

ADEME



ADEME Martinique

7, Zone de Manhity

97232 Le Lamentin

A l'attention de M J-P. ESTRADE

ÉTAT DES LIEUX DES MATERIAUX ET ECOMATERIAUX, ISSUS DES MATIERES PREMIERES LOCALES, EXPLOITABLES EN MARTINIQUE

Rapport final PHASE I



1 SOMMAIRE

1	SOMMAIRE.....	2
2	CONTEXTE ET OBJECTIFS	6
3	DEFINITIONS ET CADRE DE L'ETUDE	10
3.1	Références réglementaires.....	10
3.2	Cadre de l'étude.....	11
4	BOIS DE CONSTRUCTION.....	12
4.1	Présentation	12
4.2	Gisements	12
4.3	Techniques et savoirs-faires.....	21
4.4	Etude macro-économique	24
4.5	Risques toxicologiques	26
4.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	26
4.7	Impacts sur l'environnement.....	28
4.8	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	29
5	BARDAGES ET PALISSADES EN BOIS LOCAUX	30
5.1	Présentation	30
5.2	Gisements disponibles	32
5.3	Techniques et savoirs-faires.....	35
5.4	Etude macro-économique	37
5.5	Risques toxicologiques	38
5.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	39
5.7	Impacts sur l'environnement.....	39
5.8	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	40
6	TERRE CRUE ET FIBRES DE BANANIER.....	41
6.1	Présentation	41
6.2	Gisements disponibles	42
6.3	Techniques et savoirs-faires.....	47
6.4	Etude macro-économique	50
6.5	Risques toxicologiques	51
6.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	52
6.7	Impacts sur l'environnement.....	53
6.8	Conclusion.....	53
6.9	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	54

7	CIMENT ET FIBRES DE BANANIER	55
7.1	Présentation	55
7.2	Matrice cimentaire.....	55
7.3	Fibres de bananier	56
7.4	Fabrication du composite.....	58
7.5	Propriétés et utilisation du composite	60
7.6	Faisabilité technique du développement en Martinique	63
7.7	Etude macro-économique	66
7.8	Risques toxicologiques	67
7.9	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	68
7.10	Impacts sur l'environnement.....	68
7.11	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	69
8	ISOLANT VRAC A BASE DE OUATE DE CELLULOSE	70
8.1	Présentation du matériau.....	70
8.2	Gisements disponibles	70
8.3	Techniques et savoirs-faires.....	71
8.4	Etude macro-économique	74
8.5	Risques toxicologiques	76
8.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	76
8.7	Impacts sur l'environnement.....	77
8.8	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	78
9	ISOLANT VRAC A BASE DE FIBRES DE BOIS.....	79
9.1	Présentation	79
9.2	Gisements en Martinique	79
9.3	Principe	81
9.4	Faisabilité technique.....	84
9.5	Etude macro-économique	85
9.6	Risques toxicologiques	86
9.7	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	86
9.8	Impacts sur l'environnement.....	87
9.9	Conclusion.....	87
9.10	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	88
10	ISOLANT VRAC A BASE DE FIBRES DE COCO	89
10.1	Présentation	89
10.2	Gisements disponibles	92

10.3	Techniques et savoir-faire.....	96
10.4	Faisabilité technique.....	99
10.5	Etude macro-économique.....	103
10.6	Risques toxicologique.....	104
10.7	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	104
10.8	Impacts sur l'environnement.....	104
10.9	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	105
11	TUILES EN BOIS MAHOGANY	106
11.1	Présentation	106
11.2	Gisements disponibles	106
11.3	Principe	107
11.4	Faisabilité technique de la fabrication de tuiles à partir de mahogany.....	108
11.5	Etude macro-économique.....	110
11.6	Risques toxicologiques	112
11.7	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	112
11.8	Impacts sur l'environnement.....	113
11.9	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	114
12	TOITURES VEGETALES EN FEUILLES DE PALMIERS ET CANNES	115
12.1	Présentation du matériau.....	115
12.2	Gisements disponibles	115
12.3	Techniques et savoirs-faires.....	118
12.4	Etude macro-économique	120
12.5	Risques toxicologiques	121
12.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	122
12.7	Impacts sur l'environnement.....	122
12.8	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	123
13	VOLETS EN BAMBOU LOCAL	124
13.1	Présentation	124
13.2	Gisements disponibles	125
13.3	Techniques et savoirs-faires.....	130
13.4	Etude macro-économique	133
13.5	Risques toxicologiques	134
13.6	Comportement face aux risques naturels et au climat.....	135
13.7	Impacts sur l'environnement.....	136
13.8	BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces	137

14 BILAN	138
15 ACTEURS RENCONTRES	141
16 BIBLIOGRAPHIE	142

2 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les menaces écologiques et particulièrement énergétiques ont mené à une prise de conscience collective : la lutte contre le changement climatique et la production des gaz à effet de serre, fait aujourd'hui l'unanimité.

Le **secteur de l'habitat** est le deuxième secteur consommateur d'énergie et représente avec le secteur tertiaire 20 % des consommations d'énergie, soit un cinquième du total de l'énergie consommée en Martinique.

La consommation d'énergie du secteur des bâtiments en Martinique augmente de façon soutenue. Les modes de construction des bâtiments résidentiels et tertiaires, la quantité croissante d'équipements électriques et le fort contenu en gaz à effet de serre de l'électricité livré au réseau, expliquent ces résultats.

Le secteur du bâtiment a un impact énergétique qu'il convient de réduire, en particulier celui dû à son fonctionnement. Mais il ne faut pas négliger l'impact environnemental lié à la construction, qui deviendra prépondérant sur la durée de vie dès lors que la conception thermique de l'enveloppe sera optimisée et ainsi la consommation de fonctionnement minimisée.

La récente réglementation thermique, acoustique, aération, pour les DOM (RTAA DOM) va dans ce sens, et cherche à limiter la consommation énergétique des bâtiments.

Des matériaux judicieusement produits et utilisés peuvent en effet limiter les impacts environnementaux du bâtiment. *Paille, chanvre, lin, ouate de cellulose, plume de canard, laine de mouton...* font de plus en plus parler d'eux en France métropolitaine. En milieu tropical, le bambou, la bagasse issue de la canne à sucre, les cocotiers... font également l'objet d'études pour leur mise en œuvre dans la construction.

D'abord développés dans le domaine des **isolants**, les écomatériaux sont encore peu utilisés : en 2002 ils représentaient seulement 2 % du marché. **Le contexte actuel invite à leur remobilisation.** Car si certains de ces matériaux sont totalement nouveaux, d'autres sont utilisés de manière traditionnelle depuis des siècles.

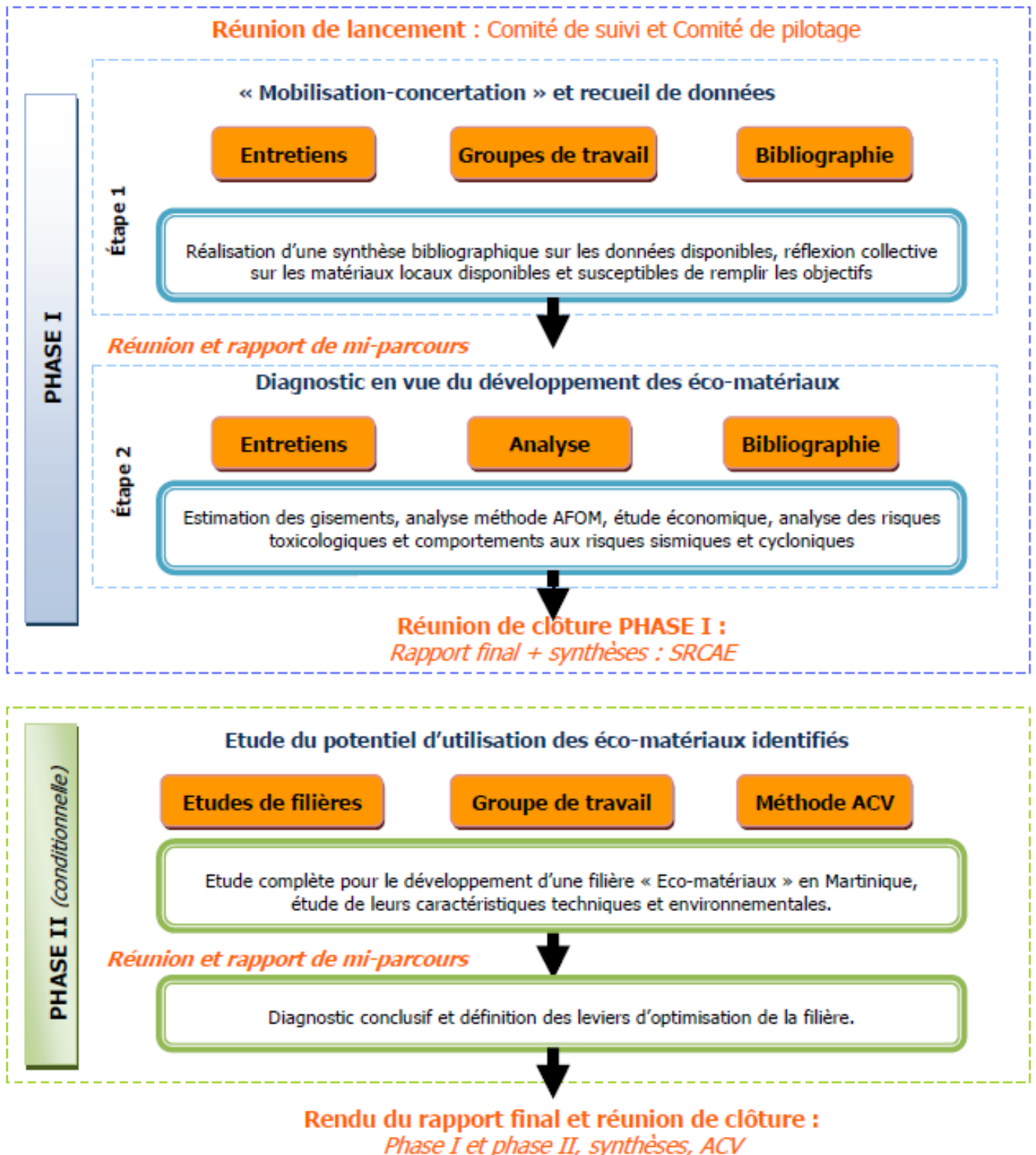
Leur mobilisation dans l'habitat s'inscrit dans une démarche de prise en compte de l'environnement de manière globale : construire ou rénover avec des matériaux biodégradables ou recyclables, **issus de ressources renouvelables et locales**, et dont les modes de production sont peu coûteux en énergie.

Ces matériaux permettent aussi de réduire l'impact écologique des activités humaines en relocalisant les savoir-faire et les emplois. Dans le cas d'un territoire insulaire comme la Martinique, ces enjeux sont capitaux. Les écomatériaux participeraient donc pleinement au **développement durable de l'île** : ils concerneront à la fois son environnement mais participeront aussi à son développement économique et social en apportant des retombées positive sur l'emploi local par définition non délocalisables.

Cette étude, commanditée par l'ADEME Martinique, cherche à **synthétiser les connaissances actuelles sur les écomatériaux**, à mobiliser les acteurs impliqués dans le secteur et à définir **les moyens nécessaires au développement des écomatériaux en Martinique**, issus de matières premières locales renouvelables et durables.

Elle s'insère dans le **cadre du Schéma Régional Climat Air Energie de Martinique** et visera à structurer les filières et à crédibiliser les éco-matériaux en Martinique.

La mission est organisée en deux phases. Le présent rapport constitue le rapport final de la phase 1.



Les objectifs de l'étape 1 étaient de :

- Recenser et analyser les connaissances acquises et en cours d'acquisition sur les écomatériaux ;
- Dresser une liste pertinente de matériaux locaux et écomatériaux disponibles et adaptés à la construction et rénovation de bâtiments en Martinique ;
- Donner les moyens nécessaires à une sélection justifiée de 10 matériaux.

Nous avons pour cela interrogé un certain nombre de spécialistes dans le domaine des écomatériaux, autant au niveau de la recherche que du développement. Les coordonnées de ces experts, ainsi que les principales conclusions des échanges figurent en annexe 1.

Une présentation des résultats a été effectuée devant le comité de pilotage le 24 mai 2012.

Les écomatériaux étudiés étaient les suivants :

- | | |
|--|--|
| ✓ Bois local massif | ✓ Isolant à base de plumes |
| ✓ Bois mahogany local | ✓ Isolant à base de ouate de cellulose |
| ✓ Ciment composite renforcé par des fibres de bois | ✓ Isolant à base de fibres de coco |
| ✓ Ciment composite renforcé par des fibres végétales | ✓ Isolant à base de fibres de canne |
| ✓ Béton de chanvre | ✓ Isolant à base de verre cellulaire |
| ✓ Béton de chanvre-ponce | ✓ Isolant à base de fibres textiles recyclées |
| ✓ Béton de pierre ponce | ✓ Isolant à base de fibres de kénaf |
| ✓ Terre crue | ✓ Isolant à base de fibre de chanvre et de chaux |
| ✓ Brique de terre cuite | ✓ Tuile de terre cuite |
| ✓ Pierre locale | ✓ Tuiles de bois |
| ✓ Béton à base de verre recyclé | ✓ Couverture en feuilles de cannes |
| ✓ Bambou | ✓ Couverture en feuilles de palmiers |
| ✓ Brique et carreaux de verre recyclé | ✓ Couverture en vétiver |
| ✓ Isolant à base de fibres de chanvre | ✓ Revêtement à base de feuilles de bananier |
| ✓ Isolant à base de fibres de bois | |
| ✓ Isolant à base de laine de mouton | |

Le tableau bilan des écomatériaux présentés à l'issue de l'étape 1 figure en annexe 2.

Le Comité de Pilotage a choisi de retenir les 10 écomatériaux suivant :

✓ **Bois de construction**

Il s'agit d'étudier les opportunités de valorisation des ressources en bois immédiatement disponibles dans les plantations gérées par l'ONF, constituées majoritairement de Mahogany Grandes Feuilles, puis de Pins Caraïbes et Maho bleu.

✓ **Bardages et palissades en bois locaux**

Un certain nombre de bois locaux sont traditionnellement utilisés pour la fabrication de bardages et palissades (Kampech, Bois Grillé, Bois Tibaume, Bois Ti Griyavié, Bois Patate, Bois Ti-Feuille, etc.).

✓ **Terre crue et fibres de bananier**

En adaptant sa composition, toute terre peut constituer un matériau de construction. Par ailleurs, le renforcement de la structure terre crue avec de la fibre végétale présente des propriétés intéressantes. Il s'agit donc d'étudier l'opportunité de développer un matériau de construction à partir de terre locale et de fibres de bananier.

✓ **Ciment renforcé par des fibres de bananier**

Le ciment renforcé par des fibres végétales présente des propriétés thermiques supérieures au béton classique. Il s'agit d'étudier l'opportunité de développement d'un tel matériau en Martinique, à partir des fibres de bananier. Ces fibres ont été choisies pour leur plus grande disponibilité comparativement à la bagasse (conflit d'usage avec la valorisation énergétique).

✓ **Isolant vrac en ouate de cellulose**

La ouate de cellulose provient de déchets de papiers recyclés. Il s'agit d'étudier l'opportunité de valorisation de ce type de déchets en Martinique, pour la constitution d'un isolant vrac.

✓ **Isolant vrac à base de fibre de bois**

Dans l'hypothèse du développement d'une filière bois, des sous-produits plus importants vont être générés. Il s'agit d'étudier l'opportunité de leur valorisation sous forme d'un isolant vrac.

✓ **Isolant à base de fibres de coco**

Bien que ne disposant pas de cocoteraies, une ressource en coco existe en Martinique. Il s'agit d'étudier l'opportunité de développer un isolant vrac à partir des fibres entourant les noix de coco.

Le type « vrac » a été choisi pour l'ensemble des isolants qui seront étudiés, car celui-ci nécessite des équipements de production moins lourds que les isolants sous forme de panneaux. Il est donc a priori plus facilement productible à l'échelle de la Martinique.

✓ **Toitures végétales en feuilles de palmiers**

Bien que l'utilisation d'un tel matériau puisse être relativement restreinte, il s'agit d'étudier l'opportunité d'un renforcement en palmier pour l'isolation de toitures existantes ou pour les toitures de constructions « touristiques » (carbets).

✓ **Tuiles de bois**

La ressource disponible en Mahogany pourrait être valorisée sous forme de tuiles de bois. Il s'agit d'étudier l'opportunité de mettre en place ce type de production en Martinique.

✓ **Volets en bambou local**

La solution du bambou importé pour la construction a été écartée faute de volonté locale, d'acceptation de l'implantation d'une espèce non locale et de disponibilité des sols. Il s'agit donc d'étudier comment valoriser la ressource en bambou local (espèce envahissante). Parmi les différentes solutions existantes (isolant, fibres incorporées dans du ciment, tuiles, etc.), les volets en bambou ont été choisis.

L'objectif de l'étape 2 est d'analyser ces 10 écomatériaux de manière plus fine afin de fournir les éléments au comité de pilotage pour statuer sur la nécessité d'aller plus en avant dans les recherches pour la mise en place d'une filière d'écomatériaux en Martinique (phase 2 conditionnelle de l'étude). Le rapport présente les informations qui ont été recueillies.

Les experts consultés, ainsi que les principales conclusions des échanges figurent en annexe 3.

3 DEFINITIONS ET CADRE DE L'ETUDE

3.1 Références réglementaires

3.1.1 Loi Grenelle 2

La notion d'écomatériau a été introduite par la loi Grenelle 2 :

- Article 4 : *"Nonobstant toute disposition d'urbanisme contraire, le permis de construire ou d'aménager ou la décision prise sur une déclaration préalable ne peut s'opposer à l'utilisation de **matériaux renouvelables ou de matériaux ou procédés de construction permettant d'éviter l'émission de gaz à effet de serre**, [...]. La liste des dispositifs, procédés de construction et matériaux concernés est fixée par voie réglementaire [...]."*
- Article 71 : *" Une définition des **écomatériaux** est adoptée. Leurs caractéristiques techniques environnementales et sanitaires sont évaluées selon des modalités identiques à celles en vigueur pour les produits revendiquant les mêmes usages. Un cadre de certification et d'agrément des écomatériaux est mis en place dans les instances existantes habilitées à certifier ou agréer des produits revendiquant les mêmes usages."*

Au stade de réalisation de cette étude, le décret d'application de cette loi définissant le terme « écomatériaux » n'est pas encore paru.

3.1.2 Décret 2011-830 du 12 juillet 2011

Le décret 2011-830 du 12 juillet 2011 (annexe 4) dresse la liste des matériaux et procédés éco-responsables permettant de s'affranchir de certaines règles d'urbanisme visés à l'article L. 111-6-2 du code de l'urbanisme :

- Article 1 : Dispositions favorisant la performance environnementale et les énergies renouvelables dans les constructions :

Art. R. 111-50. Pour l'application de l'article L. 111-6-2, les dispositifs, matériaux ou procédés sont :

- ✓ « 1° **Les matériaux d'isolation thermique des parois opaques des constructions et, notamment, le bois et les végétaux en façade ou en toiture ;**
- ✓ « 2° Les portes, portes-fenêtres et volets isolants définis par un arrêté du ministre chargé de l'urbanisme ;
- ✓ « 3° Les systèmes de production d'énergie à partir de sources renouvelables, lorsqu'ils correspondent aux besoins de la consommation domestique des occupants de l'immeuble ou de la partie d'immeuble concernée. Un arrêté du ministre chargé de l'urbanisme précise les critères d'appréciation des besoins de consommation précités ;
- ✓ « 4° Les équipements de récupération des eaux de pluie, lorsqu'ils correspondent aux besoins de la consommation domestique des occupants de l'immeuble ou de la partie d'immeuble concernée ;
- ✓ « 5° Les pompes à chaleur ;

- ✓ « 6° Les brise-soleils.

A la date de réalisation de cette étude (mai 2012), le terme d'écomatériaux n'a pas encore de définition réglementaire.

3.2 Cadre de l'étude

Le cahier des charges de l'étude propose la définition suivante des écomatériaux :

*« Produits dont les processus de **production**, de **transport**, de **mise en œuvre**, de **vie en œuvre**, de **fin de vie**, présentent globalement, face à des matériaux classiques, des **performances environnementales supérieures** en termes de consommation d'énergie non renouvelable, de consommation de **ressources** naturelles, d'émissions de **gaz à effet de serre**, et qui ne remettent pas en cause la **santé** des occupants et des professionnels assurant leur mise en œuvre. »*

Dans le cadre de cette étude, nous retiendrons donc les critères suivants pour la définition d'un écomatériau :

- ✓ *Santé et confort* : matériau qui ne nuit pas à la santé humaine, que ce soit pendant sa fabrication, sa mise en œuvre, son utilisation ou sa fin de vie (incendie, démolition) ; matériau participant au confort thermique et hygrométrique de l'habitation ;
- ✓ *Consommation de ressources énergétiques* : matériau contribuant à diminuer l'impact du bâtiment, notamment en terme de maîtrise de l'énergie (mode de production économe en énergie, matériau présentant des propriétés d'isolation thermique intéressantes, etc.) ;
- ✓ *Consommation de ressources naturelles locales renouvelables ou recyclées* : matériau nécessitant des ressources renouvelables pour sa production, ou provenant de matériaux recyclés ;
- ✓ *Impact sur l'environnement* : matériau issu d'un processus de transformation ou de fabrication ayant un impact faible voir nul sur l'environnement, en termes de pollution de paysage, etc. ;
- ✓ *Matériau local* : matériau produit et transformé localement, participant à la création d'emplois locaux non délocalisables.

Les écomatériaux étudiés porteront sur l'ensemble des corps de métiers du « bâtiment » :

- le gros œuvre,
- l'isolation,
- les toitures, cloisons, finitions.

Les types de bâtiments considérés sont les habitations, les bâtiments industriels et tertiaires, les établissements recevant du public, les constructions légères non habitables.

4 BOIS DE CONSTRUCTION

4.1 Présentation

L'évolution récente des techniques a ouvert des horizons nouveaux pour la construction en bois, qui attire par ses qualités autant techniques qu'esthétiques.

Il s'agit par ailleurs d'un des matériaux les plus performants d'un point de vue environnemental, par son caractère renouvelable, ses qualités thermiques et sa faible énergie grise.

Le bois peut être mis en œuvre dans la construction à différents niveaux : gros œuvre (charpente, structure), ossature, menuiseries, bardage, revêtement de sol et toitures, etc.

60 000 m³ de bois sont importés chaque année en Martinique. Il s'agit à 40% de résineux, à 20 % de bois tropicaux et à 40% d'autres bois (source ONF Martinique 2011), qui sont utilisés principalement dans la construction.

Nous étudions ici la possibilité d'utiliser les bois des plantations ONF en Martinique pour le gros œuvre en construction.

4.2 Gisements

4.2.1 Description de la ressource

4.2.1.1 Mahogany Grandes Feuilles

<u>Nom scientifique :</u>	<i>Swietenia macrophylla</i>		
<u>Nom courant :</u>	Mahogany Grandes Feuilles, Acajou, Acajou du Honduras, Acajou d'Amérique		
<u>Famille :</u>	Meliaceae		
<u>Origine :</u>	Amérique du Sud et Centrale (Brésil, Bolivie, Colombie, Honduras, Pérou, Venezuela)		
<u>Couleur de l'aubier :</u>	brun rouge		
<u>Caractéristiques physiques et mécaniques :</u>			
Masse volumique état vert :	800 kg/m ³	Durabilité champignons :	Durable
Masse volumique à 12 % :	600 kg/m ³	Durabilité Termites :	Moyenne
Compression axiale à 12% :	50 MPa	Imprégnabilité :	Peu
Flexion statique à 12% :	85 MPa		
Module d'élasticité à 12% :	10 790 MPa		
Dureté :	Mi-dur		
<u>Mise en œuvre :</u>			
Sciage	Facile	Finition	Bonne
Usinage	Facile	Placage	Tranchage avec étuvage et déroulage
Clouage	Facile	Séchage	Facile, bonne rigidité
Collage	Bon	Se teinte et se vernis bien	
<u>Utilisations principales :</u>	Ebénisterie, meubles, lambris, menuiseries, placage, agencement, instruments de musique, charpente légère		

D'après Base de données des bois tropicaux : Acajou, transmis par le FCBA

Le mahogany grandes feuilles est principalement utilisé pour l'ébénisterie (meubles traditionnels), son bois rouge étant très facile à travailler et très apprécié. Il est également utilisé pour d'autres usages divers, y compris en extérieur à condition qu'il soit en partie protégé des intempéries.

Il s'agit d'une essence très précieuse, inscrite à l'annexe II de la CITES (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction) car elle est menacée dans son aire d'origine. Les exportations sont donc strictement réglementées. L'ONF, par la gestion durable des peuplements, permet la commercialisation de ce bois précieux sans que cela constitue une menace pour l'espèce.



Figure 1 : *Swietenia macrophylla* (photo J.M.Garg)



Figure 2 : *Swietenia macrophylla* (bois) (source :<http://www.ventanatimber.com/species.html>)

4.2.1.2 *Hibiscus elatus*

<u>Nom scientifique :</u>	<i>Hibiscus elatus</i> , <i>Talipariti elatus</i>
<u>Nom courant :</u>	Mahot bleu
<u>Famille :</u>	Malvaceae
<u>Origine :</u>	Caraïbes (Cuba, Jamaïque)
<u>Utilisations principales :</u>	Meubles, tambours



Figure 3 : Mahot bleu (photo : Caraïbes Environnement)

4.2.1.3 Pin des Caraïbes

<u>Nom scientifique :</u>	<i>Pinus caribaea</i>
<u>Nom courant :</u>	Pin des Caraïbes, Pin jaune, Pin mate
<u>Famille :</u>	Pinacées
<u>Origine :</u>	Amérique Centrale, Caraïbes
<u>Couleur de l'aubier :</u>	Brun jaune
<u>Utilisations principales :</u>	Construction (ossature, charpente lourde et légère, coffrages, murs, planchers), poteaux, palettes, lambris, ameublement



Figure 4 : Pin des caraïbes (photo : <http://www.tiaredex.pf>)

4.2.2 **Gisement disponible**

Les données et gisements présentés ont été fournis par l'ONF Martinique.

Les forêts de Martinique recouvrent une surface de 46 000 ha, dont 16 000 ha de forêts publiques gérées par l'ONF.

Parmi elles, la Forêt Départementalo-Domaniale des Pitons du Carbet, d'une surface de près de 7 000 ha, abrite une série de production forestière de **1 350 ha**. Cette série est quasi monospécifique Mahogany, même si depuis son implantation dans les années 50-60, quelques Pin Caraïbes et Mahot Bleu ont été introduits pour diversifier le peuplement.

La production locale est quasi exclusivement issue de cette série de production. D'après une étude cartographique de l'IFN réalisée en 2008, la forêt privée compterait près de **500 ha** supplémentaires de peuplements de mahogany.

La productivité du mahogany sur la série de production de l'ONF est très forte et peut atteindre 16 m³/ha/an compte tenu de la richesse des sols (volcaniques jeunes), de la pluviosité et de l'ensoleillement propres aux régions tropicales humides.

Sur les 1 350 ha en production, seuls 50 % sont accessibles pour l'exploitation forestière classique (tracteur forestier) ou traditionnelle (alaskane), soit environ **700 ha**. Plusieurs centaines d'hectares ne sont donc actuellement pas accessibles et seule l'exploitation par câble (mât) permettrait de prélever cette ressource fortement capitalisée.

2 500 m³ de bois d'œuvre ont été vendus en 2009, contre 5 000 m³ en 2002. Le marché est donc en déclin.

Par ailleurs, la demande actuelle de la filière porte sur des gros bois. 2 000 à 3 000 m³ sur pied supplémentaires seraient également disponibles en petits et moyens bois (25-35 cm de diamètre). Ces bois ne sont actuellement pas valorisés (laissés sur pied ou coupés à perte dans le cadre d'aides régionales).

700 ha de peuplement quasi mono-spécifique mahogany sont exploités en Martinique par l'ONF, pour un volume sur pied extrait d'environ **2 500m³/an**.

Le Mahogany est actuellement une ressource sous-exploitée en Martinique : les terrains les moins accessibles (700 ha), faute de rentabilité, ainsi que les petits et moyens bois (2 000 - 3 000m³/an), faute de demande, ne sont en effet pas exploités.

Au total, les plantations sont susceptibles de fournir annuellement environ **5 000 m³** de bois d'œuvre de grande qualité (volume sur pied).

Seulement quelques hectares de peuplement de Mahot bleu et Pin caraïbe sont pour l'instant mûrs. Les gisements disponibles associés sont respectivement de quelques dizaines de mètres cubes par an pour le Mahot bleu, et marginaux pour le Pin caraïbes. Par conséquent, cela ne permet pas d'envisager la valorisation de ces deux essences dans la construction en Martinique à court ou moyen terme, contrairement au Mahogany qui est immédiatement disponible et sous-exploité.

La seule ressource en bois immédiatement disponible en volumes conséquents en Martinique est le **mahogany**.

4.2.3 Modalités d'approvisionnement

Le bois est vendu sur pied, de gré à gré entre l'ONF et des exploitants-scieurs qui se chargent de l'abatage, de l'extraction du bois de la parcelle (bois tirés par un tracteur-débardeur), de l'acheminement en scierie et du sciage.

Il n'y a pas de stocks, la vente se réalise en flux tendus.

Le prix de vente proposé par l'ONF est très bas, et ne permet pas de rentabiliser la production. Il a pour but d'alimenter la filière de transformation de bois local en Martinique.

4.2.4 Potentiel de production

La quantité de bois nécessaire à la construction d'une villa (80-90m²) peut-être estimée à 5 m³. Cette quantité comprend l'ensemble de la structure charpente + ossature (source : Groupe Bourbon Bois).

Si l'on considère une perte de 65% entre le bois sur pied et le bois sortie de scierie en pré-débit, et une perte de 15% entre pré-débit et le bois prêt à être utilisé en construction (source Groupe Bourbon Bois), la ressource actuelle disponible sur pied (2 500 m³/an) permettrait de construire environ 150 maisons/an, et la ressource potentielle (5 000m³/an), 300 maisons/an.

La ressource en bois mahogany actuelle permettrait de couvrir la construction (charpente + ossature) de **150 maisons/an** (ordre de grandeur). Si le volume de production était porté au maximum des capacités d'extraction, ce nombre serait de 300.

4.2.5 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

4.2.5.1 Un contexte réglementaire favorable à l'utilisation du bois dans la construction

La loi n° 96-1236, du 30 décembre 1996 sur la qualité de l'air dans les bâtiments instaure que les constructions doivent contenir une certaine quantité de bois en vertu de ses qualités environnementales.

Le décret d'application n° 2010-273 du 15 mars 2010 relatif à l'utilisation du bois dans certaines constructions (cf. annexe 5), qui **multiplie par 10 la quantité de bois imposée dans les logements** par rapport au décret précédemment en vigueur (2005-1647 du 26 décembre 2005).

Les quantités en vigueur depuis le 1er décembre 2011 sont :

Type de construction	Volumes de bois par m ² de surface hors œuvre
Habitation dont la charpente est majoritairement réalisée en bois	35 dm ³ /m ² SHON
Habitation dont la charpente est majoritairement réalisée en matériaux autres que le bois ou habitation sans charpente	10 dm ³ /m ² SHON
Bâtiment à usage industriel, de stockage ou de service de transport	5 dm ³ /m ² SHOB
Tout autre bâtiment	10 dm ³ /m ² SHON

L'arrêté du 13 septembre 2010 fixe la méthode de calcul du volume de bois incorporé dans certaines constructions.

4.2.5.2 Dynamisation de la filière

Il y a actuellement des difficultés d'approvisionnement du marché, car la demande se porte aujourd'hui davantage sur des gros bois alors que l'offre actuelle correspond à des bois d'éclaircies.

D'autre part, la demande a diminué : alors qu'il y avait 10 acheteurs de mahogany en 2000, il n'y en a plus que 4 en 2012.

Plusieurs tentatives de redynamisation de la filière ont été lancées par l'ONF sans succès. Il semble manquer une volonté publique politique et une volonté des entreprises à se fédérer.

L'absence de CRPF en Martinique (Centre Régionaux de la Propriété Forestière) ressort également comme un frein au développement de la filière bois.

4.2.5.3 Débardage par câble

La localisation des plantations de mahogany au nord de l'île sur des reliefs accidentés nécessite la mise en place de techniques d'exploitation coûteuses pour la coupe et la sortie

des arbres abattus. Une partie de la ressource (700ha) ne serait exploitable qu'avec la mise en place de débardage par câble.

Cette technique consiste à installer en forêt une ligne câblée à laquelle seront accrochés des troncs pour les transporter du lieu de coupe à une zone de dépôt, généralement les bas-côtés d'une route. Ils sont suspendus au câble porteur par l'intermédiaire d'un chariot actionné par le câble tracteur. Chaque grume, qui pèse entre 2 et 4 tonnes, est transportée au-dessus du sol.



Figure 5 : Débardage par câble (photo © Medad)



Figure 6 : Débardage par câble (photo : © Pierre Cadiran / ONF)

Le coût du débardage par câble est supérieur au débardage traditionnel réalisé avec un tracteur (matériel plus coûteux et main d'œuvre hautement qualifiée). Cette méthode est néanmoins moins consommatrice d'énergie et plus respectueuse des sols et des peuplements.

Le coût du débardage par câble (bucheronnage compris) en France varie entre 25 - 40 €/m³.

Pour que les investissements dans ce type de matériel soient rentabilisés, il faudrait que le mahogany soit économiquement mieux valorisé qu'à l'heure actuelle (source ONF).

4.2.5.4 Promouvoir le mahogany

Le mahogany grandes feuilles est une essence précieuse, de haute valeur, qu'il convient d'exploiter à sa juste valeur. Pour cela, plusieurs pistes pourraient être étudiées :

- Labellisation, en lien avec un contrôle de l'économie parallèle du mahogany issu des forêts privées (projet de labellisation type « Bois péyi » en cours avec le Parc Régional) ;
- Diversification des produits et valorisation dans la construction :

En effet, le mahogany est pour l'instant valorisé quasi exclusivement en ébénisterie. Il est, à de très rares occasions, valorisé en construction (maison en mahogany aux Trois Ilets, construite en 1983) et semble résister assez bien (source Scierie du Gros Morne).

Pour permettre une valorisation du mahogany dans la construction à l'échelle de la Martinique, le marquage CE serait nécessaire (voir § suivant).

4.2.5.5 Caractérisation physico-mécanique et marquage CE

▪ **Principe**

D'après CTBG 2007, FCBA et CMA Réunion (communications personnelles)

La Directive Produits de Construction (DPC) n°89/106/CEE approuvée le 21 décembre 1988 et transposée en France par le décret n° 92-647 du 8 juillet 1992, rend obligatoire le marquage CE de tous les produits de construction pour leur mise sur le marché en France comme dans tous les Etats membres de l'Union Européenne.

Tous les sciages à usage structurel (bois incorporé de façon durable dans les ouvrages de construction) doivent donc être marqués pour leur mise sur le marché : cela concerne les bois de structure comme les charpentes, mais aussi les bois de revêtement ou d'aménagement comme les parquets.

Les bois de structure mis sur le marché dans l'UE, et a fortiori en Martinique, doivent être marqués CE.

Pour pouvoir appliquer ce marquage, le produit doit être reconnu et inscrit dans la norme. Pour cela, un classement pour la **résistance mécanique** des bois doit être réalisé.



Deux méthodes de classement existent.

- Classement visuel mécanique standard à partir de petites éprouvettes ;

Il s'agit d'une méthode où les pièces de bois sont évaluées en prenant en compte un certain nombre de défauts et singularités visibles dont la présence est susceptible de diminuer la résistance mécanique (nœud, mulotage, coup de vent, etc.).

- Classement mécanique par machine sur la base de planches en dimensions d'emploi.

Cette méthode permet de trier automatiquement les bois en classe de résistance mécanique, en mesurant indirectement leurs caractéristiques mécaniques (module d'élasticité) par un test non destructif.

La démarche de caractérisation et normalisation du bois pour la construction a déjà été entreprise sur des bois guyanais (classement visuel) et est en cours à la Réunion sur le Cryptomeria (classement visuel et machine).

Le choix du type de classement dépend de la quantité de ressource disponible et des volumes mobilisables en sciage destinés à la construction.

- Le coût du classement visuel est limité (environ 30 000 €, en dehors du coût de la matière et de la transformation) mais les volumes et possibilités de valorisation sont moindres.
- Le classement par machine présente un coût plus élevé (environ 75 000 €, en dehors du coût de la matière et de la transformation) mais est plus valorisant pour l'essence.

- **Retour d'expérience sur l'étude de caractérisation physico-mécanique du cryptoméria Japonica de La Réunion**

Le cryptoméria est exploité à la Réunion par l'ONF sur 9 sites. Le volume exploitable est estimé à **10 000m³/an** pendant 30 ans, sans replantation.

Le projet de caractérisation physico-mécanique du cryptoméria a pour objectif de fixer dans un texte normatif (NF B 52 001) les valeurs de résistances mécaniques du Cryptomeria afin de permettre le dimensionnement et la mise en œuvre des ouvrages par les bureaux d'études et donc de donner la possibilité aux entreprises de construire avec ce matériau.

Ce projet est porté par la **Chambre des Métiers et de l'Artisanat de la Réunion (CMAR)**, le **Centre d'Innovation et de Recherche du Bâti Tropical (CIRBAT)**, l'**Institut Technologique FCBA**, l'entreprise **Sciages de Bourbon**, et est soutenu financièrement par le Ministère de l'Agriculture et le Programme Opérationnel Européen.

Le projet de caractérisation physico-mécanique du cryptoméria à la Réunion est porté par un partenariat public-privé, le porteur de projet étant la scierie Sciages de Bourbon. Il a été pointé l'importance de bien définir en amont le pilotage du projet et notamment le porteur de projet, qui doit avoir la capacité d'avancer les fonds et de justifier des dépenses.

Le projet a démarré en **2008**. Les essais ont été réalisés en 2010-2011 et le dossier est passé en commission de normalisation en 2012. La mise en place du marquage et la vente des premiers bois marqués CE sont envisagées pour 2013-2014.

Le choix a été fait de réaliser un classement mécanique par machine, pour un coût supérieur mais permettant de valoriser dans la construction près de 90% des bois arrivant en scierie, contre 50% par classement visuel.

Le détail de l'avancement du projet, au 17 février 2011, est présenté en annexe 6.

En Martinique, il s'agirait d'étudier l'opportunité d'effectuer un classement mécanique (en fonction des coûts et des volumes produits) et l'opportunité de l'implantation d'une plateforme de classement ou de la mutualisation d'une machine de classement entre plusieurs scieries.

A titre indicatif, la prestation réalisée par le FCBA dans le cadre de ce projet, présente un montant de **204 000 € H.T.** Elle comprend la collecte des échantillons et la réalisation de plusieurs essais permettant d'évaluer les possibilités de valorisation du bois (aptitude à l'usinabilité, comportement au séchage et rétractabilité, utilisation structurelle et mise à jour de la NF B 52 001, qualification du bois massif, aptitude au collage, imprégnabilité et durabilité). Le détail de la proposition commerciale du FCBA à la CMA Réunion figure en annexe 7.

- **Application au Mahogany en Martinique**

A la Réunion, le volume de cryptomeria extrait s'élève à 10 000 m³/an. Un classement mécanique par machine a été mis en place.

En Martinique, étant donné le volume de bois mahogany disponible moindre (2 500m³/an), le FCBA préconise de mettre en place un **classement visuel**, en s'appuyant sur des classes mécaniques visuelles déjà existantes dans la norme NF B 52 001.

Compte-tenu des objectifs de volumes à valoriser, et afin de diminuer les coûts de cette certification, le FCBA propose de s'appuyer sur les critères de classement visuel d'essences

tropicales proches, puis de déterminer à partir de ces critères de classement la classe mécanique pouvant être affectée au Mahogany,

La correspondance établie sera soumise à la commission NF B 52 001 pour la reconnaissance du Mahogany au niveau national, puis en commission européenne EN 1912, pour la reconnaissance au niveau européen avec un marquage CE.

En terme de réalisation, le mode opératoire proposé par le FCBA consiste à :

- ✓ Sélectionner 4 lots de grumes suivant des critères de représentativité ;
- ✓ Obtenir 4*50 planches après classement visuel ;
- ✓ Sécher les bois (sur place ou en métropole) ;
- ✓ Faire tester mécaniquement les 200 planches en flexion 4 points ;
- ✓ Produire 2 rapports de présentation pour les 2 commissions normatives.

▪ **Coûts et financement**

Le coût de la prestation décrite et détaillée ci dessus (classement mécanique visuel) est de l'ordre de **30 000 euros** (hors matière première et transformation). Ce coût peut varier en fonction de l'implication du FCBA dans la sélection des bois.

Si le projet est recevable en actions collectives, des possibilités de financement existent pour le classement par machine : 50% du montant peut être pris en charge par le FCBA grâce à une aide du Ministère de l'Agriculture.

Dans le cadre d'une caractérisation du Mahogany pour la Martinique, les possibilités de prises en charge du reste des coûts par la Martinique (Région, département, ADEME, etc.) sont à étudier.

Dans le cas du choix du classement visuel, une fois la normalisation effectuée, les seuls autres investissements portent sur la **formation** du personnel pour le classement visuel des bois et sur la réalisation d'**audits** qualité (mise en œuvre du classement, traçabilité, etc.). Pour la classification mécanique, des investissements dans le matériel pour tri et la classification sont nécessaires.

4.2.6 Conclusion sur l'opportunité de la mise en place d'une filière bois de construction en mahogany

Il est possible de mettre en place une filière bois de construction en mahogany, notamment en lançant une démarche de caractérisation mécanique et de marquage CE. Ceci nécessite en revanche une **forte volonté publique de soutien financier**.

L'objectif premier serait de valoriser le Mahogany à sa juste valeur, pas d'augmenter outre mesure les volumes exploités. Avec davantage de demande, la production, sur les parcelles ONF, pourrait cependant passer de 2 500m³ à 4 000m³ sur pied (soit 1 200m³ en pré-débit).

Il s'agirait également de mettre en place un réseau des acteurs forestiers en Martinique.

Néanmoins, étant donné la haute valeur du bois mahogany, cette filière restera toujours plus ou moins confidentielle, réservée à des **utilisations d'exception** et non à des utilisations à plus grande échelle.

4.3 Techniques et savoirs-faires

4.3.1 Organisation de la filière actuelle

Les données présentées proviennent de l'ONF Martinique 2011

La filière bois martiniquaise représente environ **650 entreprises** de petite taille (moins de 10 salariés), de type artisanales et emploie près de **1 000 personnes**, soit 0,9 % de la population active.

Elle peut être subdivisée en trois maillons :

- La 1^{ère} transformation, avec les exploitants forestiers et les scieurs,
- La 2^{ème} transformation, avec les artisans menuisiers, ébénistes et charpentiers,
- Et enfin le négoce, avec de petites entreprises industrielles.

Le chiffre d'affaire global est estimé à **100 millions d'euros par an**, soit 2% du PIB régional.

Le bois local (constitué à 90% de mahogany) représente une petite part de la filière bois en Martinique. La quantité moyenne vendue ces dernières années est de 2 500 m³ sur pied (900 m³ sciés) (2 125 m³ en 2011).

A titre de comparaison, les importations de bois sciés s'élèvent quant à elles à 60 000 m³.

Le bois local martiniquais représente moins de 2% du bois scié importé.

A la fin des années 90 et jusqu'en 2005, de nombreux exploitants-scieurs achetaient du bois à l'ONF. Le volume annuel était alors de plus de 3 000 m³, les petits bois et bois moyens étaient également demandés et le prix d'achat était supérieur (45 €/m³ en moyenne, contre 40 aujourd'hui).

Il ne reste aujourd'hui que trois exploitants-scieurs travaillant au tracteur forestier, un petit exploitant de mahot bleu et un scieur à l'alaskane (source ONF Martinique 2011).

4.3.2 Matériel nécessaire et disponibles en Martinique

En Martinique, la scierie du Gros Morne, gérée par M. CASSILDE, exploite 1 000 à 1 500 m³ de bois par an, quasi exclusivement du mahogany, et emploie 4 salariés.

Le matériel dont dispose la scierie consiste en une scie horizontale (de marque « CD 10 ») et une scie verticale (non utilisée).

Le bois peut être débité sous plusieurs formes, à la demande du client : planches, lattes, poutres, etc. d'épaisseur allant jusqu'à 350mm et de longueur maximale 10m.

Le prix de vente en pré-débit est de 800 à 1 000€/m³.

Il est possible de produire les éléments pour une construction en bois (charpente, structure, bardage, etc.). M CASSILDE a d'ailleurs déjà fourni du bois mahogany pour la construction d'une maison en 1985 aux Trois Îlets.

Il serait également possible de produire du parquet ou des tuiles en bois, mais il n'y a actuellement pas de demande.



Le bois local coupé, en provenance des forêts gérées par l'ONF, est apporté par camion à la Scierie



Stockage extérieur du bois.



Machines permettant de produire des matériaux en bois utilisés pour la fabrication des meubles, et dans une moindre mesure (peu de demande) pour la construction en bois



Planches de bardage fabriquées à partir du Mahogany

Figure 7 : Sciage du bois mahogany à la Scierie du Gros Morne (photos : Caraïbes Environnement)

4.3.3 Normes et DTU

La construction en bois doit se référer aux documents et normes suivantes :

- DTU 31.1 : Charpente et escaliers en bois
- DTU 31.2 : Construction de maisons et bâtiments en bois (en cours de révision, publication prévue courant 2013)
- DTU 31.3 : Charpentes en bois assemblées
- DTU règles CB 71 : Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- DTU BF 88 : Règles bois feu 88
- Document Professionnel : Construction en bois empilés
- Eurocode 5 : Calcul des structures en bois

4.3.4 Organismes ressource

- **Institut Technologique Forêt Cellulose Bois de construction Ameublement (FCBA)** : information, formation, certification, marquage CE

L'Institut Technologique FCBA peut se charger de l'accompagnement pour le marquage CE du Mahogany, depuis la prise en charge de la partie sélection des bois, du suivi de la traçabilité et des tests mécaniques jusqu'à la reconnaissance normative française et européenne par classement visuel (NF B 52 001 ; EN 1912) et par machine (NF EN 14081).

- **SYNERBOIS** : partenariat CSTB-FCBA pour le développement et l'utilisation des procédés bois construction innovants, accompagnement des industriels bois construction vers l'évaluation (assistance conseil pour la reconnaissance des performances et l'aptitude à l'usage de leurs produits)
- **Centre Technique des Bois de Guyane (CTBG)**

4.3.5 Fournisseurs et fabricants

Quelques exemples de fabricants de charpentes et constructeurs de maisons en bois en Martinique :

- Groupe Levillain Martinique : construction en bois, et ses filiales Maisons Karesol et Maisons Delta ;
- L'Orfèvre du Bois : construction de maisons en bois, charpentes et menuiseries ;
- Charpentes et Maisons Bois Robert Guery ;
- CARIBAT (C.B.C.) : charpentes ;
- Scierie du Gros Morne : sciage pour ébénisterie, menuiserie, charpente.

4.3.6 Emplois

On estime que la récolte et la transformation de 300 m³ de bois correspondent à un emploi. A titre d'exemple, la scierie du Gros Morne en Martinique emploie 4 salariés, pour 1 000 à 1 500 m³ de bois sciés par an.

Une augmentation de la production, récolte et transformation de bois de 2 500 à 5 000 m³ entrainerait la création de **8 emplois supplémentaires directs**, en considérant le ratio moyen d'un emploi pour 300 m³ de bois récoltés et transformés.

Par ailleurs, il s'agit essentiellement d'emplois de proximité en zones rurales et de montagne, non délocalisables, ce qui confère à ce secteur économique un rôle important dans l'aménagement du territoire.

Les emplois indirects, non estimés ici, sont de plus à considérer. A titre indicatif, la filière bois en Martinique représente aujourd'hui près de 1 000 emplois (source ONF Martinique 2011).

4.4 Etude macro-économique

4.4.1 Coûts d'investissement

La filière est déjà existante et permet d'exploiter une partie de la ressource.

Les coûts d'investissement portent sur :

- Les études permettant de classer mécaniquement les bois et d'effectuer le marquage CE : environ 50 000 € ;
- La mise en place du débardage par câble : environ 100 000 € pour un petit câble-mât sur tracteur agricole ;

A noter que en coût global et sur le long terme, le débardage par câble équivaut au débardage par tracteur (le tracteur induit une baisse de qualité et de production alors que le téléphéragé préserve mieux le capital-sol).

- La mise en place d'une unité d'usinage (facultatif) : 100 000 € (centre d'usinage K2 ou K3 HUNDEGGER occasion) ;
- La construction et d'entretien des réseaux routiers et de pistes forestières : non estimé.

Les coûts d'investissement nécessaires au renforcement de la filière bois de construction en Martinique sont de l'ordre de 250 000 €, sans prendre en compte les coûts nécessaires à la mise en place et l'entretien de nouveaux chemins forestiers.

4.4.2 Coûts de revient

4.4.2.1 Production

Malgré sa productivité, la production de mahogany est très coûteuse : elle est de l'ordre de 90€/m³ de bois sur pied. Les coûts de production importants s'expliquent par la difficulté d'accès aux parcelles et d'extraction des bois (topographie accidentée), aux pertes et à l'entretien nécessaire pour contrer la concurrence du reste de la végétation pendant les premiers stades de croissance des plants, et aux pertes causées par les pathogènes.

Actuellement, la vente de Mahogany par l'ONF s'effectue à perte, à **40€/m³ sur pied**. Elle a pour but d'alimenter la filière bois en Martinique.

4.4.2.2 Abattage-débardage-transport-sciage

Les coûts liés à l'abattage, l'extraction du bois et du sciage sont variables en fonction de l'accessibilité des parcelles et des scieries.

A titre d'exemple, les estimations suivantes ont été obtenues auprès d'un des exploitants-scieries de Martinique :

- 70% du bois acheté sur pied à l'ONF est transporté à la scierie ;
- 40€/m³ pour l'abattage et débardage ;
- 30 €/m³ pour le transport de la coupe à la scierie ;
- 150 €/m³ pour le sciage des billons en pré-débit, correspondant à 40% des billons (découpes et purge des défauts)

- Vente du bois frais en pré-débit à 800-900 €/m³.

On peut donc estimer un coût total (abattage-débardage-transport-sciage) à **200 €/m³ sur pied**, ou **650€/m³ en pré-débit** (le volume en pré débit représentant environ 30% du volume sur pied).

Le **prix de vente** du mahogany transformé est d'environ **800 €/m³**. Le prix qui permettrait de mieux rémunérer la filière tournerait aux alentours de **1 000 €/m³** (source ONF).

Aux prix pratiqués actuellement, le mahogany n'est pas plus cher, voire moins, que les bois d'importation : en effet, le pin classe 4 s'achète en Martinique à **900-1 000 €/m³**, et les bois tropicaux à **1 500-1 800 €/m³** (source : Syndicat Martiniquais du Bois et de l'Ameublement, L'Orfèvre du Bois). Ces bois sont achetés rabotés, prêts à être usinés.

Le prix de revient du mahogany est compétitif face aux bois importés.

En considérant un prix « juste » pour le mahogany à 1 000 €/m³, et la quantité de bois nécessaire à la construction d'une villa moyenne à 14 m³ (environ 6m³ pour la charpente, et 8m³ pour l'ossature et les bardages, source : L'Orfèvre du Bois), le prix de revient du bois (hors main d'œuvre, conception, transport) pour une construction moyenne est de 14 000 €.

4.4.2.3 Conception-fabrication

Les constructeurs de maison en bois s'approvisionnant en bois d'importation proposent des maisons pour un prix moyen de 50 000 €. Ce prix comprend le bois, le montage/construction (hors dalle béton, hors achat du terrain, etc.) (source Groupe Levillain Martinique).

Ce coût est annoncé similaire à une construction béton, pour une construction beaucoup plus rapide et en ne nécessitant pas d'isolation au niveau des murs.

Le prix d'achat du bois d'importation n'a pas été communiqué (en attente de données Groupe Bourbon Bois et Levillain Martinique). Il est donc difficile d'estimer la part du coût due à la matière première de la part due à la conception et à la construction.

Les bénéfices/pertes qui seraient associés à l'utilisation de bois mahogany à la place de bois d'importation ne peuvent donc pas être estimés.

4.4.3 **Coûts différés**

Le bois est un matériau performant et résistant dans le temps s'il est bien mis en œuvre. Son entretien peut être limité par les choix architecturaux adéquats permettant de protéger les façades.

La durée de vie d'une maison en bois, bien entretenue, est supérieure à 50 ans (source : Groupe Bourbon Bois).

L'entretien principal consiste à protéger ou traiter les bois extérieurs (peinture ou lazure). Son montant peut être estimé à 500 €/an/maison.

Sachant que le nombre annuel de logement individuels neufs en Martinique est d'environ 1 500, les coûts différés pour la construction en bois sont de l'ordre de 750 000 euros/an.

4.4.4 Coûts évités

Les coûts évités consistent en :

- Coût d'une construction « classique » béton (dont transport Martinique et main d'œuvre) : environ 50 000 €/habitation (source : Groupe Levillain Martinique) ;
- Economies d'énergie grâce aux meilleures performances du bois : non estimé. En effet, la construction en bois est naturellement mieux isolée que la construction maçonnée. Elle permet donc de réaliser des économies substantielles en climatisation (300€/an/climatiseur) (source CTBG 2007) ou en matériaux isolants.

Sachant que le potentiel de production de maisons en bois a été estimé à 150, les coûts évités associés aux matériaux de construction non consommés et transportés jusqu'en Martinique sont de l'ordre de 8 millions d'euros (matériaux + main d'œuvre).

Eco-matériaux	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Bois Mahogany de construction	250 000 €	750 000 €/an	8 M€

Figure 8 : Analyse macro-économique

Par ailleurs, malgré un coût de revient du matériau plus important, le coût global d'un bâtiment en bois peut être similaire à une construction classique, car les coûts d'exploitation sont moindres (économies d'énergie) (source CTBG 2007).

4.5 Risques toxicologiques

La construction en bois présente des propriétés de confort et santé avantageuses face à la construction classique en béton. En effet, les propriétés de **régulation de l'hygrométrie** du bois permettent au bâtiment de « respirer ».

De plus, en cas d'incendie, le bois ne dégage pas de substances toxiques, contrairement à d'autres matériaux - principalement ceux dérivés de la pétrochimie, qui sont souvent responsables de pertes de vies humaines.

Un point nécessite néanmoins une certaine attention : il s'agit du traitement du bois contre les champignons, insectes, termites et feu, qui peut en revanche présenter un risque pour la santé et l'environnement.

4.6 Comportement face aux risques naturels et au climat

4.6.1 Comportement face aux risques naturels

La résistance des bâtiments (qu'ils soient en bois ou en béton) est prise en compte dans le dimensionnement de la structure et des fondations des bâtiments, conformément aux normes en application.

La résistance d'un bâtiment aux risques naturels est conférée par sa structure, qui est dimensionnée en fonction des matériaux utilisés et de leurs propriétés mécaniques.

Par ailleurs, de part la nature du bois et les propriétés du type de construction, la construction en bois est soumise à des contraintes en cas de séisme moindres par rapport à une construction béton.

- ✓ En effet, le bois étant beaucoup plus léger que le béton (600 kg/m³ pour le mahogany, 2 200 kg/m³ pour le béton, 2 500 kg/m³ pour le béton armé), et l'effort subit en cas de séisme étant proportionnel à la masse, la construction bois subit moins d'effort que la construction béton ;
- ✓ De plus, la construction en bois présente des propriétés de dissipation de l'énergie mécanique (amortissement) bien plus importantes que le béton, par frottements entre les différents assemblages de la structure. Dans le cas d'une construction béton, la structure du bâtiment transmet la force et les vibrations à l'ensemble du bâtiment, jusqu'à la charpente.

Par sa légèreté et la capacité de ses assemblages à reprendre des efforts en cas de séismes, la construction en bois est très certainement la plus sûre face au risque sismique (source : FCBA).

La nature du bois n'influe que de quelques pourcents sur les propriétés mécaniques des bois face au risque sismique (source : FCBA).

Les constructions en bois sont donc adaptées aux contraintes sismiques et cycloniques présentes en Martinique, grâce à des dispositions particulières de mise en œuvre (ancrages, assemblages, ...).

4.6.2 Confort et durabilité face au climat

Le climat tropical martiniquais présente des contraintes fortes en termes d'humidité, d'ensoleillement, de précipitation, et d'attaques par les termites. Le bois utilisé dans la construction peut être naturellement plus ou moins durable face à ces contraintes. Il est traité en fonction, pour mieux y résister et conserver ses propriétés mécaniques.

Le mahogany est classé durable face aux champignons, moyennement durable face aux termites et peu imprégnable (source : FCBA).

Etant données ces informations, il se peut donc que le mahogany doive être traité, or il est « peu imprégnable ».

Avant de s'engager dans la démarche de classement mécanique et de certification présentée précédemment, il pourrait être judicieux de vérifier ces données sur la durabilité du mahogany et son imprégnabilité.

Le FCBA peut réaliser des essais normalisés en laboratoire sur la durabilité naturelle du duramen de mahogany et sur l'imprégnabilité de l'aubier et du duramen (en attente de données du FCBA sur coût de la prestation pour des essais de durabilité sur le mahogany).

4.6.3 Résistance au feu

Le bois est combustible mais résiste au feu grâce à sa mauvaise conductibilité thermique et sa teneur en eau.

De plus, la couche carbonée qui se crée en surface ralentit la progression du feu et le caractère isolant de celle-ci permet aux parties internes de conserver une température normale et l'intégralité de leur résistance mécanique.

La perte de capacité portante d'une structure en bois est ainsi moins rapide que celle d'une structure en béton armé ou bien évidemment en acier.

Le Document Technique Unifié (DTU) **Règles bois feu 88** a pour objet de donner des méthodes permettant de justifier le degré de résistance au feu d'ouvrages ou de parties d'ouvrages en bois. Il s'applique aux bâtiments à structure en bois et panneaux dérivés du bois apparents ou non.

4.7 Impacts sur l'environnement

Le bois est un matériau qui possède de nombreux atouts environnementaux :

- ✓ Bilan CO2 positif : fixation du carbone pendant la croissance (1 tonne de CO2/m3 de bois) et production et transformation peu énergivores (4 fois moins que le béton) ;
- ✓ Matériau renouvelable (dans le cadre de forêts gérées durablement) ;
- ✓ Performances mécaniques : à résistance mécanique égale, le bois est le matériau de structure le plus léger, ce qui accentue la performance énergétique du bois ;
- ✓ Propriétés thermiques : matériau isolant, permettant donc la réduction de la consommation énergétique ou de matériaux isolants utilisés en compléments (conductibilité thermique des bois résineux 0,12 W/m.°C). ;
- ✓ Matériau recyclable ou valorisable énergétiquement en fin de vie. Seuls les bois ou matériaux dérivés du bois comportant certains adjuvants devront faire l'objet de process de recyclages adaptés, notamment pour les déchets d'atelier et de chantier.

Il existe cependant un certain nombre de points sur lesquels une attention particulière doit être apportée, pour que le bois ait effectivement un impact positif sur l'environnement :

- Production durable (labels FSC, PEFC)
- Extraction respectueuse de l'environnement et du paysage
- Traitements raisonnés
- Fin de vie des bois traités
- Origine du bois

En effet, afin que l'impact environnemental d'une construction en bois soit effectivement faible, il faut privilégier le bois local, ayant nécessité peu de transport. L'utilisation du mahogany local pour la construction en Martinique présenterait donc un atout certain du point de vue impact environnemental du transport.

4.8 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

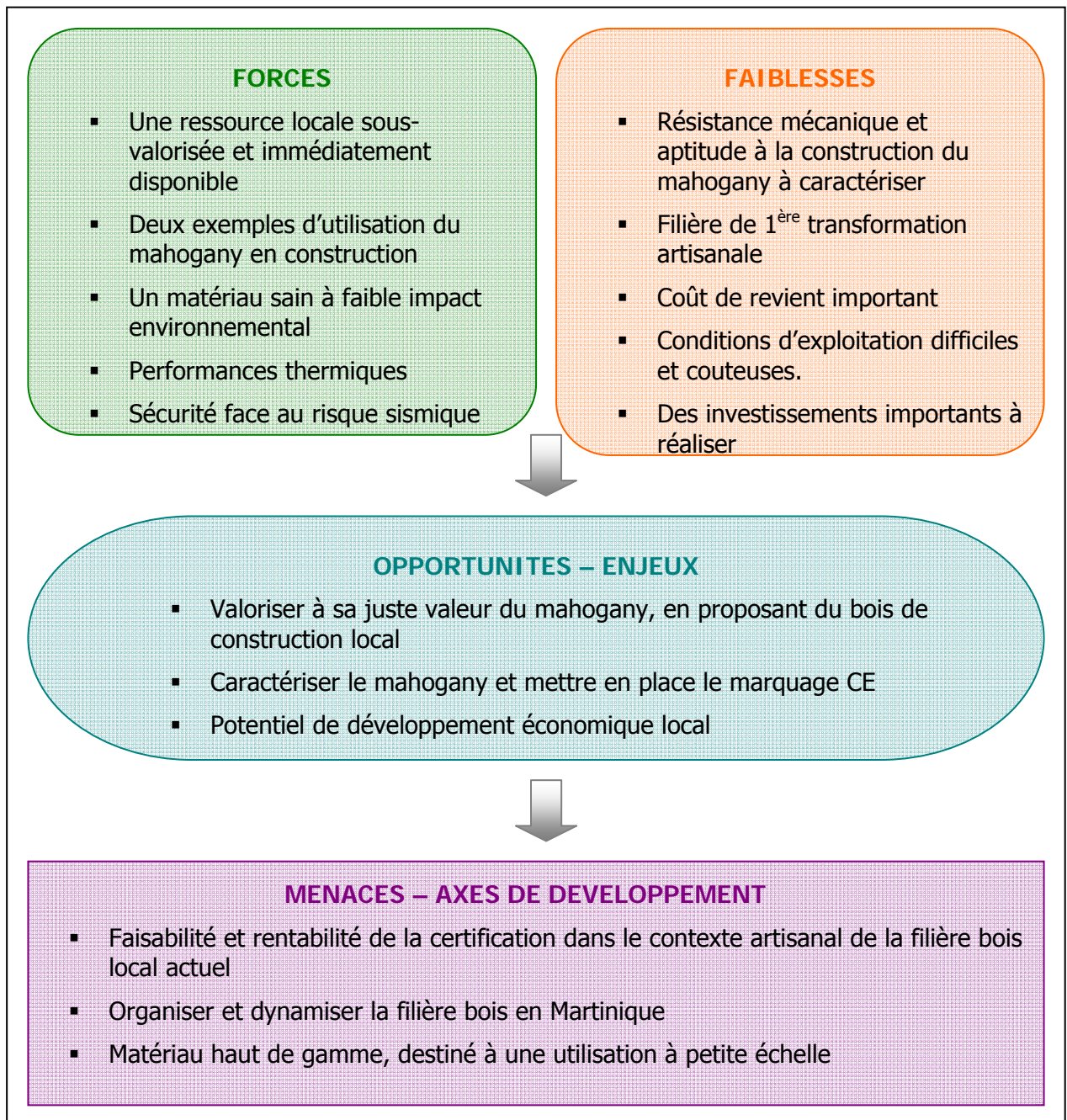


Figure 9 : AFOM Ecomatériau « Bois de construction mahogany »

5 BARDAGES ET PALISSADES EN BOIS LOCAUX

5.1 Présentation

En Martinique, le bois a traditionnellement été utilisé comme revêtement extérieur des constructions, en bardage et/ou en protection solaire.

L'image de la « case antillaise » est caractéristique de l'utilisation de bois locaux. Ces constructions étaient encore courantes en Martinique il y a vingt à trente ans.

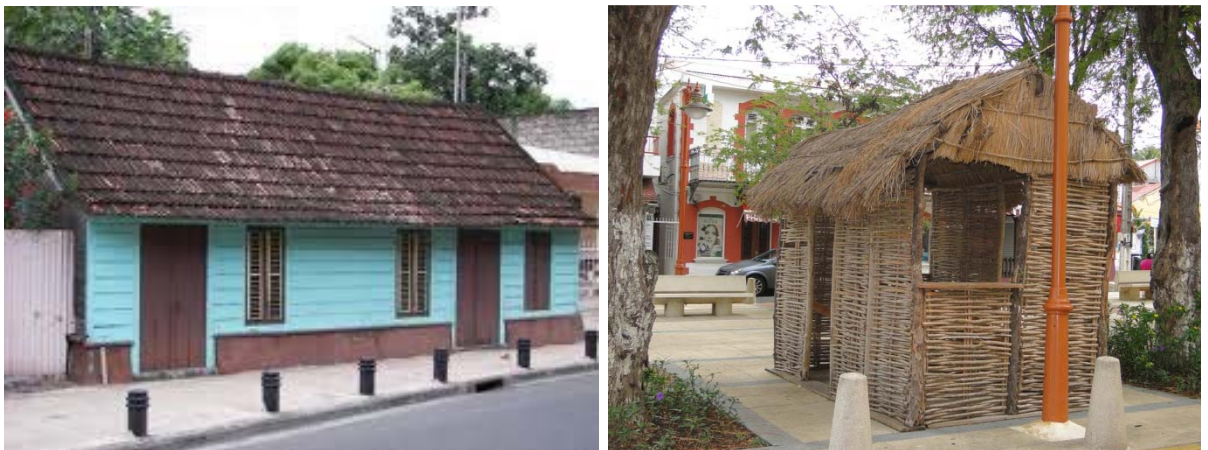


Figure 10 : Exemple de « cases antillaises » : A gauche, « case Carbet » (source : antilles-martinique.com). A droite « case ti-baume » (source : J. VERMEIRE, 2012)

Le **bardage en bois massif** est une technique largement connue et de plus en plus répandue du fait de son caractère naturel, la diversité de ses teintes et son adaptabilité à tout type de projet architectural. Le bois, étant un matériau souple, permet la pose des lames dans différentes directions. La pose de lames horizontales est la plus commune. Elles peuvent également être posées verticalement ou en diagonale. Le bardage bois est une technique permettant d'isoler un bâtiment tout en lui conférant un aspect esthétique prisé.

Plus spécifique aux territoires antillais, les branchages d'espèces locales étaient utilisés **après tressage**, en paroi, palissades, liteaux, ou cloisons (cf. photographie ci-dessus).

Le bois est un matériau qui renferme une **aptitude naturelle d'isolation thermique**. La conductivité thermique du bois est faible (exemple avec l'épicéa qui dispose d'une conductivité, $\lambda = 0,11 \text{ W/m/K}$, soit quinze fois plus faible que celle du béton).

Le bois est « **subjectivement chaud** », car son effusivité thermique est basse.

Le « **bardage bois** » pourrait donc être utilisé en tant qu'écomatériau pour les utilisations suivantes, en Martinique :

- **Lames de bois massif en paroi verticale**, avec ossature ;
- **Lames de bois massif en bardage extérieur**, surajoutées aux murs en béton (fixées sur ossature), pour une utilisation en isolation thermique par l'extérieur ;
- **Parois de bois tressé**, comme protection solaire des parois verticales.

Les deux dernières utilisations constituent une « double peau » qui protège les parois verticales vis-à-vis du rayonnement solaire, direct et diffus, pour **réduire les apports thermiques externes**. En effet, les apports thermiques par les murs représentent généralement de **20 à 30 %** des apports thermiques par les parois (45 à 65 % pour les logements qui ne sont pas sous toiture) et **leur protection solaire est donc essentielle**.

Cette protection doit être d'autant plus soignée que les murs reçoivent plus d'énergie. C'est le cas en particulier **des murs Est** et, encore davantage, **Ouest** qui sont très exposés à l'ensoleillement rasant et contribuent, pour ces derniers, à des apports importants dans les locaux **en fin de journée**.

Ces protections, pour limiter l'échauffement des murs, doivent laisser le passage à une **circulation d'air suffisante : 20 cm d'espacement minimum** (source : Guide ECODOM +). Une teinte claire est également conseillée pour limiter l'absorption de chaleur au niveau de la protection solaire et l'échauffement de la lame d'air.

Ces protections solaires « ventilées » constituent avec la paroi une « **double peau** ». Elles permettent ainsi de refléter une partie du rayonnement solaire. La charge solaire résiduelle entre le mur et le bardage est évacuée naturellement par ventilation.

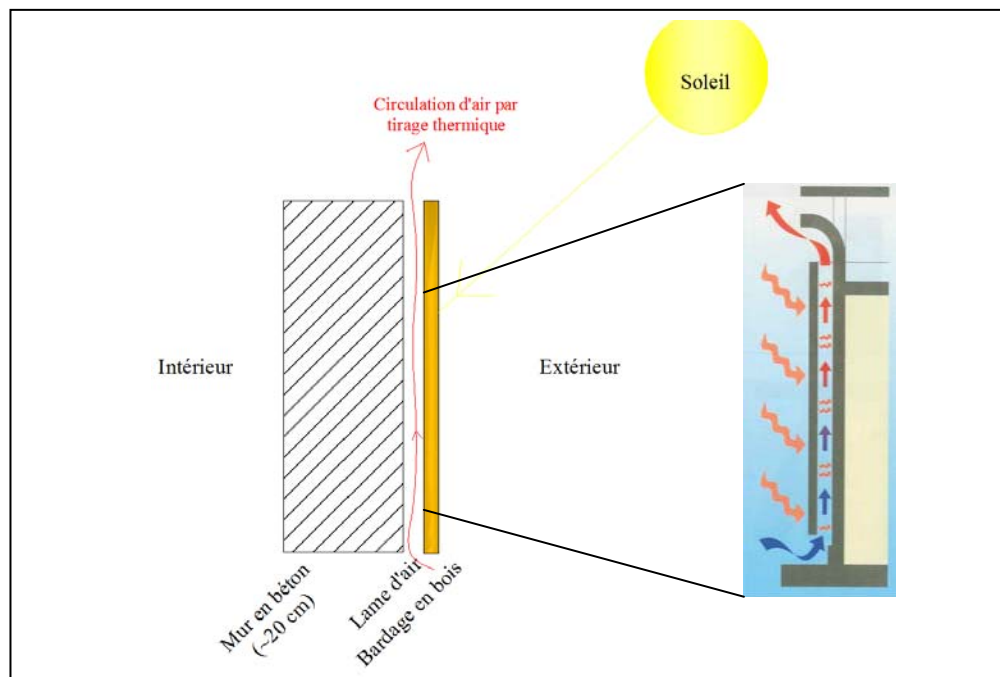


Figure 11 : Illustration du mur double-peau (source : Caraïbes Environnement)

Ces solutions sont optimales pour les façades exposées à **l'Est** et **encore davantage, à l'Ouest**, qui sont très exposées à l'ensoleillement rasant et contribuent, pour ces derniers, à des apports importants dans les locaux en fin de journée.

Ces protections peuvent être mises en œuvre aussi bien sur des logements individuels, collectifs ou des immeubles tertiaires, comme l'illustre la photographie ci-dessous :



Figure 12 : Illustration de l'utilisation d'une protection de façade en bois pour un bâtiment scolaire

5.2 Gisements disponibles

5.2.1 Description de la ressource

Les **bois tressés** sont réalisés à partir des branches d'arbustes ou d'arbrisseaux issus d'espèces endémiques ou importées, communes en Martinique :



Bois grillé (Myrcia citrifolia)



Bois ti-baum (Croton flavens)



Bois ti-feuille (Eugenia trinitatis)

Les **bardages en bois** pourraient être réalisés à partir de plusieurs espèces présentes localement et choisies pour leur résistance aux insectes et aux conditions climatiques. Elles proviennent de forêts hygrophiles à mésophiles.

Les espèces utilisées traditionnellement en façade sont le poirier, le bois blanc, le bois de fer, le bois rivière, le gommier blanc ou le courbaril.



Bois rivière (himarrhis cymosa folia)



Poirier (tabebuia heterophylla)



Courbaril (hymenaea courbaril)

5.2.2 Gisement

Il n'existe pas de plantation de ces espèces, en Martinique.

La ressource est disséminée sur le territoire et s'établit essentiellement en fonction des conditions éco-systémiques. Les arbustes se localisent sur les milieux xérophiles. Les grands arbres, dans les milieux hygrophiles à mésophiles.

Dans les parcelles gérées par l'ONF, ces espèces sont peu représentées, du fait de la forte proportion de mahogany. Des essais de plantations sont en cours mais leur arrivée à maturité interviendrait entre 40 et 60 ans. Les surfaces restent cependant assez faibles. L'ensemble des espèces (hors mahogany) pourrait fournir **jusqu'à 500 m³ sur pied**.

Sur les forêts privées, ces espèces sont également peu représentées.

Le gisement, compte-tenu de son importante diversité et de sa dispersion sur le territoire, n'a pas pu être identifié.

5.2.3 Modalités d'approvisionnement

Comme indiqué pour l'écomatériau « bois de construction », la forêt couvre 47 000 ha sur l'île, soit près de la moitié de sa surface.

La forêt publique y occupe 15 500 ha. Sur cette surface « seuls » 1 355 ha ont été aménagés pour la production de bois. Le mahogany y constitue la principale espèce plantée sur ces parcelles. Les autres y sont assez peu représentées et disséminées. Leur extraction, selon l'ONF, serait difficile.

Les espèces qui présentent un intérêt pour le développement d'écomatériaux type « bardage et palissades » sont donc essentiellement localisées dans des peuplements forestiers qui ne présentent pas de plan de gestion.

Les coupes d'arbres seraient donc ponctuelles et la sortie des arbres abattus pourrait être rendue difficile par l'absence de chemin d'exploitation forestière.

Les arbustes, type ti-baume ou bois grillé, sont majoritairement situés dans les milieux secs. Ce sont des espèces à croissance rapide qu'on l'on retrouve communément dans les milieux littoraux secs (dans la région de Sainte-Anne notamment). Néanmoins, selon l'ONF, les espaces qui concentrent ces espèces sont « fragiles » et peuvent faire l'objet de protection :

les prélèvements massifs qui alimenteraient une filière devraient donc être réglementés.

5.2.4 *Potentiel de productions*

Si l'on considère une habitation de 8 m de large, sur 12 m de long avec une hauteur de mur de 3,50 m, la surface à couvrir pour un bardage Est et Ouest serait de **56 m²**. Pour un bardage des 4 façades, elle serait de **140 m²**.

L'épaisseur moyenne des lames de bois utilisées est de 25 mm (source : ADEME Réunion).

Le potentiel de production sur ces espèces n'a pas pu être évalué.

La quantité de bois qui serait nécessaire à la mise en place de protections solaires ventilées, pour une habitation de 100 m² de plain-pied est **estimée à 1,5 m³**.

Cette quantité comprend la pose de bardage sur les façades Est et Ouest qui sont les plus exposées au rayonnement solaire incident.

Pour une pose de bardage sur les 4 façades d'une habitation de 100 m², la quantité de bois nécessaire serait d'environ **3,5 m³**.

Ainsi, pour 1 500 nouvelles habitations individuelles/an en moyenne en Martinique, les besoins en bois seraient de **2 250 m³/an** pour un bardage Est et Ouest, et de **5 250 m³/an** pour un bardage sur les 4 façades (pour rappel la production actuelle de bois de mahogany locale est évaluée à 2 500 m³/an sur pied, soit 900 m³ sciés).

Selon l'ONF l'ensemble des espèces hors mahogany pourrait fournir jusqu'à 175 m³ sciés, ce qui permettrait de réaliser des bardages pour **35 %** des nouvelles constructions par an.

En ce qui concerne le bardage en bois tressé, 20 branches environ sont nécessaires à l'élaboration d'**1 m²** de paroi. On évalue à environ 2 à 3 le nombre de branches prélevées vertes, par arbuste (source : M. La Rose, La Savane des Esclaves).

Ainsi, en reprenant l'exemple précédent, pour le bardage des parois verticales d'une habitation, à savoir 140 m² de façades, 2 800 branches seront nécessaires soit environ 1120 arbustes.

Ainsi, le bardage de 1 500 habitations nécessiterait environ **1 700 000 arbustes**.

5.2.5 *Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource*

Sur les parcelles de l'ONF, le mahogany a fait l'objet d'un fort développement au détriment des autres espèces.

Il serait donc intéressant de développer la plantation d'autres espèces et de permettre une meilleure organisation de la filière bois. Notons que l'ONF mène actuellement des essais de plantation de poiriers, pins caraïbes ou de courbarils.

Informé le public sur l'intérêt des bardages double peau en matière d'isolation notamment, permettrait leur développement. Il serait également intéressant de promouvoir le développement du bardage en bois tressé en informant sur les caractéristiques résistantes des matériaux (le ti-baum notamment) mais également sur le résultat esthétique obtenu.

5.3 Techniques et savoirs-faires

5.3.1 Le bardage en bois massif

5.3.1.1 Méthode

Le bardage en bois est une méthode d'isolation thermique par l'extérieur. Il apporte également un avantage esthétique. Le revêtement peut se faire à l'aide de lames de bois massif ou encore de lambris.

Le bardage peut être à double-peau comme illustré précédemment, ce qui permet une circulation d'air entre le mur porteur et la paroi extérieure. Le revêtement par lames de bois peut également se faire directement sur la structure portante (charpente, mur en béton...)

Il existe plusieurs techniques de bardages en fonction du profil des lames de bois ; par emboîtement ou pas recouvrement.

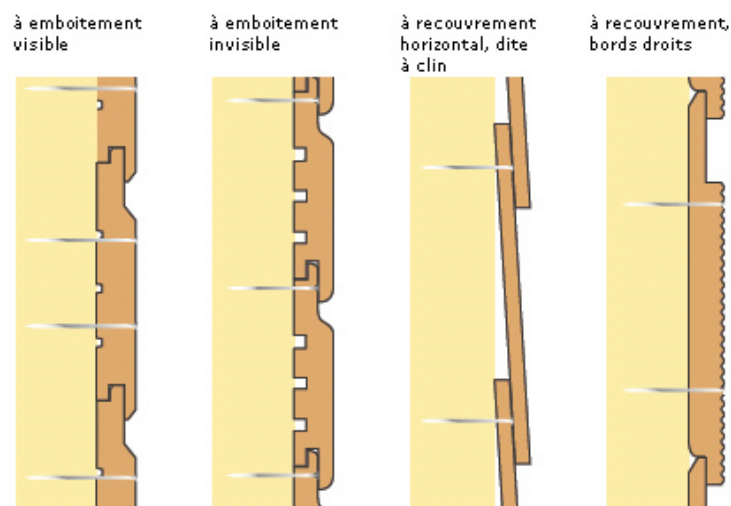


Figure 13: Poses de bardage en bois (source PointP Construction)

5.3.1.2 Installation

Les lames de bois n'ayant pas pour fonction première d'être étanches à l'eau. Il est nécessaire d'assurer une protection aux bardages exposés au vent et à la pluie par la construction d'un pare-pluie. Le bardage doit être posé à plus de 20 cm du sol pour ne pas recevoir les projections d'eau de pluie. Il faut également s'assurer qu'il n'y ait pas d'égout s'écoulant sur les lames. (Référence : DTU 41.2 Revêtements extérieurs en bois).

Les lames de bardage doivent être au préalable stabilisées avant leur pose (en fonction de l'hygrométrie du site). La fixation dépendra ensuite du type de lame choisi. Enfin, les lames de bardage peuvent recevoir un produit de finition après la stabilisation du bardage.

5.3.1.3 Entretien

Le bois peut être entretenu par l'application de différents produits : vernis, lasures, peintures.

5.3.2 Les « gaulettes »

Ce type de constructions, appelées « gaulettes » est apparu durant l'époque coloniale. La case, se compose d'une structure chevillée en bois brut assemblée à l'aide de tenons et de mortaises. Les parois sont ensuite constituées d'un entrelacement de tiges (les gaulettes) et d'autres tiges assemblées verticalement sur les poteaux et au milieu.

Les branches, généralement d'1m de long doivent être cueillies vertes. L'assemblage permet de confectionner des panneaux de **0,5 à 1 m²**. Le temps nécessaire à la confection d'un panneau de 1m² est d'environ 1h. Il faut néanmoins prendre en compte le temps de cueillette qui peut être évalué à 1h également.

La technique des gaulettes est très utilisée en décoration ; pour la confection de têtes de lit, de cloisons intérieures et autres. Cependant elle est également employée pour la construction de parois extérieures, de fenêtres « ventilantes », ou encore pour la protection solaire des ouvrants. Le bardage en gaulette apporte en effet protection solaire, aération naturelle mais présente également un aspect esthétique intéressant (illustrations ci-dessous).



Figure 14: Paroi extérieure en gaulette (source J. VERMEIRE)

La technique des gaulettes pourrait ainsi être mise en œuvre en protection solaire des parois verticales.

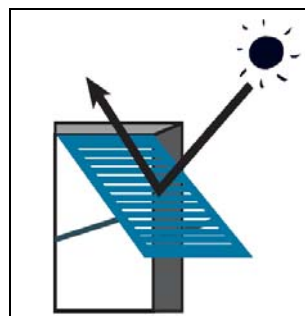


Figure 15: Protection solaire des parois verticales (source: Guide ECODOM, ADEME Guyane)

La CCMG a cherché à reproduire cette méthode de construction traditionnelle sur l'île de Marie-Galante, en disposant en façade un entrelacement de lames de bois.

Le bois utilisé ici était du pin mais le thème de cette structure pourrait être reproduit par l'agencement de plusieurs panneaux de gaulettes.



Figure 16: Façade du bâtiment de la CCMG (source: NEOarchitecture)

5.4 Etude macro-économique

5.4.1 Coûts d'investissement

5.4.1.1 Bardage en bois massif

Les coûts relatifs à l'extraction du bois ont été détaillés dans la partie « Bois de construction ».

L'extraction du bois local et la conception des lames de bardage peuvent être mis en synergie avec le développement de la filière bois pour d'autres types de constructions. En se rapportant à la partie §4.4.1 les coûts d'investissement nécessaires au développement d'une filière bois seraient de l'ordre de **250 000€**.

5.4.1.2 Les « gaulettes »

La fabrication des gaulettes ne demanderait pas d'investissements lourds. Une simple scie circulaire serait nécessaire.

La fabrication demeurerait artisanale et ne nécessiterait pas d'autre matériel spécifique.

5.4.2 Coûts différés

5.4.2.1 Bardage en bois massif

Le bois, bien qu'étant un matériau résistant, nécessite un entretien régulier afin de prolonger sa durée de vie. Les coûts différés relatifs au bardage en bois massif concerneront donc l'entretien et le remplacement des lames de bois.

L'application de produits de traitement et de protection doit être renouvelée périodiquement :

- Les vernis : durée de vie en extérieur assez courte (environ 3 ans)
- Les lasures : à renouveler en général tous les 3 à 5 ans pour les façades exposées et 8 à 10 ans pour les façades non exposées
- Les peintures : entretien tous les 5 à 10 ans pour les façades exposées et bien au delà pour les façades non-exposées.

On estime le coût d'entretien d'une maison en bois à environ **500 €/an/maison** (§4.4.3). Le volume de bois nécessaire à la construction d'une maison en bois est d'environ 5 m³ (§4.2.4).

Sachant qu'un bardage en bois massif nécessite environ 1,5 m³ de bois pour un bardage des deux façades et 3,5 m³ pour un bardage des quatre façades, le coût annuel d'entretien sera de l'ordre 150€/an/maison pour deux façades et 350€/an/maison.

En conclusion, les coûts différés pour l'ensemble des logements annuels (1500 logements) seront de l'ordre de :

- 225 000€/an pour un bardage des deux façades exposées
- 525 000€/an pour un bardage des quatre façades.

5.4.2.2 Les « gaulettes »

Le ti-baum est un bois résistant, il ne nécessite aucun entretien et sa durée de vie en bardage peut s'allonger jusqu'à 50 ans voire plus.

Les coûts différés pour la construction en gaulettes sont considérés comme nuls.

5.4.3 Coûts évités

Eco-matériaux	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Bardage bois	250 000€	225 000€/an à 525 000€/an	!
Gaulettes	!	!	!

Figure 17 : Analyse macro-économique

5.5 Risques toxicologiques

Les risques toxicologiques liés à l'utilisation du bois massif dans la construction est détaillée dans la partie §4.5.

Notons cependant que les traitements anti-insectes et anti-moisissures nécessaires au bois massif, restent des produits toxiques contenant entre autres des sels métalliques et pouvant présenter un risque pour la santé et pour l'environnement.

Le ti-baume en revanche ne nécessite pas de traitement : il ne présente donc pas de risque toxicologique.

5.6 Comportement face aux risques naturels et au climat

Le bois de ti-baume possède une bonne résistance aux conditions climatiques. De plus, l'aération naturelle des bardages en gaulettes leur confère une bonne résistance au vent.

Comme il l'a été développé précédemment dans la partie « Bois de construction », le bois est un des matériaux les plus sûrs face au risque sismique de part sa flexibilité qui lui permet de suivre les mouvements de terrain en absorbant les secousses. (Source : eti-construction)

Par ailleurs, bien qu'étant un matériau combustible, le bois résiste au feu grâce à sa mauvaise conductibilité thermique et sa teneur en eau.

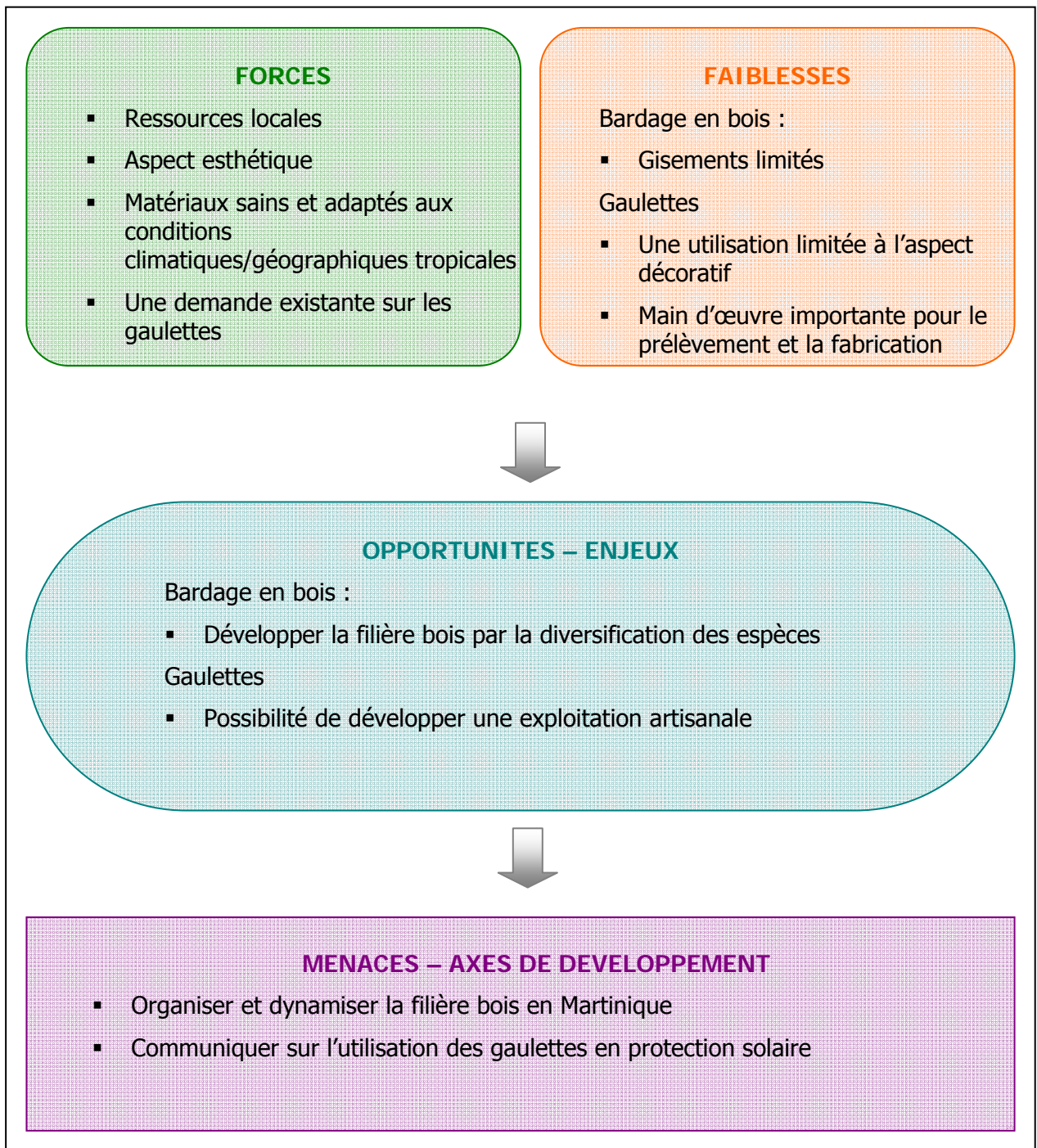
5.7 Impacts sur l'environnement

Le bois est un matériau qui possède des atouts environnementaux certains. (cf. partie §4.7)

La mise en place d'une filière artisanale de fabrication de gaulettes aurait des impacts environnementaux faibles, car sa constitution est uniquement manuelle.

Il faudrait néanmoins rester attentif aux prélèvements qui ne devront pas porter atteinte aux milieux naturels.

5.8 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces



6 TERRE CRUE ET FIBRES DE BANANIER

6.1 Présentation

La terre crue est utilisée depuis des millénaires et reste aujourd'hui le matériau de construction le plus répandu à travers le monde. Il s'agit d'un matériau présentant de multiples intérêts : matériau à changement de phase naturel, localement disponible, à faible énergie grise et recyclable.

Il existe différentes techniques de construction en terre crue, en fonction de la qualité des sols :

- ✓ Pisé : mur de terre argileuse battue dans des coffrages,
- ✓ Bauge : mélange terre-paille façonné, augmentant la résistance et la cohésion,
- ✓ Torchis : mélange terre-paille ou terre chanvre entre des banches,
- ✓ Brique de terre comprimée (BTC) : béton de terre composé de graviers, sables, et d'éléments fins (limons et argiles), etc.

Il existe des constructions comportant en plus des éléments tels que le bois, la pierre, des végétaux.

On utilise généralement pour le pisé un mélange constitué de 30% d'argile et 70% de sable. Du ciment ou de la chaux (3-6%) peuvent être rajoutés pour stabiliser la terre.

Les briques de terre crue sont des blocs pleins constitués de latérite et de chaux, qui sont compressés puis séchés à l'air libre. Elles sont ensuite mises en œuvre avec un mortier de ciment ou de chaux.

Les résistances à la compression à sec des briques sont supérieures à 60 bars (ou 6 Hpa). La résistance humide est généralement supérieure à 30 bars.

Les fibres végétales peuvent être utilisées en mélange à la terre ou en enduits pour augmenter la stabilité de la structure et sa résistance à l'eau.

Par ailleurs, une autre technique de construction en terre crue est en cours de développement : il s'agit du « **Béton Argile Environnemental** ». Il est fabriqué à partir de fines argilo-calcaire (déchet du lavage des sables en carrières), de sables, de graviers et d'eau.



Figure 18 : Exemple de construction réalisée en brique de terre crue comprimée (photo Tierratec)

6.2 Gisements disponibles

6.2.1 Description de la ressource

6.2.1.1 Terre crue

Il n'existe pas de terre « idéale » pour la construction, mais « **il existe un type de construction adapté à chaque type de terre** » (source : CRATerre¹).

Il est possible de constituer un matériau de construction à partir de n'importe quelle terre locale. Il s'agit d'équilibrer la composition initiale en argile et sable de la terre (rajout de sable si la terre est trop argileuse, et vice-versa), l'argile jouant alors le rôle du liant, comme le ciment pour un béton (source CRATerre)

Toute terre peut, selon le même principe qu'un béton, être formulée pour obtenir un matériau de construction (source CRATerre).

En revanche, la terre ne doit pas contenir d'éléments putrescibles : c'est pourquoi les premières couches de sols, la terre végétale, n'est pas utilisée pour la construction.

L'étude « *Inventaire des argiles à usage industriel en Martinique* », réalisée en 1980 par le BRGM, montre que toutes les argiles observées en Martinique se ressemblent plus ou moins et sont utilisables pour des produits de terre cuite. Il s'agit de réaliser des mélanges à partir de plusieurs origines.

6.2.1.2 Fibres de bananier

Les tiges et feuilles de bananier peuvent être utilisées pour la confection d'un enduit pour la construction en terre crue (technique traditionnelle utilisée au Guana) (source : CRATerre).

Les feuilles et tiges sont coupées finement, bouillies (2/3 de fibres, 1/3 d'eau), écrasées et filtrées. Le mucilage produit est appliquée sur la construction en terre crue. Il permet la stabilisation de la construction, en augmentant sa résistance à l'eau et en contrôlant l'apparition des fissures pendant le séchage. L'application est renouvelée tous les 3 ans (source CRATerre 2011).

Il s'agit d'une « recette » traditionnelle, qui n'est pas utilisée ou développée par ailleurs. On préfère mettre en œuvre des techniques constructives évitant l'exposition directe aux intempéries (ex : débords de toit).

Des fibres de coco, ou même de bananier, qui présentent l'intérêt d'être des fibres longues, pourraient être ajoutées pour augmenter la rigidité de la structure.

¹ Voir 6.3.3.1 page 49

6.2.2 Gisement et disponibilité de la ressource

6.2.2.1 Terre crue

▪ **Extraction sur site de construction**

La quantité de terre nécessaire pour la construction d'une maison est variable en fonction de la technique de construction utilisée et de l'épaisseur des murs. Elle est de l'ordre de 1 à 5 m³ (source : CRATerre)

Ce volume est largement inférieur au volume extrait pour les fondations. Il n'y a donc pas de problématique de disponibilité de la ressource : **« la ressource est immédiatement disponible, sur le site même de la construction, sans coûts de transports ».**

Il reste environ 30 % du volume nécessaire pour compléter la formulation, en provenance de carrière (la formulation exacte dépend du type de terre et de sa composition en argiles, sables, limons.)

La majorité de la ressource en terre nécessaire à la construction en terre crue peut être prélevées sur le site même de la construction, à partir des volumes extraits pour le terrassement. 1-5 m³ sont en moyenne nécessaires.

▪ **La Poterie des Trois-Ilets**

Les seuls sites d'extraction d'argile actuellement exploités le sont par l'entreprise « La Poterie des Trois-Ilets ». L'extraction s'effectue sur deux sites :

- Un site pour les argiles dites « maigres » : il s'agit d'une marre, « La Pointe », à proximité de la poterie. L'argile nécessaire à la production annuelle de la poterie y est extraite en une fois par an.
- Un site pour les argiles dites « grasses » : il s'agit d'un grand pré autour de la poterie. L'argile y est extraite sur une profondeur de deux mètres, après fauchage.

La quantité d'argile extraite actuellement par la Poterie des Trois-Ilets s'élève à **20-25 000 tonnes par an.**

L'exploitation de ces deux sites requiert une autorisation de la DEAL. La Poterie des Trois Ilets est en cours de demande de renouvellement d'autorisation d'exploiter, pour un volume d'extraction de 30 000 tonnes/an/carrière, soit 60 000 tonnes/an au total, ce qui est supérieur aux besoins du marché actuel pour la brique de terre cuite.

Il n'y aurait donc pas de problème d'approvisionnement pour un nouveau marché en terre crue. Le prix de vente de l'argile brute n'a pas été transmis (en attente de données de la part de la Poterie des Trois Ilets).

▪ **Autres ressources**

Le Schéma Départemental des Carrières de Martinique établit un état des lieux des ressources potentielles en argile (Préfecture de la Martinique, 2006).

6.2.2.2 Fibres de bananier

Sur les 24 975 ha de Surface Agricole Utile (SAU) en Martinique en 2010, 6 396 ha sont consacrés à la culture du bananier, soit 25% (source : Recensement Agricole 2010).

La biomasse produite par cette culture est en partie exportée (hampes et régimes), la majorité restant sur la parcelle (feuilles, pseudos troncs, souches, rejets). La quantité de biomasse fraîche rendue à la parcelle est estimée à 72-127 t/ha (parties végétales aériennes susceptibles d'être coupées et répandues au sol : feuilles, pseudos troncs, rejets ; *8,83% MS*), dont 60-93 t/ha de pseudos troncs (*5,43% MS*) (source : KHAMSOUK 2001).

La quantité de biomasse fraîche non exportée est donc, en moyenne, de 100 t/ha * 6 396 ha = 639 600 t ; dont 77 t/ha * 6 396 ha = 492 492 t de pseudos troncs.

La biomasse de bananier fraîche annuelle non exportée est de **640 000 t** (*56 500 t Matière Sèche*), dont **490 000 t** (*26 700 t MS*) de pseudo-troncs.

Néanmoins, cette biomasse n'est pas en totalité disponible.

En effet, afin de maintenir un taux de matières organiques suffisant dans les sols, les apports des résidus de cultures précédentes sont nécessaires. Cet apport minimal n'a pu être quantifié (données confidentielles INRA).

Par ailleurs, la quantité de matière organique dans les sols en bananeraie a tendance à diminuer au fil des années, alors même que les résidus de la culture sont restitués (troncs et feuilles sont laissés sur place sans broyage, les hampes des régimes sont éventuellement broyées puis compostées en bordure de parcelle puis répandues) (source : IT2).

De plus, une fois le régime coupé, le tronc laissé sur pied permet de réalimenter le rejet qui produira l'année suivant. La coupe du tronc constituerait donc un manque à gagner en termes de nutriments pour le rejet.

Il est donc difficile de quantifier l'exportation de sous-produits (feuilles et troncs) qu'il serait possible d'effectuer, et d'évaluer ses effets sur la quantité de MO et de nutriments dans les sols, et leurs conséquences sur les rendements.

L'exportation d'une partie de la biomasse produite en bananeraie serait néanmoins possible. Il s'agirait de réfléchir à une compensation de la perte en MO et nutriments, via la mise en place d'une plante de couverture ou à une fertilisation spécifique (source : IT2). De plus, il s'agirait d'extraire les troncs des parcelles en fin de vie, destinées à être détruite pour être replantées, afin de limiter les manques à gagner consécutif à cette exportation de matière organique et nutriments.

La quantité de feuilles et tiges de bananiers exportables des bananeraies, d'un point de vue agronomique, n'est pas quantifiée. Un taux de prélèvement limité devra être défini, en accord avec les planteurs volontaires.

L'extraction à partir de plantations en fin de vie semble plus facile à mettre en œuvre (moins de manque à gagner). Sachant que la durée moyenne d'une plantation est de 5 ans, cela représente 20 % du gisement annuel, soit 98 000 t pour les pseudo-troncs.

6.2.3 Modalités d'approvisionnement

6.2.3.1 Terre crue

- **Approvisionnement sur le chantier de construction**

En moyenne, l'approvisionnement en terre crue peut se réaliser à 70 % sur le site même de la construction.

Remarque : la terre végétale, présente en surface, ne peut être utilisée.

Le complément en sable et graviers pourra provenir des carrières fournissant les chantiers routiers et béton (coûts de transport fonction de l'éloignement du chantier).

Intérêts	Limites
Peu de transport des matériaux : faibles coûts, impacts sur l'environnement limités	Matériel d'extraction et de mélange à acquérir

- **Approvisionnement auprès d'une briqueterie existante : la Poterie des Trois Ilets**

La Poterie des Trois Ilets et ses carrières d'argiles pourraient également être utilisées pour la production de briques de terre crue, ou l'approvisionnement en argile.

L'entreprise n'a jamais produit de briques de terre crue, et des adaptations du matériel pour le pressage et les entrepôts de stockage seraient à réfléchir, mais elle est ouverte à la discussion dans le cas où un projet de ce type était soutenu financièrement.

Intérêts	Limites
Matériel d'extraction et de mélange disponible	Coûts de transports Impacts sur l'environnement.

6.2.3.2 Fibres de bananier

Les modalités d'approvisionnement en fibres de bananier dépendent de la quantité de fibres nécessaires, et donc du nombre de constructions envisagées.

S'il s'agit de quelques constructions isolées, l'approvisionnement pourra se faire à proximité du site de la construction, à partir des jardins particuliers (modalités d'achat et de collecte à définir avec les propriétaires).

S'il s'agit de la mise en place de chantiers de plus grande ampleur, il faudra réfléchir à un approvisionnement à l'échelle régionale, s'appuyant sur les plantations de banane.

Deux modalités d'approvisionnement peuvent être envisagées :

- Récolte par les ouvriers des plantations

Celle-ci implique la réévaluation de la rémunération des ouvriers pour cette nouvelle tâche.

Se posera par ailleurs la question de la disponibilité du matériel et de la main d'œuvre pour l'extraction des troncs et feuilles, sachant que la récolte des régimes sera privilégiée par les exploitants (coût d'opportunité).

- Récolte par un prestataire

Celui-ci achèterait sur pied et se chargerait de la coupe et de l'extraction des troncs et feuilles. Ce mode d'approvisionnement nécessite en revanche d'investir dans du matériel.

Le choix des modalités d'approvisionnement seront à définir et négocier au cas par cas, en fonction de l'ampleur des chantiers et des moyens financiers disponibles.

6.2.4 **Potentiel de production**

La construction d'une maison en terre crue nécessite environ **5 m³** de terre (1 à 5 m³). Environ les 2/3 de la terre peuvent être directement prélevés sur site ; le tiers restant provient de carrières (source : CRATerre).

La quantité de fibres de bananier à mettre en œuvre pour la fabrication d'un enduit n'est pas connue de manière précise. Au Guana, la production consiste à remplir un fût de 100 L de fibres (poids inconnu) puis de le remplir d'eau. L'enduit produit après ébullition et filtration est estimé suffisant pour recouvrir les murs d'une habitation moyenne.

6.2.5 **Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource**

6.2.5.1 Terre crue

Il s'agit tout d'abord de **caractériser la ressource en terre disponible sur le site de construction**.

Des analyses de terrain et essais de fabrication de briques et murs devront être réalisés. Le **laboratoire CRATerre** peut servir d'appui sur ce point. Il réalise en effet des missions de reconnaissance et d'accompagnement pour la mise en place de filière de construction en terre crue. Le coût d'une telle prestation est de l'ordre de 30 000€.

A l'image de l'opération de construction en terre crue réalisée à Mayotte, les grandes opérations de construction peuvent également s'appuyer sur les briqueteries existantes localement, et sur l'expertise du BRGM sur les sols.

Dans un premier temps, il est plus facile de mettre en œuvre la construction en **brique de terre comprimée**, qui fait appel aux mêmes techniques constructives que le bloc béton et nécessite donc moins de formation de la main d'œuvre (source : CRATerre).

Mais le principal frein au développement de la construction en terre crue réside dans le **manque de connaissance et reconnaissance du matériau par des professionnels**. Les bureaux de contrôles favorables à ce type de construction sont encore rares.

Une **Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX)** par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment est en cours pour le pisé (prévu pour fin 2012), et prévu pour la Brique de Terre Comprimée à Mayotte. Cela devrait permettre d'améliorer l'acceptation de ce matériau.

6.2.5.2 Fibres de bananier

L'exportation d'une partie de la biomasse produite en bananeraie pour l'intégrer à la construction en terre crue est possible, à condition de surveiller ses effets sur la qualité des sols et d'éventuellement mettre en place en conséquence une culture dédiée à

l'enrichissement en MO (par exemple le bracia ; le CIRAD mène également des essais avec du Bois Raméal Fragmenté) (source : IT2).

En effet, il semble pour l'instant que les parcelles soient sur-fertilisées, les doses ne tenant pas compte des restitutions des précédents culturaux. Les impacts d'une extraction des pseudos troncs pendant les années de production pourraient donc être relativisés.

Un suivi devra être mené sur les parcelles d'où seront extraits les sous-produits de la culture de bananier, afin de caractériser l'effet des exportations sur la qualité des sols, et de mettre en place une compensation (fertilisation ou culture dédiée à l'enrichissement en MO).

6.3 Techniques et savoirs-faires

6.3.1 Cycle de production

Les différentes étapes de la production de briques de terre crue comprimées sont les suivantes :

- Extraction
- Préparation : séchage, pulvérisation, tamisage
- Mélange : dosage, mélange avec le stabilisant, ajout eau, réaction
- Pressage : dosage, pressage, démoulage
- Cure : cure humide, séchage
- Stockage

6.3.2 Organisation de la filière actuelle en Martinique

6.3.2.1 Terre crue

En Martinique, seule la Poterie des Trois Ilets produit des briques, mais il s'agit de briques de terre cuite uniquement (15 000 t/an).

Selon les techniques de construction, le matériel nécessaire varie mais reste relativement léger : fouloir pneumatique, pisoir (ou dame) à main, coffrage, broyeur, crible, malaxeur, presse (hydraulique, pneumatique, etc.).

Une production de briques de terre crue pourrait être envisagée en s'appuyant sur l'installation existante de la Poterie des Trois Ilets (matériel de broyage et crible déjà disponibles).

Le laboratoire CRATerre préconise dans un premier temps de construire en brique de terre comprimée, et d'utiliser une presse manuelle, plus fiable et solide que les autres types de presses.

A titre d'information, l'entreprise Appro Techno basée en Belgique propose une presse manuelle de marque Terstaram pour un prix de 5 210 € (prix FOB H.T., accessoires et caisse transport compris, hors frais de transport Belgique-Martinique) (source : devis Appro Techno, cf annexe 8)

Production journalière (8 heures) : 700 blocs 29,5 x 14 x 9 cm ;
1 400 briques 22 x 10,5 x 6 cm.

Il s'agit du type de matériel qui a été utilisé dans les constructions en terre crue à Mayotte.

APPRO-TECHNO SPRL

26 rue de la Rièze-

B-5660 Cul-des-Arts- Belgique

Tel : 0032 / 60 37 76 71

www.approtechno.com

Contact : SEBASTIEN DEPUTTER

s.deputter@approtechno.com



Figure 19 : Presse manuelle utilisée pour la fabrication de brique de terre crue comprimée (source : Appro Techno, machine Terstaram)

6.3.2.2 Fibres

La seule entreprise en Martinique spécialisée dans la valorisation des sous-produits du bananier est l'entreprise Fib&Co, qui réalise des revêtements décoratifs de luxe à partir des tiges de bananiers. Elle s'approvisionne actuellement sur 300 ha de plantations de bananier à proximité de l'usine.

Le matériel nécessaire à l'extraction des troncs est similaire à celui nécessaire pour la récolte des régimes. Le matériel ensuite nécessaire pour la transformation des fibres consiste principalement en un broyeur, ainsi que des fûts et du matériel pour filtrer s'il s'agit de confectionner l'enduit à partir de feuilles de bananier bouillies.

6.3.3 **Autres ressources existantes**

La filière professionnelle de construction en terre crue est en cours de structuration en France. On pourra néanmoins s'appuyer sur les ressources suivantes :

6.3.3.1 CRATerre ENSAG

L'association et laboratoire de recherche **CRATerre**, lié à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, est une référence internationale en matière d'architecture en terre crue.

Le laboratoire a par exemple réalisé à Mayotte une opération de construction d'une trentaine de logements en briques de terre comprimée, produites par les briqueteries locales à partir de mélanges de terre (graves de carrières + argiles locales). Cette opération a été réalisée en partenariat avec l'expertise du BRGM.



Afin de mettre en place l'utilisation de ce matériau en Martinique, il pourrait être fait appel à l'expertise du laboratoire CRATerre pour réaliser des missions de prospection afin d'estimer la faisabilité technique et sociale de l'utilisation de la terre crue dans le contexte martiniquais. Cette mission pourra ensuite être poursuivie par une étude de faisabilité.

CRATerre-ENSAG, Grenoble
60 avenue de Constantine - BP 2636
38036 Grenoble Cedex 2 France
04 76 69 83 35
<http://craterre.org>
craterre@grenoble.archi.fr

6.3.3.2 Le GABION

Le GABION est un centre de formation et d'expérimentation à l'éco-construction et à la réhabilitation du bâti ancien situé à Embrun dans les Hautes-Alpes.

Cette association propose entre autres des formations à la construction en terre crue.

Association le GABION
Domaine du Pont Neuf
05 200 EMBRUN
Tél 04 92 43 89 66
<http://gabionorg.free.fr/contacts.htm>
a@legabion.org

6.3.3.3 B2TG (Guyane)

Brique et Tuile en Terre de Guyane (B2TG) a relancé la production de briques de terre crue fin 2010, à un rythme de production de 12 000 briques par jour.

6.3.4 **Mise en œuvre**

Les directives techniques d'utilisation des briques de terre comprimée sont celles du D.T.U 20.1 « *Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – parois et murs : règles de calcul et dispositions constructives minimales* ».

Il appartient au maître d'œuvre d'apprécier les données concernant l'exposition des murs à la pluie et au vent en fonction du climat local (pluies et vents dominants). Par exemple, la toiture doit être suffisamment débordante (1,5m) et les murs peuvent être protégés par un enduit spécifique.

Les BTCS peuvent alors être employées dans la construction de murs porteurs, murs de refend et cloisons (source B2TG), pour les bâtiments de type rez-de-chaussée et 1^{er} étage.

6.3.5 *Emplois*

La construction en terre crue nécessite beaucoup plus de temps et de main d'œuvre que la construction « classique ».

La main d'œuvre nécessaire à la construction d'une maison en adobe a été estimée 2 personnes pendant 30 jours (source Wafer, 2010).

Une briqueterie nécessite une dizaine d'ouvriers, pour une production allant de 1 000 à 6 000 briques par jour selon le matériel utilisé (source : CRATERRE 1996).

Le potentiel de création d'emplois associés à la construction en terre crue est de l'ordre d'une dizaine de personnes par chantier.

Par conséquent, le principal coût associé à la construction en terre crue réside dans le coût de la main d'œuvre nécessaire à la fabrication des briques et le montage, le matériau en lui-même étant prélevé aux 2/3 sur place.

6.4 *Etude macro-économique*

6.4.1 *Coûts d'investissement*

Les coûts d'investissements portent sur le matériel suivant (source CRATERRE 1995, coût actualisés) :

- Pulvérisateur : 4 500 €
- Malaxeur : 6 500 €
- Presse : 5 000 € (presse manuelle Terstaram présentée précédemment)
- Tamis, pelles, brouettes

Les coûts d'investissement pour une unité de production sont donc de l'ordre de 15 000 €. Le coût d'une petite unité de production comprenant réalisant l'ensemble des étapes est de l'ordre de 300 000 €.

Ces coûts ne prennent pas en compte le terrain (si la production n'a pas lieu directement sur le chantier), les bâtiments, le transport jusqu'en Martinique, les assurances, les taxes, etc. Les investissements en équipements peuvent ne représenter que 25 % des investissements totaux (source CRATERRE 1996).

Ces coûts d'investissements sont moindres en comparaison des coûts liés à la main d'œuvre.

Remarque : coût de revient du matériau

L'entreprise guyanaise B2TG propose des briques de terre crue dont le coût de revient posé est de l'ordre de **90€/m²** posé (à titre de comparaison, le coût de revient du parpaing béton posé est de 30 à 50€/m² (source ADEME Guyane 2010).

6.4.2 *Coûts différés*

La base des murs, les enduits, les toitures peuvent être érodées par le vent, la pluie et les infiltrations d'eau. Ils doivent être rénovés tous les trois à cinq ans en moyenne.

Si la construction est bien protégée des intempéries, et que les parties les plus exposées sont stabilisées à la chaux ou au ciment, la construction en terre crue peut durer jusqu'à plus de 30 ans (source : CRATerre). Les coûts d'entretien sont alors considérés comme nuls.

6.4.3 Coûts évités

Les coûts évités consistent en :

- Coût d'une construction « classique » (dont transport Martinique et main d'œuvre) : environ 50 000 €/habitation (source : Groupe Levillain Martinique) ;
- Economies d'énergie grâce aux meilleures performances de la terre crue. En effet, la construction en terre crue est naturellement mieux isolée que la construction maçonnée. Elle permet donc de réaliser des économies substantielles en climatisation ou en matériaux isolants.

Sachant que le nombre annuel de logement individuels neufs en Martinique est d'environ 1 500, les coûts évités sont de l'ordre de 75 millions d'euros (matériaux + main d'œuvre).

Ecomatériau	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Brique de terre crue comprimée	300 000 €	0	> 75 M€

Figure 20 : Analyse macro-économique

6.5 Risques toxicologiques

6.5.1 Santé

Le mode fabrication du matériau en terre crue est particulièrement sain et propre.

L'extraction sur site de la terre et la fabrication ne présentent pas de risques toxicologiques pour les ouvriers.

La terre crue est un matériau non toxique, qui ne libère pas de composés organiques volatils pendant sa vie en œuvre.

6.5.2 Confort

Par ailleurs, lors de sa vie en œuvre, la terre crue présente plusieurs intérêts :

- ✓ Régulation de l'humidité : les BTCS peuvent absorber jusqu'à 3% de leur poids en vapeur d'eau et la restituer lorsque l'air s'assèche ;
- ✓ Régulation de la température : l'inertie thermique de la terre crue permet de maintenir constante la température d'une pièce. La perspiration des murs permet également de rafraîchir la pièce ;
- ✓ Affaiblissement acoustique : affaiblissement de 45dB pour un mur de 30cm à 500 Hz ;
- ✓ Absence d'électricité statique ;

- ✓ Perméabilité au rayonnement cosmique ;
- ✓ Absorption des odeurs (due à la présence des argiles)
- ✓ Résistance aux insectes xylophages, aux champignons et à la moisissure.

Remarque : pour la Martinique, des murs minces (à déphasage rapide) associés à une bonne ventilation seraient souhaitables pour le confort thermique (source CRATerre).

6.5.3 *Feu*

La terre crue est un matériau incombustible.

Les briques de terre comprimée stabilisée (BTCS) sont classées M0 (incombustible).

6.6 **Comportement face aux risques naturels et au climat**

6.6.1 *Climat*

Si la terre crue n'est pas stabilisée (ciment, chaux), elle ne résiste pas aux intempéries. Il s'agit donc de ne pas laisser ce matériau exposé aux intempéries.

Il appartient au maître d'œuvre d'apprécier les données concernant l'exposition des murs à la pluie et au vent en fonction du climat local (pluies et vents dominants) et de prendre les dispositions constructives associées :

- ✓ Toiture débordante (1,5m) ;
- ✓ Protection des murs par un enduit spécifique ;
- ✓ Sous-bassement en béton ;
- ✓ Etc.

La terre crue est par ailleurs un matériau qui résiste mal aux alternances gels-dégels, ce par quoi la Martinique n'est bien évidemment pas concernée.

6.6.2 *Risques naturels*

La construction en terre n'est pas incompatible avec les risques sismiques et cycloniques.

La résistance mécanique de la construction en terre crue est estimée à 2-3 MPa (source : CRATerre).

Le matériau en lui-même n'est pas résistant aux risques sismiques, c'est la structure porteuse qui l'est (métal, bois, béton armé).

Des dispositions particulières doivent être prises par les maîtres d'œuvre pour la construction en terre soumise à des risques naturels (ancrage des charpentes, structure porteuse en bois, etc.).

6.7 Impacts sur l'environnement

- ✓ Matériau renouvelable
- ✓ Impact paysager faible ou nul (prélèvement sur site)
- ✓ Impact sur les eaux et les sols nul (pas d'utilisation d'additifs toxiques, faible consommation d'eau)
- ✓ Energie grise faible (pas de cuisson, peu de transport, pas de climatisation nécessaire dans les habitations)
- ✓ Chantiers à faible nuisances
- ✓ Gestion des déchets d'activité (les écarts de fabrication sont réintroduits dans la chaîne de fabrication ou peuvent être laissés sur place)

En tant que matériau naturel peu transformé et prélevé localement, la terre crue est probablement le matériau de construction à l'impact environnemental le plus faible.

6.8 Conclusion

Selon le laboratoire CRATerre, l'utilisation de fibres en association avec la terre crue présente l'inconvénient de rajouter une opération à la construction, donc d'augmenter son coût, et n'est pas forcément nécessaire d'un point de vue mécanique.

Le laboratoire CRATerre préconise donc d'utiliser la technique constructive en terre crue la plus simple, sans ajouts de fibres : la Brique de Terre Comprimée Stabilisée.

6.9 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

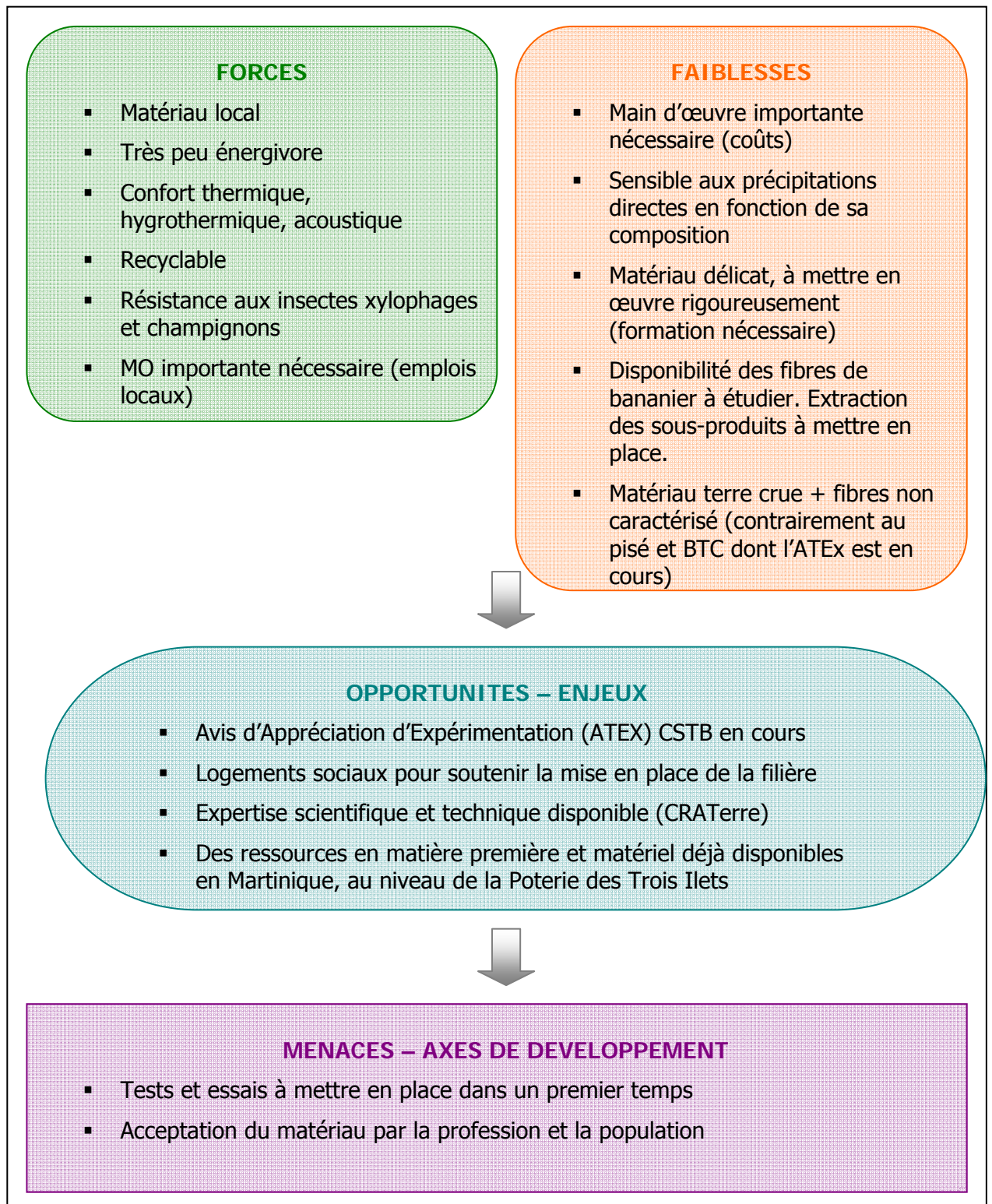


Figure 21 : AFOM Ecomatériau : Terre crue associée à des fibres de bananier

7 CIMENT ET FIBRES DE BANANIER

7.1 Présentation

Les **matériaux composites à matrice cimentaire renforcée par des fibres végétales** sont l'objet de récent intérêt.

Ils permettent en effet de combiner une bonne tenue **mécanique** (matrice cimentaire) à une bonne **isolation** thermique (fibres végétales), pour une masse volumique et un coût moindres comparativement aux autres fibres. Il s'agit par ailleurs d'une alternative saine et naturelle aux fibres d'amiante.

Basé à l'Université Antilles Guyane en Guadeloupe, le laboratoire COVACHIM-M2E (Chimie des Matériaux – Connaissance et Valorisation) a pour objectif de valoriser dans de tels matériaux les résidus ligno-cellulosiques des sous-produits de l'agriculture ou de l'industrie agro-alimentaire.

Plusieurs types de fibres ont été étudiées et caractérisées du point de vue physico-chimique, morphologique, mécanique et thermique : fibres de canne à sucre (bagasse), bananier, cocotier, dictame, sisal, curaua, dictame, bambou, etc.

Il a été choisi, à l'issue de la première étape de cette étude, de se pencher sur les matrices cimentaires renforcées par les **fibres de bananier**. En effet, ces fibres sont davantage disponibles, en termes de quantité, de régularité annuelle, et de conflits d'usage, que les autres fibres étudiées à l'heure actuelle.

Alors que la plupart des études portent sur la caractérisation des fibres et de leur comportement dans des composites polymères, il s'agit d'étudier dans ce chapitre les perspectives de développement d'un matériau de construction composite à matrice cimentaire renforcée par des fibres de bananier.



Figure 22 : Fibres de bananier

7.2 Matrice cimentaire

Le ciment qui a été utilisé pour les travaux de recherche du laboratoire COVACHIM est un ciment commercial, constitué à 53,6 % de clinker, 42% de pouzzolane et 4,4% de gypse.

7.3 Fibres de bananier

7.3.1 Caractéristiques de la fibre de bananier

D'après ARSENE et al., 2007

7.3.1.1 Composition de la fibre de bananier

Les fibres de bananier sont principalement composées de cellulose et hémicellulose (voir tableau suivant présentant la composition chimique de différentes fibres, dont la fibre de bananier).

Les fibres provenant des feuilles de bananier sont plus riches en eau (11,7%) et en lignine (24,8%) que celle provenant du tronc (respectivement 9,7% et 15%).

TABLE 3.—Chemical and elemental composition of bagasse, coconut and banana fibers.

Nature of the fiber	Chemical composition (%) [±Cumulative standard deviation]					Elemental composition (%)				
	Moisture	Lignin	Cellulose	Hemicellulose	Extractives	C	O	H	N	Ash
Coconut	13.68	46.48	21.46	12.36	8.77	46.22	40.47	5.44	0.36	1.05
coir	[±0.05]	[±1.73]	[±1.44]	[±2.34]	[±0.39]	[±0.03]	[±0.03]	[±0.03]	[±0.002]	[±0.05]
Coconut sheath	5.90	29.7	31.05	19.22	1.74	42.23	45.57	5.69	0.44	8.39
	[±1.84]	[±4.36]	[±2.88]	[±3.46]	[±0.71]	[±0.21]	[±0.23]	[±0.03]	[±0.002]	[±0.03]
Bagasse	5.64	22.56	39.45	26.97	4.33	48.6*	45.1*	6.3*	**	3.5*
	[±1.60]	[±2.26]	[±2.41]	[±2.52]	[±0.74]	**	**	**	**	**
Banana trunk	9.74	15.07	31.48	14.98	4.46	36.83	43.62	5.19	0.93	8.65
	[±1.42]	[±0.66]	[±3.61]	[±2.03]	[±0.11]	[±0.18]	[±0.22]	[±0.02]	[±0.005]	[±0.03]
Banana leaf	11.69	24.84	25.65	17.04	9.84	44.01	38.84	6.10	1.36	7.02
	[±0.03]	[±1.32]	[±1.42]	[±1.11]	[±0.11]	[±0.22]	[±0.19]	[±0.03]	[±0.007]	[±0.03]

*Ouensanga (1988).

**Not determined.

The values are expressed in weight percent of the dry fiber.

Figure 23 : Composition chimique des fibres de coco, bagasse et bananier (source : ARSENE et al. 2007)

7.3.1.2 Morphologie de la fibre de bananier

Les travaux de MUKHOPADHYAY (MUKHOPADHYAY et al., 2008) sur le bananier *Musa sapientum* indiquent que la section de la fibre de bananier est circulaire (figure ci-dessous). Les travaux de ARSENE et al, 2007, sur le bananier *Musa acuminata* indiquent une section plus allongée, voire rectangulaire.

Comme toutes les fibres naturelles, les dimensions et formes des fibres sont assez variables.

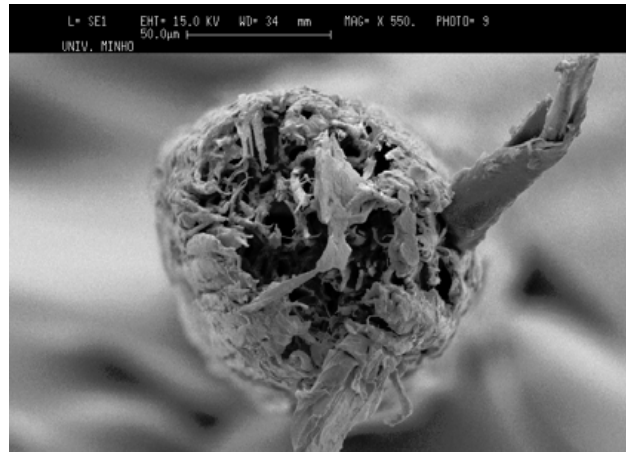


Figure 24 : Vue de la section circulaire d'une fibre de bananier
(source : MUKHOPADHYAY et al., 2008)

7.3.1.3 Résistance mécanique de la fibre de bananier

Le tableau suivant présente les propriétés mécaniques des fibres de bananier (fibres de 1 cm de longueur, traitées par pyrolyse).

	Résistance mécanique à la traction (MPa) « tensile strength »	Elongation au point de rupture (%)
Tronc de bananier	351 MPa [\pm 227]	8 [\pm 1] %
Feuille de bananier	22,42 MPa [\pm 7]	nd

Figure 25 : Propriétés mécaniques de fibres de bananier (source : ARSENE et al., 2007)

D'après ces données, les fibres de tronc de bananier sont 15 fois plus résistantes que les fibres de feuilles de bananier. Elles sont également plus résistantes que les fibres de coco (265 MPa pour la gaine et 182 pour la coco), mais moins résistantes que les fibres de bagasse (426 MPa).

L'élongation des fibres de tronc de bananier est en revanche similaire à celles des fibres de bagasse (8,6) [\pm 1,7].

Dans le matériau composite à matrice cimentaire, on privilégiera l'utilisation de fibres des troncs de bananier, plus résistantes que les fibres des feuilles de bananier.

7.3.2 **Gisement, approvisionnement et potentiel de production en Martinique**

Les gisements et les modalités d'approvisionnement en fibres de bananier en Martinique ont été présentées au chapitre sur la terre crue associée à des fibres de bananier (voir §6.2).

La biomasse de bananier fraîche annuelle non exportée est de **640 000 t** (56 500 t Matière Sèche), dont **490 000 t** (26 700 t MS) de pseudo-troncs.

La fibre de bananier n'est pas exploitée en Martinique. Il s'agit d'un co-produit de la culture de bananier. Les troncs et feuilles sont laissés sur les parcelles et participent à l'amendement organique et minéral du sol.

La quantité de feuilles et tiges de bananiers exportables des bananeraies, d'un point de vue agronomique, n'est pas quantifiée.

Un taux de prélèvement limité devra être défini, en accord avec les planteurs volontaires. Un suivi devra être mené sur les parcelles afin de caractériser l'effet des exportations sur la qualité des sols, et de mettre en place une compensation si nécessaires (fertilisation ou culture dédiée à l'enrichissement en MO).

L'extraction des troncs des parcelles n'est pas pratiquée. Le choix des modalités d'approvisionnement seront à définir et négocier au cas par cas, en fonction de l'ampleur des chantiers et des moyens financiers disponibles (récolte par les ouvriers des plantations, ou par un prestataire).

Si l'on prend l'hypothèse de n'extraire que des troncs (fibres plus résistantes) et seulement sur des parcelles en fin de vie (moins de manque à gagner suite aux potentiels effets négatifs de l'extraction des troncs sur la qualité des sols), soit 20 % du gisement annuel total (durée moyenne d'une plantation 5 ans), le gisement disponible est de **98 000 t de pseudo-troncs frais, soit 5 340 t de matière sèche.**

7.4 Fabrication du composite

7.4.1 Mode opératoire

Le mode opératoire décrit ici est un mode opératoire de recherche, issu des travaux du laboratoire COVACHIM, et notamment du papier ARSENE et al. 2007.

7.4.1.1 Extraction des fibres de bananier

Afin de limiter les coûts énergétiques de cette étape, il s'agit de réaliser un broyage grossier des sous-produits. Idéalement, comme dans le cas de la canne à sucre, la taille des fibres à obtenir est proche de celle du sous-produit (la bagasse).

Pour le bananier, les feuilles et troncs sont broyés pour obtenir des morceaux de taille moyenne 3x3 cm.

Les fibres de diamètre compris entre 0,4 et 1 mm sont ensuite sélectionnées par tamisage.

Elles sont rincées puis trempées dans de l'eau dé-ionisée avant d'être séchées (à l'air libre pendant une semaine, puis en étuve pendant 2h).

7.4.1.2 Traitement des fibres

Des traitements sont appliqués aux fibres dans le but d'éliminer les sucres et autres composés qui nuisent à la prise du ciment lors de la réalisation du composite.

Afin de limiter l'impact environnemental de cette étape, il s'agit de rechercher des procédés les plus doux possibles.

▪ **Traitements thermiques par pyrolyse**

Il s'agit d'une combustion à 200°C pendant 2 h, sans O₂. Ce traitement provoque un réarrangement des glucides (cellulose et hémicellulose) et une partielle déshydratation de la lignine.

Le traitement par pyrolyse augmente la solidité des fibres.

▪ **Traitements chimiques**

Les traitements chimiques les plus courants sur les fibres végétales sont des traitements alcalin ou acide. Ils permettent d'augmenter l'interface entre la fibre et la matrice cimentaire et d'éliminer les substances compromettant la pérennité de la fibre.

Le **traitement alcalin** consiste à porter les fibres à ébullition pendant 1 h dans une solution de Ca(OH)₂ à 5% (traitement basique à la chaux). Ce traitement basique à la chaux est plus doux qu'un traitement à la soude, qui est habituellement utilisé.

Ce traitement présente néanmoins l'inconvénient d'attaquer la lignine des fibres, et donc d'altérer de manière significative la résistance mécanique du composite. L'utilisation de matériaux pouzzolaniques (cendres, fragments de poteries, de briques, etc.) ou certains traitements chimiques ou thermiques spécifiques permettent de limiter cet effet. Dans le cas des travaux du laboratoire COVACHIM, c'est la silice pulvérulente qui joue ce rôle.

L'**hydrolyse acide** consiste elle à faire bouillir les fibres 1 h dans une solution d'H₂SO₄ à 5%.

Les fibres sont ensuite rincées.

7.4.2 **Fabrication du composite**

7.4.2.1 Hydratation des fibres

Il s'agit dans un premier temps d'hydrater les fibres, en les faisant tremper 2h dans de l'eau dé-ionisée. La quantité d'eau absorbée par les fibres est estimée à 40mL d'eau par gramme de fibre. Cette étape permet d'éviter la compétition entre le ciment et l'hydratation des fibres lors du mélange avec l'eau.

7.4.2.2 Réalisation du mélange

Les ingrédients utilisés lors des travaux réalisés par le laboratoire COVACHIM (ARSENE et al. 2007 ; ONESIPPE et al., 2010) sont les suivants.

Les proportions sont données en pourcentage du poids du ciment. *Elles sont données à titre indicatif et devraient être revue dans le cadre de la fabrication du matériau à une échelle industrielle.*

- Ciment (100%) ;
- Eau (90%) ;
- Sable (50%) ;
- Carbonate de calcium (30%) ;

- Polymère (7,5%) (amélioration de la maniabilité de pâte et protection de la fibre (gaine)) ;
- Silice pulvérulente (5%) ;
- Pulpe de cellulose (4%) ;
- Argile (3%) ;
- Fibres de bananier broyées traitées hydratées (jusqu'à 3%).

Les propriétés mécaniques du composé dépendent de la fraction volumique de fibres qui ont été introduites. La fraction volumique optimale est estimée à **1,5%** en poids du ciment. Un effet de seuil est observé à 6%, où le produit n'est plus manipulable en bloc après séchage.

Le ciment et les fibres humides sont mélangées (mixeur). Les fibres sont donc **orientées de manière aléatoire**.

Les autres ingrédients et l'eau sont ensuite ajoutés progressivement. Le mélange est moulé après quelques minutes de repos.

7.4.2.3 Durabilité

La lignine des fibres végétales est attaquée par le ciment, entraînant une dégradation de la résistance mécanique du composite. Le traitement thermique ou chimique appliqué aux fibres, ainsi que l'ajout dans la matrice de composés à effet pouzzolanique, réduisant le caractère basique du ciment, permettent d'éviter cette dégradation et qu'elle ne compromette la durabilité du matériau composite.

Les problèmes de durabilité du matériau sont ensuite similaires aux problèmes rencontrés avec le béton classique, consécutivement à des négligences dans la mise en œuvre et le respect des proportions des ingrédients.

7.5 Propriétés et utilisation du composite

7.5.1 **Résistance mécanique du composite**

La résistance mécanique du composite dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- La nature des fibres ;
- Le traitement des fibres ;
- La longueur des fibres ;
- Le pourcentage de fibres dans le composite.

Les données ci-dessous illustrent l'influence du traitement des fibres. Elles proviennent des travaux d'ARSENE et al., 2007, sur des composites réalisés avec 3% de fibres de troncs de bananier (% relatif au poids de ciment).

Traitement de la fibre (tronc de bananier)	Résistance mécanique à la traction (MPa)	
	Fibre	Composite
Aucun	70 [± 55]	3,22 [±1,52]
Pyrolyse	351 [± 220]	3,83 [± 0,65]
Acide	27 [± 20]	2,36 [±1,11]
Basique (alcalin)	107 [± 60]	2,32 [± 0,69]

Figure 26 : Résistance mécanique à la traction des fibres de tronc de bananier et des composites à matrice cimentaire associés, en fonction du traitement des fibres

Le traitement des fibres par pyrolyse est celui qui maximise la résistance mécanique à la traction des fibres de troncs de bananier et du composite.

Ces observations peuvent varier si on utilise un autre type de fibre. Par exemple, sur des fibres de bois, le traitement thermique augmente la résistance mécanique. Des travaux sur des fibres de palmier dattier ont également montré que l'augmentation des longueurs et des pourcentages des fibres améliorent la résistance à la flexion et la dureté du composite, mais diminue les résistances à la compression (LEDHEM et al., cité par MERZOUZ, HABITA, 2008).

La résistance à la compression des mortiers de fibres végétales **diminue en fonction de l'augmentation du dosage en fibres**. En effet, leur incorporation dans la matrice du mortier augmente le volume des vides et diminue donc la compacité du mortier.

De manière générale, les résultats de plusieurs études ont montré que du point de vue du comportement mécanique, les composites à matrice cimentaire avec des fibres végétales étaient une **alternative à l'amiante intéressante**.

Des travaux sur le composite ciment fabriqué à partir de fibres de bananier (pulpe obtenue à partir du procédé kraft, 14% de fibres en poids) ont montré que sa **résistance à la flexion pouvait atteindre 25 MPa** et la résistance à la rupture de 1,74 kJ/m², ce qui est compatible avec la production de matériaux de construction viables (ZHU et al., 1994).

Les propriétés mécaniques des composites à matrice cimentaire à base de fibres de bananier sont compatibles avec la constitution de matériaux de construction.

Remarque : Dans cette étude, les valeurs de résistance mécanique à la traction des composites à base de fibres de tronc de bananier ne sont pas significativement différentes d'un béton sans fibres (quelque soit le traitement des fibres). Le composite ciment + fibres de bananier n'apporte donc pas de valeur ajoutée en termes de résistance mécanique à la traction. Cette donnée serait à confirmer par d'autres essais en laboratoire et en contexte réel, car les composites réalisés avec des fibres de bagasse présentent, eux, des résistances mécaniques supérieures au béton classique, atteignant 7 MPa.

7.5.2 Propriétés thermiques et phoniques

Peu de travaux se sont intéressés aux propriétés thermiques des matériaux composites à matrice cimentaire renforcée par des fibres végétales (CRFV) et en particulier les fibres de bananier.

Le laboratoire COVACHIM s'est penché sur les propriétés thermiques des composites cimentaire renforcés par des fibres de bagasse (ONESIPPE et al., 2010). Aucune référence n'a été trouvée sur les composite cimentaire renforcés par des fibres de bananier.

Il en ressort que les composites cimentaire renforcés par des fibres de bagasse ont une **conductivité thermique et une chaleur spécifique moindre** que le témoin sans fibres ; et ce, d'autant plus que la quantité de fibres est importante, et davantage lorsque les fibres sont traitées par pyrolyse que par traitement alcalin (voir figure ci-dessous).

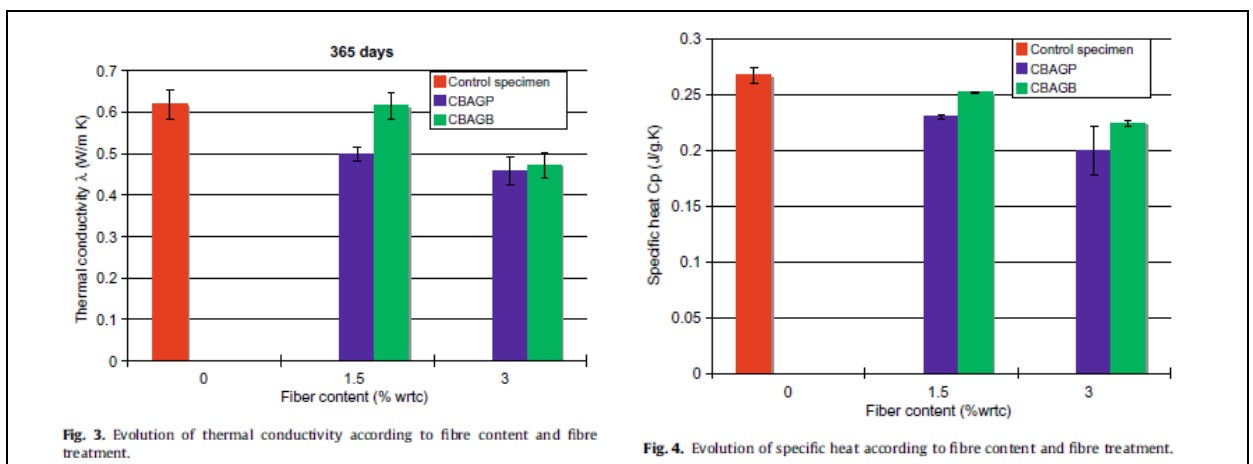


Figure 27 : Influence du traitement et de la quantité de fibres de bagasse sur la conductivité thermique (Fig. 3.) et la chaleur spécifique (Fig.4.) du composite à matrice cimentaire (source : ONESIPPE et al., 2010) (CBAGP : traitement par pyrolyse ; CBAGB : traitement alcalin)

Ces résultats sont intéressants car en climat tropical, les matériaux à faible conductivité thermique et faible chaleur spécifique sont recherchés pour une bonne isolation des bâtiments (ONESIPPE et al., 2010).

Ces résultats seraient à confirmer, notamment sur des composites cimentaires renforcés par des fibres de bananier.

Les propriétés phoniques des matériaux composites à matrice cimentaire renforcée par des fibres végétales n'ont pour l'instant pas été caractérisées.

7.5.3 Propriétés hygrométriques

Le comportement hygrométrique du matériau n'a pas encore été caractérisé : la respirabilité conférée par les fibres au matériau est encore à quantifier et prouver.

7.5.4 Utilisation du composite

Le matériau composite à matrice cimentaire renforcée par des fibres végétales présente des propriétés mécaniques similaires au béton classique.

Ce matériau peut être utilisé en **remplissage d'une structure porteuse**, pour réaliser des plaques isolantes, des bardages, des cloisons intérieures. Il n'est en revanche pas recommandé pour une utilisation en tant que béton soumis à de fortes contraintes mécaniques et devant être porteur. Ce procédé ne vise pas à fabriquer du béton dit de haute performance.

La valeur ajoutée du matériau réside dans ses propriétés d'isolation thermique et phonique.

Ce type de matériau est utilisé au Brésil et en Colombie, sous forme de composite à matrice polymère (tôles).

7.6 Faisabilité technique du développement en Martinique

7.6.1 Fabrication industrielle

Le mode opératoire et les résultats présentés précédemment proviennent de résultats expérimentaux obtenus en laboratoire.

Ce matériau est encore au stade de la recherche et n'est pas encore mis en œuvre de manière industrielle en France.

Pour une mise en œuvre à une plus grande échelle, il s'agirait dans un premier temps de **compléter la caractérisation** des propriétés mécaniques thermiques, phoniques du matériau et de les **confirmer lors d'une mise en œuvre à l'échelle d'un bâtiment**.

7.6.1.1 Procédé et matériel

- **Fibre**

La filière **d'approvisionnement** en fibre de bananier n'existe pas en Martinique (voir §6.2.3.2). L'objectif de cette filière serait de fournir des fibres de troncs de bananier prêtes à l'emploi pour la fabrication d'un béton de ciment composite.

Pour l'extraction des fibres, il s'agira de mettre en place une unité d'extraction, comprenant une machine d'extraction/décorticage des troncs ou feuilles de bananier semi-automatique. Ce genre de machine est utilisé en Inde ou en Afrique pour l'extraction des fibres des feuilles d'ananas, de sisal. Elle est opérée par un ouvrier et permet de traiter 100 à 300 kg de matière par heure. Les données relatives à la quantité de fibres extraites sont de l'ordre de 20-30 kg de fibres/jour en Inde.

Le coût est de l'ordre de 3 000 € (hors transport).

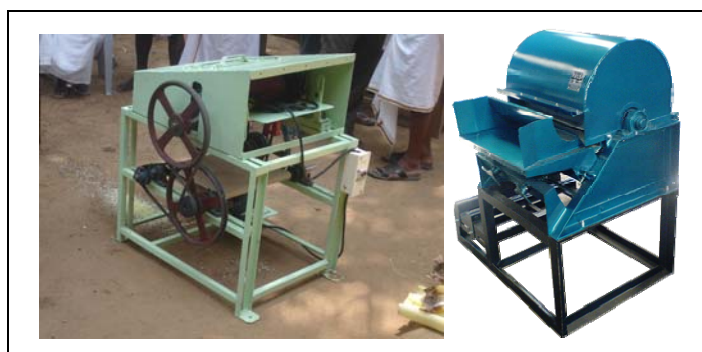


Figure 28 : Machines permettant l'extraction des fibres de bananier

▪ Fabrication du béton

Le procédé de fabrication du béton composite ciment et fibres de bananier sera similaire au procédé de fabrication du béton de ciment classique :



Figure 29 : Bétonnière chantier



Figure 30 : Usine à béton (35 m³/h – env. 30 000 €)



Figure 31 : Usine à béton (100 m³/h – env. 200 000 €)

Selon les quantités de béton composite à mettre en œuvre, la fabrication du béton composite en Martinique pourra **s'appuyer sur les installations existantes** pour la fabrication du béton (volumes importants), ou être effectuée en bétonnière sur chantier, à partir de fibres prêtes à l'emploi.

Il serait également intéressant d'étudier la possibilité d'utiliser le matériau sous forme de blocs.

7.6.1.2 Calcul du potentiel de production

- Quantité de fibres potentiellement disponibles :
 - 98 000 t matière fraîche par an (voir § 6.2.2.2)
 - Pertes liées à l'extraction et au broyage : 70% → 15 000 t de fibres (hydratées)
- Teneur en fibre du matériau composite :
 - 1,5 % (en poids du ciment) → poids du ciment correspondant = 15 000 / 0,015 = 1 000 000 t
- Teneur en ciment d'un m³ de béton :
 - 350 kg/m³
- Potentiel de production :
 - (Poids du ciment + poids des fibres)*1000 / 350 → Près de 2 900 000 m³

Le potentiel de production de béton composite ciment + fibres de bananier est évalué à près de **2 900 000 m³** par an.

Si l'on considère un volume moyen de béton de 100 m³ pour la réalisation des murs d'une habitation (murs seulement car le béton composite n'est pas utilisable pour les fondations, dalles et structures porteuses) :

Le **nombre d'habitations** pouvant être réalisées en béton composite renforcée par des fibres de bananier est de **29 000 par an**, ce qui est largement supérieur au nombre de logements construits par an en Martinique (1500 logements individuels et 2300 collectifs).

7.6.2 Fournisseurs et fabricants

Ciment

- Lafarge Ciment Antilles (Fort de France)

Carrières

- Carrières Gouyer (Saint Pierre)
- Gravillonord (Robert)
- Sablière de Fond Canonville (Saint Pierre)
- Sablières Moderne (Saint Pierre)

Producteurs de béton prêt à l'emploi en Martinique :

- Batimat Béton (Lamentin)
- Béton Plus (Rivière Salée, Le François)
- Bétonord (Ducos, Fort de France, Trinité)

- Blanchard (Ducos)
- BPI (Lamentin, Le Robert)
- France Béton (Fort de France, Sainte Marie)
- La Centrale des Bétons (Lamentin)
- Madinina Béton (Saint Esprit)
- Etc.

Produits en béton (parpaings, blocs, bordures, buses, poteaux, regards, caniveaux, etc.)

- Macobe Industrie (Saint Pierre, Ducos) :
- Sapeb (Lamentin)
- SDPI (Lamentin)

7.6.3 Organismes ressource

- Laboratoire COVACHIM, UAG Campus de Fouillole, Guadeloupe
- INSA Lyon
- AMAC (association pour les matériaux composites)

7.6.4 Normes et DTU

- DTU 21 « Exécution des travaux en béton »
- DTU 23.1 « Mur en béton banché »
- NF EN 771-3 : Caractéristiques essentielles déclarées par les fabricants dans le cadre du marquage
- NF P 12-023-2 : Niveaux et classes de performances nécessaires pour que les blocs soient aptes à la réalisation d'ouvrages selon les normes DTU.

7.6.5 Emplois

La filière d'approvisionnement en troncs de bananier et d'extraction de la fibre va nécessiter la **création d'emplois locaux** non délocalisables.

7.6.5.1 Approvisionnement en troncs de bananier

L'exploitation d'un hectare de bananier nécessite en moyenne 0,7 unité de main d'oeuvre (source : <http://www.agrimetiersmartinique.fr>).

En supposant que ce taux passe à 0,8 en rajoutant la **récolte des troncs** de bananier sur un quart de la surface agricole utile plantée en bananier, soit 1 280 ha (0.20*6 396 ha), cela

représente la création de près de **130 emplois** (0.1 unité de main d'œuvre supplémentaire par hectare * 1280 ha = 128 unités de main d'œuvre).

Cette estimation est à confirmer par l'étude de la répartition de la charge de travail sur une plantation de bananier, et en particulier par l'évaluation de la main d'œuvre associée à la récolte.

7.6.5.2 Extraction des fibres de troncs de bananier

En considérant une extraction semi-automatique par des machines permettant le traitement de 100 kg de matière par heure (hypothèses basses, machines artisanales), on obtient : $100\text{kg} \times 35\text{h/semaine} \times 47 \text{ semaines/an} = 164\,500 \text{ kg}$ de matière traitées par an par emploi.

La quantité de fibres potentiellement disponibles en Martinique a été évaluée à 98 000 t matière fraîche par an (voir § 6.2.2.2). Il faudrait donc $98\,000\,000/164\,500 = 596$ soit prêt de **600 emplois** pour l'extraction.

A noter que ce mode d'extraction, semi-automatique, nécessite donc beaucoup de main d'œuvre et sera donc très onéreux. Les données proviennent par ailleurs de modes d'extraction artisanaux. Des modes d'extraction plus rentables, en temps et main d'œuvre pourront être recherchés afin de minimiser ce poste.

7.6.5.3 Fabrication du matériau

Le mode de fabrication étant similaire au béton classique, on peut considérer que la mise en œuvre des fibres de bananier pour la fabrication du matériau composite n'entraînera pas la création d'emplois supplémentaire.

7.7 Etude macro-économique

7.7.1 Coûts d'investissement

La filière de fabrication du ciment et béton est déjà opérationnelle en Martinique. En considérant que l'on s'appuie sur elle, il s'agit donc de mettre en place une filière « fibres de troncs de bananier ». Les coûts d'investissement correspondent à la **construction d'une usine d'extraction des fibres de bananier**.

A titre indicatif, en considérant l'extraction au moyen des machines présentées précédemment, et au taux de production de 100 kg de matière traitée par heure par employé, le gisement de troncs de bananier de Martinique nécessite 600 emplois donc 600 machines. Leur coût unitaire étant estimé à 3 000 €, cela représente **1 800 000€, uniquement pour le matériel d'extraction** (hors coûts de transport). Les coûts du terrain, des bâtiments, des études, etc. sont également à prendre en compte.

Le coût associé à la main d'œuvre serait de l'ordre de $600 \times 40\,000 = 24\,000\,000 \text{ €}$ par an.

Les coûts d'investissements associés à la mise en place d'une usine d'extraction des fibres de troncs de bananier sont de l'ordre de **2 millions d'euros** (matériel, hors transport et terrain, viabilisation, etc.).

Les coûts liés au fonctionnement annuel, et en particulier aux **charges salariales** sont de l'ordre de 20 millions d'euros par an (sur la base de 600 emplois).

7.7.2 Coûts différés

Les coûts différés sont considérés **nuls** (durabilité similaire au béton classique et entretien nul).

7.7.3 Coûts évités

Les coûts évités correspondent au ciment remplacé par les fibres de bananier, ainsi que par les gains d'énergie associés au meilleur confort thermique avec moindre recours à la climatisation.

En considérant l'exploitation de 98 000 t de troncs de bananier (voir hypothèses associées §7.3.2), et que le rendement en fibre est de 30%, soit 29 400 t, la quantité de ciment économisée est de 29 400 t.

Le prix du ciment pour les particulier est de l'ordre de 6,5€ le sac de 35kg, soit 186€/t (il s'agit d'une hypothèse haute car ce prix est inférieur pour les professionnels).

Les coûts évités sont donc de l'ordre de $29\,400 * 186 = 5\,460\,000$ €, **3 000 000 €** avec un prix du ciment de l'ordre de 100€/t.

Les coûts évités par la mise en place d'un béton composite à base de fibres de bananier sont de l'ordre de **trois millions d'euros**.

Ecomatériau	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Brique de terre crue comprimée	2 M€ (matériel)	0	> 3 M€

Figure 32 : Analyse macro-économique

7.8 Risques toxicologiques

Les risques toxicologiques associés au matériau concernent la phase de fabrication du matériau (manipulation du ciment et des fibres pendant le mélange) et la phase d'extraction des fibres végétales.

Ces risques sont associés à l'inhalation des particules de ciment et de fibres végétales qui peuvent irriter ou entraîner des réactions allergiques. Des équipements de protection doivent être utilisés (protection respiratoire, oculaire, gants, chaussures, etc.).

Durant la vie en œuvre du matériau, les risques toxicologiques sont similaire au béton classique et proviennent de la libération de poussières (découpe, perçage, ponçage, etc.)

Le béton mouillé est caustique et peut provoquer une irritation ou une inflammation des yeux et de la peau en cas de contact (source : fiche signalétique béton léger Lafarge).

En conclusion, le ciment « ne devrait faire courir aucun risque exceptionnel pendant son utilisation normale » (FDS ciment DURACAL).

7.9 Comportement face aux risques naturels et au climat

7.9.1 Comportement face aux risques naturels

L'utilisation de fibres végétales, telles que les fibres de bananier, dans une matrice cimentaire, permet d'obtenir un matériau :

- ✓ à la résistance mécanique en compression similaire au béton,
- ✓ à la résistance mécanique en flexion supérieure au béton,
- ✓ pour une masse volumique moindre.

Il s'agit par ailleurs d'un matériau résilient (se fissure mais ne rompt pas en cas de contrainte), plus léger que du béton, donc subissant des contraintes moindres qu'un matériau en béton classique (contrainte en cas de séisme proportionnelle à la masse).

Le composite ciment-fibre de bananier présente des propriétés intéressantes pour remplir les structures constructives soumises aux efforts sismiques.

7.9.2 Confort et durabilité face au climat

On a vu que l'ajout de fibres végétales dans une matrice cimentaire permet de diminuer la conductivité thermique et la chaleur spécifique du matériau, ce qui se traduit par de **meilleures propriétés isolantes**.

La résistance du matériau face aux termites n'a pas été étudiée.

7.9.3 Résistance au feu

Le béton est incombustible.

7.10 Impacts sur l'environnement

- ✓ Energie grise importante et impact sur le climat négatif associés à la production de ciment
- ✓ Fibres végétales renouvelables
- ✓ Réduction de la quantité de ciment nécessaire
- ✓ Propriétés isolantes (réduction de l'énergie consommée par le bâtiment pour la climatisation)

Les impacts sur l'environnement de ce matériau sont inférieurs à ceux du béton classique, mais restent importants.

7.11 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

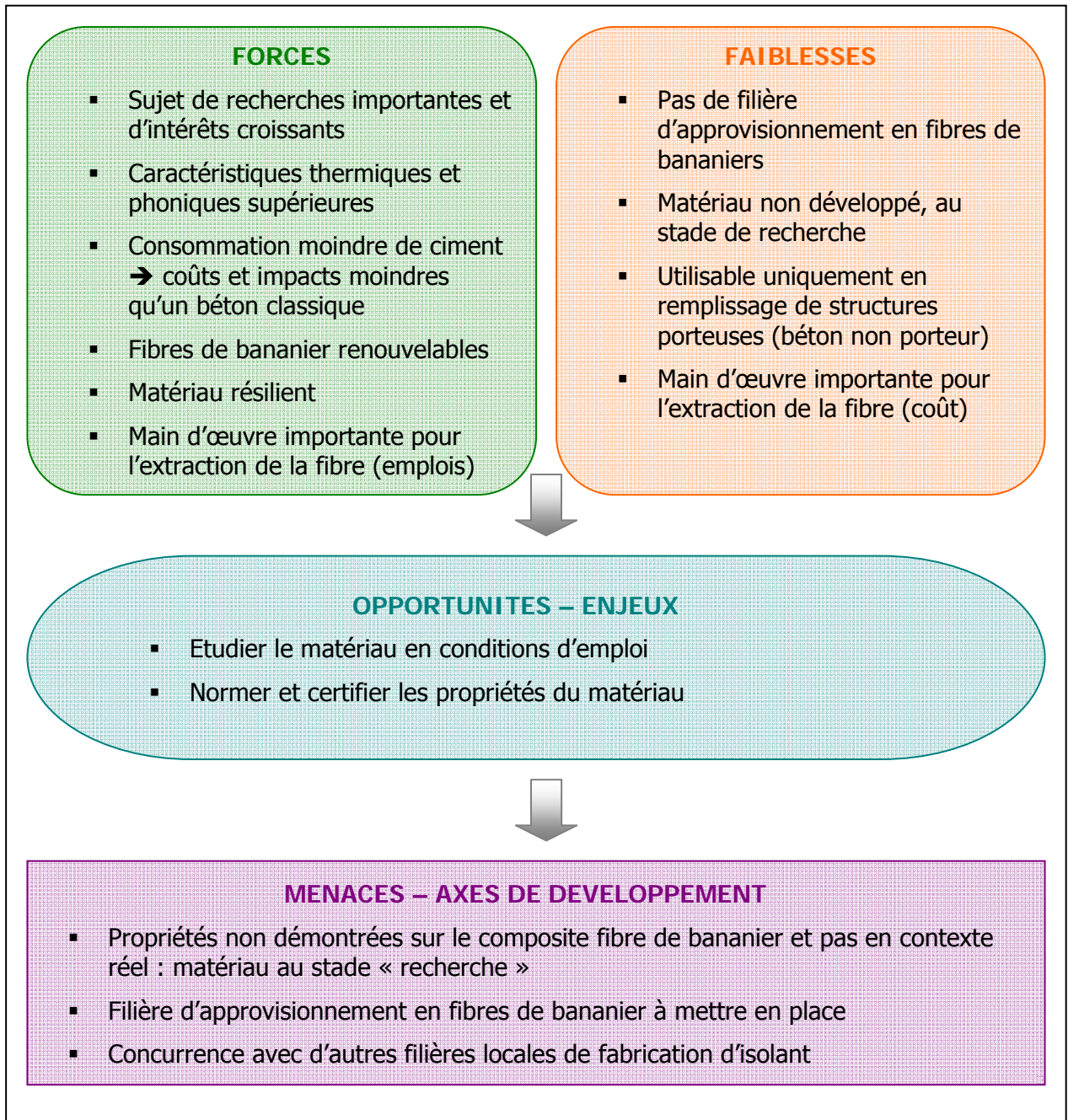


Figure 33 : AFOM Ecomatériau « Ciment renforcé par des fibres de bananier »

8 ISOLANT VRAC A BASE DE OUATE DE CELLULOSE

8.1 Présentation du matériau

L'isolant à base de ouate de cellulose se présente sous la forme de particules fibreuses issues du broyage de papiers sélectionnés auxquels sont ajoutés des adjuvants. Ces derniers garantissent la résistance au feu et aux moisissures.

Typiquement, la composition massique est la suivante :

- 95 % de ouate de cellulose,
- 5 % d'adjuvants : un ignifuge et un biocide, garantissant respectivement la performance au feu et la résistance aux moisissures de la ouate de cellulose.



Figure 34 : Isolations de toitures en ouate de cellulose (Image GTS Martinique)

8.2 Gisements disponibles

8.2.1 Description de la ressource

La ressource provient des déchets de papier récupérés.

8.2.2 Gisement

Selon le document intitulé « *Le groupe France-Antilles. De la voie de la France à l'expression de l'outre-mer* » de Gilles KRAEMER, en 2003, le journal France-Antilles vendait 105 000 exemplaires par semaines, soit 5 460 000 journaux par an. Le poids du journal est d'environ 200 g, ce qui représente un gisement de l'ordre de 2 000 tonnes par an.

Ainsi, nous pouvons estimer que les déchets papier des journaux représentent entre **1 000 et 3 000 tonnes par an**, en Martinique.

8.2.3 Modalités d'approvisionnement

Le papier est collecté par des prestataires externes. Ceux-ci deviennent donc fournisseurs de matières premières (papier). En Martinique, il existe déjà des centres de tri des déchets assurant les fonctions de collecte, de pesage, de tri, d'identification, et de conditionnement

(ex : Martinique Recyclage). Actuellement, les déchets papier sont exportés (en France métropolitaine notamment) pour y être recyclés.

Pour fabriquer la ouate de cellulose, le papier est sélectionné car il doit être propre (inodore, absence d'autres déchets). Il est possible d'utiliser du papier sal à condition d'ajouter un additif chimique (biocide). En tout cas, le papier doit être issu d'une pâte dite mécanique et non-pas de pâte dite chimique. Egalement, il convient que le papier présente beaucoup d'air entre les fibres (ce qui implique la présence de fibres moyennes ou longues) et dispose d'une bonne durabilité.

Ainsi, le papier journal est adapté à ce type de contrainte. La ressource en papier journal provient à la fois des journaux jetés par les lecteurs ou bien des invendus.

Le papier issu des déchets du secteur tertiaire (bureaux) ne représente pas une ressource intéressante car c'est un papier qui produit de la poussière. Selon le fabricant OUATECO, les feuilles de papier de type A4 peuvent être utilisées à hauteur de 10 à 15 % dans la fabrication de ouate de cellulose.

(Source : OUATECO)

8.2.4 Potentiel de production

Selon l'INSEE, en 2011, environ 1 500 autorisations pour la construction de maison individuelle ont été accordées.

En considérant une surface de toiture à isoler de 100 m², avec 10 cm de ouate de cellulose, cela représente environ 400 tonnes de ouate de cellulose à produire par an (en considérant une densité de 50 kg/m³ pour la ouate de cellulose).

Ainsi, nous pouvons estimer à 400 t/an les besoins en ouate de cellulose pour subvenir aux besoins en isolation toiture des logements individuels neufs en Martinique.

Le potentiel de production est estimé entre 1 000 et 3 000 tonnes. Le gisement serait donc suffisant pour répondre au marché martiniquais.

8.2.5 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

Une étude concernant le type et la qualité du papier généré en Martinique, exploitable dans le cadre de la production de ouate de cellulose devrait être menée. En effet, les sources d'approvisionnement sont multiples (journaux, papier de bureaux, carton, etc.).

8.3 Techniques et savoirs-faires

8.3.1 Machines, usines, savoirs faire nécessaires et disponibles en Martinique

La collecte et la sélection du papier est opérationnelle en Martinique, par l'intermédiaire d'un centre de tri des déchets non dangereux (Martinique Recyclage), et des collecteurs spécialisés dans le carton ou le papier (Broyeur Mobile).

Concernant l'étape suivante, à savoir le broyage du papier, l'ajout des adjuvants, le brassage, le compactage et l'emballage, il y a nécessité de mettre en œuvre une unité de production.



Figure 35 : Illustration d'une unité de production de la ouate de cellulose (Image SOFRED)

Il faut construire une usine qui accueillera toute la ligne de production depuis le broyage jusqu'à l'emballage.

D'une capacité de production de 400 tonnes par an, l'investissement est estimé [Estimation d'après une usine similaire] à 1.4 millions d'euros dont :

- Unité de production (broyage, ajout adjuvant, brassage, compactage, emballage) : 800 000 €
- Bâtiment (usine) : 600 000 €



Le papier journal préalablement collecté arrive en camion à l'usine



Il est déversé dans une broyeuse



Le papier journal est broyé. Les adjuvants y sont ajoutés. Et le tout est brassé.



La ouate de cellulose ainsi produite est compacté et emballé prêt à être mise en œuvre

8.3.2 Ressources existantes/références

Le syndicat officiel des producteurs européens de ouate de cellulose Ecima (European Cellulose Insulation Manufacturers Association) a pour objet de défendre et promouvoir les intérêts des fabricants de ouate de cellulose.

La société NrGaïa fabrique sa ouate de cellulose en France, dans les Vosges. NrGaïa a remporté le 1er décembre 2011, le premier prix de l'innovation pour sa ouate de cellulose sans sel de bore et avec des additifs issus d'extraits de plante.

La société Ouateco est une unité industrielle totalement dédiée à la fabrication de ouate de cellulose, installée dans le sud-ouest de la France. Producteur d'isolant issu du recyclage, Ouateco s'inscrit dans une démarche éthique de valorisation des circuits courts. L'isolant Ouateco est fabriqué au cœur du massif Aquitain de pins maritimes, à partir de journaux propres sélectionnés lors de tris sélectifs favorisant la ressource locale, puis stabilisé par incorporation d'adjuvants issus de sels, le rendant résistant au feu.

8.3.3 *Entretien*

Une fois posé en toiture, la ouate de cellulose ne nécessite aucun entretien ou remplacement durant toute sa durée de vie. La durée de vie est estimée à 50 ans.

8.3.4 *Organisation de la filière actuelle*

<u>Gisement :</u> <i>Production de déchets de papier</i>	Presse Martiniquaise	Collectivités	Secteur tertiaire
<u>Approvisionnement</u> <i>Collecte/tri des déchets</i>	FISER	Martinique recyclage	Broyeur Mobile
<u>Transformation</u>	Inexistant		
<u>Commercialisation</u>	Inexistant		
<u>Distribution</u>	Centr' Etanche	SCTS	

8.3.5 *Emplois*

La fabrication de la ouate de cellulose permettrait de créer entre **3 et 6 postes** en usine. Les compétences requises sont :

- Responsable de production
- Techniciens supérieurs en électromécanique pour la maintenance
- Opérateur de production

Quant à la mise en œuvre, elle nécessite **2 ouvriers** sur le chantier encadrés par un conducteur de travaux.

8.4 *Etude macro-économique*

8.4.1 *Coûts d'investissement*

La collecte du papier ne nécessite aucun investissement compte-tenu de l'existence d'une filière existante opérationnelle.

Pour la fabrication de la ouate de cellulose, il faut construire un bâtiment qui accueillera toute la ligne de production depuis le broyage jusqu'à l'emballage.

Coût estimé pour la Martinique :

- Unité de production (machines) : 800 000 €
- Bâtiment (usine) : 600 000 €

Le procédé de production de la ouate de cellulose nécessite de la consommation d'électricité. Celle-ci peut être évaluée à 0.582 MJ par UF (*Unité Fonctionnelle : Réaliser une fonction d'isolation thermique sur 1 m² de paroi, pendant une annuité, en assurant les performances prescrites du produit*).

En considérant un marché équivalent à 100 000 m² de surface de toiture à isoler par an, la consommation électrique de l'usine serait de 58 200 MJ par an, soit 16.2 MWh par an. Cela représente une facture annuelle d'environ 5 000 € par an.

8.4.2 Coûts différés

L'entretien des machines dans l'usine est estimé à 5 000 €/an.

8.4.3 Coûts évités

Les coûts évités correspondent :

- Aux matériaux isolant classiques non importés
- Aux économies d'énergies associées à l'isolation de la toiture

Pour l'ensemble des matériaux isolants étudiés dans ce rapport, le matériau isolant pris pour référence est la **laine de verre** : conductivité thermique 0,040 W/m.K, proposé en Martinique au prix de 4€/m² (hors pose), épaisseur de 4,5 cm (compatible avec le respect de la RTAA DOM et d'un facteur solaire de 3%).

En prenant une surface moyenne de toiture à isoler de 100 m² par habitation, et 1 500 logements individuels neufs à isoler par an en Martinique, le marché annuel d'isolants de toitures est de 150 000 m² (logements neufs individuels).

Les coûts évités, en termes de matériaux isolants classiques non consommés et transportés, sont de **600 000 €**.

Ecomatériaux	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Ouate de cellulose	1 400 000 €	10 000 €/an	> 600 000 €/an

Figure 36 : Analyse macro-économique

8.5 Risques toxicologiques

La ouate de cellulose est constituée de plus de 95 % massique de papiers broyés. La faible quantité d'additifs présents ne conduit pas à un dégagement de composés organiques volatiles à température ambiante.

La présence de ouate de cellulose n'influe pas sur la qualité sanitaire des espaces intérieurs.

Les risques sanitaires qui doivent être considérés sont ceux liés à l'exposition des travailleurs dans la phase de mise en œuvre du produit. Les essais réalisés par le National Toxicology Program² montrent que seulement 0,1% des poussières générées (en laboratoire) sont respirables par les poumons. Cette étude conclut qu'une très faible quantité de fibres ou de poussières sont générées lors de la mise en œuvre de la ouate de cellulose. De plus, en cas d'une haute exposition à des particules respirables, la toxicité pulmonaire est minimale.

La ouate de cellulose présente une performance de réaction au feu validée par un classement M1, notamment grâce aux adjuvants ignifuges.

L'adjuvant ignifuge étant typiquement du sel de bore, des études réalisées par l'ECHA (Européen Chemicals Agency) indiquent que certains borates devaient être classés comme toxiques. Une limite de concentration spécifique pour l'acide borique à un niveau de 5,5% en masse est préconisée. Aucun effet nocif n'a été observé pour une concentration inférieure ou égale à 5.5% en masse, ce qui est le cas pour la ouate de cellulose.

8.6 Comportement face aux risques naturels et au climat

8.6.1 Confort et durabilité face au climat

Le produit participe au confort intérieur, essentiellement par ses caractéristiques thermiques. La conductivité thermique utile du produit est environ égale à $0,040 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Le traitement de la ouate lui permet d'éviter le développement de moisissures et donc de résister à l'humidité ambiante. En effet, la ouate de cellulose peut absorber jusqu'à 15% d'humidité par rapport à son poids (source CSTB 2011. Avis Technique 20/11-231).

L'humidité de l'air en Martinique (~80%) étant bien plus importante qu'en France métropolitaine (~ 50 %), la quantité et la qualité des traitements devront être étudiés afin de garantir la durabilité de la ouate de cellulose aux conditions Martiniquaises.

Par ailleurs, une entreprise réalise la pose d'isolant à base de ouate (à partir de ouate importée).

L'humidité ambiante en Martinique ne constitue donc pas un frein à l'utilisation de la ouate de cellulose.

La performance d'isolation thermique de la ouate de cellulose est relativement **stable en fonction de son taux d'humidité** : le ratio de la résistance thermique en condition humide sur la résistance thermique en condition sèche est égal à **1,02** (Source : SOPREMA 2011. Déclaration Environnementale et Sanitaire).

² NTP Toxicity Study Report on Atmospheric Characterization, Particle Size Chemical Composition and Workplace Exposure Assessment of Cellulose Insulation, NIH Publication NO.06-5963

De plus, la forte capacité thermique massique de la ouate de cellulose associée à sa masse volumique élevée induit un déphasage thermique au sein de la paroi qui contribue à l'amélioration du confort.

8.6.2 Comportement face aux risques naturels

La ouate de cellulose est généralement posée dans les combles. Celle-ci n'est donc pas soumise aux risques naturels, et doit en être protégé par la couverture et la charpente du bâtiment.

La légèreté du produit n'induit pas de surcharge importante au bâtiment et n'a donc pas d'influence sur le comportement parasismique du bâtiment.

8.7 Impacts sur l'environnement

- Energie grise : ~ 50 kWh/m³, soit environ 4 kWh/UF³
- Impact paysager : néant
- Pollution des eaux : Le site de production ne rejette pas d'effluents. Les rejets dans l'eau sont essentiellement dus au transport du produit fini, la production d'électricité, des additifs et des emballages.
- Pollution des sols : Les rejets comptabilisés proviennent d'étapes en amont et en aval tels que la production de l'électricité, le raffinage de carburant pour le transport, la production des additifs et la fin de vie.
- Pollution de l'air : Les émissions dans l'air sont essentiellement dues au transport du produit fini, à la production d'électricité et la production des additifs. Emission de CO₂ : Les 24,2 g de CO₂ / UF émis sur le cycle de vie sont principalement dus à la production d'électricité (10%, attention : modèle électrique de France), au transport du produit fini (27%) et à la production d'additif (40%). NO_x : Les 0,158 g de NO_x / UF émis sur le cycle de vie sont principalement dus au transport du produit fini (49%), à la production d'électricité (4%, attention : modèle électrique de France) et à la production d'additif (16%).
- Production de déchets : Le produit en fin de vie est un déchet non dangereux. Hormis la fin de vie du produit, la principale étape génératrice de déchets est celle de production. Les déchets générés proviennent majoritairement de la production des additifs et sont des déchets inertes. Les déchets dangereux générés au cours du cycle de vie proviennent très majoritairement de la production d'électricité et de l'emballage plastique.

³ http://www.labelvie.com/pages/habitat/energie_tableau.pdf

<http://philippe.berger2.free.fr/Bois/Systemes%20Constructifs/Isolants/Isolants.htm>

8.8 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

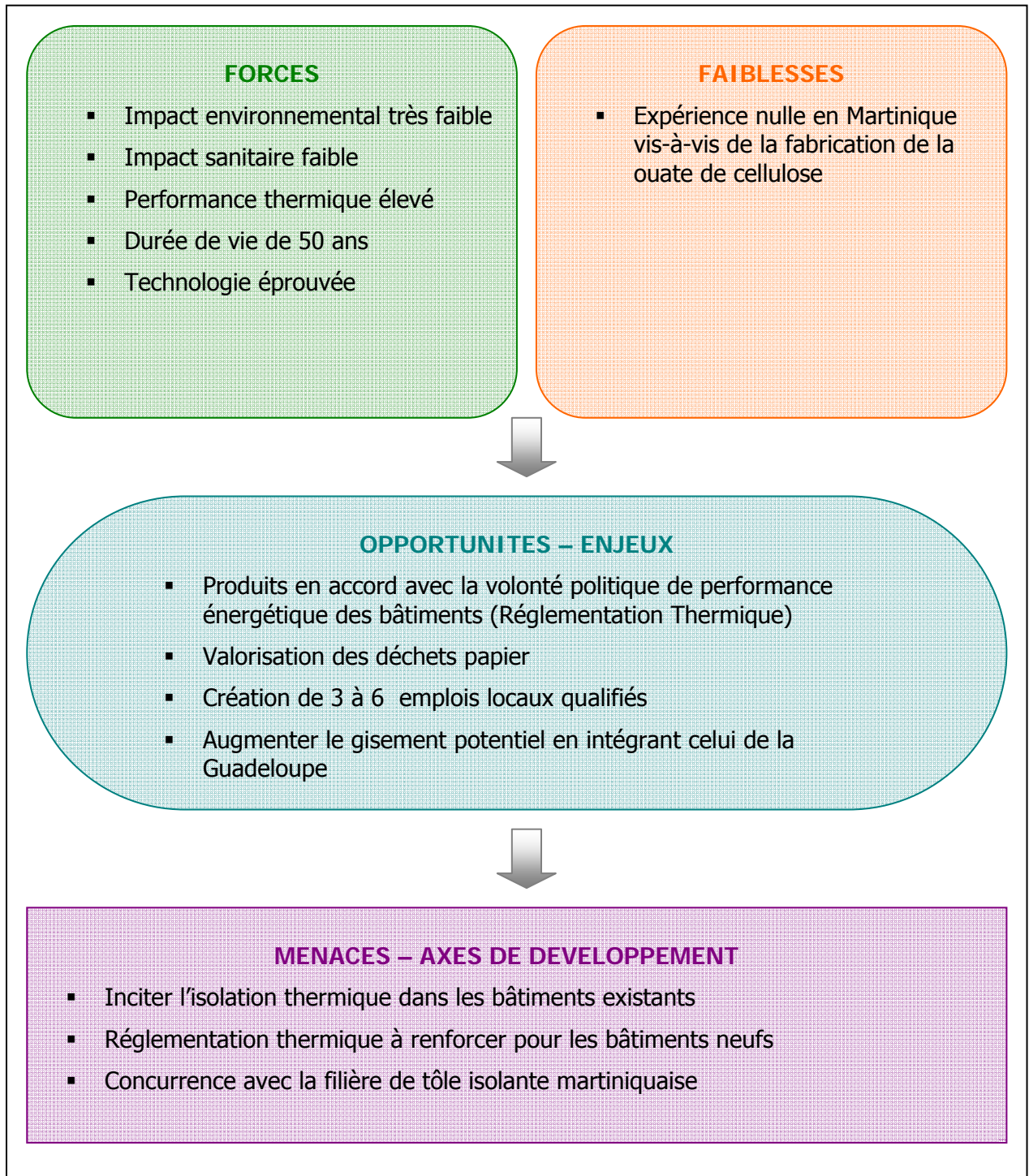


Figure 37 : AFOM Ecomatériau « Isolant vrac à base de ouate de cellulose »

9 ISOLANT VRAC A BASE DE FIBRES DE BOIS

9.1 Présentation

La filière bois produit un certain nombre de déchets, depuis l'exploitation jusqu'à la fin de vie des produits :

- Les déchets de l'exploitation forestière : houppiers et branchages, écorces, sciures, souches,
- Les déchets de scierie de première transformation du bois : écorces, sciures, dosses et délignures ou plaquettes, chutes courtes,
- Les produits des industries de la seconde transformation (ameublement, menuiseries industrielles et du bâtiment, charpentiers) : sciures, chutes de bois, copeaux d'usinage, poussières de ponçage,
- Les produits provenant des objets usagés : bois de chantier et de démolition, meubles, déchets résultant de l'utilisation des emballages en bois (palettes, caisses ou emballages en bois léger).



Figure 38 : Plaquettes de bois

Des entreprises se sont spécialisées dans la transformation des déchets de scierie, et plus particulièrement des plaquettes, en matériaux isolants. Cet isolant se présente sous forme de panneaux rigides, semi-rigide, ou vrac.

Il s'agit dans ce chapitre d'étudier la possibilité de produire un isolant vrac à partir des ressources martiniquaises en déchets de bois.



Figure 39 : Isolant vrac en fibre de bois (photo : ACTIS)

9.2 Gisements en Martinique

9.2.1 Types de bois nécessaires

Les fabricants d'isolant à base de bois interrogés utilisent uniquement des déchets de scierie de bois résineux.

Il semble en effet que les résineux se prêtent davantage à l'extraction des fibres, celle-ci étant plus souple que celle des feuillus qui est plus cassante.

Or les bois qui sont sciés en Martinique sont uniquement les bois locaux (le bois importé arrive déjà scié) et il s'agit à 90 % de mahogany, qui est une essence feuillue. Parmi les

déchets de scierie, les plaquettes proviennent donc uniquement de mahogany ; les sciures proviennent à la fois de mahogany et des bois importés.

Néanmoins, les feuillus tropicaux peuvent contenir dans leurs canaux sécréteurs des substances huileuses ou gommeuses, ce qui peut présager une meilleure aptitude à l'extraction des fibres que les autres feuillus.

Il n'a pu être trouvé d'informations sur la fibre de mahogany et la possibilité de son extraction.

9.2.2 Gisements disponibles

Le volume de bois vendu sur pied en Martinique est estimé à 2 500 m³/an. Le volume scié est estimé à 900 m³/an (volume en pré débit, sortie de scierie).

Le gisement de **déchets de bois** en Martinique est de l'ordre de **1 600 m³/an**. Il s'agit quasi exclusivement de mahogany.

Ce gisement pourrait être doublé avec l'exploitation des bois d'éclaircie (voir 4.2).

Ce gisement se décompose en :

- **1 100 m³ de déchets d'exploitation** (houppier, branchages).
 - Ces déchets ne sont pas extraits des parcelles : ils sont laissés sur place ou brûlés.
- **500 m³ de déchets de scierie** (plaquettes, sciures, écorces, purges, etc.)
 - Ces déchets sont récupérés par les éleveurs pour le paillage.

Hypothèses : Les pertes liées uniquement au sciage sont estimées à 30% - source : Syndicat du Bois et de l'Ameublement. Densité du mahogany état vert : 800 kg/m³

Seules les plaquettes (représentant 30 % des déchets de scierie de feuillus, source : GIPEBLOR 2006) sont utilisées pour l'extraction de la fibre de bois.

Il n'a pas été trouvé d'informations concernant l'extraction de la fibre à partir des déchets d'exploitation. Pourtant, ces déchets peuvent être utilisés pour la fabrication de la pâte à papier, qui nécessite également une étape de défibrage. Cette option permettrait de multiplier par 10 le gisement valorisable (1 200 m³ supplémentaires).

Le gisement de **déchets de scierie** est de l'ordre de **500 m³/an, soit 400 t/an** par an. Parmi eux, les **plaquettes** représentent **150 m³ plein/an, soit 120 t/an**.

A titre de comparaison, les capacités de traitement des usines de production d'isolant des entreprises interrogées (isolant sous forme de panneaux) sont de 50 000 m³/an et 1 000 000 m³/an.

D'après les échanges avec les producteurs de fibres de bois, il semble que le **gisement martiniquais en déchets de bois soit trop faible** pour pouvoir rentabiliser la mise en place d'une unité de défibrage.

9.2.3 *Modalités d'approvisionnement*

En Martinique, les déchets de scierie sont pour l'instant donnés à des agriculteurs, qui utilisent les sciures et copeaux pour le paillage de leurs animaux (source : Scierie du Gros Morne). Ils ne sont pas collectés à l'échelle de la Martinique.

Il s'agirait donc de mettre en place une collecte des déchets des scieries de Martinique, qui sont actuellement au nombre de trois.

Les moyens matériels et organisationnels d'une collecte des déchets de scierie sont à mettre en place.

La collecte des déchets de scierie pour la fabrication d'un isolant pourrait représenter une **nouvelle source de revenus** pour les scieries, puisque ce gisement n'est pour l'instant pas valorisé économiquement. Il représenterait en revanche un **manque à gagner pour les agriculteurs** qui disposent pour l'instant gratuitement de cette ressource.

9.2.4 *Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource*

- Renforcement de l'exploitation de bois local
- Organisation du stockage et de la collecte des déchets de scierie

9.3 **Principe**

9.3.1 *Fabrication*

La fabrication de l'isolant sous forme vrac consiste en :

- Défibrage du bois

Le défibrage, thermique ou chimique, permet de dissocier le bois en fibres élémentaires.

Les plaquettes sont d'abord ramolles par l'action de vapeur sous pression dans des préchauffeurs avant d'être transférés directement dans les défibreurs.

Un défibreur ou un raffineur est une « machine à moudre le bois », comportant un disque fixe et un disque mobile, tournant à très grande vitesse, pourvus de rainures radiales de plus en plus fines et serrées vers la périphérie. Entraînés à travers ces rainures par la force centrifuge, les copeaux sont réduits en fibres.

- Nettoyage et traitement des fibres

En vrac, les fibres sont traitées avec du sulfate d'ammonium et du sel de bore. Ce traitement a plusieurs rôles : ignifugeant, insecticide et fongicide.

Après traitement, les fibres devront être séchées.

A noter que le traitement effectué pour la vente de l'isolant en métropole est principalement ignifugeant. Pour une utilisation en milieu tropical, les fibres devraient être davantage traitées contre les champignons et moisissures, ce qui augmente le coût de fabrication du matériau.

- Conditionnement

Les fibres doivent être conditionnées de manière étanche, à l'abri de l'eau.

9.3.2 Applications

En vrac, la fibre de bois est particulièrement indiquée pour l'isolation des :

- Toitures, murs, planchers, plafonds : insufflation dans des caissons
- Combles : soufflage sur les planchers de combles perdus

Cet isolant s'adapte aux bâtiments traditionnels et ossatures bois, résidentiels et non résidentiels, en neuf ou en rénovation.

Il peut être posé que si la construction le protège des précipitations, des intempéries et de l'humidité. Il doit être posé à l'état sec.

9.3.3 Mise en œuvre

9.3.3.1 Isolation par soufflage

Cette technique est utilisée pour l'isolation des combles perdus non aménagés ou difficilement accessibles de bâtiments à **faible ou moyenne hygrométrie**.

Elle se réalise au moyen d'une machine à soufflage munie d'un tuyau flexible.

- Remplissage homogène éliminant les ponts thermiques
- Tassement contrôlé pour une isolation durable

Lors de la pose d'isolation libre sur des surfaces inclinées ($\leq 10^\circ$), des mesures appropriées doivent être prises pour empêcher l'isolant thermique de glisser vers le bas.

Durant la pose, le produit doit être protégé de l'humidité. L'isolant thermique ne doit pas être compressé.



Figure 40 : Illustration du soufflage de l'isolant (photo : ACTIS)

9.3.3.2 Isolation par insufflation

Cette technique est utilisée pour injecter la fibre de bois dans des caissons vides à travers des orifices percés dans la paroi intérieure ou extérieure. Elle est utilisée pour l'isolation des toitures, murs, planchers, plafonds, etc.

Elle nécessite une machine pneumatique à insuffler, qui décompacte la fibre et la transporte au moyen de tuyaux vers la cavité dans laquelle elle doit être insufflée.

- Pas de tassement pour une isolation durable
- Facilité de mise en œuvre



Figure 41 : Illustration de l'insufflation de l'isolant (photo : ACTIS)

9.3.4 Caractéristiques techniques

- Isolation thermique et bon déphasage thermique
- Isolation phonique

- Régulation de l'hygrométrie
- Durabilité 50 ans (ATE STEICO)
- Comportement au feu : Euroclasse B (après traitement ignifuge)
- Prix pratiqué en métropole : 15 €/m² pour 100 mm d'épaisseur

Isolant	Densité (kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.K)	Chaleur spécifique (J/kg.K)	Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (μ)	Energie grise (kWh/m ³)
Fibres de bois (vrac)	38-45 (ACTIS) 30-60 (STEICO) → 30 en soufflage → 45 en insufflation	0,038 – 0,042	1 600 – 2 300 (ACTIS) 2100 (STEICO)	1 à 2	13 à 50 ⁴

Figure 42 : Caractéristiques de l'isolant vrac à base de fibres de bois (source : fabricants STEICO et ACTIS)

9.3.5 Potentiel de production

Pour être conforme à la RTAA DOM, le facteur solaire S de la toiture des bâtiments doit être inférieur à 0,03.

Sachant que la conductivité thermique de l'isolant bois en vrac est de 0,042 W/m.K (hypothèse haute), cela conduit à une épaisseur minimale à mettre en œuvre de 5 cm avec une toiture de couleur moyenne, ou 10 cm avec une toiture de couleur sombre (voir méthode de calcul des protections solaires, RTAA DOM).

En prenant une épaisseur de 10 cm, et une surface moyenne de toiture à isoler par bâtiment de 100 m², il faut 1 m³ de fibres de bois pour isoler un bâtiment, soit 60 kg de fibres de bois (densité maximale de 60 kg/m³).

En considérant un rendement de production d'isolant à partir des déchets de scieries de 40 % (source : ACTIS, rendement entre les déchets de scierie humides et la fibre sèche) :

Le gisement martiniquais de plaquettes de mahogany (120 tonnes) permettrait d'isoler les toitures de **1 200 habitations**, soit **80 %** des logements individuels neufs construits chaque année.

⁴ Source : <http://isolation.comprendrechoisir.com/>

9.4 Faisabilité technique

9.4.1 Matériel nécessaire

9.4.1.1 Fabrication

Le procédé de défibrage et les machines nécessaires n'ont pas pu être connus précisément. Il est probablement similaire à celui mis en œuvre en début de chaîne dans l'industrie du papier :

- Chaudière,
- Défibreuse,
- Traitement,
- Séchage,
- Conditionnement.

2,5 tonnes de déchets de bois (humide) permettent de produire 1 tonne de fibre en produit fini (vrac ou panneau, sec). Le seuil de rentabilité de la production est estimé à 30 tonnes de produit fini par jour (source : STEICO).

Au vu de ces données, le gisement de déchets de bois en Martinique ne permettrait pas de rentabiliser une unité de production d'isolant à base de fibre de bois.

Le procédé de fabrication nécessite de l'énergie, en particulier pour les étapes de passage à la vapeur et de séchage. En revanche, une utilisation sous forme vrac nécessite moins d'énergie que la fabrication de panneaux.

La fabrication de cet isolant reste néanmoins moins énergivore que les isolants à base de laines minérales : 12.5 kWh/m³ pour la laine de bois (source ADIL), contre 200 à 400 kWh/m³ ; ou 146,3 MF/UF (1 m², 50 ans) pour un panneau à base de fibres de bois (source : ACTIS).

9.4.1.2 Mise en œuvre du matériau

Une machine est nécessaire pour le soufflage ou l'insufflation (type ZELLOFANT XFLOC M95).

Figure 43 : Machine utilisée pour la mise en œuvre de l'isolant vrac à base de fibres de bois



9.4.2 Ressources et appuis existants

9.4.2.1 Fabricants d'isolant vrac à base de fibres de bois :

- ACTIS : isolant SYLVACTIS en fibres de bois sous plusieurs formes (panneaux, vrac)
 - Matériau marqué CE, certifié KEYMARK (équivalent ACERMI), Agrément Technique Européen (ATE n°11/0342) pour son isolant SYLVACTIS ISOBAG.
- STEICO : leader français des isolants naturels écologiques à base de fibre de bois (panneaux, vrac)

- Matériau STEICO Zell® isolant vrac, Agrément Technique Européen ATE-12 / 0011
- Contact : Jacques Knepler, Service technique STEICO France

9.4.3 **Emplois nécessaires**

L'entreprise PAVATEX, qui traite 50 000 m³ (densité 300kg/m³) de plaquettes de bois par an emploie 180 personnes, soit un ratio de 1 emploi pour 80 tonnes de déchets de bois traités par an. Cette entreprise ne produit pas d'isolant à base de fibre de bois sous forme vrac mais uniquement sous forme de panneaux.

L'entreprise STEICO traite 1 000 000 de mètres cubes de plaquettes de bois par an et emploie près de 2 500 personnes, soit un ratio de 1 emploi pour 400 m³. Cette entreprise ne produit pas uniquement de l'isolant sous forme vrac. Les étapes de défibrage nécessitent 3-4 équipes de 7 personnes 24/24h, soit environ 25 personnes.

Il est difficile d'évaluer le nombre d'emplois nécessaire à l'unique production de fibres de bois. Il est de l'ordre d'une trentaine de personne, mais est incertain car le gisement disponible en Martinique est trop faible.

9.5 **Etude macro-économique**

Le processus de fabrication n'a pas pu être connu de manière détaillée (secret industriel). Il est donc très difficile d'obtenir une visibilité économique sur les filières existantes en Europe.

9.5.1 **Coûts d'investissement**

Les coûts d'investissement pour une usine de fabrication d'isolant à base de fibres de bois (vrac et panneaux) sont de l'ordre de 20-35 millions d'euros. Le coût associé à la mise en place d'une usine de défibrage uniquement n'a pas pu être connu.

9.5.2 **Coûts différés**

La fibre de bois a une bonne stabilité dans le temps. Par ailleurs, elle ne se tasse pas. Mis en œuvre dans les conditions préconisées par les fabricants, la durabilité de l'isolant vrac à base de fibres de bois est de 50 ans.

Ce matériau ne nécessite pas d'entretien.

9.5.3 **Coûts de revient**

Les isolants à base de fibres de bois actuellement commercialisés sont proposés au prix de 15€/m² (panneau densité 55 kg/m³ épaisseur 100mm). Les coûts de production en Martinique, et donc le prix commercial, seraient supérieurs (production à plus petite échelle).

A titre de comparaison, un isolant en laine minérale en Martinique revient à moins de 4 €/m² (fourniture hors pose).

9.5.4 Coûts évités

Le potentiel de production de l'isolant étant estimé à 1 200 logements individuel (hypothèse haute, où la fibre de bois mahogany est extractible), les coûts évités, en termes de matériaux isolants classiques non consommés et transportés, sont de **500 000 €** (voir détail § 9.5.3).

Ecomatériau	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Tuiles de bois	35 millions €	0	> 500 000 €

Figure 44 : Analyse macro-économique

9.6 Risques toxicologiques

La fibre de bois est peu poussiéreuse et ne provoque pas d'irritations cutanées. Des tests réalisés par le Laboratoire de Génie Chimique de Toulouse ont montré que la taille des fibres utilisées pour la fabrication de l'isolant est supérieure à celle des poussières considérées comme dangereuses pour la santé (données fabricants).

Des protections sont néanmoins requises pour les ouvriers mettant en œuvre l'isolant : masque anti-poussière, lunettes de protection et gants.

En cas de combustion, l'isolant ne dégage pas de flammes ou de gaz toxiques.

Il est classé A+ pour les émissions dans l'air extérieur.

Le sel de bore, utilisé pour le traitement des fibres, est nocif à forte doses. Utilisé correctement, il ne présente pas de dangers lors de la pose ou pour les habitants. Les insecticides fongicides et produits ignifuges de synthèse sont à terme bien plus dangereux pour la santé humaine.

Relativement aux isolants classiques, l'isolant à base de fibres de bois présente un faible risque de porter atteinte à la santé.

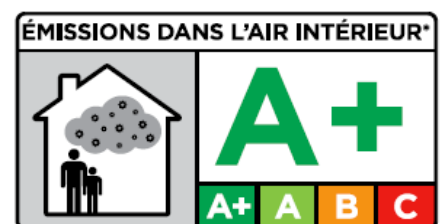
9.7 Comportement face aux risques naturels et au climat

9.7.1 Comportement face aux risques naturels

En tant qu'isolant, ce matériau n'a pas à résister aux contraintes mécaniques en cas de séismes et cyclones : celles-ci doivent être supportées par la structure.

9.7.2 Confort et durabilité face au climat

- Performances acoustiques
- Résiste aux moisissures (STEICO : méthode d'essai de l'EOTA)
- Ouvert à la vapeur d'eau et bon régulateur hygrométrique
- Putrescible en cas d'humidité persistante



* Information sur le niveau d'émission de substances volatiles dans l'air intérieur, présentant un risque de toxicité par inhalation, sur une échelle de classe allant de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions).

- Emissions dans l'air extérieur : A+
 - Aucune colle ou liant contenant des formaldéhydes
 - Le bois contient naturellement des formaldéhydes et COV. Les émissions sont en dessous des seuils recommandés.
- Comportement au feu : Difficilement inflammable M2 à M4, Euroclasse E.
 - Faible transmission de la chaleur
 - Ne dégage pas de fumées toxiques
- Résistant aux insectes xylophages (absence de substances nutritives suite à la transformation chimique lors de la fabrication de la fibre), non consommable par les rongeurs

9.8 Impacts sur l'environnement

Les impacts sur l'environnement de cet isolant sont parmi les plus faibles des isolants actuellement sur le marché :

- ✓ Matière première renouvelable (dans le cadre de forêts gérées durablement)
- ✓ Matière première locale
- ✓ Fabrication nécessitant très peu d'énergie et d'eau
- ✓ Durabilité importante (50 ans)
- ✓ Matériau valorisable énergétiquement et non polluant en fin de vie

Une attention particulière doit en revanche être apportée aux points suivants :

- Impact sur la qualité des sols de l'exportation des branches et branchages, jusqu'alors laissés sur place
- Traitement fongicides et ignifuges des fibres

9.9 Conclusion

La faisabilité technique du défibrage du mahogany devra être étudiée de manière approfondie, cela n'ayant pour l'instant jamais été fait.

Par ailleurs, étant donnés les faibles gisements disponibles actuellement en Martinique, il s'agit :

- ✓ D'étudier les possibilités de valorisation des déchets d'exploitation forestières pour les fibres.
- ✓ D'étudier les opportunités de **création d'une unité de défibrage multifibres**, qui exploiterait dans l'année différentes fibres (bois, bananier, bagasse, bambou, textile, etc.). Cela permettrait d'augmenter les gisements traités et de rentabiliser plus rapidement une unité de production.

En effet, les coûts et impacts associés au transport limitent l'intérêt d'une collecte des déchets de scieries d'îles voisines. Il s'agirait davantage de chercher à rentabiliser une unité avec les différentes fibres présentes localement.

La production d'un isolant à base de fibres de bois en vrac n'est pas immédiatement faisable en Martinique : elle est incertaine et nécessite des investigations complémentaires.

En revanche, les fibres de bois non traitées pourraient être incorporées dans des bétons, permettant ainsi de leur conférer un caractère isolant.

9.10 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

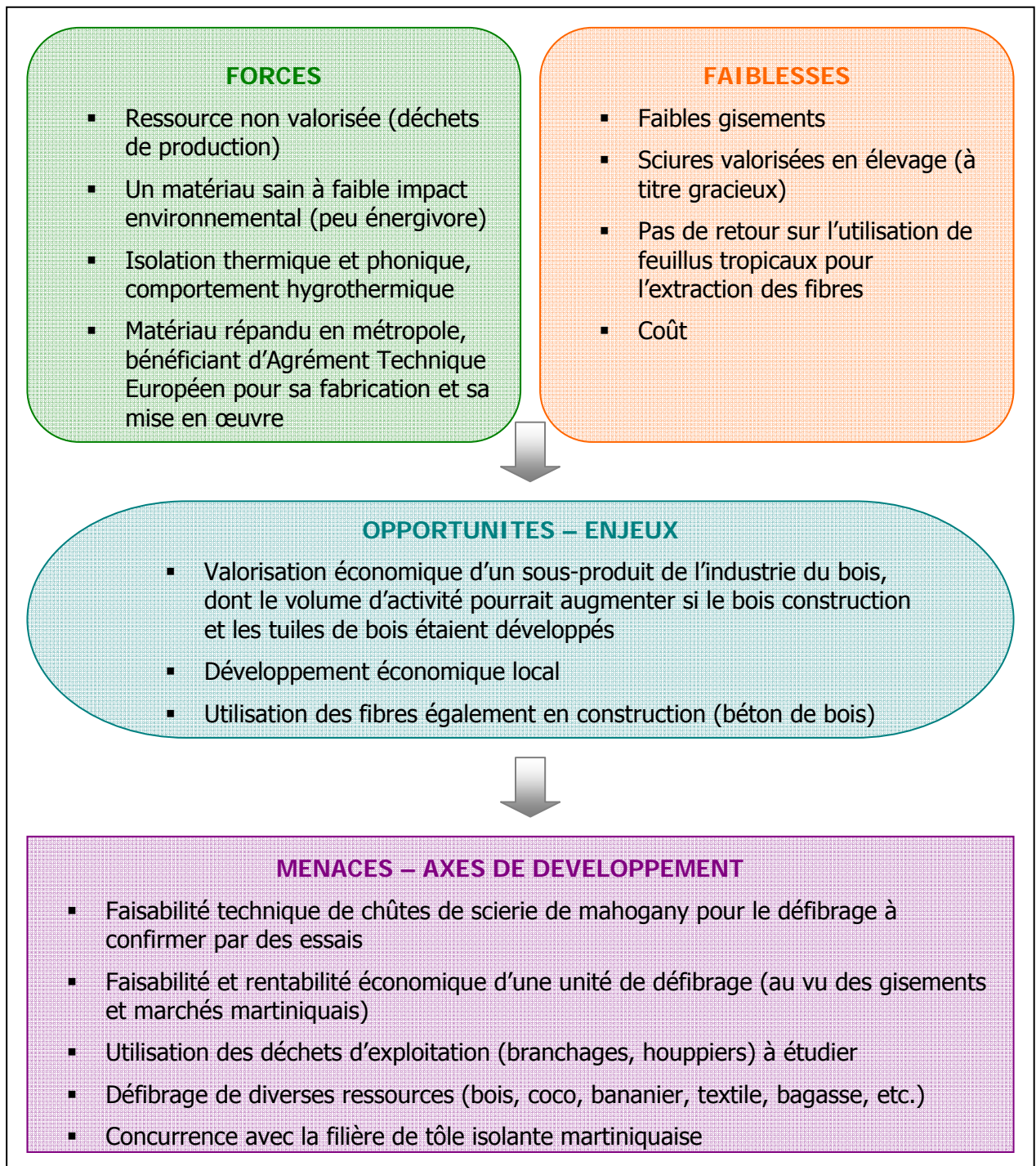


Figure 45 : AFOM Ecomatériau « Isolant vrac en fibres de bois »

10 ISOLANT VRAC A BASE DE FIBRES DE COCO

10.1 Présentation

10.1.1 Généralités

Le cocotier est une plante de la famille des palmiers (*palmae*) qui pousse dans les pays tropicaux. Il est originaire du Pacifique et on le trouve aujourd'hui en Asie, en Amériques et en Afrique. L'origine de son introduction aux Antilles françaises reste inconnue mais daterait a priori du XVIIe siècle.

Le cocotier dit « grand » se compose d'un stipe (sa longue tige) pouvant atteindre 25m de haut, au sommet duquel des feuilles, longues de 4 à 7m s'étalent. Les fleurs femelles se développent sous l'aisselle des feuilles et donnant les noix de coco environ 12 à 13 mois après leur éclosion. Notons que la floraison dure toute l'année.

Il est surtout connu pour son fruit, la noix de coco, utilisée depuis très longtemps dans la fabrication artisanale et dans la consommation. La fibre de coco est utilisée en tant qu'isolant thermique depuis une trentaine d'années environ.

Le cocotier pousse de manière optimale dans les sols sableux et salés des zones côtières, à une altitude ne dépassant pas de préférence les 200m au dessus du niveau de la mer. La culture du cocotier nécessite également une bonne exposition au soleil.

La culture du cocotier est simple, sa multiplication se fait naturellement, elle nécessite simplement un arrosage régulier si la période sèche dure plus de 3 mois.



10.1.2 La fibre de coco

10.1.2.1 Composition de la fibre de coco

La fibre de coco ou « fibre de bourre » est la partie recouvrant la noix. La plupart des variétés de cocotiers peuvent être utilisées pour exploiter les fibres de la bourre.

Les fibres sont composées de cellules étroites et creuses, entourées d'une épaisse couche de cellulose ; environ 36% de la masse sèche. Jusqu'à la maturité de la noix, les fibres se recouvrent d'une couche de lignine, un polymère naturel, leur donnant une texture dure et une couleur brune qui représente environ 33% de la masse sèche⁵.

La fibre de coco est résistante aux chocs et est biodégradable.

De part sa culture en bord de mer, la fibre de coco est naturellement chargée en sodium, en chlorures et en potassium. Cela implique un lessivage impératif du coco avant son utilisation.

Il existe deux types de fibres de coco :

⁵ D'après le tableau « Chemical composition of plant fibres », de Coir Processing Technologies - Improvement of Drying, Softening, Bleaching and Dyeing Coir Fibre/Yarn and Printing Coir Floor Coverings

- la fibre blanche, issue des noix vertes,
- la fibre brune, issue des noix mûres.

Les noix vertes doivent connaître au préalable une transformation avant de pouvoir exploiter la fibre. Le processus de transformation, appelé « retting » (rouissage) consiste à suspendre les noix dans une fosse fluviale ou remplie d'eau pendant une dizaine de mois afin que des micro-organismes dégradent les tissus végétaux entourant la fibre et ainsi la desserrer.

Les noix brunes dont la fibre est sèche, doivent quand à elles être imbibées peu de temps dans de l'eau avant d'être défibrées.

Nous nous intéresserons donc à la fibre brune, riche en lignine donc plus solide, qui demande moins de transformations avant son utilisation.

10.1.2.2 Propriétés physico-chimiques

La fibre de coco possède certaines propriétés qui lui confèrent de bonnes performances d'isolation :

- Bonne isolation thermique
- Bonne isolation acoustique :
 - Réduction du bruit d'impact : 25/35 dB
 - Réduction du bruit aérien : 47 dB
- Forte résistance à l'humidité : avec une bonne rétention d'eau
- Perméabilité à la vapeur d'eau : de 1 à 2
- Durabilité (imputrescible)
- Inflammable avec traitement d'ignifugation

Produit	Constituants	Fibres de coco, éventuellement liant (dispersions plastiques - alcool polyvinylique, agent ignifuge (sulfate d'ammonium)), imprégnation
Mise en œuvre	Masse volumique en kg/m ³	50 - 140
	Conductivité thermique λ en W/(m.K)	0,035 - 0,050
	Réaction au feu	B2 (avec ignifuge), B3 brute, en vrac
	Remarques particulières Substances toxiques	port d'un masque anti-poussière recommandé
Utilisation	Domaine d'emploi	Isolation thermique Isolation aux bruits de choc
	Durée de vie typique, en années	30
	Climat intérieur	+ antistatique + antibactérien - éventuellement odeurs de foin ou de paille
Fin de vie	Valorisation	matériau propre théoriquement réemployable comme isolant, valorisation énergétique possible

Figure 46 : Propriétés de l'isolant à base de fibre de coco (source : "Isolants à base de fibres de coco", du Guide de la Construction et de la Rénovation Durables)

10.1.2.3 Productivité du cocotier

Un cocotier produit en moyenne 50 à 80 noix par an. Une cocoteraie abritant environ 100 cocotiers permettrait une production moyenne de 5000 à 8000 cocos par an. Une noix de coco peut produire entre 120 et 200g de fibre. Dans de bonnes conditions de sol, de climat et de culture, on obtient un rendement annuel de 1 tonne de fibre pour 100 cocotiers.

On peut extraire environ 120 à 200g de fibre par noix de coco, soit une moyenne de 160g de fibre.

Une cocoteraie de 100 cocotiers produit en moyenne 6 500 noix/an soit environ 1 tonne de fibre.

10.1.2.4 Utilisation en isolation

La fibre de coco en tant qu'isolant est produite sous forme de plaques, pour l'insonorisation principalement, de rouleaux, pour l'isolation horizontale (planchers, toiture...) ou bien en vrac. Nous nous intéresserons à l'utilisation de cette fibre en vrac, qui nécessite moins de transformation de la matière première.

L'utilisation en vrac de la fibre de coco se fait pour le remplissage des vides dans les planchers, des murs à isolation médiane intérieure ou extérieure, et également pour les combles ou le calfeutrement. En Martinique, l'isolation se fait essentiellement au niveau des toitures.

10.2 Gisements disponibles

10.2.1 Gisements disponibles en Martinique

D'après les photos aériennes de l'inventaire forestier de Juillet 2008 effectué par l'Inventaire Forestier National (IFN), il apparaît que les cocoteraies ne sont pas répertoriées comme telles. En effet, seules les forêts de plages sont identifiées ; elles représentent une surface de 113 hectares.

Il est cependant difficile d'évaluer le nombre de cocotiers présents dans ces forêts à partir de ces photographies aériennes pour plusieurs raisons :

- la résolution des photographies ne le permet pas : le pixel de base est de 75m, (soit 0,5ha) alors que les cocoteraies de plages sont souvent de largeur moindre ;
- la forêt regroupe d'autres espèces d'arbres (raisinier bord de mer, le mancenillier, le catalpa, etc...) ;
- l'on retrouve certaines cocoteraies dans d'autres types de formations végétales (telles que la "forêt sèche basse" pour 8437 ha et la "forêt sèche haute" pour 10314ha).
- Une partie des cocotiers présents en Martinique sont dispersés sur l'ensemble du territoire : cocoteraies isolées ou cocotiers « jardinés ».

En d'autres termes, les gisements les plus importants et les plus fiables sont les cocoteraies des forêts côtières.

La Forêt Domaniale du Littoral (FDL) représente 1835 ha environ soit près de 250 km de littoral, autrement dit la moitié du trait de côte martiniquais. D'après le plan d'aménagement 2010/2024 de la FDL, les cocoteraies pures représentent un peu plus de **13 hectares**. Les plus grands peuplements étant situés à **Macabou (VAUCLIN)** et à l'**Anse Michel (SAINTE-ANNE)**.

On peut donc difficilement envisager une exploitation régulière des cocotiers dans ces forêts publiques.

Par ailleurs, d'après les informations de l'ONF, 90% de ces forêts sont classées espaces remarquables (ONF Martinique).

Il faut prendre en compte également plusieurs autres aspects :

- Le cocotier n'est pas une essence naturelle en Martinique mais une importation d'Asie ; son **extension doit être limitée** afin de préserver d'autres espèces protégées ;
- Le cocotier est touché par **la jaunisse létale**, une maladie causée par un insecte qui provoque le dépérissement progressif des feuilles, qui ne possède aucun traitement à grande échelle.

Notons que les noix de coco sont également exploitées de manière informelle pour la vente ponctuelle des noix ou de l'eau de coco au bord de la route par exemple.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de cocoteraies exploitées en Martinique et il est difficile d'évaluer la ressource disponible en noix de coco sur l'île. Les cocoteraies de la Forêt Domaniale du Littoral qui représentent 13 hectares pourraient être une ressource pour l'exploitation de la fibre de coco.

10.2.2 Production mondiale

L'industrie de transformation de la fibre de coco s'est principalement développée en Inde et au Sri Lanka. On la retrouve également aux Philippines, en Indonésie, au Vietnam ainsi qu'au Brésil.

Généralement la culture du coco se fait par de petits exploitants qui fournissent leur production auprès des usines de transformation qui en extraient la fibre.

On évalue la production mondiale annuelle à environ 650 000 tonnes. Près de la moitié de cette production est exportée sous forme de fibre brute.

Par ailleurs plusieurs îles caribéennes exploitent la noix de coco principalement pour la production d'huile en tant qu'aliment ou pour l'industrie chimique.

Plusieurs d'entre elles, Barbade, Belize, Guyana, Jamaïque, Sainte-Lucie, Saint-Vincent et Trinidad et Tobago, font partie du CARICOM (Caribbean Community), une communauté créée en 1972 par les leaders du Commonwealth Caribbean dont l'objectif était d'établir une communauté d'îles caribéennes travaillant sur un marché commun.

D'autres îles telles que la Dominique située à moins de 100km de la Martinique, exploitent également la noix de coco.



Figure 47: Photo d'une cocoteraie à Sainte-Lucie (source : AllPosters.com)

10.2.3 Modalités d'approvisionnement

10.2.3.1 Utilisation des ressources existantes

D'après les informations du §10.2.2, il existe un gisement de cocotiers d'environ 13 hectares répartis principalement sur les baies de **Macabou** (VAUCLIN) et à l'**Anse Michel** (SAINTE-ANNE). Ces deux communes sont distantes d'environ 17km d'après l'Académie de la Martinique.

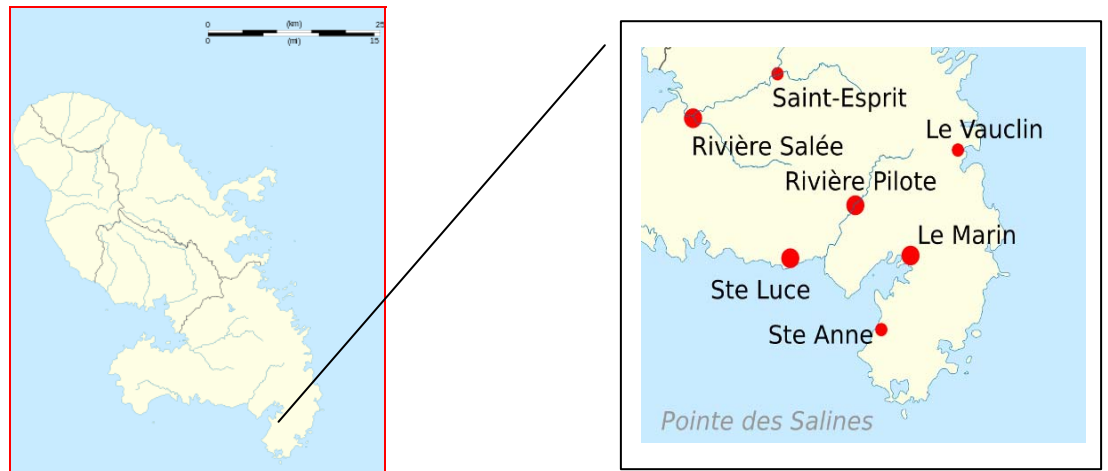


Figure 48: Carte de la pointe des salines, Inprecors.fr, Revue d'information et d'analyse

L'exploitation en usine de ces gisements pourrait se faire dans un périmètre proche des deux communes.

10.2.3.2 Autres ressources disponibles

L'exploitation de la noix de coco tient une grande place la production agricole de la Dominique.

D'après les informations du Ministère de l'Agriculture et des Forêt de la Dominique, la coprah issue des noix de coco est directement vendue par les agriculteurs à l'usine **Dominica Coconut Products Limited** du groupe Colgate-Palmolive qui l'exploite pour la production de savon.

Il existerait donc une possibilité d'importation de fibre brute depuis la Dominique.

10.2.4 **Potentiel de production**

Comme nous l'avons dit précédemment, depuis le 1er mai 2010, une nouvelle réglementation thermique acoustique et aération est en vigueur dans les départements d'outre-mer.

Ainsi, d'après la RTAA DOM, le facteur solaire ne doit pas excéder 3 %. Sachant que la conductivité thermique λ de la fibre de coco est de 0.037 à 0.045 W/m.K, nous prendrons la plus grande valeur à savoir $\lambda = 0,045$ W/m.K cela nous confère une limite d'épaisseur à 0,06m.

L'épaisseur de la couche d'isolant devra donc être de **6 cm** minimum.

Afin d'évaluer une production annuelle rentable de fibre de coco, il est intéressant de connaître la quantité moyenne de fibre nécessaire pour l'isolation d'une maison.

Si l'on considère que pour chaque maison, il y a 100m² de toiture à isoler, cela représente 10m³ de volume de fibre nécessaire pour isoler une maison.

D'après les données, la densité de la fibre de coco est de 20kg/m³ sous sa forme rouleau, et de 50 kg/m³ en panneaux. Nous prendrons 20kg/m³ car la fibre en vrac est moins compressée, mais sera tout de même tassée.

Il faudra donc environ **120kg** de fibre de coco pour isoler une maison, ce qui représente d'après les calculs précédents (paragraphe 10.1.2.3), entre 600 et 1000 noix de coco pour isoler une maison, ce qui représente la production annuelle d'une douzaine de cocotiers environ.

Sachant qu'une cocoteraie de 100 cocotiers permet de produire en moyenne 1 tonne de fibre par an, sa production annuelle permettrait de fournir la quantité nécessaire de fibre pour isoler 8 maisons.

Une maison nécessite **120kg de fibre pour l'isolation de sa toiture**, soit la production annuelle d'une douzaine de cocotiers.

10.2.5 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

- **Création de cocoteraies**

La création d'une à plusieurs cocoteraies pourrait être une piste d'ouverture pour la création d'une filiere d'exploitation.

Intérêts	Limites
Création d'une nouvelle filiere agricole La culture des cocotiers est peu coûteuse	L'espace cultivable est très limité en Martinique.

- **Exploitation des gisements existants**

Il existe naturellement quelques cocotiers sur les littoraux qui représentent environ 13 hectares des forêts domaniales.

Intérêts	Limites
Approvisionnement gratuit en matière première	Ressource dispersée difficile à quantifier Existence d'une exploitation informelle des noix de coco

- **Approvisionnement en fibre par importation de la Dominique**

La fibre extraite des noix n'est pas utilisée par les agriculteurs Dominicains. Ainsi, l'importation de fibre de coco en vrac provenant de la Dominique pourrait être une piste intéressante à exploiter.

Intérêts	Limites
Proximité et facilité d'importation Coût de production bas : la fibre est livrée en vrac donc ne demande pas de transformation en usine	Demande peu de main d'œuvre, donc peu de nouveaux emplois pour la création d'une filiere Transport (coûts et impacts)

- **Promotion des isolants**

Par ailleurs, différents dispositifs réglementaires et économiques sont propices au développement de l'utilisation des isolants, notamment en milieu tropical (voir annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

En particulier, il existe des pistes d'ouverture sur la promotion de l'exploitation de la fibre naturelle en France. En effet, l'initiative du ministère de l'Environnement, un Plan d'action pour la filière génie écologique a été mis en place. Un groupe de travail a été créé pour travailler sur un projet de développement de filières locales de semences et de matériel végétal destinés aux opérations de génie écologique. Le but de cette opération est de promouvoir l'exploitation des fibres naturelles produites en France métropolitaine et dans les DOM.

10.3 Techniques et savoir-faire

10.3.1 Etapes de création d'une cocoteraie

- **Etape 1 : Germination**

Consiste à disposer horizontalement des noix entières mures dans un sol sableux et humide, jusqu'à la germination des noix. Cette phase dure 2 à 4 mois.

- **Etape 2 : Plantation**

Les noix germées sont envoyées en pépinière pour la préparation des plants. La plantation définitive se fait avec des plants âgés de 6 à 8 mois.

L'espace entre les plants dépend du système de plantation choisi, de la qualité du sol, etc. En général, les dispositions ci-dessous sont utilisées :

Système de plantation	Espacement entre les plants
Triangulaire	7,6m
Carré	7,5x7,6 ; 8x8 ; 9x9
Simple	6,5 dans les haies – 9m entre les haies
Double haies	6,5 x 6,5m dans les haies – 9m entre les haies

Figure 49 : Dispositions en plantation de palmiers (source : « Package of Practices », Coconut development Board)

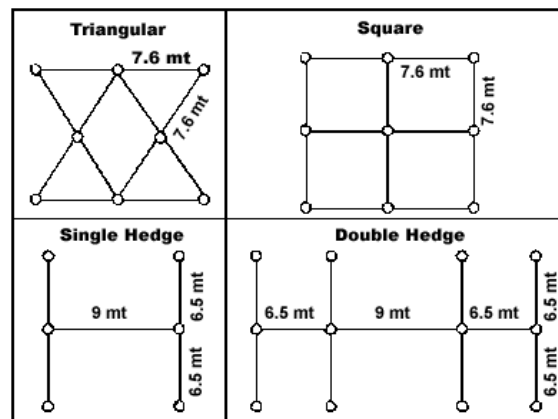


Figure 50: Illustration des systèmes de plantation de cocotiers (source : « Package of Practices », Coconut development Board)

En choisissant la disposition triangulaire, nous pourrions planter environ 180 cocotiers sur un hectare.

On compte donc environ 1 an pour obtenir un plant de cocotier.

Une cocoteraie de 1 hectare permettrait l'exploitation de 180 cocotiers soit une production annuelle d'environ 1,8t de fibre.

• Etape 3 : Récolte

Le temps de croissance du cocotier avant sa première récolte est de 6 à 8 ans. La production de cocos se fait ensuite en continue durant toute l'année.

Il faudra compter 10 ans pour élaborer une cocoteraie et pouvoir exploiter ses premières noix de coco.

Notons que certaines variétés de cocotiers hybrides tels que le cocotier nain apportent certains avantages à prendre en compte pour la production de fibre de coco :

- Première récolte au bout de 4 ans
- Production annuelle plus importante : environ 100 à 150 noix
- Forte proportion de bourre dans la noix (43%)
- Grande facilité de récolte et meilleure sécurité pour les travailleurs (chutes de noix de coco)

L'inconvénient de cette variété est sa durée de vie qui se limite en moyenne à 35 ans (source : KONAN, Science&Nature).

• Entretien

L'exploitation d'une cocoteraie demande peu d'entretien, la culture du cocotier est simple, elle ne nécessite qu'un arrosage régulier en cas de période sèche supérieure à 3 mois.

L'utilisation de pesticides peut être nécessaire occasionnellement (attaques de nuisibles et maladies tels que la jaunisse létale, les courtillères, ou les mites).

Cependant le recours à des engrais chimiques peut être utile pour augmenter les rendements. On évalue une quantité nécessaire de 375kg de NPK (azote, phosphore, potassium) par hectare (d'après les données du FAO).

10.3.2 Exploitation des noix de coco

- **Ramassage des noix mûres**

Le ramassage se fait manuellement par 1 à plusieurs travailleurs selon la superficie de l'exploitation. Le risque de chute de noix de coco implique le port de protections individuelles (casques et chaussures de sécurité).

- **Transport**

Les noix sont ensuite transportées vers l'usine de défibrage par 1 camion ou une camionnette.

- **Lessivage**

Les cosses de coco sont trempées peu de temps dans de l'eau (fosses ou plan d'eau) afin de les gonfler et les assouplir et ainsi faciliter l'extraction des fibres.

- **Défibrage**

Le défibrage des cosses peut se faire manuellement ou mécaniquement.

Le défibrage manuel consiste à frapper les noix à l'aide de pointes plantées fermement dans le sol. La coque défibrée est ensuite fendue et mise à sécher au soleil, au four ou au séchoir à air chaud.

Le défibrage mécanique s'effectue à l'aide d'une machine composée de rouleaux à lames qui arrachent la partie fibreuse enveloppant la noix. La fibre est ensuite évacuée.

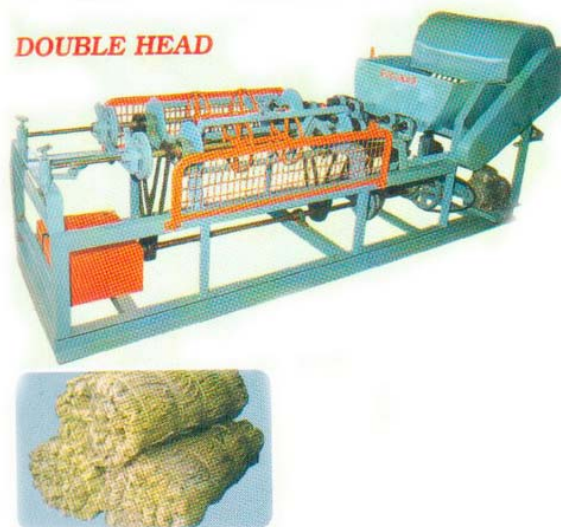


Figure 51: Image d'une machine à défibrer (source: Trade India)

- **Ignifugation**

Comme tout isolant, la fibre de coco nécessite une bonne résistance au feu ce qui n'est pas son cas lorsqu'elle est brute. Ainsi, afin de réduire son inflammabilité, la fibre de coco doit

suivre un traitement d'ignifugation au sel de bore. Cela permet d'obtenir après ce traitement, un bon indice de réaction au feu (B2/M1 : Difficilement inflammable).

Il existe différentes techniques d'ignifugation. Les traitements de textiles (tissus, fibres...) sont régies par les « Règles professionnelles de traitement d'ignifugation des textiles en atelier », élaborées par le GTFI, syndicat professionnel, qui regroupe l'ensemble des acteurs de la protection passive contre l'incendie dans les domaines de la construction, de l'aménagement et des transports.

- **Conditionnement**

Pour leur emploi en isolation, les fibres en vrac pourraient être conditionnées en balles à l'aide de sangles en plastiques et de cerceaux anticorrosifs.



Figure 52: Presse à balles pour fibres de coco et fibres de coco conditionnées en balles (source : CoCoMaN, Coconut Coir Machine Catalogue et swathi exports)

- **Emploi de l'isolant**

L'utilisation de la fibre de coco en vrac dans l'isolation est très peu renseignée, cependant nous pouvons nous baser sur la fibre de chanvre en vrac, assez similaire à la fibre de coco, pour la pose de s'isolant. Si la fibre est conditionnée au préalable, les balles seront décompactées manuellement pour être utilisées.

- **Déchets**

Les substances résiduelles issues de sa production, évaluée selon le FAO à environ 5 tonnes par tonne de produit fini, peuvent être utilisées comme substrat agricole ; la tourbe de coco. Cette tourbe est utilisée notamment pour la culture hors-sol, pour l'élevage (nourriture), pour le remplissage d'aires de jeux, etc...

10.4 Faisabilité technique

10.4.1 Création d'une filière

10.4.1.1 Marché des maisons neuves en Martinique

Nous nous baserons uniquement sur le marché des maisons neuves évaluées à 1500 maisons par an (nous excluons le marché de la rénovation).

En supposant créer une filière d'isolation à la fibre de coco couvrant l'ensemble du marché, cela impliquerait une production annuelle de 18 000 cocotiers sur une superficie de 100 hectares. (D'après les données du paragraphe §10.3.1).

Le tableau ci-dessous présente la productivité d'une cocoteraie de 18 000 cocotiers (d'après les données du paragraphe §10.1.2.3) :

Cocoteraie de 18 000 cocotiers	En noix	En tonne de noix*	En tonne de fibre en produit fini
Production annuelle moyenne	1 170 000 noix	1755 t	312 t
Production hebdomadaire moyenne	22 500 noix	34 t	4t
Production journalière moyenne	3 200 noix	5 t	0,5 t
Production horaire moyenne**	400 noix	0,6t	0,06 t (60kg)

* pour une masse moyenne de 1,5kg/noix

** pour une production journalière de 8h

Figure 53: Production d'une cocoteraie de 18 000 cocotiers

Il faudrait environ 100 hectares de cocoteraies pour couvrir l'ensemble du marché de l'isolation des maisons neuves en Martinique.

10.4.1.2 Filière issue des gisements existants

En ce qui concerne la production de fibre à partir des gisements existants, il est difficile d'évaluer le potentiel de noix de coco car la superficie de cocoteraie, évaluée à 13 hectares ne nous permet pas de connaître le nombre de cocotiers présents cependant en nous basant sur les données du §10.1.2.3, 13 hectares représenterait l'exploitation d'environ 2 000 cocotiers, soit une production annuelle de 20t de fibre ce qui représente la ressource nécessaire pour l'isolation d'environ 170 maisons (10% du marché des maisons neuves).

Cocoteraie de 2000 cocotiers	En noix	En tonne de noix*	En tonne de fibre en produit fini
Production annuelle moyenne	130 000 noix	200 t	20t
Production hebdomadaire moyenne	2500 noix	4 t	0,4t
Production journalière moyenne	350 noix	0,5 t	0,06t (60kg)

L'exploitation des gisements de cocotiers existant en Martinique couvrirait 10% du marché des maisons neuves.

10.4.1.3 Importation de fibre depuis la Dominique

Le groupe Colgate-Palmolive a reçu l'an dernier 218 000 kg de coprah (source : Sean Avril, ingénieur service management COLPAL).

Le poids correspondant en fibre est estimé à environ 160t de fibre. Sachant que le potentiel de production de noix de coco en Dominique représente plus du double de ce chiffre, nous pouvons estimer à environ **320t de fibre de coco potentiellement produite par an**.

La quantité annuelle nécessaire pour couvrir l'intégralité du marché des maisons neuves en Martinique représente **180t de fibres** (cf §10.2.4), il existerait donc un gisement suffisant pour créer une filière.

Cependant, la fibre extraite des noix est utilisée par les agriculteurs dominiquais. En effet, elle est brûlée pour **sécher la coprah**. Il faudrait donc être vigilant car la création d'un marché avec la Dominique pourrait entraîner un **conflit d'usage**.

10.4.2 **Ressources, machines, usine**

10.4.2.1 Approvisionnement en matière première

Les coûts liés à l'approvisionnement en ressource vont dépendre du choix de gisement exploité.

Pour la création de cocoteraies, il faudrait prendre en compte l'ensemble des coûts liés à l'étape de plantation à savoir ; l'achat de plants prêt à être mis en terre ou l'élaboration de plants à partir de noix de coco arrivées à maturité, le matériel et la main d'œuvre nécessaire à l'entretien.

Pour l'exploitation des gisements existants, les coûts seraient liés à l'extraction par la main d'œuvre et au transport des matières premières depuis les forêts des littoraux.

Pour l'importation de fibre depuis les îles voisines (Dominique), les coûts proviendraient de l'achat et de l'importation de la fibre en vrac ; il n'y aurait donc pas d'étape d'extraction de la fibre.

10.4.2.2 Transport

En considérant l'exploitation des gisements existants situés dans les forêts de l'Anse-Michel et de Macabou, nous pourrions compter une récolte journalière d'environ 400 noix, avec 2 camions benne de 10-15m³. Le prix d'un camion de ce type est de l'ordre de **30 000€/40 000€**.

10.4.2.3 Locaux

Pour l'achat et l'installation d'une usine sur une surface de 300m² :

- Terrain : environ 300€/m²
- Bâtiment nu : 40 000€ pour 200m²
- Imperméabilisation : 1150€/m²

Soit un total d'environ **500 000€**

10.4.2.4 Production

Pour l'étape de production, une usine qui accueillera toute la ligne de production ; stockage, lessivage, défibrage, ignifugation et conditionnement.

- Stockage des noix de coco

Benne de 10/15m³

- Lessivage

Construction d'une cuve d'eau d'environ 30/40m³

- Défibrage

Le prix des machines de défibrage utilisées en Asie varient en fonction de la capacité de production. Le modèle ci-dessous permet de défibrer 750 kg de noix de coco par heure ce qui semble être le mieux adapté au marché martiniquais.



Model	COM15-75
Capacity	Defiber 750 kgs of coconut husk per hour
No of Operator	3
Power Supply	415 V / 3 ph / 50 Hz
Motor Rating	75 hp
Machine Weight	1500 kgs
Machine Size (L X W X H)	3,00 X 1.50 X 2.50 m
Features	

Figure 54: Modèle de machine de défibrage (source: Method Machine Works ; CocoMan, Coconut Coir Processing Machines)

L'achat et les frais de transport pour une de ce type seraient d'environ **20 000€** (devis de l'entreprise Method Machine Works en annexe 9).

- Ignifugation :

Contrairement à d'autres types d'isolants à base de cellulose, qui nécessitent un traitement ayant un effet ignifugeant mais également insecticide et fongicide, la fibre de coco consomme peu de traitement au sel de bore. En effet, comme nous l'avons dit précédemment, la fibre de coco est un matériau imputrescible.

Le coût du traitement au sel de bore sera donc faible pour la fibre de coco.

- Conditionnement si nécessaire

Un modèle de presse chinois d'une capacité de 3-6 balles/heure, pour des balles de 100/150kg coûte environ 4000€, soit un coût total (achat et importation) d'environ **8000€**.



Figure 55: Modèle de presse pour fibre de coco (source: Shanghai Jiajing Machinery Co. LTD)

10.4.3 Emplois nécessaires

- Collecte/transport noix de coco : 4 opérateurs (2 par camion).
- Transformation

Manutention : **5/6 opérateurs**

Machine de défibrage : la main d'œuvre nécessaire serait de **3 opérateurs**.

10.5 Etude macro-économique

10.5.1 Coûts d'investissement

(voir §10.4.2)

- Locaux : 500 000€
- Machines et matériels : 100 000€

Soit un total d'environ **600 000€**.

10.5.2 Coûts différés

La fibre de coco est la plus épaisse et la plus résistante des fibres naturelles (source : FAO), de plus, son pouvoir imputrescible lui confère une bonne durabilité. Celle-ci est estimée à 30 ans environ. Ce matériau ne nécessite pas d'entretien particulier.

10.5.3 Coûts évités

Les coûts évités, en termes de matériaux isolants classiques non consommés et transportés, sont de **600 000 €** (voir détail § 9.5.3).

Ecomatériaux	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Fibre de coco	600 000€	-	> 600 000 €

Figure 56 : Analyse macro-économique

10.6 Risques toxicologique

Dans de bonnes conditions de culture, le cocotier n'est pas sensible aux maladies, cependant il peut être attaqué par certains insectes nuisibles tels que les cochenilles, et recevoir donc un traitement insecticide.

Par ailleurs l'ignifugation demande un traitement au sel de bore, substance chimique reconnue comme « pouvant, par inhalation, ingestion, ou pénétration cutanée, entraîner des risques graves, aigus, ou chroniques ».

10.7 Comportement face aux risques naturels et au climat

10.7.1 Comportement face aux risques naturels

La fibre de coco étant un isolant, elle est peu soumise aux aléas engendrés par les risques naturels martiniquais (séisme, ouragans, inondations...).

10.7.2 Confort et durabilité face au climat

Dans un pays tropical comme la Martinique connaissant des taux d'humidité important, la fibre de coco apporte des avantages en tant qu'isolant du fait de sa bonne rétention d'eau qui lui confère une résistance à l'humidité, et une certaine durabilité ; en effet la fibre de coco est imputrescible, et sa durée de vie est d'environ 30 ans.

10.8 Impacts sur l'environnement

La fibre de coco est un très bon exemple de produit écologique car sa production en Martinique aurait un très faible impact sur l'environnement. En effet l'utilisation de pesticides n'est qu'occasionnelle, le recours aux engrais chimiques est cependant préconisé afin d'améliorer les rendements.

En effet, l'énergie grise engendrée par son exploitation est très faible ; la culture des cocotiers se fait naturellement et demande peu d'entretien ; l'extraction des matières premières et la transformation consomment peu d'énergie. Généralement l'énergie grise relative à la production d'isolant à base de fibre de coco provient du transport de la matière première dans le cas où la fibre est importée. Or, dans notre cas, la fibre serait produite surplace ou importée depuis une île proche.

La fibre de coco est un produit valorisable en fin de vie ; elle se recycle et se composte.

10.9 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

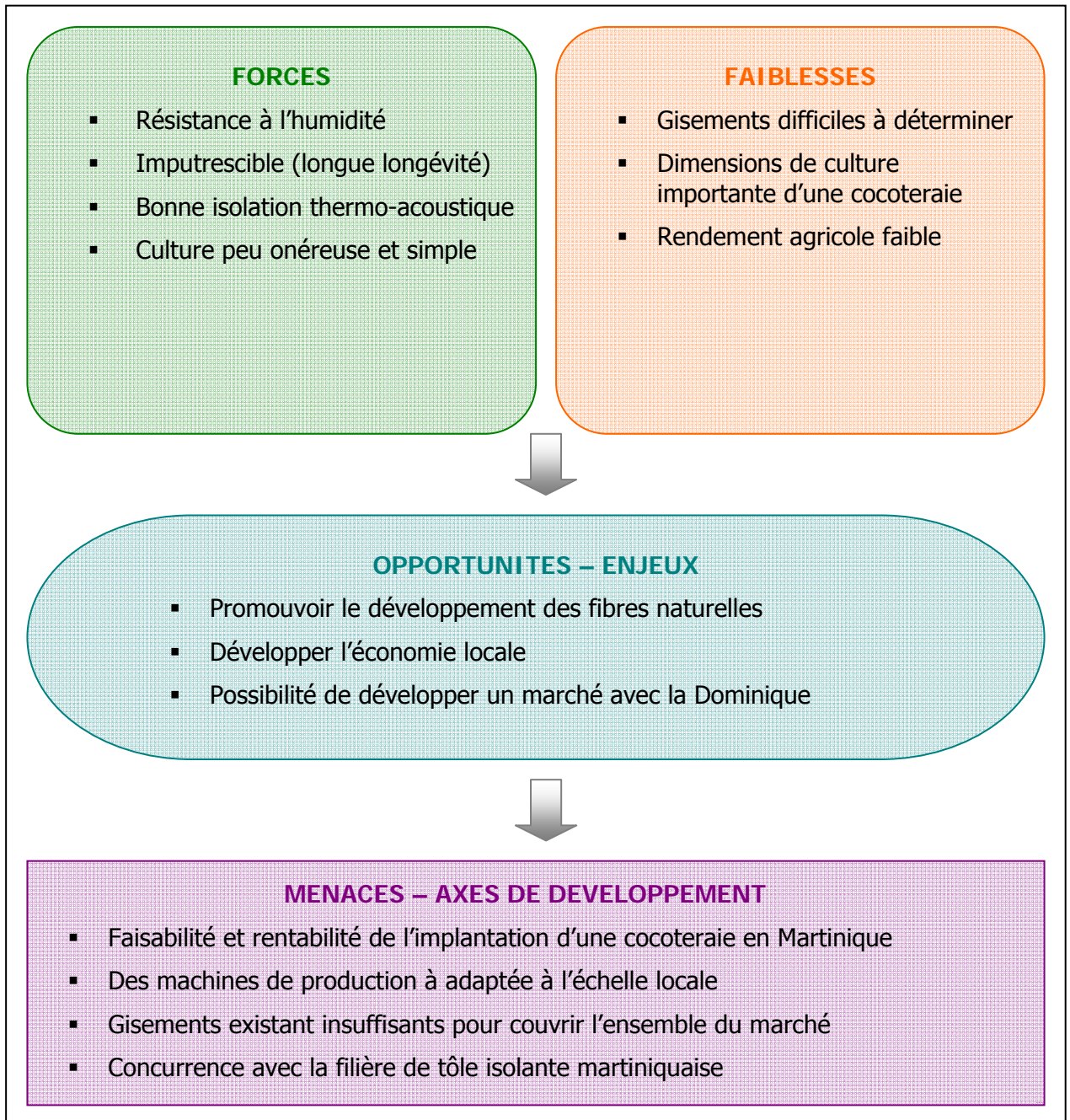


Figure 57 : AFOM Ecomatériau « Isolant vrac en fibres de bois »

11 TUILES EN BOIS MAHOGANY

11.1 Présentation

Les tuiles de bois, également appelées **bardeaux**, sont des petits éléments de revêtement permettant de protéger des intempéries les toitures et les façades.

C'est un matériau ancestral, naturel, résistant, utilisé un peu partout dans le monde.

Des bardages en bois pour façades ont autrefois été produits en Martinique, à partir de bois d'importation (source : Scierie du Gros Morne)

Les tuiles de bois ont à la fois un rôle décoratif, mais également de protection face aux intempéries, et d'isolation.

Peu à peu oublié, il s'agit d'un matériau qui est remis au goût du jour grâce à ses performances écologiques et économiques.

Ces tuiles sont déjà utilisées en milieu tropical (Guadeloupe, Réunion, Ile Maurice, etc.).



Figure 58 : Exemple de toiture réalisée en tuile de bois (photo : La Tuile de Bois SOVECO)



Figure 59 : Exemple de toiture réalisée en tuiles de bois de châtaigniers (Villa bois Guadeloupe 2007, photo : La Tuile de Bois SOVECO)



Figure 60 : Exemple de villa et toiture en bois (Guadeloupe 2006, photo : La tuile de Bois SOVECO)

11.2 Gisements disponibles

L'objectif serait de valoriser les **petits et moyens bois de mahogany** (bois d'éclaircies de diamètre inférieur à 35 cm), dont la ressource disponible est estimée entre **2 000 et 3 000 m³** sur pied par an, soit **700 à 1 000 m³** sciés par an. Cette ressource, actuellement non demandée, n'est pas exploitée et laissée sur pied.

La description de la ressource, du gisement et des modalités d'approvisionnement ont déjà été présentées au chapitre 4.2.

11.3 Principe

11.3.1 Fabrication et pose

Les tuiles ont une longueur de 600 mm, et se superposent (pose à triple recouvrement) pour atteindre une épaisseur de toiture de 200 mm à l'extrémité extérieure des tuiles.

Les planchettes utilisées pour la fabrication des tuiles sont de dimension 22x145x600 mm (source : entreprise « La Tuile de Bois SOVECO », voir la plaquette de présentation en annexe 10).

Les bardeaux sont fixés au moyen de clous (2 clous/tuile) sur des liteaux horizontaux, eux-mêmes fixés sur des liteaux verticaux.

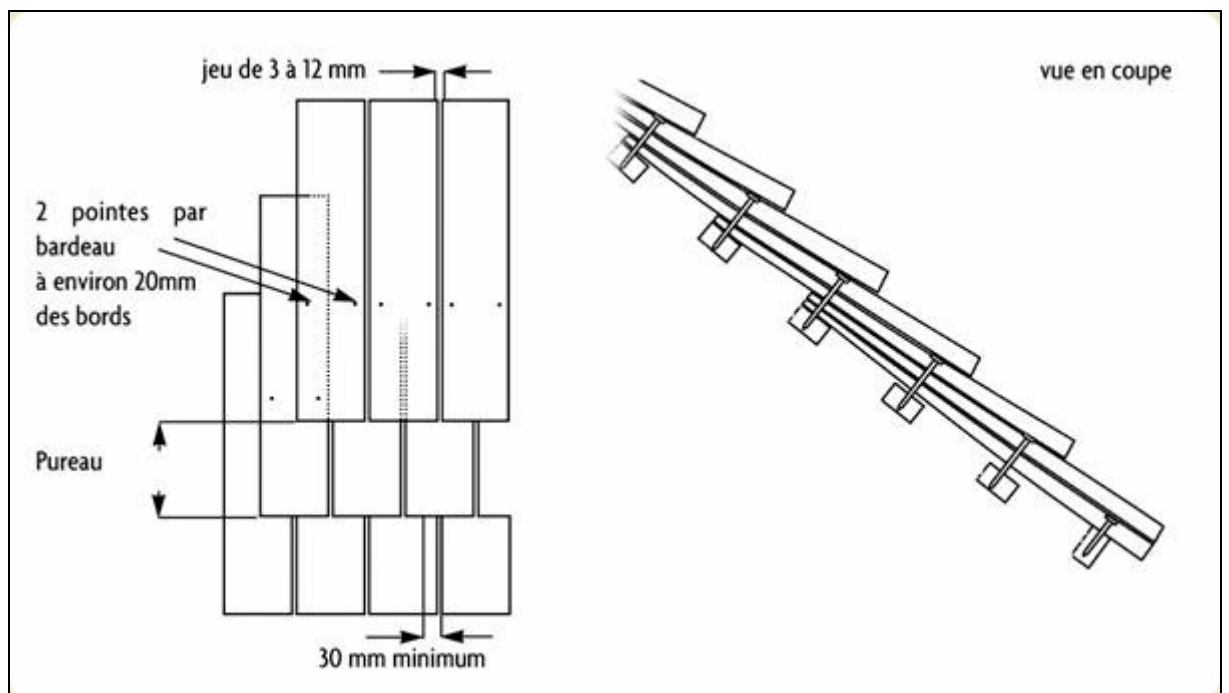


Figure 61 : Schéma de disposition des bardeaux (source : La Tuile de Bois SOVECO)

Il existe deux modes de fabrication des bardeaux :

- Fendu :

Cette méthode permet de respecter la fibre du bois et donc d'apporter au bardeau une longévité maximale. Les bardeaux sont plus épais, plus esthétiques, et l'écoulement de l'eau est facilité.

- Scié :

Cette méthode apporte un aspect plus moderne, donc moins rustique au bardeau. Les bardeaux peuvent être plus fins, et ont un meilleur contact entre eux, ce qui augmente les capacités d'isolation. Par ailleurs, ils se posent plus rapidement (taille plus importante).

11.3.2 *Traitement*

Traditionnellement, les bardeaux de bois ne sont pas traités.

Le besoin de traitement dépend de l'essence et de sa durabilité naturelle, de la pente, des conditions climatiques, etc. Par ailleurs, plus les bardeaux seront fins, plus ils sècheront rapidement, et moins ils nécessiteront de traitement.

L'entreprise La Tuile de Bois SOVECO propose un traitement permettant « à tout bois local » de pouvoir être utilisé en tuile. Ce traitement consiste en une préparation liquide hydrodispersable destinée au traitement curatif et préventif des bois contre l'action des champignons lignivores et des insectes xylophages. Il a également une action ignifuge (ininflammable, empêchant la propagation du feu et de la fumée) et une action de consolidation des bois infestés, par un procédé de minéralisation. Après fixation dans le bois, le produit est difficilement délavable et résiste aux intempéries. Il concerne la protection de tous les types de bois: bois de construction en service sous abri, bois en extérieur sans contact permanent avec le sol et l'eau.

La nécessité de traiter les tuiles de bois fabriquées à partir de mahogany devra être étudiée. On pourra pour cela s'appuyer sur une étude de durabilité et imprégnabilité (voir proposition du FCBA dans le chapitre 4.2.5.5)

11.4 **Faisabilité technique de la fabrication de tuiles à partir de mahogany**

11.4.1 *Matériel nécessaire*

D'après M. HERVE, de la société « La Tuile de Bois » SOVECO, la dimension des planchettes à produire pour fabriquer des tuiles est de 22x145x600 mm.

La Scierie du Gros Morne en Martinique estime pouvoir facilement produire des planchettes de cette dimension, en acquérant du matériel spécifique (moulurière) (source : M CASSILDE, Scierie du Gros Morne). A titre indicatif, ce matériel est disponible d'occasion pour un montant d'environ 5 000€ (hors frais de transport).

L'ONF Martinique indique par ailleurs que les exploitants scieurs (notamment M. Montbrun) sont capables de faire ce type de débit.

La société SOVECO propose le matériel permettant la fabrication et l'emballage des bardeaux, ainsi qu'une aide pour la mise en route du matériel (assistance et expertise pour le suivi de l'installation) pour un montant total 72 739 € HT (voir le devis en annexe 11) (hors frais de transport). Les droits d'exploitation des brevets sont des royalties s'élevant à 0,0253 euros par tuile de bois produite.

Le coût d'une usine « clé en main », comprenant les machines, les brevets, et la formation du personnel, est estimé à 100 000 € (unité permettant la production de 1 000 000 tuiles/an avec 4 salariés).

Le matériel et les coûts associés à l'éventuel traitement des tuiles n'est pas connu.

Le matériel nécessaire à la fabrication des tuiles est déjà disponible en Martinique.

Il serait néanmoins possible de faire appel à la société SOVECO pour disposer du savoir-faire associé à la fabrication, au traitement, et à la pose des tuiles, dont la résistance aux intempéries et aux vents cyclonique est certifiée.

11.4.2 Potentiel de production

- Ressource disponible en petits et moyens bois :
 - Environ 2 000 m³ sur pied (source : ONF 972) ;
 - soit 600 m³ de bois en pré débit, sous forme de tuiles ;
- Nombre de tuiles pouvant être produites :
 - 313 000 tuiles (dimensions 22x145x600mm, soit 1,914 dm³) ;
- Surface de toiture pouvant être couverte :
 - 40 tuiles nécessaires pour couvrir 1m² de toiture (source : SOVECO) ;
 - Soit 7 800 m² couverts avec 313 000 tuiles ;
 - **Soit 78 habitations ayant une toiture de 100 m².**

L'exploitation des 2 000 m³ de petits et moyens bois actuellement disponibles en Martinique en Mahogany permettrait de couvrir prêt de **7 800 m² de toiture chaque année** en tuiles de bois mahogany (soit 80 habitations ayant une toiture de 100 m²).

Remarque : Cette estimation ne prend pas en compte le bois nécessaire aux liteaux sur lesquels sont fixées les tuiles.

A titre de comparaison, on construit en Martinique environ 1 500 logements individuels et 2 300 logements collectifs par an (source : DDE-Sitadel-Mairies-ADJAM). La production de tuiles de bois ne sera donc pas à même de couvrir la demande en toiture du marché martiniquais.

11.4.3 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

Les conditions du renforcement de l'exploitation de la ressource forestière en mahogany ont été présentées au § 4.2.5.

On peut néanmoins souligner les points suivants.

11.4.3.1 Faisabilité technique de l'exploitation des bois d'éclaircie pour la fabrication de tuiles à confirmer

L'ONF a accueilli de manière positive la suggestion de valoriser les bois d'éclaircies de mahogany en tuiles de bois. En effet, cette ressource est très abondante et mobilisable, à condition que le prix d'achat des bois débités soit adapté.

Il s'agit par ailleurs de bois jeune et tendre, facilement traitables.

Des essais devraient néanmoins être menés pour vérifier ces hypothèses.

11.4.3.2 Durabilité et imprégnabilité

La durabilité du mahogany, et le cas échéant, son imprégnabilité aux traitements, devront être caractérisés afin d'évaluer son aptitude à l'utilisation en toiture.

Le FCBA peut réaliser ce type d'étude (voir § 4.2.5.5).

11.4.4 Ressources et appuis existants

11.4.4.1 La Tuile de Bois SOVECO

Créée en 1981 en Basse-Normandie, cette entreprise est spécialisée dans la fabrication et la vente de tuiles de bois à travers le monde.



L'entreprise est par exemple implantée à la Réunion, où un système de couverture a été développé à partir du bois cryptoméria associé à un film aluminium.

Prestations réalisées :

- Etude de projet
- Fabrication
- Pose (réseau d'Artisans Certifiés par la Tuile de Bois SOVECO)
- Suivi et assistance
- Expertise, organisation de projet, suivi de l'installation, installation d'unités de production, etc.

Montagne au Perche

61400 Saint Hilaire le
Châtel

+33(0) 233 735 788

+33(0) 672 378 166 -
+262(0) 692 850 310

11.4.4.2 Partenaires locaux

- ONF
- Exploitants-scieurs
- Artisans couvreurs

11.4.5 Emplois nécessaires

A titre indicatif, une unité de production d'1 000 000 de tuiles/an nécessite 4 salariés (source : La Tuile de Bois SOVECO).

On a vu que la ressource pouvant être exploitée en Martinique correspond à environ 300 000 tuiles, soit **1 salarié**.

11.5 Etude macro-économique

11.5.1 Coûts d'investissement

11.5.1.1 Extraction

Les coûts liés à la production et à l'extraction sont présentés au paragraphe 4.4.2.1 et 4.4.2.2.

Le prix juste auquel le mahogany devrait être valorisé est de 1 000€/m³ sur pied, contre 800 € aujourd'hui (source : ONF 972).

Ce prix de vente objectif du mahogany correspond à un coût de **6,4 €/tuile**, soit 256€/m² de toiture (coût du bois uniquement, voir les hypothèses § 11.4.2). A titre de comparaison, la couverture en tôle revient en Martinique à 20€/m², posée.

Ce coût, qui ne comprend pas la fabrication ni le traitement, est très supérieur au prix pratiqué en métropole (par exemple, 2,4€/tuile en châtaigner prêt à l'emploi).

11.5.1.2 Fabrication

Le coût de fabrication des tuiles peut être estimé à **0,14€/tuile**, hors bois, pour une unité de 4 salariés produisant 1 000 000 de tuiles par an (source : La Tuile de Bois SOVECO).

Le coût d'une telle unité est estimé à **100 000 €** (machine, brevet et formation) (source : La Tuile de Bois SOVECO). Ce coût pourrait être réduit si l'on choisit du matériel d'occasion et que l'on ne fait pas appel aux brevets développés par l'entreprise La Tuile de Bois. Néanmoins, étant donnés les contraintes en termes de climat et de risques naturels, il semble que ce matériau aura davantage de possibilités d'intégrer le marché en étant reconnu.

11.5.1.3 Pose

On estime le temps de pose à 40 minutes par mètre carré. Si on considère un coût de la main d'œuvre de 50 €/h pour un couvreur (hors déplacement et installation du chantier), le coût minimal associé à la pose est de l'ordre de 30€/m², ou **0,8 €/tuile**.

11.5.1.4 Total

Les coûts d'investissements pour une unité de fabrication de 1 000 000 de tuiles de bois par an sont d'environ **100 000 €**.

Dans ces conditions, le coût d'une toiture en tuiles de bois mahogany est de l'ordre de **8 €/tuile, soit 300 €/m²**.

11.5.2 **Coûts différés**

(En attente de données de la part de SOVECO sur les fréquences et coûts d'entretien)

11.5.3 **Coûts évités**

Le coût d'une toiture en tôle métallique est de l'ordre de 20 €/m² hors pose.

Le potentiel de production de tuiles de mahogany permettrait est de 7 800 m².

Les coûts évités, associés aux coûts des matériaux de couverture classiques utilisés, sont de l'ordre de **150 000€**.

Les coûts évités correspondent également au confort thermique supplémentaire conféré par les tuiles de bois, et qui permet de réaliser des économies en terme d'isolation toiture ou de climatisation.

Ecomatériau	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Tuiles de bois	100 000 €	nd	> 150 000 €

Figure 62 : Analyse macro-économique

11.6 Risques toxicologiques

Utilisé sans traitement, le bois est un matériau sain, de sa fabrication à sa mise en œuvre. Il permet une régulation de l'hygrométrie et ne dégage pas de substance toxique en cas de combustion.

Les traitements fongicides et insecticides appliqués peuvent en revanche présenter des risques pour la santé. Dans le cas de la tuile de bois SOVECO, le traitement ne contient pas de métaux lourds. Ce traitement fait partie de la proposition commerciale de l'entreprise et est protégée par un brevet. L'impact potentiel sur la santé et l'environnement ne peuvent donc être estimés.

11.7 Comportement face aux risques naturels et au climat

11.7.1 Comportement face aux risques naturels

Les tuiles de bois de l'entreprise SOVECO disposent d'une certification attestant de leur résistance à des vents de **288 km/h** (validation Véritas – CSTB). Cette capacité provient du mode de fixation des tuiles.

Le comportement aux risques sismiques dépend de l'attache de la charpente à la structure.

Ces tuiles ont par ailleurs déjà été utilisées en contexte à risque (Guadeloupe).

L'utilisation de tuiles de bois est donc compatible avec les risques naturels présents en Martinique.

11.7.2 Confort et durabilité face au climat

Les tuiles de bois présentent des propriétés d'isolation thermique et phoniques leur conférant un avantage certain sur la couverture couramment utilisée en tôles.

La couverture en tuiles de bois SOVECO® utilise de plus un film pare-pluie, similaire aux couvertures traditionnelles, permettant de réguler les flux de chaleur et d'isoler thermiquement par réflexion (réflecteur thermique et lame d'air permettant une ventilation de la sous-couverture).

La durabilité des tuiles dépend de trois facteurs :

- L'essence ;
- Les conditions climatiques ;
- La pente (proportionnelle à la durabilité).

En fonction de ces facteurs, un traitement du bois peut éventuellement être appliqué.

Les tuiles de bois de l'entreprise SOVECO disposent d'une certification attestant de leur résistance à **précipitations de 200 mm/24h** (validation Véritas – CSTB). Ces caractéristiques proviennent du **traitement** des tuiles proposé par l'entreprise SOVECO, qui permet à toute espèce de bois locale d'être utilisée en tuile.

Par ailleurs, le vieillissement du bois conduit naturellement à une dégradation de sa couleur vers des teintes de gris. Ceci n'altère en rien les qualités de la tuile, il s'agit là d'une protection naturelle du bois.

Le bardage en bois nécessite par ailleurs un entretien régulier (**tous les cinq ans**). La durabilité des bardeaux peut aller de **50 à 100 ans**.

11.8 Impacts sur l'environnement

Les tuiles de bois présentent de nombreux atouts d'un point de vue environnemental :

- ✓ Matériau renouvelable (dans le cadre de forêts gérées durablement)
- ✓ Matériau recyclable
- ✓ Nécessite peu d'énergie pour sa fabrication

Il convient par ailleurs de porter une attention particulière aux points suivant, qui peuvent dévaloriser le bilan environnemental des tuiles de bois :

- Production durable (labels FSC, PEFC)
- Extraction respectueuse de l'environnement et du paysage
- Traitements raisonnés
- Fin de vie des bois traités
- Origine du bois (l'objectif ici serait de valoriser la ressource locale en mahogany, et non d'importer du bois).

11.9 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

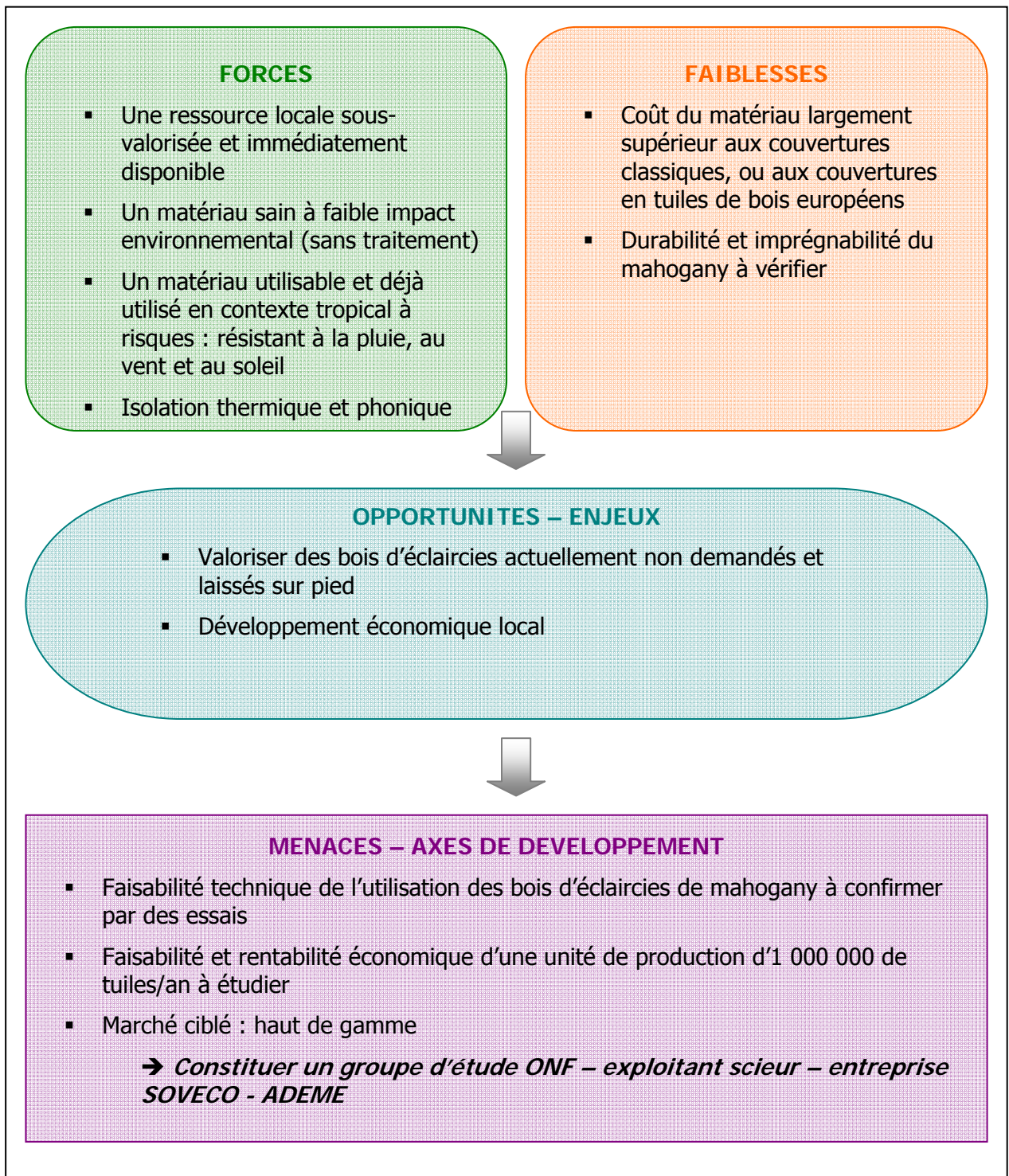


Figure 63 : AFOM Ecomatériau « Tuiles de bois mahogany »

12 TOITURES VÉGÉTALES EN FEUILLES DE PALMIERS ET CANNES

12.1 Présentation du matériau

Les toitures végétales en feuilles de palmiers assurent la fonction de couverture d'une toiture d'un bâtiment.

Les toitures en feuilles de cannes font également partie des techniques de constructions traditionnelles et historique des Antilles.



Figure 64: Photo de case avec toiture en feuilles de palmier (à gauche) et feuille de canne (à droite) (source : Savane des esclaves ; photo : Caraïbes Environnement)

12.2 Gisements disponibles

12.2.1 Description de la ressource

12.2.1.1 Feuilles de palmiers

Il existe de très nombreuses espèces de palmiers dans le monde. En Martinique, une dizaine d'espèces cohabitent.

Le palmier est un grand arbre qui a de très nombreuses racines (des milliers) minces et longues. Le tronc, presque lisse et de couleur grisâtre, atteint fréquemment 20 à 30 mètres au bout de 30 ans (mais certaines espèces ne dépassent pas 2 m). Les feuilles font de 4 à 7 mètres de long et une largeur maximale de 1,5 mètres, pèsent de 10 à 15 kg et sont au nombre de 30 au moins par palmier.



12.2.1.2 Feuilles de cannes

La canne à sucre est exploitée en Martinique pour la production de sucre et de rhum. La récolte de canne à sucre se fait annuellement entre le mois de février et de juin (source : Chambre d'Agriculture Martinique).

Les champs de cannes sont très répandus sur le territoire. En 2010, la canne à sucre occupait 4067 hectares de la SAU (source : recensement agricole 2010, Agreste).

La canne se présente sous forme de tiges d'une longueur de 2 à 4m. Chacune de ces tiges se compose de feuilles alternes et opposées ; on compte environ une dizaine de feuilles par tige. Les feuilles sont de 2 à 10 cm de large pour environ 60 à 150 cm de hauteur. (Source : Canne Progrès).



Figure 65 : Photo d'un champ de cannes (source: L'internaute Voyage)

12.2.2 **Gisement**

12.2.2.1 Feuilles de palmiers

La ressource est éparpillée sur le territoire. Il existe quelques palmeraies gérées par des particuliers :



Figure 66 : photographie d'une palmeraie privée au Morne Rouge en Martinique (photo : Caraïbes Environnement).

Il est difficile de quantifier le gisement disponible en feuilles de palmiers en Martinique.

12.2.2.2 Feuilles de cannes

Le gisement de cannes à sucre est important en Martinique. Sachant que les graines de cannes sont plantées dans des sillons espacés de 1,60 m à 1,80 m et que qu'il y a environ 12 cm d'écart entre chaque plant, (source : Chambre d'Agriculture Martinique), nous pouvons évaluer la densité à environ 50 000 plants/ha, soit **500 000 feuilles/ha**.

Sachant que les champs de cannes occupent une surface de 4067 hectares, et en comptant une dizaine de feuilles par plant, nous pouvons évaluer le **gisement annuel** en feuilles de cannes à **2 033 500 000 feuilles**.

12.2.3 Modalités d'approvisionnement

Les feuilles de palmiers sont ramassées sur l'arbre, de préférence pendant la saison sèche. Elles sont mises à tremper dans l'eau douce ou l'eau de mer pendant 3 ou 4 jours.

Au sortir de l'eau, les palmes sont séparées en deux dans le sens de la longueur. On tresse en croix deux à deux les folioles encore mouillées, puis on les met à sécher (source : GRET, 1986).

Les feuilles de cannes séchées sont cueillies directement sur les plants des champs de cannes. L'approvisionnement en feuilles doit se faire 3 à 4 mois avant la récolte c'est-à-dire de novembre à janvier. Le prélèvement des feuilles séchées n'entrave pas la bonne croissance des plants et n'influe pas sur la qualité de la matière première, pour la production de sucre et de rhum.

12.2.4 Potentiel de production

12.2.4.1 Toiture en feuilles de palmiers

D'après Monsieur Philippe Giberne, fabricant de carbetts en feuilles de palmiers en Martinique, **80 feuilles de palmiers** sont nécessaires par UF (*UF : Unité Fonctionnelle : Réaliser 1 m² de couverture de la toiture d'un bâtiment*)

En moyenne, un palmier compte 30 feuilles, ce qui signifie que 3 palmiers sont nécessaires par UF.

NB : Une fois coupées, les feuilles du palmier repoussent en 3 mois environ (Source : Entretien avec Philippe Giberne)

12.2.4.2 Toiture en feuilles de cannes

Les toitures en feuilles de cannes sont élaborées à l'aide de feuilles de cannes séchées nouées ensemble pour former un « bouchon ». On compte environ 35 feuilles par bouchon et 6 000 bouchons sont nécessaires à l'élaboration d'un toit de 12m x 7m.

En moyenne, **70 bouchons** nécessaires par UF soit **2500 feuilles par UF**.

La ressource annuelle en feuilles de cannes est de 2 033 500 000 feuilles, ce qui permettrait la fabrication de 58 100 000 bouchons, soit **813 400 m² de toiture**.

En considérant la fabrication de toitures d'une surface de 100 m², le potentiel de production dépasserait largement le marché des maisons neuves (1500 maisons/an).

12.2.5 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

Une exploitation optimisée de la ressource nécessiterait la création de plantation de palmeraies.

Egalement, une formation d'artisans à la technique de fabrication et de mise en œuvre de couverture en feuilles de palmiers serait nécessaire.

A noter que ce type de couverture viserait en priorité les constructions légères ou à visée touristique : abris, carbet, bungalows, etc.

12.3 Techniques et savoirs-faires

12.3.1 Toiture en feuilles de palmiers

12.3.1.1 Machines, usines, savoirs faire nécessaires et disponibles en Martinique

Pour grimper à la cime du palmier, des griffes d'élagueur sont nécessaires.

La coupe des feuilles pourra s'effectuer grâce à une machette (éventuellement une tronçonneuse).

12.3.1.2 Ressources existantes/références

En Martinique, une Société propose des travaux de toiture en feuilles de palmiers. Il s'agit de l'entreprise **Martinique Construction Carbet Toit Végétal**, qui fabrique des petits ouvrages comme des carbets.

L'entreprise existe depuis 2011 et présente 2 références majeures :

<p>Hôtel la Pagerie aux Trois Ilets</p>	
<p>Club Méditerranée dans la baie du Marin</p>	

La société ne compte aucun salarié, hormis le gérant fondateur, Monsieur Philippe Giberne qui travaille à son compte.

12.3.1.3 Pour la fabrication, l'installation, l'entretien

La fabrication, l'installation et l'entretien des toitures en feuilles de palmiers sont des phases qui pourront être réalisées en Martinique.

12.3.1.4 Organisation de la filière actuelle

<u>Gisement</u>	Palmiers isolés (Collecte non-optimisée)	
<u>Collecte</u>	Artisans locaux	Martinique Construction Carbet Toit Végétal
<u>Transformation</u>	Martinique Construction Carbet Toit Végétal	
<u>Commercialisation</u>	Martinique Construction Carbet Toit Végétal	
<u>Distribution</u>	Martinique Construction Carbet Toit Végétal	

12.3.1.5 Emplois

La fabrication d'un carbet de dimension 4 m × 3 m nécessite une durée de travail de 10 jours à deux personnes. Cela comprend le montage de la structure porteuse et de la charpente (5 jours), ainsi que la mise en œuvre de la couverture en feuilles de palmiers (5 jours).

Actuellement en Martinique, une seule société (Martinique Construction Carbet Toit Végétal) est spécialisée dans la construction de petits ouvrages avec des couvertures en feuilles de palmiers. Le retour d'expérience est nul puisque la société a moins d'un an d'activité. L'activité permet à peine de subvenir au besoin du gérant (seule personne de la société) puisque celui-ci s'occupe également du développement commercial. La présence d'un petit marché de la construction de petites structures avec des feuilles de palmiers permettrait de créer entre 2 et 4 emplois. Cela correspond à la fabrication d'une vingtaine de carbet par an. La maintenance de ces carbets permettrait de maintenir une activité du personnel.

La société en question propose des contrats de maintenance avec une inspection générale de la toiture tous les 3 mois.

12.3.2 **Toitures en feuilles de cannes**

12.3.2.1 Récolte des feuilles

Comme nous l'avons précisé précédemment, la coupe des feuilles de cannes séchées se fait directement sur les plants manuellement.

12.3.2.2 Fabrication et pose des « bouchons »

Les bouchons sont fabriqués manuellement. Il s'agit de nouer entre elles une trentaine de feuilles de cannes séchées.

La photo ci-dessous illustre la technique de fabrication.



Figure 67: Fabrication d'un bouchon (source : La Savane des esclaves ; Photo : Caraïbes Environnement)

Les bouchons fabriqués doivent ensuite être posés à plat sur un support en charpente. La pose nécessite environ 2 semaines (pour une personne).

Chaque tête de bouchon est attachée à la charpente ainsi qu'à une tige de bois posée par-dessus pour la maintenir. Les bouchons ainsi posés forment des rangées de haut en bas (environ 6 rangées). Chaque rangée de bouchons chevauche la suivante, laissant dépasser environ 80cm.



Figure 68: Pose des bouchons (source : La Savane des esclaves, photo : Caraïbes Environnement ; école Algues Marines)

12.3.2.3 Main d'œuvre

Un homme qui maîtrise bien la technique peut fabriquer environ 100 bouchons par jour. Il lui faut environ 2 à 3 mois pour la fabrication complète d'une toiture (en comptant la fabrication et la pose des bouchons). Par an, un homme peut donc fabriquer environ 4 toitures.

Pour couvrir l'intégralité du marché des maisons neuves, soit 2500 maisons/an, il serait nécessaire de **former 625 personnes** à la fabrication et la pose des bouchons.

12.4 Etude macro-économique

12.4.1 Coûts d'investissement

Pour un artisan qui se lance dans cette activité :

Pour la collecte des feuilles, l'achat du matériel (voir paragraphe 1.3.1) s'élève à environ 1000 €. Egalement, le transport des feuilles nécessite un véhicule de type 4x4 tout-terrain avec benne, pour un montant de 25 000 €.

Une formation est indispensable pour apprendre la technique de fabrication et de mise en œuvre de la toiture. Le coût estimé est de 2500 €.

Pour la mise en œuvre de la couverture, l'achat du matériel classique de charpentier peut être estimé à environ 1000 €.

Ces coûts d'investissements sont valables aussi bien pour les conceptions en feuilles de palmiers que pour celles en feuilles de cannes.

Pour le Maître d'Ouvrage qui souhaite s'équiper d'un ouvrage en feuille de palmiers (source : Martinique Construction Carbet Toit Végétal) :

La mise en place d'une toiture en feuilles de palmiers coûte environ 150 € / UF.

A titre de comparaison, une couverture classique en tôle coûte 30 € / UF.

La différence de prix provient du fait que la collecte des feuilles ainsi que la fabrication et la mise en œuvre de la couverture en feuilles de palmiers sont des étapes longues.

12.4.2 Coûts différés

Une inspection visuelle accompagnée de petites retouches doivent être réalisées tous les 3 mois environ. Cette maintenance dont le coût peut être estimé à 15 € / UF / an (soit 180 € / an pour un carbet de 12 m²) permet d'augmenter la durée de vie de la couverture.

Un remplacement total de la couverture doit être réalisé au bout d'une durée comprise entre 3 et 8 ans, selon la qualité des feuilles, de la mise en œuvre et de l'entretien.

En ce qui concerne les coûts relatifs à l'entretien des toitures en feuilles de cannes, ceux-ci sont nuls. La durée de vie d'une toiture en feuilles de cannes est estimée à 12 ans.

12.4.3 Coûts évités

Les toitures en feuilles de palmiers ou en feuilles de cannes constituent en effet une alternative aux solutions classiques nécessitant des produits importés tels que la tôle métallique ou les tuiles.

Cependant, il s'agit d'une couverture adaptée à une demande souvent très ciblée : les abris et constructions à vocations touristiques. Les coûts évités sont donc limités : potentiel de 20 carbetes de 12 m²/an, soit 240 m², soit 5 000 € (coût de référence 20€/m² pour la tôle hors pose).

Ecomatériaux	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Toiture végétale en feuilles de palmiers ou cannes	20 000 €	15 € / UF /an (palmier)	5 000 €

12.5 Risques toxicologiques

Les toitures en feuilles de palmiers peuvent générer des poussières. Hormis ce point, les risques toxicologiques sont inexistantes.

Les toitures en feuilles de cannes n'utilisent aucun produit toxique ; il n'y a donc pas de risques toxicologiques.

Ces toitures végétales sont inflammables. L'ajout de produits ignifuge n'est pas adapté car, sous l'effet du soleil et de la pluie, celui-ci disparaîtra au fil des jours (source : Martinique Construction Carbet Toit Végétal).

Par conséquent, sans traitement ignifuge, les applications de la toiture en feuille de palmiers ou de cannes **seraient limitées aux bâtiments ne recevant pas du public** : les normes ERP imposent en effet une résistance au feu des matériaux utilisés pour la construction et la décoration.

La sécurité incendie relève de l'Arrêté du 6 octobre 2004 du Ministère de l'Intérieur. Cet arrêté admet en particulier sans essai préalable, des solutions constructives dans lesquelles un écran de protection incendie au feu intérieur est interposé entre une tôle d'acier et un isolant organique.

12.6 Comportement face aux risques naturels et au climat

12.6.1 Confort et durabilité face au climat

Les toitures en feuilles de palmiers résistent à l'humidité et aux températures présentes en Martinique.

L'étanchéité de la toiture en feuilles de palmiers est assurée d'une part par la liaison entre les feuilles (qui résulte d'un savoir-faire artisanal), et d'autre part par la pente de la couverture qui doit être comprise entre 35° et 45° (l'eau qui tombe sur la feuille va ainsi glisser directement vers le bas).

Les toitures en feuilles de cannes sont elles aussi étanches à l'eau.

L'expérience montre que les toitures en feuilles de palmiers et de cannes améliorent le confort thermique en maintenant la fraîcheur.

La durée de vie d'une toiture en feuilles de palmiers varie entre 3 et 8 ans, selon les spécialistes interrogés. Elle est estimée à 12 ans pour celles en feuilles de cannes.

12.6.2 Comportement face aux risques naturels

Par expérience à Saint Domingue, les carbets présentant une couverture en feuilles de palmiers ont résisté aux différents cyclones qui s'y sont produits.

12.7 Impacts sur l'environnement

Energie grise : Faible, voire nulle (travail manuel uniquement)

Impact paysager : La toiture en feuille de palmiers ou cannes est visible mais ne représente pas une pollution visuelle.

Pollution des eaux : Les rejets dans l'eau sont uniquement dus au transport. Le processus de fabrication ne nécessite pas de substances nocives pour l'environnement.

Pollution de l'air : Les émissions dans l'air sont essentiellement dues au transport du produit.

Production de déchets : Le produit en fin de vie est un déchet non-dangereux, biodégradable.

12.8 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

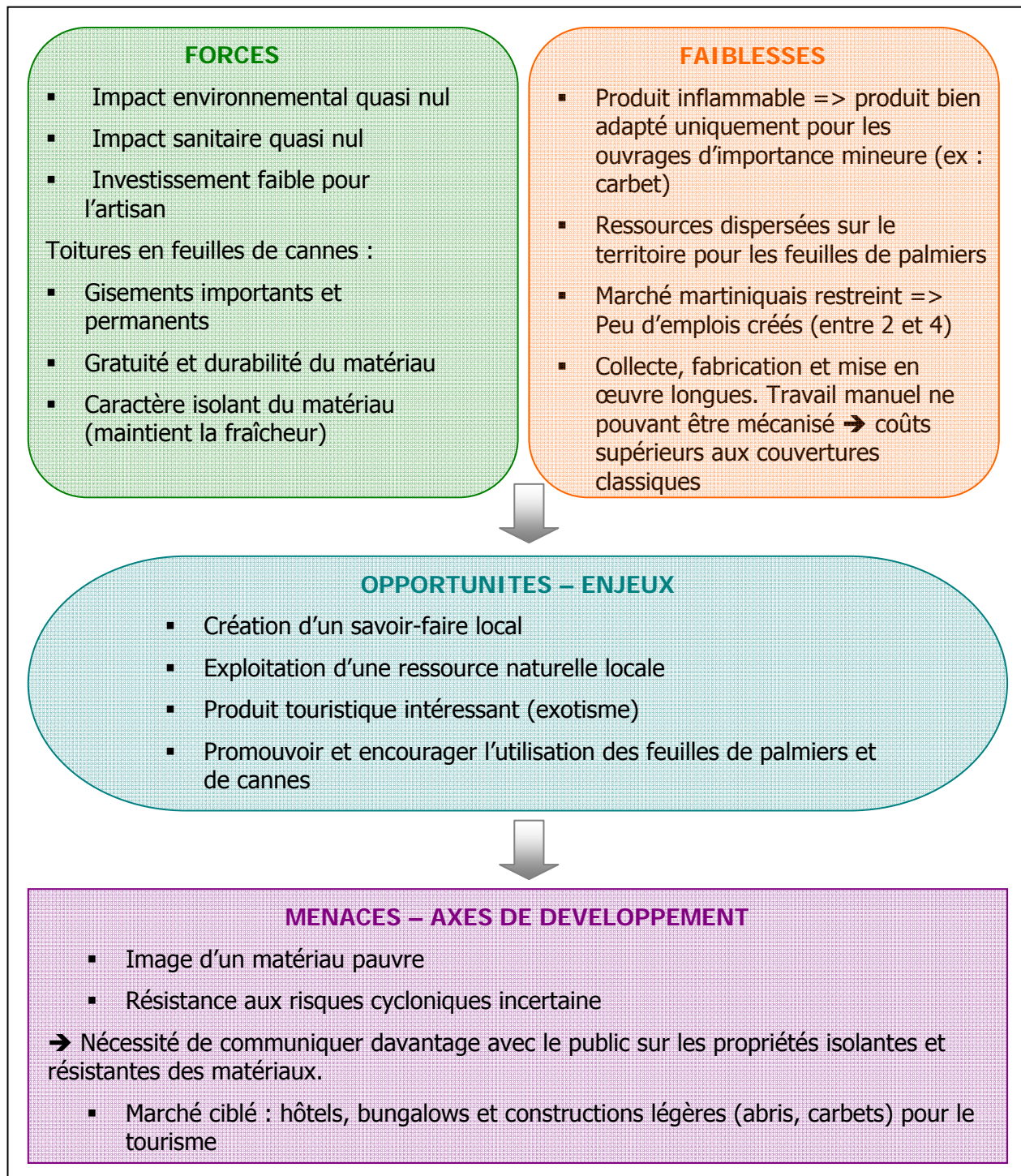


Figure 69 : AFOM Ecomatériau « Tuiles de bois mahogany »

13 VOLETS EN BAMBOU LOCAL

13.1 Présentation

Le bambou *Bambusa vulgaris* a été introduit en Martinique pendant la colonisation européenne pour ses multiples usages.

Cette espèce se révèle être invasive, notamment sur les bords des ravines, sur les crêtes et les cicatrices de glissement de terrain et sur les zones à forte déclivité du nord de l'île. Elle empêche le développement des espèces indigènes tout en favorisant de nouveaux glissements de terrain (source UICN 2008).

Le *Bambusa vulgaris* se distingue du bambou *Guadua angustifolia*, qui est originaire de Colombie, et qui est particulièrement indiqué pour la construction de par sa forme plus régulière.

Il a été introduit en Martinique depuis il y a une trentaine d'année. Sa présence est limitée à quelques jardins privés et deux bamboueraies en Martinique :

- Bamboueraie de Sainte-Marie, lieu-dit Bonair : mise en place par l'Association pour la Promotion du Bambou et reprise par association AFIBAD, parcelle 50 m x 15 m de plusieurs variétés de bambous
- Plantation privée à Saint Joseph (surface inconnue)

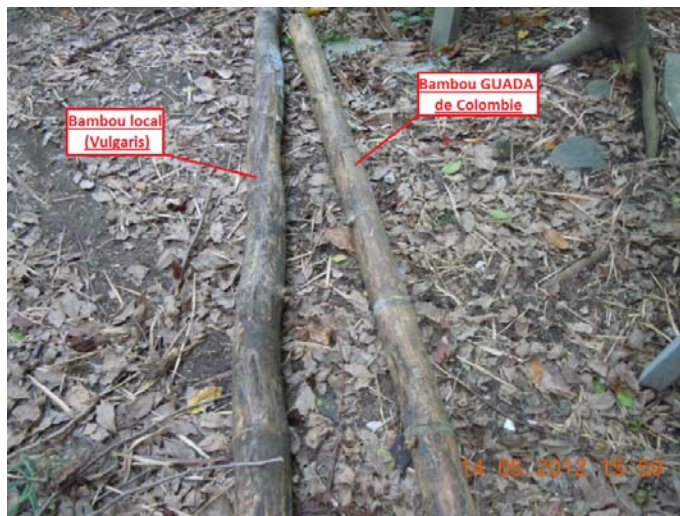


Figure 70 : *Bambusa vulgaris* et *Guadua angustifolia*, Jardin des Papillons, Martinique (photo : Caraïbes Environnement)

Le *Guadua angustifolia* pourrait être développé et exploité en Martinique pour la construction, mais nécessiterait la mise en place de parcelles dédiées à cet usage. Or la politique agricole actuelle en Martinique privilégie la production alimentaire.

C'est pourquoi il s'agit dans cette phase d'étudier comment cette ressource locale en *bambusa vulgaris* peut-être valorisée dans la construction en Martinique. Suite à l'étape 1, il a été choisi d'étudier la valorisation en volets, ombrières (protection solaire). Suite aux échanges avec les spécialistes de ce matériau en Martinique, il est finalement présenté ici divers modes de valorisation du *bambusa vulgaris*.

13.2 Gisements disponibles

13.2.1 Gisement

Le *Bambusa vulgaris* est présent de manière très dispersée sur l'ensemble de la Martinique. La surface totale couverte est estimée à 2 000 ha (source DAAF).

Sa pousse est assez rapide : 20 t/ha/an. Il atteint sa maturité en 4 à 6 ans.

La disponibilité en *Bambusa vulgaris* en Martinique est d'environ **40 000 t/an**.

Une autre source estime à 2 000 le nombre de bosquets et à 10 m³ la productivité annuelle d'un bosquet, soit **20 000 m³** de matière sèche par an (source F. Puech).

Le *Bambusa vulgaris* est également cultivé sur le site de la bamboueraie de Sainte Marie. Toutefois la surface cultivée et les quantités exploitées chaque année n'ont pas pu être connues.

13.2.2 Modalités d'approvisionnement

13.2.2.1 Peuplements spontanés

La majeure partie de la ressource en *Bambusa vulgaris* est dispersée sur l'ensemble de la Martinique.

Le *bambousa vulgaris* se reproduit de manière végétative. Il est cespiteux, c'est-à-dire qu'il pousse en bosquets, contrairement à d'autres types de bambous qui sont traçants et dont les rhizomes sont envahissants. Le caractère invasif du *bambousa vulgaris* provient de l'accumulation des chaumes séchés.

Une des premières opportunités d'approvisionnement consisterait à réaliser des **éclaircies** dans ces bosquets, ce qui permettrait d'avoir accès à une ressource immédiatement disponible, et en grandes quantités, et de contenir l'invasion des bosquets qui menace l'écosystème.

Les estimations réalisées par M F. Puech évaluent la productivité de la coupe annuelle et des éclaircies réalisées par 36 coupeurs à **3 000 m³** la première année, pour croître jusqu'à **20 000 m³** de matière sèche au bout de **7 ans**.

Il s'agirait de se diriger en priorité vers les bosquets les plus accessibles, i.e. à proximité des routes, ce qui permettrait d'accéder à la ressource et d'évacuer les bambous récoltés plus facilement.

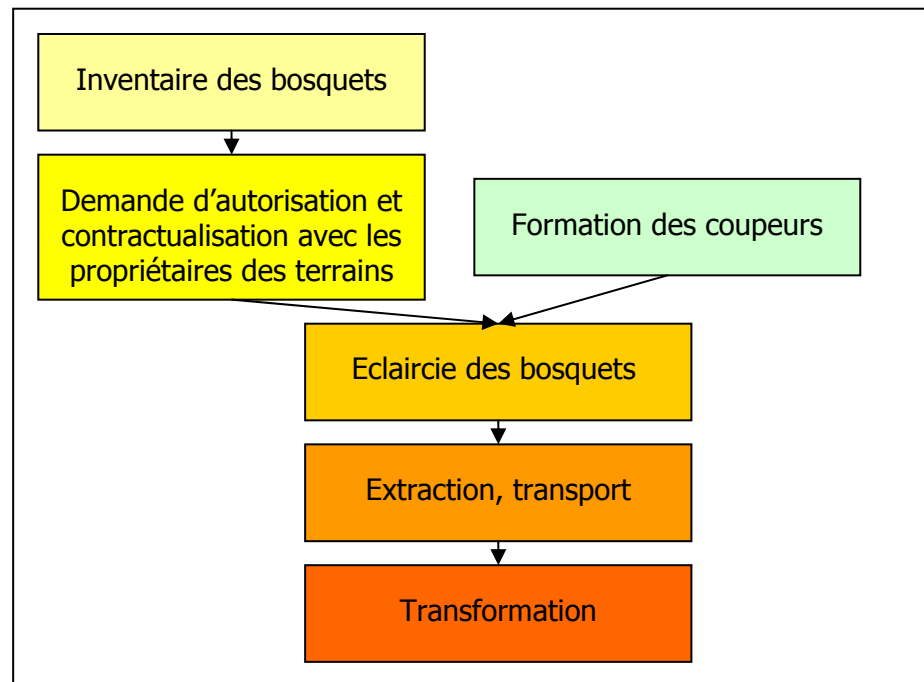


Figure 71 : Modalités d'approvisionnement en bambousa vulgaris

Les possibilités de financements publics des coupes de *B. vulgaris*, considéré comme envahissant (source : UICN 2008), sont à étudier. Le Conseil Régional soutient le développement économique du bambou mais les modalités de ce soutien n'ont pas pu être obtenues. Les modes de coupe seront à raisonner, et les autorisations devront être obtenues auprès des propriétaires des terrains.

Ce mode d'approvisionnement présente l'intérêt de la disponibilité immédiate et en grandes quantités du bambou *B. vulgaris*.

En revanche, une perte de productivité sera associée à la recherche des bosquets, les déplacements d'un bosquet à l'autre, et leur éloignement des axes de communication.

13.2.2.2 Bambouseraies

La bamboueraie de Sainte Marie dispose de plusieurs espèces de bambou, dont le *B. vulgaris*.

Un projet est également en cours à Morne Rouge, par l'Association pour la Promotion du Bambou, avec la mise en place d'une collection de différentes espèces de bambou, dont *B. vulgaris*. L'association envisage de s'approvisionner à terme dans la plantation qui sera mise en place.

Ce mode d'approvisionnement présente l'intérêt de la proximité du lieu de transformation (donc la réduction des coûts liés au transport). En revanche, la ressource disponible est limitée, proportionnelle à la surface plantée.

13.2.3 Potentiel de production de matériaux

Divers matériaux de construction peuvent être élaborés à partir du bambou *B. vulgaris* :

Valorisation	Type de matériaux	Type de production	Durabilité
Bambou brut	Tuiles* Palissades Ombrières Pergolas Abris de piscine Gloriettes Kiosques* Mâts pour toiles tendues, mâtures de chapiteaux et de construction pour l'événementiel éphémère, Artisanat et instruments de musique	Artisanale	Moyenne (10 ans, avec traitement naturel)
Fibres de bambous	Tôles de toiture et bardage (liant résine époxy) Banchage, briques et parpaings isolants (liant chaux ou chaux/argile ou terre) Panneaux à lamelles minces orientées (OSB) Bambou lamellé collé et composite pour contreventement, planchers, solives, âmes de poutres en I, aménagements intérieurs, etc	Petite industrie	Pas de données disponibles

Figure 72 : Types de matériaux pouvant être réalisés à partir du *B. vulgaris* (source Jardin des Papillons, Bambou Habitat, François Puech) - * valorisation existantes actuellement en Martinique

Selon M Puech (expert consultant en bambou, voir §13.3.1.3), la principale valorisation du *bambousa vulgaris* concerne la **fib**re, sous forme de tôles, bardage, parpaings, le chaume brut n'étant pas intéressant en construction en dehors de petites constructions et de l'artisanat.



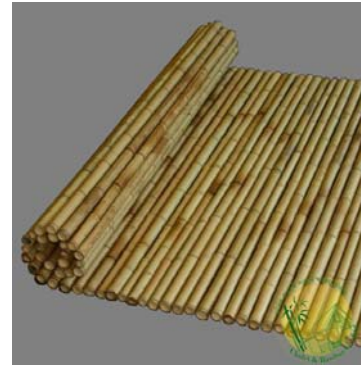
Couverture en tuile de bambou *B.vulgaris*, Jardin des Papillons (photo : Caraïbes Environnement)



Kiosque en *B. vulgaris*, Jardin des Papillons (photo : Caraïbes Environnement)



Ombrières (clairevoie) en bambou (photo : Chalet&Bambou)



Clôture en bambou (photo : Chalet&Bambou)



Voiles tendues entre des mats en bambou



Tente à ossature en bambou



Store en lamelles de bambou



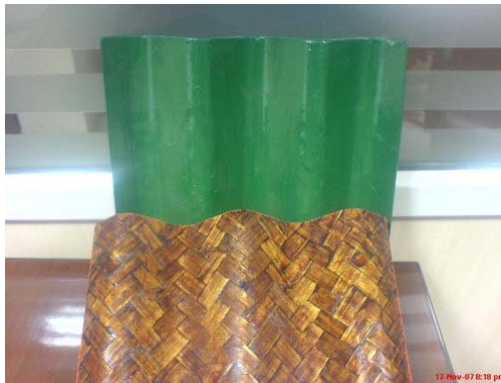
Lamelles de bambou (aéroport de Madrid)



Poutres en bambou compressé



Panneau en bambou lamellé-collé



Tôles en bambou composite ou tressé



Lames de terrasse en bambou composite

Figure 73 : Exemples de valorisation du bambou dans la construction

La quantité de bambou nécessaire pour la confection des différents matériaux indiqués n'a pas pu être estimée (données non transmises ou non évaluées).

La durabilité du matériau **brut** est estimée à **10 ans**, avec un traitement naturel (eau de mer, cire, huile, etc.).

13.2.4 Conditions et modalités du renforcement de l'exploitation de la ressource

13.2.4.1 Des initiatives nombreuses et dispersées

Plusieurs associations et entreprises œuvrent pour la promotion du bambou à la Martinique. Divers projets sont en cours (voir §13.3.1). Une certaine concurrence a pu être observée et toutes n'ont pas répondu à nos sollicitations dans le cadre de cette étude.

Le manque de soutien matériel et financier pour assurer la pérennité des initiatives existantes a souvent été évoqué par les différents porteurs de projets interrogés.

13.2.4.2 Un portage financier par un organisme indépendant

Un appel à projet pourrait être lancé par un organisme indépendant, tel que l'ADEME, pour la mise en place d'une filière de valorisation du *B. vulgaris*. Il semble en effet nécessaire qu'un organisme public indépendant soit porteur de projet pour soutenir le développement du bambou.

Cet appel à projet pourrait porter sur la fabrication d'un certain nombre d'unités d'un matériau donné confectionné à partir de bambou brut (type ombrières, volets), ou le soutien d'un projet existant de valorisation du bambou (tôles à partir de fibres de *bambousa vulgaris*, projet porté par François Puech).

Les porteurs de projets devront justifier plus en détails des caractéristiques techniques de leurs produits et de la faisabilité économique de leur projet.

13.3 Techniques et savoirs-faires

13.3.1 Initiatives de valorisation du bambou *B. vulgaris* en Martinique

13.3.1.1 Association pour la Promotion du Bambou en Martinique

Localisation	Le Carbet (Association Les Jardins de Martinique)
Objet	<p>Promotion du bambou en Martinique et centralisation de l'information sur la valorisation du bambou dans la Caraïbe, depuis plus de 20 ans.</p> <p>Actions réalisées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Création de la bamboueraie de Sainte Marie, aujourd'hui gérée par l'AFIBAD, qui réalise principalement de la valorisation des fibres locales plutôt que du bambou. • Construction d'une maison en bambou, importée du Viêt-Nam • Visites d'échanges avec des spécialistes du bambou en Colombie et au Viêt-Nam. <p>Action en cours :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chantier d'insertion sociale à Morne Rouge <ul style="list-style-type: none"> - 2 ans, 20 ha dont 5ha cultivables, formation de 12 personnes par un spécialiste Vietnamien. - Mise en place d'une bamboueraie, d'une collection, et d'un atelier de transformation. - Plusieurs variétés de bambou seront cultivées. Dans un premier temps, les bambous travaillés proviendront du Vietnam et de la Martinique. Ils seront ensuite exploités dans la bamboueraie. - Cofinancement CR, CG, CCNM, DDTE, Fondation de France, etc. Financement non encore finalisé.
Types de valorisation du <i>B. vulgaris</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation du <i>B. vulgaris</i> mais pas uniquement. Exploitation de <i>G. angustifolia</i> également. • Fabrication de mobilier principalement, mais aussi constructions légères type abris de jardins et carbets.

13.3.1.2 AFIBAD (Association Fibres Insertion et Bambou pour le Développement)

Un dossier de présentation de l'association figure en annexe 12.

Localisation	Le Robert / Sainte-Marie	
Objet	<p>Association créée en 2008. Insertion sociale et développement l'utilisation de la fibre végétale et du bambou pour la construction, le mobilier ou la décoration.</p> <p>Gestion de la bamboueraie de Sainte-Marie (convention avec le Conseil Régional). 3 variétés de bambou, dont le <i>B. vulgaris</i> et le <i>G. angustifolia</i></p>	
Types de valorisation du <i>B. vulgaris</i>	<p>Principalement décoratives et traditionnelles (paniers, ustensiles, etc.)</p> <p>Envisageable en construction (hors pieds), pour des serres, palissades, kiosques</p>	

13.3.1.3 François Puech Bambou Concept

Localisation	Nc
Objet	<p>Expert en bambou</p> <p>Formation de jeunes à Saint Joseph en 2010, en partenariat avec l'Association pour la Promotion du Bambou, dans l'objectif qu'ils puissent s'installer dans l'exploitation du bambou local</p>
Types de valorisation du <i>B. vulgaris</i>	<p>Projets de valorisation envisagés (valorisation sous forme de fibres uniquement) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tôles composite avec un polymère epoxy • Briques à base de chaux et des chûtes de bambous produites pour la production des tôles • Lamelles pour parquet <p>Panneaux d'isolation thermique et phonique</p>

13.3.1.4 SCOP Bambou 972

Localisation	Saint Joseph
Objet	Suite à la formation réalisée par François Puech en 2010, la Société COopérative et Participative Bambou 972 a été créée dans l'objectif de réaliser des éclaircies de <i>bambousa vulgaris</i> .
Types de valorisation du B. vulgaris	Il n'a pour l'instant pas été possible de recueillir plus d'information sur les activités de la SCOP auprès de ses membres.

13.3.1.5 Le Jardin des Papillons

Localisation	Anse Latouche, Le Carbet
Objet	Jardin touristique. Conservation d'espèces (faune & flore).
Types de valorisation du B. vulgaris	Construction légères (carbet, kiosques) Tuiles Projets de construction pour les pays en développement

13.3.2 **Autres ressources existantes**

13.3.2.1 Bambou Habitat

Importation de maisons en bambou (fabrication Viêt-Nam) et assemblage en Martinique.

L'entreprise a par exemple réalisée la construction de la maison en bambou abritant l'APB à Rivière Pilote.

Dépôt de bilan en cours



<http://www.bambouhabitat.com>
contact@bambouhabitat.com

0596 68 31 77

(dépôt de bilan en cours)

13.3.2.2 Génération Bambou

L'association a pour objet de promouvoir l'utilisation du bambou par le biais d'assistance technique, de programmes humanitaires et de développement mais aussi de programmes sociaux et culturels.

Formation à la plantation, à l'économie (filère de développement), à la construction parasismique et paracyclonique en bambou.

Partenaire de Bamboo Technologies, première entreprise au monde à avoir certifié ses maisons et bungalows à ossature en bambou.



<http://www.generation-bambou.org/>

contact@generation-bambou.org

13.3.3 Emplois et matériels nécessaires

- Reconnaissance des terrains, recherche des lieux de coupe, négociation avec les propriétaires
 - 2 à 4 personnes pendant deux mois
 - 2 véhicules
- Eclaircies :
 - 32 personnes (4 équipes de 8) à plein temps
 - 4 véhicules camionnettes avec attelage, outillage de coupe, broyeur.
- Coupes annuelles :
 - 16 personnes (4 équipes de 4 personnes)
 - Matériel de coupe (ramassage par les équipes éclaircies)
- Défibrage :
 - 4 personnes
 - Machine à défibrer, big bags

Le nombre d'emplois à créer pour l'éclaircie, les coupes annuelles et le défibrage des bosquets de *B. vulgaris* peut être estimé à **50 personnes**.

La main d'œuvre et la productivité liées à la transformation n'a pas pu être estimée. Cela dépend en partie du type de valorisation envisagé (transformation artisanale ou extraction des fibres).

L'exploitation de la ressource en bambou *B. vulgaris* aura des retombées positives en termes d'emplois : des emplois locaux seront nécessaires pour effectuer la récolte et la transformation en Martinique.

13.4 Etude macro-économique

13.4.1 Coûts d'investissement

13.4.1.1 Extraction

Les coûts liés à l'exploitation et la récolte du bambou vont dépendre du mode d'approvisionnement choisi (voir § 13.2.2).

Le *B. vulgaris* présente l'intérêt de se régénérer spontanément, de nécessiter peu voire pas d'entretien, et de pouvoir être récolté tous les ans. On estime ainsi que sa biomasse augmente de 10 à 30 % par année et qu'il atteint sa maturité de coupe en 5 ans (au lieu de 50 ans en moyenne pour le bois).

Le principal coût d'extraction réside donc dans la main d'œuvre et le matériel nécessaire pour la coupe et le transport.

- Véhicules légers (x2 pendant 2 mois) : 1 000 €
- Camionnettes (x4) : 40 000 € (occasion)
- Broyeurs (x4) : 10 000 € (broyeur de végétaux 6600 W 75 mm)

- Outillage de coupe (x 50) : 25 000 €
- Défibreur (x1) : 20 000 €

→ Les coûts d'investissements liés à l'extraction et le défibrage sont de l'ordre de 100 000 €

13.4.1.2 Fabrication

Les coûts de fabrication sont directement liés au mode de valorisation choisi et à son échelle de production (production artisanale, en faibles quantités, ou production à une échelle davantage industrielle).

Les principales étapes consistent en un séchage, écorçage, traitement (eau bouillante, acide borique, insecticides, fongicides, etc.), séchage et la transformation à proprement parlé (presse, assemblage, four).

Les coûts d'investissement liés à la transformation du bambou n'ont pas pu être estimés.

13.4.2 Coûts différés

Si l'on estima à 10% des coûts d'investissement les coûts d'entretien, les coûts différés pour l'extraction sont de l'ordre de 10 000 €/an.

13.4.3 Coûts évités

Le bambou peut être utilisé sous différentes formes. Les coûts évités, en termes de consommation d'autres types de matériaux ne peuvent donc être estimés.

Ecomatériau	Coûts d'inv.	Coûts différés	Coûts évités
Bambou (extraction, défibrage)	100 000 €	10 000 €/an	-

Figure 74 : Analyse macro-économique

Remarque : Les coûts d'investissements sont 15 fois inférieurs aux charges salariales annuelles associées à l'emploi des 50 personnes nécessaires pour extraire et défibrer la ressource en bambou vulgaris (50 personnes * 30 000 € = 1 500 000 €).

Le principal coût de la valorisation du *B. vulgaris* dans la construction est constitué par les charges salariales. Le prix de revient du mètre cube de bambou est alors de l'ordre de 100 €/m³.

13.5 Risques toxicologiques

Les principaux risques toxicologiques associés aux matériaux fabriqués à partir du bambou proviennent du traitement effectué pour en augmenter la durabilité.

Une attention particulière devra être apportée aux traitements pour améliorer la durabilité du bambou, en privilégiant les traitements naturels sans danger pour la santé et l'environnement.

L'APB envisage de s'appuyer sur l'expertise d'autres pays utilisant le bambou, pour mettre en œuvre un procédé de traitement naturel.

Hormis ce point, le bambou présente des avantages similaires au bois en termes de régulation de l'hygrométrie et de confort thermique. Il ne dégage pas non plus de substances nocives en cas de combustion.

13.6 Comportement face aux risques naturels et au climat

13.6.1 Comportement face aux risques naturels

Les modes de valorisation du *B. vulgaris* envisagés et présentés précédemment ne concernent pas de matériaux de structure, devant résister à des contraintes mécaniques fortes.

Il est néanmoins possible de construire en bambou de manière parasismique et paracyclonique (maisons Bambou Habitat, réalisées en bambou *G. angustifolia*). Certaines variétés de bambou présentent en effet des propriétés mécaniques tout à fait intéressantes.

Le bambou est ainsi 27% plus dur que le chêne rouge et 13% plus dur que l'érable (source : Goodfellow.com, espèce et variété non indiqués).

Soumis à des tests de compression, de cisaillement, de traction et de flexion, les bambous de construction (*Stenotachya*, *Guadua* en particulier) sont toujours plus - voire beaucoup plus - performants que le Douglas, bois de construction de référence (source : Génération Bambou).

Par ailleurs, de même que la construction en bois, la construction en bambou est légère, donc soumise à des contraintes moindres que la construction béton.

A propos de la valorisation du bambou *B. vulgaris* en ombrières, ou en tôles, la principale contrainte est le risque cyclonique, de même que pour les matériaux équivalents utilisés classiquement.

13.6.2 Confort et durabilité face au climat

La durabilité du bambou dépend de plusieurs facteurs : le choix des espèces, l'âge du chaume lors de la coupe, les techniques mises en œuvre et les traitements auxquels il a été soumis.

Le bambou est résistant aux termites (source : Génération Bambou) et à l'humidité.

13.6.3 Résistance au feu

Le bambou est plus résistant à la combustion que le chêne et le Douglas (source : Génération Bambou).

13.7 Impacts sur l'environnement

Le bambou est un matériau qui possède de nombreux atouts environnementaux :

- ✓ Renouvelable : ressource renouvelable la plus rapidement ;
- ✓ Bilan CO2 positif : fixation du carbone pendant la croissance, production et transformation peu énergivores (à moduler en fonction du type de valorisation) ;
- ✓ Matériau recyclable ou valorisable énergétiquement en fin de vie (à moduler en fonction des traitements chimiques éventuellement effectués) ;
- ✓ Impacts positifs sur les sols (source : Génération Bambou) : améliore l'infiltration de l'eau, limite l'érosion, restaure les sols appauvris ;
- ✓ Culture ne nécessitant pas d'engrais et de traitements phytosanitaires.

Il existe cependant un certain nombre de points sur lesquels une attention particulière doit être apportée, pour que le bambou ait effectivement un impact positif sur l'environnement :

- Production durable (labels FSC, PEFC)
- Extraction respectueuse de l'environnement et du paysage
- Traitements et colles utilisés
- Fin de vie
- Origine du bambou

En effet, afin que l'impact environnemental de l'utilisation du bambou dans la construction soit effectivement faible, il s'agit de valoriser le bambou local et non d'en importer.

13.8 BILAN : Forces – faiblesses – opportunités – menaces

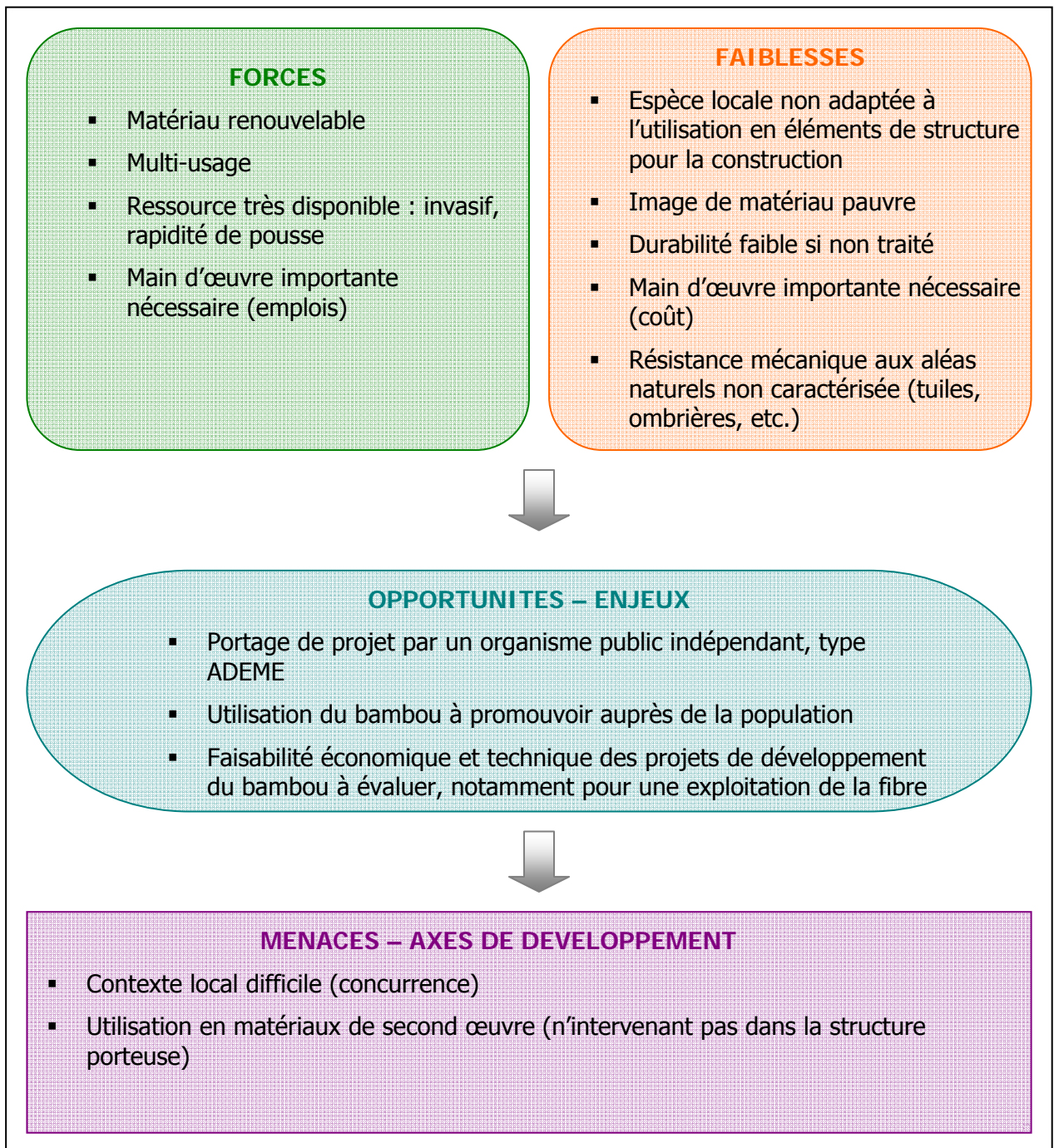


Figure 75 : AFOM Ecomatériau : bambou *Bambusa vulgaris*

14 BILAN

Le tableau suivant propose un bilan global des écomatériaux présentés dans ce rapport selon quatre critères :

- **Environnement**
 - ✓ Consommation d'énergie et d'eau pour la fabrication, impact environnemental, devenir du matériau en fin de vie
- **Développement local**
 - ✓ Gisement local, filière existante, fabrication locale
- **Propriétés**
 - ✓ Durabilité, caractéristiques techniques, nocivité, aptitude à l'utilisation en Martinique
- **Economie**
 - ✓ Coûts de production et de mise en œuvre du matériau

La valeur des critères est notée suivant l'échelle suivante :

Positif	Plutôt positif	Neutre, ou manque de données	Plutôt négatif	Négatif
2	1	0	-1	-2

Nom	NOTE PAR CRITERE				Economie	-2	Légende : Evaluation des critères -2 : négatif ; -1 : plutôt négatif ; 0 : Neutre ou manque de données ; 1 : plutôt positif ; 2 : positif
	Environnement	Développement local	Propriétés	Economie			
Bois de construction	Eau-énergie : 1 Impact : 1 Fin de vie : 1	Gisement local : 2 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	Durabilité : 0 Nocivité : 1 Adaptation locale : 2	Coûts de production : -2 Coûts de mise en œuvre : -1	-2		
Bardages et palissades en bois locaux	Eau-énergie : 2 Impact : 1 Fin de vie : 2	Gisement local : -1 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	Durabilité : 1 Nocivité : 2 Adaptation locale : 2	Coûts de production : -1 Coûts de mise en œuvre : -2	-2		
Terre crue et fibres de bananier	Eau-énergie : 2 Impact : 2 Fin de vie : 1	Gisement local : 2 Fabrication locale : 2 Filière existante : -1	Durabilité : 1 Nocivité : 2 Adaptation locale : 1	Coûts de production : 1 Coûts de mise en œuvre : -2	-1		

NOTE PAR CRITERE						Légende : Evaluation des critères -2 : négatif ; -1 : plutôt négatif ; 0 : Neutre ou manque de données ; 1 : plutôt positif ; 2 : positif
Nom	Environnement	Développement local	Propriétés	Economie		
Isolant à base de ouate de cellulose	Eau-énergie : 1 Impact : 2 Fin de vie : 1	1 Gisement local : 2 Fabrication locale : 2 Filière existante : -2	1 Durabilité : 1 Nocivité : 0 Adaptation locale : -1	0 Coûts de production : -1 Coûts de mise en œuvre : 1	0	
Isolant à base de fibres de bois	Eau-énergie : 1 Impact : 1 Fin de vie : 1	1 Gisement local : 0 Fabrication locale : 2 Filière existante : -2	0 Durabilité : 2 Nocivité : 0 Adaptation locale : 1	1 Coûts de production : -1 Coûts de mise en œuvre : 1	0	
Isolant à base de fibre de coco	Eau-énergie : 1 Impact : 1 Fin de vie : 1	1 Gisement local : 0 Fabrication locale : 2 Filière existante : -2	0 Durabilité : 2 Nocivité : 0 Adaptation locale : 2	1 Coûts de production : -2 Coûts de mise en œuvre : 1	-1	
Tuiles en bois mahogany	Eau-énergie : 1 Impact : 1 Fin de vie : 1	1 Gisement local : 2 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	2 Durabilité : 2 Nocivité : 1 Adaptation locale : 2	2 Coûts de production : -2 Coûts de mise en œuvre : -1	-2	
Couverture en feuilles de palmier	Eau-énergie : 2 Impact : 2 Fin de vie : 2	2 Gisement local : 0 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	1 Durabilité : -1 Nocivité : 2 Adaptation locale : 0	0 Coûts de production : 1 Coûts de mise en œuvre : -2	-1	
Toiture végétale en feuilles de canne	Eau-énergie : 2 Impact : 2 Fin de vie : 2	2 Gisement local : 0 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	1 Durabilité : 2 Nocivité : 2 Adaptation locale : 0	0 Coûts de production : 0 Coûts de mise en œuvre : -2	-1	
Bambou local (B. vulgaris)	Eau-énergie : 1 Impact : 1 Fin de vie : 1	1 Gisement local : 2 Fabrication locale : 2 Filière existante : 1	2 Durabilité : 1 Nocivité : 1 Adaptation locale : 1	1 Coûts de production : -1 Coûts de mise en œuvre : -2	-2	

Par ailleurs, les échanges avec les différents experts interrogés nous permettent de faire les **recommandations** suivantes :

- ✓ Les porteurs de projets doivent au plus tôt dans leur démarche intégrer les prescripteurs de matériaux (i.e. architectes, bureaux d'étude, artisans), afin d'évaluer et assurer un débouché commercial à leur produit ;
- ✓ Assurer le financement du projet, en particulier pour la phase de labellisation et certification.

Enfin, les **partenaires pour le développement économique et l'innovation en Martinique** suivants pourront être contactés dans le cadre du développement d'une filière écomatériaux en Martinique :

- ✓ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (**ADEME**) Martinique
- ✓ Agence pour le Développement Economique de la Martinique (ADEM) (accompagnement à la création et au développement des entreprises)
- ✓ **Technopôle Martinique**, Communauté d'Agglomération du Centre et Est Martinique (CACEM) (animation de réseau et soutien à l'innovation)
- ✓ Association Martiniquaise pour la Promotion de l'Industrie (**AMPI**)
- ✓ Chambre de Métiers et d'Artisanat de Martinique (**CMA**)

15 ACTEURS RENCONTRES

Les coordonnées des personnes interrogées dans le cadre de cette étape de l'étude, ainsi que les principales conclusions des échanges, sont présentées en annexe.

16 BIBLIOGRAPHIE

16.1.1 **Ouvrages, études, rapports**

- ACERMI, Association pour la Certification des matériaux isolants, www.acermi.com
- ADEME, mai 2010. Guide ECODOM + Version Antilles françaises. Disponible en ligne sur <http://www.martinique.ademe.fr/images/193Guide%20Ecodom+.pdf>
- ADEME 2011. *Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France*. Etude réalisée par Fibres Recherches Développement, Clément MEIRHAEGUE.
- ADEME Guyane, mai 2010. *Guide des matériaux – Performances environnementales des bâtiments, Catalogue des matériaux et équipements*. 104 p.
- ADEME Guyane, 2010. *Règlementation thermique en Guyane, Guide pratique et exemple de mises en œuvre*
- ADEME Martinique, novembre 2009. *Guide sur la Qualité Environnementale des Bâtiments aux Antilles (QEBA)* 520 p.
- ADEME Réunion, mai 2009. *Guide des matériaux performants pour la Construction à La Réunion*. <http://www.envirobat-reunion.com/spip.php?article74>
- ADEME/ITCF, 1998. *Etude Agrice : Les cultures ligno-cellulosiques et herbacées pour la production de biomasse à usage non alimentaire*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Institut Technique des Céréales et des Fourrages <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=29871&p1=00&p2=08&ref=12441>
- ADIL, Eco Energies, Info Energie. Une isolation plus saine, conseils, fiches matériaux.
- AFIBAD, 2010. *Le travail de la fibre*. Christophe RELOUZAT, Association Fibres Insertion et BAmbou pour le développement. 10p.
- AFPS, 2004. *Constructions parasismiques des Maisons Individuelles aux Antilles – Guide CP-MI Antilles*. Agence Française de génie ParaSismique.
- Agence Locale de l'Energie de l'agglomération lyonnaise, 2009. *Performances et isolation*
- AGRESTE Rhône-Alpes Données, 2011. *La récolte de bois et la production de sciages en 2009 en Rhône-Alpes et dans ses départements*. N°9, mars 2011. 16p
- AMIS DE LA TERRE, décembre 2010. *Intégrer les écomatériaux dans les constructions et réhabilitations de logements sociaux - Guide à destination des organismes d'habitat social* 24p.
- ARANCON R., APCC, Jakarta. Proceedings of the Symposium on Natural Fibres, 63-70. *Coir fibre in Asia*
- ARER, Agence Régionale Energie Réunion, V3, 46p, janvier 2010. *Guide des solutions techniques RT DOM-2009*.
- BRGM, 1980. *Inventaire des argiles à usage industriel en Martinique*, par J.F. Allard, M. Morio, H. Vasselin. Consultable au BRGM à Fort-de-France.
- BRISSON Nadine, LEVRAULT Frédéric. 2007-2010. *Livre vert du projet Climator « Changements climatiques, agriculture et forêt en France : simulation d'impacts sur les principales espèces »*
- Canne Progrès, 2007. Guide de fertilisation, Partie 1, « La canne à sucre : botanique, cycle, récolte, nutrition », 2007. http://www.canne-progres.com/publications/pdf/guide_fertilisation_1.pdf
- CAUE de la Martinique. 2011. *Construction écologique : quelques définitions, fiche pratique construction*, n°25, CAUE, 2p.
- CAUE Martinique. 2011. *Construire bioclimatique à la Martinique, fiche pratique construction n°23*, 6p.

- CD2E, 2008. *Guides de choix Ecomatériaux : isolation, menuiseries, peintures, plaques, bardage bois, gros œuvre, revêtement sols.*
- CETE IDF, juin 2010. Pierrick Esnault, Yasmine Commin, Antoine Vannini. *Les écomatériaux dans l'aménagement et la construction en Ile de France – Contribution à leur caractérisation, catalogue et potentialités de développement de filières.* 156p.
- Chambre d'agriculture Martinique, 2007. Fiche technique CANNE A SUCRE. Disponible en ligne sur http://www.martinique.chambagri.fr/fileadmin/ca972/service/Fiches_techniques/Canne_%C3%A0_sucre.pdf. Décembre 2007
- CIRAD, TROPIC® 7, base de données et fiches techniques sur les essences tropicales et tempérées, en ligne sur <http://tropix.cirad.fr/index.html> (consultation le 27 juin 2012). Pin des Caraïbes, Cocotier, Mogno (Mahogany)
- CMA Alpes Maritimes, janvier 2011. Chambre de Métiers et de l'Artisanat. Guide régional des matériaux éco-performants. 77p.
- CMA Région Centre, Chambre de Métiers et de l'Artisanat, 2011. *Guide des écomatériaux pour les artisans : Pourquoi les choisir ? Comment les utiliser ?* 44p + fiches techniques 22p.
- CNRS Centre de Recherche sur les Macromolécules Végétales ÉGÉTALES, Jordi Reguant & Marguerite Rinaudo, 1999. *Etude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale* 1/09/98 - 31/05/99
- CoCoMaN, Methode Machine Works, *Coconut Coir Processing Machines*, catalogue A <http://www.coconutmachine.com>
- Coconut Development Board, *Package of Practices* <http://coconutboard.nic.in/>
- COMPRENDRECHOISIR.com, MM. Fragos et Trouilleux, 2012. *Le guide de l'isolation.* Editions ComprendreChoisir.com. 198 p.
- CRATerre : GARNIER, Philippe ; HOUBEN, Hugo ; RIGASSI, Vincent. 1996. *Blocs de terre comprimée : équipements de production* (Guide Série Technologies No. 5)
- CRATerre, 2011. Bilan 2011 de l'équipe CRATerre – ENSAG
- Centre de Ressources des Technologies pour l'Environnement (CRTE), Luxembourg, 2008, Guide de la Construction et de la Rénovation Durables, *Isolants* Partie B.2.2, Vol 2 et *Isolant à base de fibre de coco*, B2.2.1. Vol 2. <http://www.crtib.lu>
- CSTB, août 2009. *Développement de l'usage du bois dans la construction – Obstacles réglementaires et normatifs bois construction* 40p.
- CSTB 2011. *Avis Technique 20/11-231. Procédé d'isolation thermique par soufflage sur planchers de combles perdus.*
- CTBG (Centre Technique des Bois de Guyane), septembre 2002. *Les bois de Guyane en structure* http://ctbg.cirad.fr/infos_techniques_en_ligne/bois_de_guyane_en_structure
- CTBG, CIRAD, 2007. *Le marquage CE des produits bois destinés à la construction.* 8p. Document disponible sur le site <http://ctbg.cirad.fr>
- CTBG, CIRAD, juillet 2007. *Maîtres d'ouvrage, Osez Construire en Bois !.* 24p.
- DEAL Martinique. *Construction de logements. Les logements autorisés à la Martinique entre 2006 et 2010*
- ECIMA, association des producteurs de ouate de cellulose. <http://www.ecima.net>
- EDF Martinique, Offre ISOL'EKO, <http://martinique.edf.com/particuliers/les-offres-eko/isol-eko-48967.html>
- FCBA Institut Technique pour FIB&CO, 2012. *Evaluation environnementale des plaquages GreenBlade®.* Février 2012. 59p (dont annexes)

- Gérard J., Baillères H., Fournier M., Thibaut B.. 1995. Qualité du bois chez les Eucalyptus de plantation. *Bois et Forêts des Tropiques* (245) : 101-117.
- GHAZALI M. J., C. H. Azhari, S. Abdullah & M. Z. Omar, 2008. *Characterisation of Natural Fibres (Sugarcane Bagasse) in Cement Composites*. Proceedings of the World Congress on Engineering 2008 Vol II
- GIPEBLOR, ADEME, CRIBOIS, 2006. *Valorisation actuelle des produits connexes de la Filière Bois Forêt en Lorraine – Situation actuelle et perspectives*.
- Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques, 1986. *Le Cocotier - Production et mise en œuvre dans l'habitat*.
- Groupement Technique Français contre l'Incendie (GTFI), informations sur les techniques d'ignifugation. Groupe de travail « textile» www.gtfi.org
- IFN, 2009. *Inventaire par cartographie des espaces forestiers et naturels de la Martinique* http://www.ifn.fr/spip/IMG/pdf/IF23_DOM_web-2.pdf
- Institut Technique du Chanvre (ITC), 2007. "Le Chanvre Industriel" Guide Technique, Édition ITC, 31 pages.
- KHAMSOUK Bounmanh, *Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à halloysite)*. Thèse soutenue le 28 juin 2001. ENSA MONTPELLIER
- KONAN J. L., Z S. SIE, Koffi YOBOUET, Kouassi ALLOU, Koffi A. YAO & Assolou N. ZAKRA. Caractérisation agromorphologique d'une nouvelle génération d'hybrides de cocotiers Grands (Cocos nucifera L.) en Côte d'Ivoire. *Sciences & Nature* Vol.6 N°2 : 163 – 169
- KRAEMER Gilles, 2001. *Le groupe France-Antilles. De la voie de la France à l'expression de l'outre-mer*.
- LA FILIERE BOIS ET FORET EN GUYANE, <http://www.guyane-bois.net> essences associées aux différents types d'usage
- LANGBOUR P. et al. 2011. *Comparison of wood properties of planted big-leaf mahogany (swietenia macrophylla) in Martinique island with naturally grown mahogany from Brazil, Mexico and Peru*. Journal of Tropical Forest Science 23 (3) : 252-259 (2011).
- LE GABION, 2000. DOCUMENT TERRE : Briques de terre comprimée.
- LE GABION. Fiche « Brique d'adobe »
- LE GABION. Fiche « Pisé »
- Les Défis Ruraux, mars 2009. *Le bois énergie en Haute-Normandie : Les ressources en bois déchet agricole*. 2p.
- MEDDTL, DGALN, janvier 2011. *La nouvelle RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1er mai 2011*.
- MERZOUZ M., HABITA M.F., 2008. *Elaboration de composite cimentaire à base de diss « Ampelodesma Mauritanica »*. Afrique SCIENCE 04(2) (2008) 231 - 245
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE, 2006. *Etude des caractéristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie*. Septembre 2006. 102 p.
- MUKHOPADHYAY S., FANGUEIRO R., ARPAC Y., ŞENTÜRK U., 2008. Banana Fibers – Variability and Fracture Behaviour. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Volume 3, Issue 2. p39-45.
- NGUYEN T.T. et al. 2010. Effect of compaction on mechanical and thermal properties of hemp concrete. EJECE. Volume 14 – No. 5/2010, pages 545 to 560
- NOZAHIC V., AMZIANE S., 2012. *Vers des bétons de chanvre à hautes performances mécanique*. Clermont Université, Institut Pascal, Polytech'Clermont-Ferrand. Non publié.
- OLIVA JP, RIGASSI V, A VON KUGELGEN, B.GUILLOT, R.LACORTIGLIA, 2004. *Construire en respectant l'environnement en zone périphérique du Parc National des Ecrins*.

- ONF Martinique, juillet 2011. *Rapport de Gestion Durable 2010*.
- ONF Martinique, 2011. *La filière bois et le Mahogany grandes feuilles (Swietenia macrophylla) - Etat des lieux 2011 – Martinique*. 4p
- OUATECO, fabricant Français de Ouate de Cellulose <http://www.ouateco.com>
- OUATITUDE, 2011. *Ouate de cellulose. Construire une filière en Languedoc-Roussillon*.
- PREFECTURE DE LA REGION MARTINIQUE, 2006. *Schéma Départemental des Carrières de la Martinique*
- PRIORITERRE, Information et Conseil Energie Eau Consommation, juillet 2007, *Isolation : Classification des matériaux*
- PROLEA CETIOM 2011. Chanvre industriel 2011. 4 p.
- Puech J., 6 avril 2009. *Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois*. Rapport remis à Monsieur Nicolas Sarkozy Président de la République
- UICN, 2008. Soubeyran, Y. (Coord.). *Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. Etat des lieux et recommandations*. Collection Planète Nature. Comité français de l'UICN, Paris, France. Disponible en ligne sur <http://especes-envahissantes-outremer.fr/>
- J. SARKI S.B. Hassan, V.S. Aigbodion, J.E. Oghenevweta, 2011 *Potential of using coconut shell particle fillers in eco-composite materials* Journal of Alloys and Compounds, pp. 2381–2385.
- SCOP KEJAL *Création d'une unité de fabrication de ouate de cellulose*.
- SINGH, R.H. (Ph.D), Seepersad, G. (Ph.D), Rankine, L.B. (Ph.D). CARICOM Regional Transformation Programme for Agriculture, janvier 2008. *The Regional Coconut Industry, Industry Development Strategy*.
- SIVARAJA M., et al. 2010. *Study on durability of natural fibre concrete composites using mechanical strength and microstructural properties*. Bull. Mater. Sci., Vol. 33, No. 6, December 2010, pp. 719–729.
- SOFRED, 2012. *Approfondissement d'un projet « PMI ». Zoom : Unité de production ouate de cellulose*
- SOPREMA 2011. *Déclaration Environnementale et Sanitaire conforme à la norme NF P 01-0.10. Isolant Univercell Confort*.
- SYNERGILE, Journée Technique et Scientifique du 9 février 2011. *Matériaux durables, matériaux innovants pour l'habitat – pistes de recherche, développement et applications*.
 - Programme
 - GREEN INGENIERIE : Fiche Technique et Fiche de Données de Sécurité ISOLGREEN panneaux
- UAG, Laboratoire « Chimie des Matériaux - Connaissance et Valorisation » (COVACHIMM)
 - *Study of banana and coconut fibers : Botanical composition, thermal degradation and textural observations (2007)* K. Bilba, M-A. Arsene and A. Ouensanga. Bioresource Technology, 68 (1), 58-68. En ligne sur <http://www.docin.com/p-204144755.html>
 - Cristel Onésippe, Nady Passe-Coûtrin, Fernando Toro, Silvio Delvasto, Ketty Bilba, Marie-Ange Arsène, 2010. *Sugarcane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 41, Issue 4, April 2010, Pages 549–556
 - M-A ARSENE et al., 2007. *Chemically and thermally treated vegetable fibres for reinforcement of cement-based composites. Materials and manufacturing Processes. 22 : 214-227*
- WAFER R.P., 2010. L'adobe, une solution durable pour la construction d'habitations écologiques dans une zone a forte activité sismique comme le Chili. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Québec, Canada.
- W.H. Zhu, B.C. Tobias, R.S.P. Coutts, G. Langfors, 1994. Air-cured banana-fibre-reinforced cementcomposites. *Cement and Concrete Composites* Volume 16, Issue 1, 1994, Pages 3–8

16.1.1.1 Autres références (non consultées)

- ANGER R., FOTNAINE L., 2009. *Bâtir en Terre. Du grain de sable à l'architecture*. Editions Belin. 13 octobre 2009. 224p.
- GUILLAUD H., HOUBEN H., CRATerre, DETHIER J. 2006. *Traité de construction en terre*. Editions Parenthèses. 355p.

16.1.2 **Base de données en ligne**

- **CD2E.** 2006. BDEM Base de données des éco-matériaux, http://www.cd2e.com/eco_materiaux/recherche/accueil
- **CTFT Centre Technique Forestier Tropical Guyane** Fiches techniques d'une vingtaine d'essences guyanaises http://ctbg.cirad.fr/fiches_techniques
- **CSTB** Base de donnée sur les matériaux ayant obtenu une évaluation (Avis Technique, ATEC, ou Document Technique d'Application, DTA)
- **EcoInvent** (Suisse) <http://www.ecoinvent.ch/> Version publique www.ecobau.ch pour les matériaux de construction et rénovation
- **FDES** Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires <http://fdes.fr/>
- **GRECAU**, Ecole Nationale d'Architecture de Toulouse et Bordeaux, Citemaison : (<http://www.citemaison.fr/scripts/bibliotheque-materiaux.php>)
- **GreenSpec**, Informations sur les produits de construction « écologiques » et leur utilisation www.greenspec.co.uk
- **Hespul**: isolation d'une habitation – Choix des matériaux http://www.renovation-ecologique.org/pdf/isolation_choix%20materiaux_juill08.pdf
- **Information sur les Impacts Environnementaux et Sanitaires (INIES)** : BD nationale sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux de construction gérée par le CSTB. <http://www.inies.fr/>
 - Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des Produits de construction réalisées de façon volontaire par les fabricants de matériaux ou leurs syndicats professionnels au format de la norme NF P01-010
- **NaturePlus** Base de données sur les écomatériaux labellisés NaturePlus www.natureplus.org - [produits](http://www.natureplus.org)
- **PRIORITERRE** (2007) - Classification des matériaux http://www.prioriterre.org/pages_fr/103/telechargement-fichier.html
- **RESOBAT, ENVIROBAT**, Base de connaissances **ENVIROBOITE** <http://enviroboite.net/> et site <http://www.renovation-ecologique.org/>
- **TROPIX® 7**, Les principales caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales, Développée par l'UR Production et valorisation des bois tropicaux et méditerranéens du CIRAD. <http://tropix.cirad.fr/> Fiches sur les bois d'Amérique du Sud : <http://tropix.cirad.fr/ame.html>

Brevets

- Brevet d'invention : Procédé de traitement de fibres végétales naturelles, en vue notamment d'une utilisation de ces fibres pour l'isolation des bâtiments. Déposé le 12 décembre 2002 par la SARL VALANGA
- Bases de données :
 - INPI : Institut National de la Propriété Industrielle