%	+ 25,54%	- 87,5%

■ Test de désodorisation :

Tableau 26: Mesure de la capacité d'adsorption d'odeur par le charbon de bambou.

Masse M'' du charbon		Pourcentage de l'odeur		
		6g (<2 mm)	8g (2 à 5 mm)	12g (2 à 5 mm)
Pétrole brute		100	100	100
Filtration au Charbon de :	Bambou (brut)	100	75	75
	Bambou (actif)	75	50	25
	Bois de pin (brut)	100	100	100

A ce sujet, on peut dire que la porosité de 12 grammes de charbons actifs de bambou est capable d'absorber jusqu'à 75% de l'odeur de 250 mL de pétrole, alors que pour une même quantité, un charbon de bambou n'arrive à en capturer que 25%, contrairement au charbon de bois ordinaire qui est sans effet.

Les résultats obtenus jusqu'ici montrent que les charbons de bambou brut peuvent être considérés comme semi-actif par rapport au charbon de bois ordinaire.

■ Mesure de la porosité :

Les résultats de mesure sont présentés dans le tableau 27. Et il est normal que si la densité diminue, la porosité augmente vu qu'une partie du charbon initial fut ôtée lors de l'activation, alors des pores se sont libérés. Ainsi, l'activation est réussie.

Tableau 27: Résultat comparative de la densité et porosité de charbon de bambou après pyrolyse et activation.

Échantillons	D	P ₀
Charbon brute	0,490	0,774
Charbon actif	0,427	1,083

e. Caractéristiques physiques du charbon actif de bambou:

L'adsorption des gaz nécessite des pores de 1 à 2 nm et un type de charbon actif dense, alors que des pores de 2 à 10 nm suffisent pour l'adsorption des liquides. Ce qui implique que, dire charbon actif de bambou équivaut à parler un charbon actif léger.

Il est une poudre noire, légère, très salissante, constituée essentiellement de matière carbonée à structure microporeuse composée de pores de tailles différentes, d'imperfections du domaine du visible jusqu'aux pores aux dimensions moléculaires. C'est, en fait, une sorte de charbon de bois présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant. Il possède la plus grande force d'adsorption physique et le plus important volume d'adsorption de tous les matériaux naturels ou synthétiques connus.

Comparé au charbon de bois, le charbon de Bambou peut atteindre une superficie de 700 m² par gramme (soit 2.5 à 3 fois plus)". **[S-08]**

On le dit saturé quand tous ses pores sont remplis par les substances à filtrer. Il devient alors inefficace et pire. Les substances retenues vont ensuite se dissoudre et repasser dans l'eau. En effet, seul un traitement dans un four à très haute température permet de le régénérer. Cette température est la température limite que l'on peut atteindre avant que le charbon ne s'enflamme. La technicité et le coût de cette opération font qu'elle est réservée aux très grandes quantités utilisées dans les industries. **[S-05]**

3.3.2. Le savon de charbon de bambou :

Par définition, un savon de toilette est un savon spécialement adopté à la toilette parce qu'il nettoie bien et mousse facilement, tout en étant purifié des alcalis caustiques et de toute autre ingrédient susceptible de ne causer aucune irritation cutanée. **[02], [22]**

Les savons de toilettes peuvent se classer selon leur mode de fabrication :

- Savon élaboré (produit de haute qualité)
- Savon à froid (produit de qualité moyenne)
- Savon refondu (produit de basse qualité)

On s'intéressera de près sur le savon de toilette obtenu par le procédé refondu.

a. But :

Elle consiste à exploiter les propriétés physico-chimiques du charbon de bambou pour améliorer la qualité du savon de toilette en l'utilisant comme charge.

b. Élaboration du savon :

↳ Les matières premières :

- 100g de poudre de charbon de bois de bambou (teneur en eau y compris), granulométrie inférieur à 2 mm.
- Une masse m de mélange de savon.

↳ Processus :

D'abord, fondre les savons à une température donnée afin de pouvoir les mélanger pour avoir une consistance homogène. Lors de cette étape, 1.2% en masse de charbon de bambou est ajoutée.

Ensuite, après que les substances actives soient exactement mélangées de même que le parfum, du charbon de bambou réduit en fine poudre y est additionné puis de nouveau mixé. Ensuite, on y verse du parfum selon notre choix.

Une fois homogène, on verse la pâte dans les mises et on la laisse reposer pour permettre une solidification lente.

↳ Observation et interprétation :

Le produit maintient la peau propre et pure, nul n'est besoin de déodorant ou parfum.

La poudre de charbon de bambou utilisé comme charge pénètre directement la peau et agit également en tant qu'agent nettoyant, et enlève le sébum et les substances toxiques des produits de beauté.

Pourquoi du charbon de bambou ?

Les fibres de bambou ont l'effet épluchant qui renforce celui du charbon, en débarrassant la peau de cellules mortes. De plus, sources de silice, ils minéralisent la peau, et lui offrent ainsi tonus et élasticité.

Pourquoi le mélange de savon ?

Les diverses huiles et graisses telles les huiles de coco, palme et olive de ces savons sont connues pour leur effet protecteur et nourricier de la peau, les huiles d'amande et de ricin contiennent des antioxydants, réhydratent, nourrissent et régénèrent la peau.

Ainsi, le charbon de bambou en plus de diverse propriétés des huiles provenant des savons initiaux permettent d'améliorer les caractéristiques du produit final : "savon de toilette de charbon de bambou".

3.3.3. Le charbon combustible :

Dans le classement des énergies, le charbon de bois est mis dans la rubrique des énergies renouvelables. Devant subir une transformation avant sa consommation, il est classé énergie secondaire, à pouvoir calorifique inférieur. Il ressort d'une étude établie par J.Doat Petroff que le charbon de bois dépasse nettement le bois de feu avec 7800 à 8000 Kcal/Kg et cela augmente d'autant plus que le bois est sec. [17]

Le charbon combustible est la plus ancienne des méthodes de valorisation du produit de la pyrolyse. Seulement ses défauts se trouvent dans ses caractéristiques en tant que tels, surtout pour celui du bambou.

a. Étude comparative :

Pour faciliter la comparaison du charbon de bambou avec les autres combustibles solides minéraux, on le fera avec du charbon ordinaire de bois de pin par exemple.

Pour se faire, on prendra un même volume de ces charbons que l'on place dans deux foyers identiques. Dans deux récipients (marmites) égaux, on y chauffe un volume équitable d'eau à partir d'un même temps de départ. Et on a les résultats suivant :

Tableau 28: Étude comparative des caractéristiques thermiques des charbons.

Essai n°	01		02		03	
	Pin	Bambou	Pin	Bambou	Pin	Bambou
Volume de charbon (cm ³)	300	300	300	300	300	300
Temps d'inflammabilité (mn)	3,6	1,93	3,42	2,26	3,5	2,005
Temps d'ébullition d'un litre (mn)	13,1	8,36	15,01	10,01	13,25	9,16

Ainsi, on peut dire que le charbon de bambou s'enflamme trois fois plus vite que le charbon de bois de pin mais demande deux fois plus de temps pour bouillir un litre d'eau par rapport à celui-ci.

Combiné au résultat de recherche réalisé par des anciens élèves du Génie Chimique de l'ESPA, on a :

Tableau 29: Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques des charbons.

Foyer Caractéristiques	Métallique			Traditionnel amélioré		
	Eucalyptus	Peupliers	Bambou	Pinus	Eucalyptus	Mimosa
Densité Kg/m ³	320	270	162.2	270	350	380
Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/kg)	8011	904	1,5 fois que le Pinus	8292	8116	8361
Humidité %	6,29	5,89	4,090	6,99	6,23	6,13
Cendres%	8,57	13,56	0,150	0,58	7,99	6,01
Matières volatiles	21,49	21,49	75,94	23,04	7,39	9,12
Carbone fixe%	68,71	62,10	20,31	70,14	78,37	79,03
Pouvoir calorifique inférieur (Kcal/Kg)	7973	7868	-----	8250	8078	8234

Source : Auteur et Y.RAKOTOMANGA : étude des principales caractéristiques physico-chimiques des charbons de bois Malgaches. Mémoire de DEA Génie Chimique (ESPA) :22/03/86. [19]

b. Perspective d'avenir : (brique combustible)

Afin de valoriser les sciures de bambou issues de l'élaboration des matériaux de constructions, la réalisation de brique combustible de bambou s'avère être une des meilleures solutions. Elle s'élabore de la façon suivante :

Ayant la granulométrie désirée durant le broyage, du liant, qui n'est autre que de la féculé de manioc, y est mélangé. Puis vient le malaxage suivi du compactage à l'aide d'une presse mécanique. Suite à cela vient le séchage et on a de la brique de charbon. La féculé de manioc est choisie comme liant étant donné que selon les études, c'est celui à moindre coût.

Les résultats des études caractéristiques de la brique de bambou sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 30: Étude des caractéristiques des briquettes de charbon de bambous.

Essai n°	01	02	03	Moyenne
Densité	0,7378	0,6421	0,7371	0,7089
Humidité %	10,7030	9,8753	10,0159	10,1981
Cendres%	8,8585	8,7056	8,3846	8,6495
Matières volatiles%	39,8519	43,4519	50,8179	44,7072
Carbone fixe%	40,5866	37,9672	30,7816	36,4452
Type de charbon	Brique de bambou		Charbon de bois de pin	
Temps d'inflammabilité (mn)	3,84		2,38	
Temps d'ébullition d'un litre (mn)	25,46		20,17	

3.3.4. Le vinaigre de bambou :

Il est composé principalement (80-90%) de l'eau et de 10-20% de composés organiques, ayant pour résultat approximativement 200 ingrédients séparés. Plusieurs des composés sont de différents types d'acide qui donnent au liquide un maquillage de pH semblable à celui du vinaigre de ménage. D'où le terme « vinaigre en bambou ».

Du vinaigre en bambou est produit lors de la fabrication de charbon de bois en bambou. La vapeur qui s'échappe est condensée, on l'appelle : "vinaigre cru de bambou". Ensuite elle passe par un procédé de filtration et de distillation pour devenir une substance utilisable.

a. Décantation :

La décantation de 250 mL du jus pyrolytique nous permet d'avoir deux phases : organique et aqueuse. La première est constituée des hydrocarbures, au passage d'une flamme, elle prend feu. La seconde sera distillée pour en savoir plus.

b. Distillation :

En distillant le jus pyrolytique vert-noir, on obtient le jus pyroligneux jaune clair. Les résultats des expérimentations sont regroupés dans le tableau qui suit :

Tableau 31: Caractéristiques physique du vinaigre de bambou.

Échantillons		A
Jus pyrolytique (après pyrolyse)	pH	3,18
	Densité	1,026
	Indice de réfraction	1,370
	Teneur en sucre (°Brix)	12,8
Jus pyroligneux (après distillation)	pH	2,13
	Densité	1,033
	Indice de réfraction	1,342
	Teneur en sucre (°Brix)	6,2

c. Vieillessement :

Webographiquement parlant, un temps de vieillissement de longue durée est nécessaire pour exploiter les bienfaits médicaux de cet élixir.

Faute de temps, l'analyse de cette essence n'a pu être accomplie.

III.4. Les domaines d'utilisation de ces produits :

Le charbon actif et le vinaigre de charbon de bambou possèdent un large domaine d'applications, contrairement au charbon et briquelette combustibles ainsi que du savon de toilette de charbon de bambou.

3.4.1. Le charbon actif :

En termes de cavités microscopique, cette propriété hyper adsorbante et active est la résultante d'une réaction physico-chimique rapide entre le produit adsorbant et le produit adsorbé, qui n'altère ni l'un ni l'autre. Une des premières applications possibles, pour ce morceau de charbon, concerne alors la neutralisation des odeurs d'aliments, notamment ceux du réfrigérateur. Il peut capturer et retenir l'eau ou les particules en suspension dans l'air.

Il est également un parfait régulateur hydrostatique: les parois de ses cavités microscopiques peuvent encore adsorber l'humidité de l'air ambiant pour la libérer lorsque celui-ci redevient sec.

A propos de ces applications les plus connues et répandues, on les regroupe dans le domaine de la :

- Filtration : - Décontamination de l'eau potable
 - Filtration des polluants organiques dans les aquariums.
- Chimie : - Déchloration des eaux et autres liquides alimentaires (bière, boissons gazeuses, huiles, etc.).
 - Traitement des effluents liquides ;
 - Décoloration et détachage des vins blancs (raisin noir à jus blanc) : les pigments de la peau du raisin, qui peuvent colorer le jus, sont absorbés par un charbon activé chimiquement et exempt de fer afin d'éviter la casse ferrique du vin ; **[S-03]**
 - Décoloration et raffinage du sucre et de l'huile ;
 - Décaféination du café : avec de l'eau ;
 - Élimination des hydrocarbures dans l'eau.
- Industrie : - Extraction de l'or des minerais (fixation sur le charbon actif) ;
- Médecine : - Empoisonnement par absorption de substances toxiques ;
 - Antidote en cas d'intoxication alimentaire ou par médicaments,

Concernant son avenir au niveau international, l'industrie des cosmétiques et des textiles commence à utiliser ses vertus. On voit surgir par exemple des vêtements de sports,

dont les tissus contiennent ce charbon, et s'auto-entretiennent en permettant simultanément l'absorption de l'humidité et la disparition de la prolifération des bactéries.

3.4.2. Le vinaigre de bambou :

Le vinaigre en bambou a été longtemps employé dans la médecine orientale pendant des siècles.

Ce liquide peut être appliqué dans les produits de beauté, insecticides, désodorisants, transformation des produits alimentaires, et agriculture. Ses fonctions consistent à expulser l'odeur, à nourrir le massage facial et la peau de corps.

Photo 16: *Comparaison de l'aspect du vinaigre de Charbon de bambou après pyrolyse et après distillation.*



II.5. Conclusion partielle :

Le charbon de bambou est principalement employé comme combustible domestique, la plupart est un charbon en brique. Mais en voyant sa microstructure ahurissante : une capacité d'absorption élevée après carbonisation, et devient plus influent après activation, le pratiqué en tant qu'autre produit comme le savon et le charbon actif paraît plus évident. En tant que tel, il peut être employé pour épurer l'eau, en éliminant les substances d'impureté et les odeurs organiques.

Étant donné l'industrialisation de notre monde qui s'accélère, la pollution de l'air et la pollution de l'eau est de plus en plus problématique pour notre environnement. Le charbon de bambou, comme simple produit fonctionnel, par ses propriétés de base, peut aider à la protection de l'environnement et permettre de soulager, réduire, voir stopper la production du charbon de bois qui nuit à nos forêts et ainsi à notre précieux oxygène.

Ces produits sont mis sur pied afin que rien ne puisse être perdu du bambou et que la pollution causée lors de leur mise en œuvre soit la plus minime possible.

Partie III :

Evaluation

Technico-Economique

et Environnementale

Chapitre I : ETUDE DE MARCHÉ

I.1. Généralité sur le projet :

I.1.1. Principe :

Étant énoncé et explicité aux deux parties précédentes, le projet envisagé consiste à :

- Élaborer des matériaux de construction tel le parquet et le plancher de bambou ;
- Exploiter le bambou en tant que charbon combustible, briquelette combustible, et même en charbon actif.

I.1.2. Marché actuel :

a. Parquet et plancher :

A ce propos, ceux qui sont faits à partir des bois résineux dominant le marché local. D'ailleurs, le tableau suivant montre la variation des prix ainsi que les régions et les usines fournisseurs.

Tableau 32: Prix actuel du parquet et de ses dérivés (Ariary) dans la région d'Analamanga.

Espèces	Pin (4m de long)	Hazo ala (4mx17cmx7cm)	Eucalyptus (4m) (4mx17cmx7cm)
Parquet (5 pièces)	16 000	26 000	20000
Bois rond (1 pièce)	1 400	-----	-----
Madrier (1 pièce)	-----	30 000	20 000
Volige (10 pièces)	10 000	-----	-----
Origine	Manjakandriana, Moramanga,		
Exemple d'Usine	HAZOVATO		

Il est à noter que l'arrivée au consommateur local est assurée par les petits artisans aussi bien que les points de vente des usines.

b. Charbon combustible :

Actuellement, Madagascar consomme à peu près 440 000 tonnes par an de charbon combustible. En tous cas le tableau ci-dessous montre qu'à la capitale à elle seule, elle absorbe plus de 45% de la consommation totale. Étant donné, l'avantage de l'usage des briquettes, son usage sur le marché est envisageable, surtout au niveau qualité prix.

Tableau 33: Consommation annuelle de Madagascar en combustible de charbon de bois par milliers de tonnes.

	1980	1985	1986	1990	1995	2000	2005
Antananarivo	66,4	84,9	89,2	108,4	138,3	163,9	189,6
Antsirabe	12,0	15,3	16,0	19,5	24,9	30,1	34,8
Fianarantsoa	10,4	13,3	14,0	17,0	21,7	26,8	30,2
Divers	22,7	13,9	14,6	17,8	22,7	27,2	32,4
Total : haut plateau	111,5	127,5	133,8	162,6	207,5	255,2	302,7
Mahajanga	5,0	6,4	6,7	8,2	10,4	12,6	14,9
Toamasina	5,4	6,8	7,2	8,7	11,1	13,7	16,3
Toliara	4,6	5,9	6,2	7,5	9,5	12,1	14,7
Divers	20,1	36,1	37,9	46,0	58,7	69,6	78,9
Total : pleine ville	35,1	55,2	57,9	70,4	89,9	108,2	126,7

Source : Document de la banque mondiale et du PNUD : "Madagascar : Problèmes et choix énergétique, novembre 2005"

c. Charbon actif :

En ce moment, l'usage de charbon actif à Madagascar se fait rare depuis quelques années en raison de son prix. On rencontre encore quelques sociétés qui en font appel pour divers traitements comme la STAR de Madagascar. Le tableau suivant permet de les classer selon leur utilisation :

Tableau 34: Quelques exemples d'industries utilisant du charbon actif à Madagascar.

UTILISATIONS	INDUSTRIES et ENTREPRISES	TRAITEMENTS
Traitement des eaux	JIRAMA: eaux et électricité de Madagascar (EEM)	Lorsque la JIRAMA n'était encore que EEM
Raffinage du sucre	SIRAMA	Décoloration du sucre pour avoir du sucre blanc
Traitement des eaux	STAR (production de bière et boisson hygiénique)	Déchloration et filtration de l'eau de JIRAMA pour avoir de l'eau traitée
Décoloration et désodorisation du vin	LAZAN'I BETSILEO	Clarification et amélioration du goût
Filtration et décoloration	SOMALCO	Industrie de parfumerie

Sources : élaboration de charbon actif à partir de bois de pin ; thèse de doctorat de RAHARIJAONA Tovo Robin.

Grâce au donné offert par l'INSTAT, on peut estimer la consommation annuelle de Madagascar en charbon actif depuis l'année 1995, ainsi que les pays fournisseurs et leurs prix (FOB) dans les tableaux qui suivent.

Tableau 35: Masse de l'importation de charbons activés enregistrée par Madagascar de 1995 à 2010:

Pays	Poids en kilogramme															
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Allemagne		10 275	18 000										1			
Autres		6 622	3 600	4	16	13	113									
Autriche														2		
Belgique					115		350	350	1 423	991	960	536	1 000			703
Canada			9													
Chine							142					14 711			100	
Espagne									20 430							
France	7 937	300	650	746	257	680			90	57	184	1 583	1 040	326	273	5 013
Hong-Kong									330							
Inde									119			2				
Italie												3 240				
Japon							1									
Pays-Bas					4 320					860						
Réunion											14					
Union Européenne								350					131			
Total	7 937	17 197	22 259	750	4 708	693	606	700	22 392	1 908	1 158	20 072	2 172	328	373	5 715

Source: INSTAT/D S E/SSES/Commerce Extérieur/ Février 2010

Tableau 36: Prix de l'importation de charbons activés enregistrée par Madagascar de 1995 à 2010:

Pays	Valeur en Ariary							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Allemagne		8 849 508	18 307 849					
Autres		14 924 555	28 980 000	64 440	457 083	188 357	820 306	
Autriche								
Belgique					962 335		812 213	889 997
Canada			336 197					
Chine							305 866	
Espagne								
France	31 368 007	6 637 704	17 051 263	9 065 477	1 694 923	1 694 387		
Hong-Kong								
Inde								
Italie								
Japon							56 755	
Pays-Bas					37 800 000			
Réunion								
Union Européenne								943 392
Total	31 368 007	30 411 767	64 675 308	9 129 917	40 914 342	1 882 744	1 995 141	1 833 389
Prix unitaire	3 952	1 768	2 905	12 173	8 690	2 716	3 292	2 619

(Suite du tableau à la page suivante)

Pays	Valeur en Ariary							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Allemagne					133 985	45 771		
Autres								
Autriche						361 285		
Belgique	10 256 870	6 027 500	9 938 547	5 810 235	6 761 910			7 588 107
Canada								
Chine				8 333 048			484 592	
Espagne	26 560 000							
France	5 417 907	1 848 289	5 756 672	29 273 638	15 505 047	9 961 986	9 319 274	51 133 179
Hong-Kong	163 486							
Inde	188 013			38 400				
Italie				17 733 536				
Japon								
Pays-Bas		36 253 868						
Réunion			1 998 200					
Union Européenne					3 179 333			
TOTAL	42 586 275	44 129 657	17 693 419	61 188 857	25 580 275	10 369 042	9 803 866	58 721 286
PRIX UNITAIRE	1 902	23 129	15 285	3 048	11 779	31 568	26 319	10 275

Source: INSTAT/D S E/SSES/Commerce Extérieur/ Février 2010

I.1.3. Analyse de la concurrence:

a. Force et faiblesse de la concurrence :

Le tableau suivant est instauré afin de résumer les forces et faiblesses des produits concurrents.

Tableau 37: Résumé de la force et faiblesse des produits concurrents.

PRODUITS	Forces	Faiblesses
Matériaux de constructions	- Familiarité des clients à son utilisation - Disponibilité permanent sur le marché	- Instabilité des prix ; - Qualité des produits non homogènes ; - Destruction de l'environnement.
Charbons combustibles	- Ne nécessite pas de moyen financier élevé - Prix moins chers.	- Instabilité des prix ; - Qualité des produits non homogènes ; - Destruction de l'environnement. - Teneur en poudre très élevé.
Charbons actifs	- Familiarité des clients à son utilisation - Assurance et fiabilité des clients sur le produit.	- Prix chers; - Produits importés ;

b. Force et faiblesse des produits à lancer :

Le tableau suivant est établi afin de résumer les forces et faiblesses des produits à lancer.

Tableau 38: Résumé de la force et faiblesse des produits à lancer.

PRODUITS	Forces	Faiblesses	Point à accentuer
Matériaux de constructions en bambou	- Qualité physico-mécanique - Qualité esthétique	- Coût d'investissement élevé; - Produit nouveau sur le marché	- Légèreté - Protection environnementale - Rapport qualité prix assuré.
Charbons combustibles de bambou	- Homogénéité des produits - Pouvoir calorifique élevé - Légère		- Contribution au développement du pays,
Charbons actifs de bambou	- Prix moins chers - Produit de qualité - Disponibilité permanente		- Stabilité des prix, - Protection environnementale, - Rapport qualité prix assuré.

I.2. Plan de production :

1.2.1. Prévision de production :

Il est prévu selon ce projet de récolter 25 000 tiges de bambous géants matures par an, ce qui correspond à une production annuelle de 41.5 tonnes de matériaux de construction, 14.698 tonnes de charbons actifs et de 1.782 tonnes de briquettes combustibles de bambou.

Ce qui permet d'établir le planning de production suivant :

Lors des deux premières années (N-1 et N) se feront l'installation du projet ainsi que l'acquisition des équipements.

N+1 : début de l'exploitation pour une production correspondant à une récolte de 39.375 tonnes par an (soit 30% de la capacité de production de l'usine) de bambou (*Dendrocalamus Giganteus*). Ce qui augmentera de 20% chaque année.

Ainsi à partir de la cinquième année de récolte, la capacité de production de l'usine sera atteinte. La prévision de production de l'usine pendant les dix premières années du projet est résumée dans le tableau qui suit :

Tableau 39: Programme de production durant les dix premières années du projet.

Désignation	N-1 et N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8
Volume de production / capacité d'usine	0	30	50	70	90	100	100	100	100
Matériaux de constructions (t)	Installation de l'usine	12,45	20,75	29,05	37,35	41,5	41,5	41,5	41,5
Charbon actif de bambou (t)		4,4094	7,349	10,2886	13,2282	14,698	14,698	14,698	14,698
Briquelette combustible (t)		0,5346	0,891	1,2474	1,6038	1,782	1,782	1,782	1,782
TOTAL	0	17,394	28,99	40,586	52,182	57,98	57,98	57,98	57,98

1.2.2. L'usine de transformation de bambou :

a. Matériels et équipements :

Les matériels équipements nécessaires à la transformation du bambou sont les suivant :

- Scieuses électriques,
- Compresseurs,
- Unités de pyrolyseurs,
- Broyeurs et Tamiseurs,
- Machines à compacter (Presse mécanique) et moules,
- Balances de précisions,
- Ponts roulants,

- Séchoirs,
- Silos de stockage de charbon,
- Fours d'activation (à moufles),
- Pont-bascule (matériel de pesage),
- Autoclaves et fours de carbonisation,
- Cuve de trempage et de la purification.

b. Les matériels de transport et de manutention :

Ils sont constitués de : camions, camion benne, deux cars de transport de personnels, une voiture 4x4, quatre voitures légères, des matériels de maintenance, des matériels de sécurité (fourgon à poudre, extincteurs, bouche d'incendie, trousse de secours...).

c. Les infrastructures :

Le terrain domanial pour l'implantation de l'usine est évalué à 5 000 m². L'usine de transformation comprendra les bâtiments suivants :

- 04 ateliers et magasins ;
- Un office de bureau ;
- 05 salles ;
- 03 hangars ;
- 02 silos de stockages ;
- 02 laboratoires d'analyses ;
- Un parking de 1500m².

1.2.3. Approvisionnement en matière première et consommables :

a. Le bambou géant : "Dendrocalamus Giganteus"

Ils seront récoltés dans la région du Sud-Est et de Vatovavy-Fitovinagny de Madagascar, c'est-à-dire dans le littoral Est de l'île.

b. Les produits chimiques :

Les produits chimiques ainsi que les colles spéciales pour les matériaux de constructions seront importés pour la plupart. Le reste est approvisionné localement.

c. Le liant la fécule de manioc :

Ce n'est autre que l'amidon extrait des tubercules des maniocs par voie humide ou plutôt par hydrolyse. L'approvisionnement se fait localement également.

d. Les bois-énergies :

Pour l'unité de la pyrolyse, les bois-énergies sont assurés par une plantation d'arbre à croissance rapide dès la mise en place des infrastructures du projet. Les essences à planter seront l'*Eucalyptus Camaldulensis* et l'*Eucalyptus Crebra*.

1.2.4. Les ressources humaines :

L'usine de transformation emploiera 50 salariés permanents qui seront répartis comme suit :

- Fonction administrative : -----	12
- Usine de transformation du bambou en matériaux de construction : -----	05
- Usine de transformation du bambou par pyrolyse : -----	03
- Unité d'activation du charbon de bambou : -----	04
- Unité de valorisation du charbon de bambou en brique combustible : -----	03
- Service de maintenance : -----	05
- Laboratoire de contrôle qualité et environnement : -----	03
- Main d'œuvres (chauffeurs, femme de ménage, coursier, éplucheurs,...) : ----	10
- Service de sécurité : -----	05

L'usine de transformation fonctionnera 24heures sur 24, cinq jours par semaine. Toutefois l'administration ne travaillera que 8heures par jours. Les ouvriers seront recrutés dans la région et communes environnantes.

Un service de transport du personnel sera mis en place pour assurer leur déplacement de leur habitation vers le lieu de travail tous les jours. De plus une formation sera dispensée aux employés trois mois avant le début des activités d'exploitation.

I.3. Évaluation financière du projet :

1.3.1. Investissement :

a. Immobilisation incorporelles :

Étant constitué par les frais de premiers établissements, son coût s'élève à 5 000 000 Ar.

b. Immobilisation corporelles :

Ils sont constitués par les coûts de :

- Construction des bâtiments et parking ;
- Achat de terrain ;
- Achats des matériels et équipements du projet ;
- Installations du système d'alimentation en eau du projet.

Le tableau suivant résume le coût de l'immobilisation corporelle.

Tableau 40: Coût des immobilisations corporelles.

Désignation	Montant (x1000Ar)
Terrain	35000
Bâtiment et Parking	21452
Matériels et équipements	9000
Matériels de transport	8000
Agencement et aménagement	5000
Installation d'alimentation en eau et électrique du projet	5000
TOTAL	83452

c. Les charges fixes:

Ce sont les charges invariables indépendamment de la production de l'unité.

Les salaires ou rémunérations qui sont en fonction du diplôme et du poste occupé, de la performance et de l'expérience rencontre une augmentation de salaire de 10% par an à partir de la troisième année.

Concernant les charges sociales, celle du CNaPS s'élève à 13%, alors que celle de l'OSTIE à 5%.

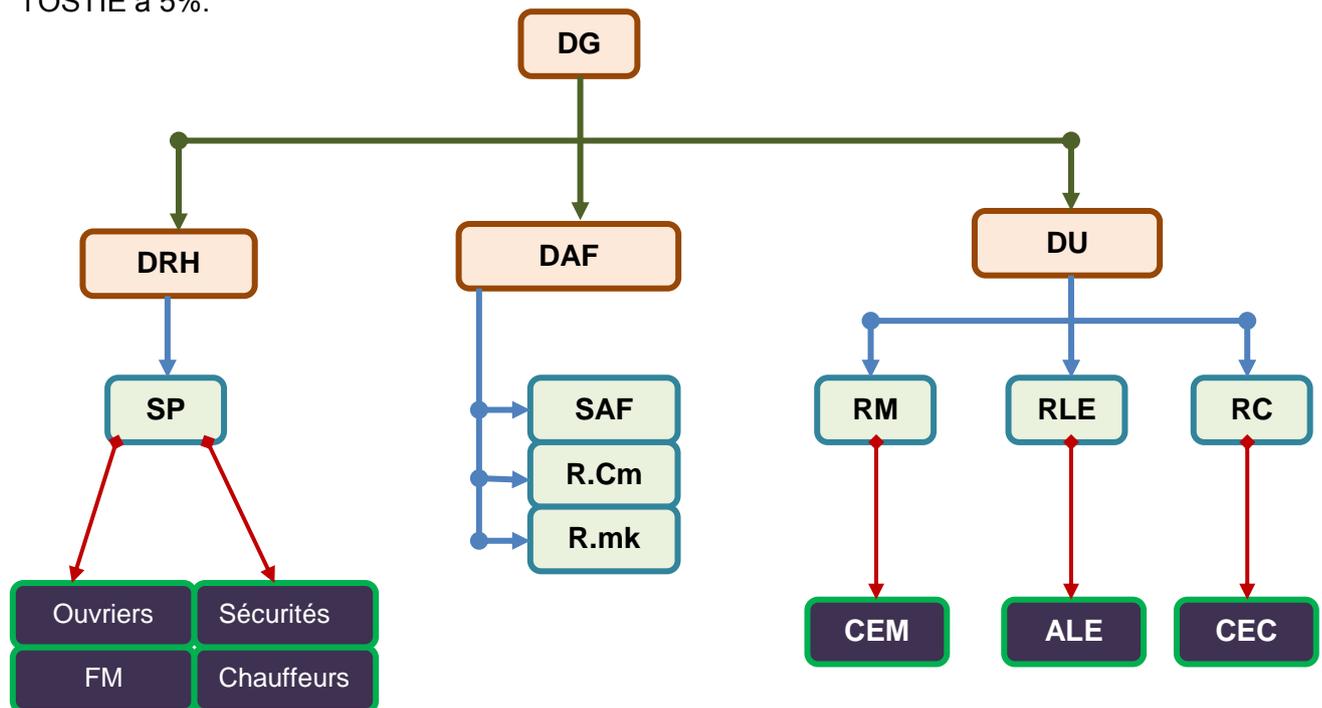


Figure n° 12: *ORGANIGRAMME de la Société.*

DG : Directeur général

DRH: Directeur ressources humaines

DAF: Directeur administratif et financière

DU : Directeur d'usine

SP : Service personnel

SAF : Service administratif et financière

R.Cm : Responsable commercial

R.mk : Responsable marketing

RM : Responsable maintenance

RLE : Responsable laboratoire et environnement

RC : Responsable de conditionnement

CEC : Chef d'équipe de conditionnement

ALE : Agent de laboratoire et environnement

CEM : Chef d'équipe de maintenance

FM : Femmes de ménages

Tableau 41: Rémunération mensuel et annuel des salariés (x1000Ar).

Poste	Nombre	Salaires	Mensuel	Annuel
DG	1	800	800	9600
DU	1	700	700	8400
DRH	1	700	700	8400
DAF	1	700	700	8400
RC	1	500	500	6000
RL	1	500	500	6000
RM	1	500	500	6000
Rmk	1	500	500	6000
R.Cm	1	500	500	6000
SAF	1	450	450	5400
SP	1	450	450	5400
ALE	4	280	1120	13440
CEC	2	250	500	6000
CEM	2	250	500	6000
OUVRIERS	15	200	3000	36000
CHAUFFEURS	6	175	1050	12600
Agent de sécurité	5	180	900	10800
FM	3	150	450	5400
chef d'équipe d'ouvriers	2	225	450	5400
TOTAL	50		14270	171240

Tableau 42: Charge annuelle des personnels pour les huit premières années du projet (x1000Ar).

Poste	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7
DG	-	9600	9600	10560	11616	12778	14055	15461
DU	-	8400	8400	9240	10164	11180	12298	13528
DRH	-	8400	8400	9240	10164	11180	12298	13528
DAF	-	8400	8400	9240	10164	11180	12298	13528
RC	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
RL	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
RM	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
Rmk	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
R.Cm	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
SAF	-	5400	5400	5940	6534	7187	7906	8697
SP	-	5400	5400	5940	6534	7187	7906	8697
ALE	-	13440	13440	14784	16262	17889	19678	21645
CEC	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
CEM	-	6000	6000	6600	7260	7986	8785	9663
Main d'œuvres		70200	70200	77220	84942	93436	102780	113058
TOTAL	-	171240	171240	188364	207200	227920	250712	275784
CNaPS 13%	-	23197	23197	25517	28069	30875	33963	37359
OSTIE 5%	-	8922	8922	9814	10796	11875	13063	14369
TOTAUX Généraux	-	202063	202063	222270	244496	268946	295841	325425

d. Les charges variables :

Elles sont constituées par les achats des matières premières, des charges externes (entretien et transports) ainsi que des autres approvisionnements tels que les consommations en eaux et électricité.

Tableau 43: Coût d'achats des approvisionnements (x1000Ar).

Désignation	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7
Bambou	-	6000	10000	14000	18000	20000	20000	20000
Réactifs	-	4527	7546	10564	13582	15091	15091	15091
Liants	-	9	14	20	26	29	29	29
Bois d'énergies	-	17103	28506	39908	51310	57011	57011	57011
eaux et électricités	-	3690	6150	8610	11070	12300	12300	12300
TOTAL	-	31329	52215	73102	93988	104431	104431	104431
Entretien	-	1500	2500	3500	4500	5000	5000	5000
Transport	-	2500	4167	5833	7500	8333	8333	8333
Total (Charge Externe)	-	4000	6667	9333	12000	13333	13333	13333

e. Récapitulation des investissements :

Voici un bref tableau récapitulatif des divers investissements lors de ce projet :

Tableau 44: Récapitulation des investissements : (x1000Ar).

Rubriques	Valeur brute	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7
Immobilisation incorporelle	5000	-	-	-	-	-	-	-	-
Terrain	35000	-	-	-	-	-	-	-	-
Immobilisation corporelle	48452	-	48452	48452	48452	48452	48452	48452	48452
Charges fixes	325000	-	202063	202063	222270	244496	268946	295841	325425
Charges variables	150000	-	35329	58882	82435	105988	117764	117764	117764
TOTAUX	563452	-	285844	309397	353156	398936	435162	462057	491641

Le coût des investissements totaux est défini comme la somme du capital fixe (investissement plus dépense de première établissement) et du fond de roulement (en pleine capacité).

Tableau 45: Tableau de récapitulations (x1000Ar).

Catégories d'investissement	Montant (x1000Ar)
Coût des immobilisations corporelles	83452
Dépense de 1 ^{er} établissement	5000
Fond de roulement (en pleine capacité)	435162
TOTAUX	523 614

Ainsi, les investissements totaux initiaux du projet s'élèvent à **523 614 000 Ariary**.

1.3.2. Remboursement des emprunts :

Le financement du projet s'effectuera par :

- L'apport de 95 millions d'Ariary par le promoteur du projet ;
- L'emprunt à long terme de 428 614 000 Ariary auprès des institutions financières à un taux de 15% ;
- La capacité d'autofinancement et la disponibilité issues des activités de l'entreprise.

Le tableau de remboursement des emprunts suivant représente les charges financières supportées et effectuées par l'entreprise durant les huit premières années du projet.

La formule pour obtenir l'annuité est :
$$a = \frac{iS_0(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

a : Annuité

i : taux d'intérêt annuel

n : Durée de remboursement

So S_0 : emprunté

Tableau 46: Remboursement de l'emprunt à long terme (x1000Ar).

	S_0	428 614			
	n (ans)	8		a	95516.6683
	i (%)	15			
	Condition	annuité constante			
Année	Montant S_i	i	Remboursement	Annuité	Capital restant dû
N	428614	0	0	0	428614
N+1	428614	64292	31225	95517	397389
N+2	397389	59608	35908	95517	361481
N+3	361481	54222	41294	95517	320187
N+4	320187	48028	47489	95517	272698
N+5	272698	40905	54612	95517	218086
N+6	218086	32713	62804	95517	155282
N+7	155282	23292	72224	95517	83058
N+8	83058	12459	83058	95517	0
TOTAL		335519	428614	764133	

3.3. Compte des résultats prévisionnels :

Tableau 47: Compte des résultats prévisionnels (x1000Ar).

Désignation	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8
Vente de briquelette	389	648	908	1167	1297	1297	1297	1297
Vente de parquets	87150	145250	203350	261450	290500	290500	290500	290500
Vente de charbons actifs	44095	73491	102887	132284	146982	146982	146982	146982
Production de l'exercice	131634	219389	307145	394901	438779	438779	438779	438779
Coût d'exploitation	30329	50182	80235	92888	96764	96764	96764	96764
Résultat d'exploitation	101304	169207	226910	302013	342015	342015	342015	342015
Frais financier	26254	31505	37806	45367	54440	54440	54440	54440
Cash flow brut	75050	137703	189105	256646	287575	287575	287575	287575
DOTATION AUX AMORTISSEMENTS	30670	30670	35500	33068	27497	27210	13900	13150
Résultats avant impôts	44380	107032	153605	223578	260078	260365	273675	274425
Impôt sur les bénéfices	15534	37463	53764	78256	91032	91132	95791	96053
Résultat net	28846	69569	99840	145322	169046	169232	177884	178371
Résultat net cumulé	28846	98415	198256	343578	512624	681856	859740	1038111

Le compte de résultat prévisionnel du projet durant les huit premières années d'activités est donné dans ce tableau 47. Et on y remarque que ce projet est fructueux car les comptes de résultats et les bilans offrent des suites positives.

Concernant la politique des prix, tout ce que l'on peut dire, c'est que le tableau 48 suivant nous offre le prix proposé :

Tableau 48: Résultats prévisionnels de la production annuelle (en pleine capacité)

Produits	Prix unitaire du Kg (Ariary)	Quantités en Kg	Prix total (Ariary)
Briquettes combustibles	700	1853	1297
Parquets	7000	41500	290500
Charbons actifs	10000	14698	146982

3.4. Analyse des critères de rentabilité et de faisabilité financière du projet :

Elle consiste à examiner les coûts, les paramètres et les résultats du projet afin de connaître sa rentabilité et sa faisabilité dans les domaines financiers, économique et sociaux.

Un projet est rentable financièrement s'il atteint ses objectifs et notamment s'il réalise des bénéfices et peut honorer les dettes au moment voulu. La mesure de la rentabilité financière d'un projet comprend :

- La valeur actuelle nette ou VAN
- Le taux de rentabilité interne (TRI)
- La durée de récupération des capitaux investis (DRCI)
- L'indice de profitabilité (IP)

a. Valeur Actuelle Nette (VAN)

Elle permet de juger si l'investissement est acceptable ou non, par l'expression des cash-flows au moment de l'évaluation à l'aide du taux d'intérêt de l'emprunt.

VAN est représenté par la formule suivante : $VAN = \sum_{j=1}^n MBA(1+j)^{-n} - i_0$

Avec : MBA : Marge Brute d'Autofinancement.
n: année.

i : Taux d'actualisation 20%.
 i_0 : montant de l'investissement.

Tableau 49: Calcul de la VAN (x1000Ar).

Désignation	Cash Flow Brut	Cash Flow net	$(1+j)^{-n}$	MBA actualisé 15%
N		0	1.000	0
N+1	75050	48783	0.870	42420
N+2	137703	89507	0.756	67680
N+3	189105	122918	0.658	80821
N+4	256646	166820	0.572	95380
N+5	287575	186923	0.497	92934
N+6	287575	186923	0.432	80812
N+7	287575	186923	0.376	70271
N+8	287575	186923	0.327	61106
TOTAL				591424
Investissement initial				563452
VAN				27972

Ainsi, on a trouvé une valeur Actuelle Nette de : $VAN = 27\,972\,000$ Ariary.

Nous pouvons conclure que ce projet sera rentable et viable car le montant de la valeur actuelle nette est largement supérieur à zéro.

b. Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Il correspond au taux d'actualisation qui ramène la VAN d'un projet à zéro. Ce point constitue le taux d'intérêt maximum pour que l'emprunt effectué ne conduise pas l'unité à une perte.

Tableau 50: Calcul de TRI.

Désignation	Cash Flow net	$(1+j)^{-n}$	MBA actualisé 15%	$(1+j)^{-n}$	MBA actualisé à 20%
N	-	1.000	-	1.000	0
N+1	48783	0.870	42420	0.833	40652
N+2	89507	0.756	67680	0.694	62157
N+3	122918	0.658	80821	0.579	71133
N+4	166820	0.572	95380	0.482	80450
N+5	186923	0.497	92934	0.402	75120
N+6	186923	0.432	80812	0.335	62600
N+7	186923	0.376	70271	0.279	52167
N+8	186923	0.327	61106	0.233	43472
TOTAL (x 1000Ar)	-	-	591424	-	487752
Investissement initial	-	-	563452	-	563452
VAN (x 1000Ar)	-	-	27972	-	-75700

A partir du tableau ci-dessus, le taux τ est compris entre 12% et 25%. Pour calculer τ , nous allons faire une interpolation linéaire :

$$-75700 < 0 < 27972 \text{ Et } 15\% < \tau < 20\%.$$

$$\frac{20-15}{20-\tau} = \frac{27972+75700}{27972+0} = 1.6063$$

TRI = 18.65%

D'après les calculs obtenus, nous trouvons :

Le taux de rentabilité interne trouvé est supérieur au taux d'intérêt de l'emprunteur 15%. Pour cela nous pouvons dire que notre projet est rentable.

c. Délai de Récupération des Capitaux Investis (DRCI)

Il s'agit du temps nécessaire pour que le total des recettes procurées par le projet atteigne le montant des investissements réalisés. En d'autre terme, c'est le nombre d'années au cours desquelles le projet procure suffisamment des ressources afin que la somme investie soit récupérée.

Tableau 51: Calcul du DRCI.

Rubriques	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8
Cash Flow Brut	75050	137703	189105	256646	287575	287575	287575	287575
Cash Flow net	48783	89507	122918	166820	186923	186923	186923	186923
Cash Flow net cumulé	48783	138290	261208	428028	614951	801875	988798	1175721

Le montant total des investissements est 563 452 000 Ariary. Ce montant est compris entre le cash-flow net cumulé de la 4^{ème} année et celui de la 5^{ème} année.

DRCI est la durée de récupération des capitaux investis :

$$428028 < 563452 < 614951 \quad \text{Et} \quad 4 < DRCI < 5$$

$$\frac{5-4}{DRCI-4} = \frac{614951-428028}{563452-428028} = 3.999$$

Alors, on a : **DRCI = 3.999**

Ainsi, l'investissement initial est récupérable après 3 ans et 11 mois et 29 jours environs, soit en quatre ans. Aussi, on peut dire que la rentabilisation est réalisable dans un temps plus court que prévu.

d. Indice de profitabilité (IP)

L'indice de profitabilité est indiqué par le rapport entre la somme des MBA actualisées cumulées et la somme des capitaux investis.

$$IP = \sum_{j=1}^n \frac{MBA (1+t)^{-j}}{C}$$

$$IP = \frac{591424000}{523614000}$$

IP = 1.13

L'IP est supérieur à l'unité, soit 1.13% ce qui signifie qu'un Ariary de capitaux investis génère une marge bénéficiaire de 0.13 Ar.

Chapitre II : ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

L'environnement représente l'ensemble des milieux naturels et artificiels entourant l'homme auquel il est en relation directe comme l'eau, l'air, les conditions sociales, économiques et les infrastructures.

L'Étude d'Impact Environnemental est une étude qui décrit le projet et son environnement et analyse les impacts ou effets négatifs et positifs du projet sur l'environnement. L'identification de tous les impacts négatifs permet de définir les mesures de prévention et d'atténuation de ces impacts négatifs.

Cette partie étudie les préoccupations environnementales du procédé de valorisation du Bambou Géant "Dendrocalamus Giganteus".

Ainsi l'objectif global est de protéger l'environnement afin de mieux assurer un développement durable de la région d'implantation du projet.

II.1. But :

Selon la loi n°90-033 du 21 décembre 1990 relative à la charte de l'Environnement Malagasy et ses modifications, vu la loi 99.021 du 19 Août 1999 portant sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions d'origine industrielle ; une étude d'impact environnementale (EIE) s'impose.

L'action environnementale ne doit pas se réduire à la seule protection et à la sauvegarde des ressources naturelles, des espèces rares ou des sites mais elle est inséparable à des actions pour un développement économique et social durable.

L'objectif est donc de rétablir un équilibre durable et harmonieux entre les besoins de développement de l'homme et les soucis écologiques. Il s'efforcera de situer le développement par rapport à la conservation, d'en limiter et d'en définir les interactions

II.2. Bilan matières du processus :

Le tableau suivant permet de savoir les étapes du processus de valorisation du Bambous qui soient susceptibles d'avoir une quelconque contribution à la dégradation de l'environnement et de la santé humaine.

Tableau 52: Bilan matière du processus de valorisation des bambous :

IN PUT	Étape du processus	OUT PUT
Bois-énergies	Coupe et carbonisation	Émission atmosphérique (CO, CO ₂ , SO _x , NO _x , matières volatiles)
Bambou	Coupe et pyrolyse	Poussière de charbon, charbon de bambou, émission de gaz incondensable (HC légère, CO, CO ₂ ,...)
Sciure de bambou	Sciage et usinage et broyage (brique)te	Poussière
Eau	Lavage et condensation	Rejet liquide
Produits chimiques : Formol et peroxyde	Trempage	Émission atmosphérique et dégagement de gaz volatil : CO ₂ , CO, ...

Ce tableau montre que les nuisances potentielles directes causées par le projet sur l'environnement et la santé humaine sont les émissions gazeuses (CO, CO₂, NO_x,...) ; les poussières, les bruits des matériels/équipements et les rejets liquides, et aussi la déforestation due à l'utilisation du charbon de bois.

En partant avec une tonne de bambou géant (à valoriser), on pourrait obtenir à la fin du processus :

- 316.8 Kg de matériaux de construction (madrier et/ou parquet) ;
- 14.14 Kg de brique)te combustible de bambou ;
- 11.22 Kg de charbon actif de bambou.

II.3. Identification des impacts du processus sur l'environnement :

Elle consiste à identifier les impacts générés par les activités de l'usine de valorisation du bambou géant, y compris le fonctionnement de l'usine. Les impacts de ces opérations peuvent être temporaires, se prolonger pendant toute la durée de vie de l'usine, ou permanent (irréversibles ou à longue rémanence après les travaux).

Les nuisances générées par le processus de valorisation du bambou sont :

- Les poussières de charbon et de sciure de bambou;
- Les émissions atmosphériques (CO, CO₂, NO_x, ...).
- Les rejets liquides ;
- Les cendres ;
- Le bruit ;
- La déforestation ;

II.3.1. Sur le milieu physique :

a. Impacts sur les ressources en eau :

Les rejets liquides issus du processus de valorisation pourraient affecter la qualité des ressources en eau de la zone (eaux de surface ou eaux souterraines). Les sources d'impacts seront les charges polluantes des rejets (MES, DCO, DBO...).

b. Impact sur le sol :

Sur le sol, l'impact des activités de l'usine sera la pollution et/ou contamination par les huiles et graisses diverses issues des matériels et équipements, ainsi que par les charges polluantes des rejets liquides.

c. Impact sur l'atmosphère :

Concernant l'impact sur l'atmosphère, elle se concentrera surtout sur la pollution de l'air par :

- Les gaz d'échappement des matériels roulants : les émissions seront dues à la combustion des carburants. Ainsi, les émissions seront constituées de CO, CO₂, SO_x et NO_x ;
- Les gaz d'échappement du groupe électrogène qui assure la fourniture en électricité du fonctionnement de l'usine, qui se constituera de CO, CO₂, SO_x et NO_x ;
- Les gaz émises lors de la pyrolyse du bambou : les émissions seront dues au non condensabilité des gaz pyrolytiques. Elles seront constituées de H₂S, CO, CO₂, C_nH_{2n+2} ;
- Les émissions atmosphériques dues à la combustion du charbon de bois lors de la pyrolyse.
- Les poussières.

En conséquence, ces émissions peuvent provoquer une pollution de l'air de la région.

II.3.2. Sur le milieu biologique :

a. L'augmentation des pressions sur les ressources naturelles environnantes :

Ces impacts seront dues aux:

- Présences des employés ;
- Fournitures de bambous géants ;
- La fourniture de bois-énergie.

b. Les dégradations diverses des écosystèmes aquatiques et terrestres :

Elles seront dues aux:

- Rejets liquides issus de l'usine de valorisation ;
- Fuites d'huiles et carburants des véhicules de l'entreprise ;
- Huiles de vidange des machines et des équipements;
- Fourniture de bois-énergie.

c. La disparition ou déplacement des individus (Faune) :

Les activités de l'usine seront une source de nuisances pour la faune environnante étant donné qu'elles causent des :

- Bruits divers issus des matériels et équipements ;
- Émissions atmosphériques.

d. La déforestation :

Elle est provoquée par l'utilisation de bois-énergie (charbon de bois) lors de la pyrolyse. Et de même du côté du besoin en matière première qui n'est autre que le bambou géant, vu que lors des trois et quatre premières années de production, les bambous exploités sont ceux cultivés à l'état sauvage.

II.3.3. Sur le milieu humain :

Les impacts de l'usine de valorisation du bambou est capable de provoquer des nuisances et des pollutions sur la population par :

a. Le bruit :

Il est à noter que le bruit domine le système auditif, de plus la nocivité du bruit est fonction de la durée d'exposition quotidienne de la personne et du niveau atteint.

Pour tout dire, le niveau de bruit issu des matériels de transport de l'usine, des matériels et équipements de transformation (presse, scieuse électrique, broyeur....), ainsi que le groupe électrogène peut entraîner des nuisances au niveau de la population environnante et du personnel.

b. Les rejets atmosphériques :

Ils peuvent affecter la santé de la population environnante et du personnel. Par exemple les rejets atmosphériques tels que les CO, CO₂, SO_x, et NO_x peuvent entraîner des affections respiratoires et des irritations oculaires, pareil aux émissions atmosphériques telles que le CO, C_nH_{n+2}, qui sont toxiques.

Ainsi elles représentent un danger pour la population avoisinante et le personnel.

c. Les déchets solides :

Ils seront constitués par les :

- Cendres d'incinération du bois-énergies,
- Fines de charbon de bambou issues du broyeur qui forme un nuage de poussière;
- Déchets solides assimilables aux ordures ménagères issus de l'usine de transformation (papier, carton, plastique...).

Les poussières peuvent affecter les voies respiratoires. Les déchets solides ménagers issus des habitations du personnel de l'usine de transformation, pourront affecter la qualité de l'environnement de la zone.

Ils provoquent des odeurs nauséabondes s'ils sont mal gérés. Les déchets solides issus des divers bureaux peuvent créer une pollution visuelle dans la zone. Ils seront constitués par le papier, le carton, les emballages divers, les objets en plastique...

II.4. Enjeux environnementaux et sociaux du projet :

Après analyse de la situation et consultation des futurs utilisateurs des produits dérivés du bambou géant, les principaux enjeux environnementaux identifiés sont les suivants :

- L'utilisation des briquettes de charbon de bambou comme combustible domestique et de la centrale thermique ;
- L'utilisation des charbons actifs de bambou comme élément de purification dans divers procédés de traitements des autres usines locales ;
- L'utilisation des parquets de bambou à la place des parquets de bois résineux ;
- Le bénéfice écologique généré par le projet (réduction de la déforestation évitée par la substitution du charbon de bois et du bois de chauffe, du bois de construction par les produits obtenus à partir du bambou) ;
- Biodiversité et processus écologique ;
- La réduction des gaz à effet de serre par la séquestration de ceux-ci par les forêts économisées.

II.4.1. Économie de forêt :

Actuellement, le bois et le charbon de bois constituent les principales sources d'énergie des ménages et des services à Madagascar, il en est de même à propos des ressources en matériaux de construction. Les pressions sur nos ressources forestières sont de plus en plus fortes pour satisfaire les besoins de chaque ménage en énergie et chaque personne créant un logement. La substitution de ces derniers par les produits dérivés de bambou peut atténuer ces pressions.

II.4.2. Impact social et économique :

Pour la société, ce projet permet d'offrir :

- Officiellement, 66 emplois, mais plus de cela en comptant les paysans fournisseurs en matières premières.
- Une évolution sociale et économique pour la région.
- Une amélioration de l'économie du pays (diminution de l'importation de charbon actif par les usines importatrices du pays).

II.4.3. Impact positif :

La valorisation du bambou géant apporte divers avantages sur l'environnement :

- L'encouragement de la population à ne plus s'acharner sur les bois précieux et à s'intéresser à la plantation et exploitation du bambou. Le bambou agrandit chaque année sa biomasse de plus de 30 %.
- La plantation de bambou améliore la qualité du sol et permet aussi d'améliorer la qualité de l'air.

D'ailleurs, le bambou est une graminée ligneuse capable de fixer 30% de plus de CO₂ que les arbres feuillus, jusqu'à 12 tonnes de CO₂/ha/an (3 tonnes pour une forêt de feuillus). Il libère donc 30% d'oxygène de plus que des arbres. L'étréoussesse de ses feuilles améliore l'infiltration de l'eau dans le sol (deux fois plus qu'une forêt de feuillus).

Il limite l'érosion des sols (grâce à son réseau racinaire très dense sur 60 centimètres de profondeur) et restaure des sols appauvris. On l'utilise pour l'élimination de certaines toxines du sol (phyto-remédiation), et sa culture ne nécessite peu ou pas d'engrais, ni de produits phytosanitaires.

De plus, au fur et à mesure qu'un rhizome se développe, sa partie la plus âgée dépérit et laisse dans le sol un boyau humifère très bénéfique à l'évolution du sol.

II.5. Mesures d'atténuation des impacts négatifs et de réduction des nuisances générées par le projet :

II.5.1. Gestion des rejets:

a. Gestion des rejets liquides :

Pour assurer la gestion des effluents liquides du processus de valorisation du bambou, diverses installations seront mises en place telle que celle du traitement des:

- Eaux usées industrielles;
- Rejets liquides issus des toilettes, des bureaux et ateliers divers.

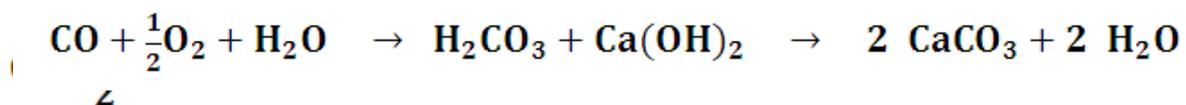
b. Gestion des rejets atmosphériques :

Afin d'atténuer les impacts négatifs des rejets atmosphériques du projet, les dispositions à entreprendre seront :

- L'élimination des gaz toxiques;
- L'atténuation des émissions atmosphériques dues à la combustion du charbon de bois issus des bois-énergies;
- L'atténuation des émissions de poussières de charbon de bambou dues au broyage et celle lors du sciage.

Le composé, tel le monoxyde de carbone qui est dangereux pour la santé humaine, nécessite un traitement approprié pour éliminer ou atténuer leur impact sur la santé. C'est un traitement qui consiste à épurer chimiquement les gaz dont le but est de se débarrasser le monoxyde de carbone (CO).

Ainsi le gaz à épurer est passé à travers un lait de chaux. Le monoxyde (CO) réagit avec la chaux pour former le carbonate de calcium, suivant la réaction:



Le carbonate de calcium (CaCO_3) est un composé stable. Il ne présente donc pas de danger pour l'environnement et la santé humaine.

Concernant les émissions de poussières, un arrosage avec de l'eau de temps en temps, surtout en période sèche, fera l'affaire.

c. Gestion des déchets solides :

Il faudra éviter que cela n'évolue pas vers un conflit social. Pour atteindre cet objectif, des activités doivent être entreprises:

- Un recyclage des fines de charbon;
- Une mise en place d'un système de collecte de déchets solides (moyen de collecte et de transport...);
- Un aménagement d'une décharge contrôlée avec l'aval des autorités locales (maires, chef de district, chef de région) pour évacuer les déchets solides générés. La localisation doit être désignée par la mairie. Elle ne devra pas affecter la qualité des eaux (souterraines ou de surface) de la zone.

II.5.2. Bruits :

Pour atténuer les impacts du bruit sur la santé des employés et de la population environnante, des mesures seront prises telles :

- Le port de casque antibruit obligatoire pour les ouvriers qui travaillent à côté des matériels ou équipements qui génèrent le niveau de bruit élevé;
- Le suivi de la santé des employés travaillant dans des postes sources de bruit.
- Présences d'isolants phoniques dans les murs de construction du bâtiment.

II.5.3. Gestion des forêts :

Afin d'atténuer les impacts de la déforestation, il faudra mettre en place un système d'approvisionnement en bois-énergie. Le système consiste à mettre en place une plantation d'arbres à croissance rapide. Les critères de choix des espèces sont l'adaptation aux conditions climatiques de la zone, la croissance rapide, la résistance au passage du feu. Les études effectuées par le CIRAD & CONSORTS en 2005 ont montré que les espèces qui répondent à ces critères sont les *Eucalyptus Camaldulensis* et les *Eucalyptus Crebra*.

Cependant, durant les sept premières années de production (la plantation d'arbre à croissance rapide ne sera pas encore exploitable), on utilisera l'élagage des arbres des forêts environnantes. La plantation des arbres à croissance rapide devra débuter avec l'installation des infrastructures du projet.

Toutefois, les aires de forêts affectées par la mise en place et le fonctionnement du projet seront compensées par le reboisement de celles-ci ou son équivalent dans les zones déboisées de la région.

À l'égard de tout cela le bambou *Dendrocalamus Giganteus* est coupé après quatre à cinq, maximum huit ans. Par sa structure de cellule extrêmement dense, il surpasse toutefois en fermeté et en élasticité, les bois de chêne et de peuplier.

II.6. Conclusion partielle :

Suivant les analyses environnementales dont les résultats sont transcrits dans cette dernière partie, on peut dire que les futures activités de cette usine seront susceptibles de causer des blessures significatives à l'Environnement si des mesures ne sont pas prises.

Les risques et dangers générés par les tâches de ce projet furent été identifiés et évalués, ils s'agissent:

- Des pollutions atmosphériques;
- De la pollution des eaux de surfaces ou souterraines;
- Des nuisances dues aux bruits générés par les différents matériels et équipements d'exploitation;
- Des nuisances dues aux déchets solides;

Pour ceux, des mesures d'atténuations sont présentées afin de réduire les impacts négatifs significatifs à des niveaux acceptables.

Si les mesures proposées sont appliquées correctement, les impacts résiduels se trouveront à des niveaux qui ne présenteront plus de risques ni dangers pour les différents composants de l'environnement.

En outre, l'apport des produits du bambou sur l'environnement est de permettre une conservation de la grande partie de la forêt locale. Les forêts ainsi conservées pourraient séquestrer du gaz à effet de serre. Aussi, elle pourrait contribuer à l'atténuation de l'effet de serre provoqué par l'activité anthropique de l'homme et la pression sur les ressources forestières malgaches.

CONCLUSION GENERALE :

Les essais, études et analyses effectuées dans le cadre de ce travail, ont illustré que la valorisation du bambou géant : *Dendrocalamus Giganteus* et du *Phyllostachys Viridis* est faisable sur les plans technique, économique, financier et environnemental.

En effet, après une étude bibliographique sur le bambou, à savoir un rappel suivi d'une étude expérimentale de sa valorisation dont on a rencontré ses caractérisations, son utilisation possible ainsi que les études effectuées sur ce dernier. Les échantillons ont été prélevés dans la région de Toamasina et de Tananarive.

Les résultats de cette étude ont montré que la valorisation du bambou géant permet d'obtenir:

- Des matériaux de construction tels que le parquet et le madrier en bambou;
- Des charbons actifs de bambou ;
- Des briquettes combustibles de bambou ;
- Des charbons de bambou ;
- Des savons de charbon de bambou ;
- Du vinaigre de bambou.

Suite à l'épluchage, un traitement physico-chimique améliore la qualité des matériaux de construction en bambou. Et concernant, les autres produits obtenus, leurs qualités sont basées sur les conditions de pyrolyse.

Question rendement, un bambou géant permet d'avoir : 31.68% de matériaux de construction, 30% de vinaigre de bambou et 34% de charbon de bambou. Ensuite dans ces 34% on peut obtenir : 15.5% de charbon actif de bambou et 0.64% de briquette de combustible de bambou.

Suite à ce fait, on a passé à l'analyse technico-économique et financière du projet qui nous a permis de déterminer le montant des investissements ainsi que le plan de financement du projet.

L'évaluation financière du projet a montré des résultats positifs. De plus, les diverses études de rentabilité nous garantissent que le projet est rentable financièrement.

En effet, pour des investissements initiaux de 563,452 millions d'ariary l'analyse de diverses rentabilités sont assez intéressantes, vu que lors des huit premières années de production :

- Le TRI est de 18,65% ;
- Le seuil de rentabilité sera atteint en 11 mois d'activité ;
- Le délai de récupération des investissements est de 4 ans de production.
- L'indice de profitabilité est de 1.13% : 1 ariary investi donne 0.13 ariary de bénéfice.

Enfin, le travail est clos par une analyse environnementale du projet qui a permis de dégager un bilan écologique positif étant donné que le projet permet de contribuer à la diminution des gaz à effet de serre par la séquestration de carbone par les bambous plantés et aussi les forêts conservées.

En tout cas le bambou est une ressource motivant : c'est un véritable matériau écologique, biodégradable, le charbon de bois de bambou s'inscrit parfaitement dans une perspective de protection environnementale.

Ainsi la valorisation du bambou géant constitue une solution écologique pour Madagascar.

En conclusion, le projet contribuera à lutter contre la pauvreté par la résorption du chômage. Il permettra aussi à la zone d'implantation de se développer rapidement. Les activités de l'exploitation seront bénéfiques, non seulement, pour la Commune et la Région Atsimo-Atsinana et celle de Vatovavy Fitovinany mais de Madagascar tout entière, qui bénéficieraient des avantages que le projet apportera.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES et
WEBOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques :

[01] : ANDRIAMAROVOLOLONA Mijasoa Miandravola : “évaluation de la ressource « bambou » en vue de son utilisation durable”. Mémoire de Diplôme d’étude Approfondie : Sciences Agronomiques ; option Foresterie-Environnement-Développement ; N°12/2005/EFOR. 77 pages.

[02] : CDI : “Fabrication du savon à l’échelle artisanale et semi-industrielle”. Dossier : n°43/fev.1998 – 58 p.

[03] : Centre Technique Forestier Tropical « BOIS TROPICAUX ». Publication n°12- 5è édition, France 1983 143 pages.

[04] : CIRAD, CTBA. « Guide pour le choix des bois en menuiseries extérieures et intérieures ; parquets, moulures, aménagement décoratif. » CTBA, édition : mai 1985 paris, 1992 – 162 p.

[05] : CROUZET Yves « LES BAMBOUS ». RUSTICA/ FLEER, paris 2005- 119 p.

[06] : DONKOR Peter « Produire du savon : Technique à l’échelle artisanale et micro-industrielle ». La documentation Française 1992 ; édition : Le point sur les technologies. 112 pages.

[07] : HIDALGO.O ; LANGLAIS .G ; « Construire en bambou dans les pays en développement. » REXCOOP, paris, 1978, 310 p.

[08] : Julien Bouissou. « Les débouchés industriels de la plante sont nombreux, et sa culture désormais encouragée. ». Journal, New Delhi Correspondance.

[09] : Marlène CAPO-CHICHI. « La valorisation du bambou dans la région d’Analanjirifo ». Institut supérieure Technique d’outre mer – octobre 2008 – 17p.

[10] : M.AVARGUES et P.BAPSERES : « Nuisances dues aux activités industrielles : précis général des nuisances ». Bibliothèque de l’environnement, collection dirigé par Jean A. Ternisien. Éditeur : GUY LE PRAT. 363 pages.

[11] : Patrice COURTY : « Maitrise de l’énergie et développement : abrégé de carbonisation artisanale ». Cellule Énergie Renouvelables GRET-GERES- avril 1985 – 81p.

[12] : Paul GUENEAU : « Bois et essences Malgaches » Imprimerie Antananarivo – 1987. 47p. .

[13] : Philippe BIERLING : « Traiter le bois en extérieur :”connaître et savoir” ». Edition SAEP, collection 2000 -59p

[14] : RAFALIMAMONJISOA José : «Contribution à la valorisation des déchets pneumatiques pour la production d’huile combustible. » Mémoire de Diplôme Ingéniorat : Génie chimique : 24/03/09, Antananarivo, Promotion 2007-2008 ; 92 pages.

[15] : RAHARIJAONA Tovo Robin : « Élaboration de charbon actif à partir du charbon de bois de pin. »
Thèse de doctorat génie chimique – 31/10/1989 – 106p

[16] : RALALARIMANGA Honorine : « VOLOTSANGANA ; Amboara haitaozavatra ». SME- D.L.N°158-
DU 18/08/1989 – CENAM- 27p.

[17] : RALIJAONA Pierre & RAMANANTSIALONINA Jean Marc : « Approche sur les foyers améliorés »
Mémoire de Diplôme Ingénieur : Génie chimique : 08/08/86. Promotion 1985-1986 ; 59 pages.

[18] : RAMAMONJISOA Bruno : « Réflexion sur les problèmes de la filière bois Malgache ». Séminaire
3è cycle, promotion 1986/87 ; 38p.

[19] : RAMAROSON Jean De Dieu : « Contribution à l'étude de la transformation du charbon de terre
de la SAKOA en combustible domestique ». Thèse de Doctorat en Génie Chimique à l'ESPA-
Madagascar ; 05/05/10 ; 158 pages.

[20] : RASOLONJATOVO Henitsoa Safidy Josephson : « Contribution à la valorisation des déchets
plastiques pour la production de carburant, de solvant et de fuel par voie thermique. ». Mémoire de
Diplôme Ingénieur : Génie chimique : 10/05/10; Promotion 2008-2009 ; 98 pages.

[21] : Roger DUMON : « Valorisation énergétique du bois et de la biomasse ». Edition MASSON. Mars
1982. 201p.

[22] : Village technology handbook : « Manuel technique du village ». Édition VITA, USA 1976. 427
pages.

Références Webographiques:

Adresse du web	Date de consultation
[S-01] : www.capfida.mg / .../ étude_de_cas_bambou_formatted.pdf	Septembre 2010
[S-02] : www.cyr.fr/cyr-.distribution	Septembre 2010
[S-03] : www.fr.wikipedia.org/wiki/	09/2010 au 02/2011
[S-04]: www.blogue.zouloumarketing.com	Octobre 2010
[S-05]: www.aquabase.org/member/view	Décembre 2010
[S-06]: www.French.alibaba.com/categorylist/soap	Décembre 2010
[S-07]: www.bellecomme.net/fr	Novembre 2010
[S-08]: www.couetteetnature.com	Décembre 2010
[S-09]: www.bambouland.fr	11/2010 au 03/2011

ANNEXES

Annexe 0 1 : METHODE DE PREPARATION DE SAVONS DE TOILETTE DE TYPE

REFONDU :

On fait refondre un mélange de divers types de savon dans un chaudron chauffé et on le remue. Le brassage ne doit pas être vigoureux ou prolongé sinon cela pourrait donner au savon un aspect éventé. Une fois la totalité du savon fondu, on ajoute une solution de $K_2 CO_3$ pour lui donner une texture plus ferme et plus homogène, le rendre plus transparent et augmenter son pouvoir moussant. On ajoute alors la couleur désirée sous forme soluble et enfin le parfum. Pour donner au savon l'odeur désirée, il faut ajouter une petite quantité de parfum ou bien quelques gouttes d'huiles essentielles peu onéreuses.

Le savon parfumé est ensuite déchargé dans les mises, pour le refroidissement, le découpage et l'estampage.

Annexe 0 2: TENEUR EN MATIÈRES VOLATILES

Remarque : *on parle différemment de teneur en matières volatiles, de taux de matières volatiles ou d'indice de matières volatiles. L'indice s'exprime, comme la teneur et le taux en pourcentage massique.*

La détermination du taux de matières volatiles (NF M 03-004 et ISO 562) consiste à maintenir à 900°C, à l'abri de l'air et pendant 7 mn, un échantillon de combustible. Le taux de matières volatiles est sans aucun doute le test des combustibles solides en général, et des charbons en particulier, le plus répandu. Ce taux présente un grand intérêt pratique car, outre sa simplicité, il constitue un paramètre important de qualification des combustibles car il joue un grand rôle en combustion directe car les matières volatiles favorisent l'allumage du foyer et le développement de la flamme ;

Le charbon à forte teneur en matières volatiles est plus sensible aux phénomènes d'auto-échauffement par fixation de l'oxygène de l'air.

Annexe 0 3: TENEUR EN EAU

↪ Différentes formes de l'humidité

La teneur en eau des combustibles solides est un facteur important du prix (l'eau est un ballast sans valeur) et de la valeur d'usage (le séchage est une opération coûteuse), d'où l'importance attachée à la détermination précise de l'humidité.

* *Eau liée :*

C'est l'eau qui est liée chimiquement, ou adsorbée, sur les sites hydrophiles des parois de la macromolécule organique.

* *Capacité de rétention :*

Elle fait intervenir des phénomènes de capillarité dans la porosité fine du combustible. La frontière entre l'eau liée et la capacité de rétention n'est pas nettement délimitée. De plus la notion de capacité de rétention doit être interprétée par rapport à des conditions atmosphériques définies en humidité relative et en température.

La capacité de rétention d'eau est une caractéristique intrinsèque du combustible qui dépend de la typologie, du rang et du faciès. Généralement inférieure à 5% en masse dans les houilles, elle peut atteindre 10 ou 15 à 50 ou 60% en masse dans les lignites et monter à plus de 70 ou 80% en masse dans les tourbes.

* *Humidité d'équilibre :*

C'est la teneur en eau d'un combustible séjournant au contact d'une atmosphère définie, par exemple, l'air ambiant du laboratoire d'analyse ou l'air libre sur une aire de stockage. L'humidité d'équilibre varie avec la température et l'humidité relative de l'air. En moins d'une journée, l'humidité d'équilibre peut varier de plusieurs points (par exemple de 2 à 3%) sur le même site.

Remarque : *La norme ISO 1018 définit les conditions de mesure de la capacité de rétention d'eau, en fixant la température à 30 °C et l'humidité relative à 96%.*

*Dans ces conditions, les notions de **capacité de rétention**, ou **d'humidité inhérente**, **d'humidité in situ**, **d'humidité d'équilibre** et **d'humidité interne** ont la même signification.*

* *Teneur en eau du charbon séché à l'air :*

Cette notion rejoint la définition de l'humidité d'équilibre, lorsque l'atmosphère au contact du charbon varie en température et en humidité relative. Il est commode, au laboratoire, de laisser égoutter et sécher à l'air les échantillons pour faciliter les opérations ultérieures de quartage et de réduction granulométrique. Les échantillons finaux soumis aux analyses quantitatives chimiques (teneur en cendres, teneur en matières volatiles, pouvoir calorifique,...) portent généralement sur des prises d'essais séchées à l'air.

Ces prises d'essais possèdent donc une humidité résiduelle, qui doit être mesurée en parallèle et simultanément avec le test considéré, afin de ramener par le calcul le résultat sur produit (rigoureusement) sec.

Remarque : *Il n'est pas recommandé de sécher complètement la prise d'essai avant l'analyse car l'opération de séchage thermique à l'air peut altérer certaines propriétés du charbon : pouvoir calorifique, teneur en matières volatiles,. Le recours à une atmosphère inerte compliquerait inutilement les opérations.*

✧ *Humidité superficielle ou humidité externe :*

C'est en quelque sorte l'eau d'égouttage, adhérant à la périphérie des grains, qui est facilement éliminée par ressuage, ventilation ou chauffage. L'humidité superficielle exprime théoriquement la différence entre l'humidité totale et la capacité de rétention d'eau. Mais il arrive que l'humidité superficielle soit calculée comme la différence entre l'humidité totale et l'humidité du charbon séché à l'air.

✧ *Humidité totale :*

C'est la teneur en eau mesurée sur un échantillon donné, après séchage complet de ce dernier.

La norme ISO 589 prescrit de sécher l'échantillon dans une étuve ventilée dont la température est réglée à 105 °C, jusqu'à masse constante.

Annexe 0 4: PROTOCOLE SCIENTIFIQUE POUR LE TEST D'INFLAMMABILITÉ DU CHARBON COMBUSTIBLE.

✧ **Conditions de réalisation de la mesure :**

✧ *Matériels utilisés :*

- Trois (03) foyers identiques « petit modèle ».
- Un (01) chronomètre pour enregistrer la durée de chaque test.

✧ *Combustible :*

- Trois types de briquettes de charbon de combustible (60g chacun) à tester ;
- 100 g de charbon de bois issu de même essence ou 100 g de tige de pins serviront d'amorce pour assurer le démarrage du feu ;

✧ *Mise en place des briquettes dans le foyer amélioré :*

Les trois briquettes à tester seront placées longitudinalement au dessus du tas d'amorces (100 g de charbon de bois ou 100 g de tiges de pins) avant chaque début de test (démarrage du feu). Ce mode de placement des briquettes permet non seulement un meilleur

contact d'une grande partie superficielle des briquettes avec le feu mais aussi un meilleur temps d'inflammabilité. Cinq tests par amorce (100 g de charbon de bois/ 100 g de tiges de pins) ont été réalisés pour déterminer l'inflammabilité des échantillons à tester.

Une fois que les conditions énumérées ci-dessus sont remplies, c'est – à – dire que :

- Les trois foyers sont prêts pour le test dans la chambre de combustion ;
- Le tas d'amorce (100 g de charbon de bois ou 100 g de tiges de pins) pour démarrer le feu est placé sur la grille du foyer ;
- Les briquettes sont déjà placées au-dessus du tas d'amorce juste au - dessus de la grille de chaque foyer,

Le test de mesure du temps d'inflammabilité du charbon de terre devra démarrer selon la séquence suivante :

- Allumer, en même temps, le feu de chaque foyer amélioré ;
- Déclencher le chronomètre une fois que le feu démarre.

Le temps d'inflammabilité sera enregistré une fois que les briquettes brûlent indépendamment de tout apport d'air primaire.

Annexe 0 5 : Processus de fabrication de la fécula de manioc.

Le principe de fabrication consiste à extraire les grains d'amidon de la chaire de manioc. Cette dernière est réduite en petit morceau après avoir subi une opération de lavage et d'épluchage. Ensuite, on effectue le râpage qui consiste à désintégrer la pulpe pour libérer aisément les grains d'amidon. On soumet ensuite les grains d'amidon à un courant d'eau puis on retient la cellulose sur un tamis.

On procède alors à une décantation ou par centrifugation pour séparer la partie aqueuse du lait féculant dite « eau verte » des substances fines en l'occurrence du grain d'amidon qui sera lavé avec l'eau. La fécula est séchée par la suite et mise dans des séchoirs à air chaud pour réduire son taux d'humidité entre 9 et 12 % à une température inférieure à la gélification de l'amidon.

D'après l'information sur la production agricole à Madagascar, recueillie auprès de l'INSTAT, la culture de manioc à Madagascar donne 30 à 40 tonnes/ha. Le rendement de conversion industrielle en fécula est de 20 %.

Une unité de production de fécula comporte les équipements minima suivants : Râpe mécanisée ; Filtre tamis ; Presse ; Bassin de décantation ; Séchoir ; Hangar de stockage.

GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

* **CARBONE FIXE** : pour un échantillon de charbon de bois donné, c'est la matière carbonée restante quand on aura éliminé les cendres et les matières volatiles. On les quantifie en % de la façon suivante :

$$100 - (\text{matières volatiles en \%} + \text{cendres en \%}).$$

* **CARBONISATION** : transformation par la chaleur, du bois en charbon de bois.

* **CHARBON DE BOIS** : charbon végétal : un des produits résultants (résidus) d'une carbonisation du bois.

* **Coefficient de rétractibilité volumique** : C'est la variation du volume (en % du volume anhydre) pour un changement d'humidité du bois de 1%. Il exprime la « NERVOSITE » d'un bois. Il dépend : de l'ampleur des retraits totaux, du niveau du point de saturation (état vert) à partir duquel la rétractibilité commence à se manifester.

* **COMBUSTION** : c'est le fait (l'action) de brûler par le feu. C'est le processus par lequel l'énergie chimique contenue dans le bois est convertie en chaleur. C'est la combinaison d'un corps avec l'oxygène : l'oxydation.

* **Durabilité naturelle** d'une essence est sa capacité à résister plus ou moins bien aux attaques des agents biologiques (champignons- insectes,.....).

* **Dureté** : les bois durs et peu compressible entraînent des risques accrues de désordres dans les ensembles (éclatement, fentes, arrachement ou décollement, déformation), par libération des contraintes élevées dont ils sont le siège lorsque les pièces ne peuvent jouer librement en l'humidité;

* **GOUDRON** : produit huileux, visqueux, de couleur brune ou noire, obtenu par la distillation sèche de nombreuses matières organiques. Goudron végétal ou goudron de bois : substance résineuse eu par distillation ou carbonisation du bois.

* **HUMIDITE** : taux d'humidité du bois : c'est le pourcentage d'eau contenue dans le bois.

$$\text{Humidité sur matière sèche} = \frac{M_b - M_s}{M_s} \times 100 = H_{ms} \%$$

$$\text{Humidité sur matière brute} = \frac{M_b - M_s}{M_b} \times 100 = H_{mb} \%$$

Avec :

M_b : Masse de l'échantillon avant dessiccation, échantillon humide

M_s : Masse de l'échantillon desséché.

* **POUVOIR CALORIFIQUE** : s'agissant de l'unité de masse d'un corps combustible, c'est la quantité de chaleur qu'il dégage par combustion.

* **PYROGENE** : qui produit de la chaleur.

* **PYROLIGNEUX** : (jus pyroligneux) : partie aqueuse des produits de distillation du bois, contenant de l'acide acétique, des cétones, alcools, goudrons,...

* **PYROLYSE** : c'est la décomposition thermique du bois en absence d'air.

* **REACTEUR** : (réacteur de carbonisation) : enceinte, plus ou moins hermétique, à l'intérieur de laquelle se produit la carbonisation du bois : par exemple : four métallique, cornue, fosse, meule, ...

- * **Régularité du fil** : c'est la condition d'une bonne conservation des formes. Les pièces ronceuses ou à contrefil fort et irrégulier, ou encore à fil oblique ou tranché, peut accuser des déformations importants lors de variation d'humidité en service.
- * **RENDEMENT** : c'est le rapport de l'effet obtenu sur l'effort dépensé.
- * **RENDEMENT PONDERAL DE CARBONISATION** : c'est le rapport de la masse de charbon de bois par la masse de bois qu'il a fallu carboniser pour le produire.

- * **Retrait volumique total** : Entre l'état saturé et anhydre, il est exprimé en pourcentage du volume anhydre (le retrait au séchage correspond à une fraction du retrait total, il est fonction de l'humidité choisie pour la mise en œuvre).
- * **Nervosité**: c'est la possibilité d'une variation dimensionnelle plus ou moins important constatées sur une pièce de bois lorsque son taux d'humidité varie.
- * **Retraits linéaires totaux** : La maîtrise de retrait n'est jamais assurée étant donné que la migration d'humidité dans le bois est plus rapide dans le sens du fil que dans le sens transversal, tangentiel et même radial. D'ailleurs, les retraits linéaires radiaux sont plus rapides en séchage.
- * **Retrait linéaire tangentiel** : c'est un retrait sur DOSSE (correspondant à la variation des dimensions en travers du fil d'une pièce qui est débité).
- * **Retrait linéaire radial** : c'est un retrait sur QUARTIER (correspondant à la variation de l'état saturé à l'anhydre, en % de la dimension anhydre).
- * **Unité de Chalais-Meudon** : c'est le rapport d'une empreinte laissé dans le bois par un cylindre d'acier de 3cm de diamètre disposé en travers du fil et chargé à 100kg/cm de longueur ; sur la flèche (mm).

TABLE DES MATIERES :

SOMMAIRE :	I
LISTE ET NOMENCLATURE DES TABLEAUX :	II
LISTE ET NOMENCLATURE DES FIGURES :	III
LISTE ET NOMENCLATURE DES PHOTOS :	III
LISTE ET NOMENCLATURE DES ANNEXES :	IV
LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS :	V

Introduction générale 1

Partie I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA VALORISATION DU BAMBOU À MADAGASCAR

Chapitre I : Rappel sur les bambous 2

I.1. Généralités :	2
I.2. La répartition :	8
I.3. Domaines d'application :	10
I.4. Conclusion partielle :	10

Chapitre II : La valorisation du bambou 11

II.1. Généralités :	11
II.2. Les procédés d'élaborations de valorisation du bambou géant :	17
II.3. Les domaines d'application de ces valorisations de bambous:	20
II.4. Conclusion partielle :	22

Chapitre III : RAISON DU CHOIX DU PROJET 23

III.1. La filière bois à Madagascar :	23
III.2. Justification du choix sur Le bambou :	28
III.3. Intérêt de l'étude :	32
III.4. Conclusion partielle :	32

Partie II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Chapitre I : Élaboration de matériaux de construction : 33

I.1. Généralités :	33
I.2. Préparation de la matière première :	35
I.3. Schéma de procédé de fabrication de planche de bambou:	38
I.4. Les matériels et les dispositifs expérimentaux :	40
I.5. Étude comparative de la qualité et analyse caractéristique des produits :	43
I.6. Conclusion partielle :	51

Chapitre II : Pyrolyse du bambou 52

II.1. Rappels :	52
II.2. Généralités :	54
II.3. Description de la méthode :	55
II.4. Expérimentation :	59
II.5. Conclusion partielle :	67

Chapitre III : Valorisation des produits de la pyrolyse	68
III.1. Généralités :	68
III.2. La valorisation :.....	69
III.3. Expériences en laboratoire :	71
III.4. Les domaines d'utilisation de ces produits :	83
III.5. Conclusion partielle :.....	84

Partie III : ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Chapitre I : ETUDE DE MARCHÉ.....	85
I.1. Généralité sur le projet :.....	85
I.2. Plan de production :.....	91
I.3. Évaluation financière du projet :.....	93

Chapitre II : ANALYSE ENVIRONNEMENTALE	102
II.1. But :	102
II.2. Bilan matières du processus :.....	102
II.3. Identification des impacts du processus sur l'environnement :	103
II.4. Enjeux environnementaux et sociaux du projet :	106
II.5. Mesures d'atténuation des impacts négatives et de réduction des nuisances générées par le projet :.....	108
II.6. Conclusion partielle :.....	110

CONCLUSION GENERALE :.....	111
-----------------------------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES et WEBOGRAPHIQUES	113
--	------------

ANNEXES	116
GLOSSAIRE.....	122



AUTEUR : Sonnette Ruffine RAFALIMANJAKA
Nombre de pages : 112
Nombre de tableaux : 52
Nombre de figures : 12
Photos : 16

Titre du mémoire : VALORISATION DU BAMBOU GÉANT À MADAGASCAR

RESUME :

Cette étude nous a permis de produire du parquet, du madrier de qualité satisfaisante, du charbon actif acceptable, des briquettes combustibles utilisables à partir du bambou géant tel le "*Dendrocalamus Giganteus*" et le "*Phyllostachys Viridis*" qui est exploitable dans la région Est et Sud-Est de Madagascar.

D'autres produits de second ordre tels le savon de charbon de bambou et le vinaigre de bambou ont aussi été essayés.

Ces valorisations se reposent sur le procédé physico-chimique du lamellé-collé ainsi que de la pyrolyse.

Suite à une étude technico-économique globale, le projet s'avère fructueux. Et concernant l'analyse de l'étude d'impact environnemental, elle assure la maîtrise des effets néfastes sur l'environnement du projet. Seulement, pour une garantie d'un développement durable, des mesures et des responsabilités doivent être prises.

Mots-clés : *Dendrocalamus Giganteus*, *Phyllostachys Viridis*, bambou, valorisation, parquet, charbon combustible, charbon actif, savon de charbon de bambou, vinaigre de charbon de bambou, activation, étude d'impact environnementale.

Title: VALORIZATION OF GIANT BAMBOO to MADAGASCAR.

ABSTRACT:

This research allowed to product:

- An excellent quality of construction materials, such as parquet floor and beams.
- A source of renewable energy, a satisfying active charcoals and a useful lighter combustible.

These product was obtained from Giant Bamboo, which is called *Dendrocalamus Giganteus*" and "*Phyllostachys Viridis*", that can be found and exploited in the East and Southern East Region of Madagascar.

A second class of product such as a bamboo charcoal's soap and bamboo vinegar was on a trial basis.

The (valorization) increased standing of Giant Bamboo rely on the physical and chemical process called "lamellé-collé" and the "pyrolyse" (sticky-slice thinly).

After a technical and global economic study, the project is recognized as profitable. Concerning the Environmental impact analysis, the project ensures the control of the baneful effects caused. Only for the guaranties of a lasting development, some measures and responsibilities must be taken.

Keys words: *Dendrocalamus Giganteus*, *Phyllostachys Viridis*, bamboo, valorization, parquet, charcoal, activate charcoal, bamboo charcoal's soap, bamboo charcoal's vinegar, activation, environment impact research.

Adresse de l'auteur à Antananarivo :

Lot BM 247 Ambohidavenina – Ampitatafika.
Ou BP : 7682 – Antanimena – Antananarivo (101)
Tel : 032 41 129 56 / 033 41 908 40
Email : sonneffine@yahoo.fr

Rapporteur :

Professeur Titulaire Benjamin RANDRIANOELINA
Tel : 034 04 977 70
Email : randrianoelinabv@gmail.com