



UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

**VALORISATION DE LA BIOMASSE-ENERGIE EN HAITI :
ANALYSE DE LA SITUATION ET PERSPECTIVES
D'AMELIORATION**

Promoteur : Professeur GERIN Patrick

**Mémoire présenté par
ONESIAS Gup-pens
en vue de l'obtention du diplôme
de Master en Sciences
et Gestion de l'Environnement**

Juin 2009

**VALORISATION DE LA BIOMASSE-ENERGIE EN HAITI : ANALYSE DE LA
SITUATION ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION**

Avant-propos

La réalisation de ce travail a été rendu possible grâce à l'intérêt que j'ai manifesté pour la résolution des problèmes environnementaux dans le monde et particulièrement en Haïti, mais aussi grâce à la collaboration de certaines personnes et institutions qui m'ont accompagné et m'ont soutenu tout au long du trajet.

Ainsi, mes pensées les plus reconnaissantes vont-elles à toutes ces personnes et institutions qui m'ont rendu possible ce travail. D'une manière spéciale, je veux remercier :

- Agence Universitaire de la Francophonie, qui a financé mes études de maîtrise.
- Professeur Patrick GERIN qui m'a accueilli avec mon travail et m'aidant à mieux le concevoir et le structurer, du début jusqu'à la fin.
- Professeur Marie-Paule KESTEMONT pour sa parfaite collaboration.

RESUME

La biomasse est considérée comme une source d'énergie renouvelable. Toutefois son exploitation doit être réalisée avec rationalité et bonne adéquation pour ne pas porter atteinte à l'environnement. En Haïti, il y a une inadéquation de l'exploitation de cette ressource à fin énergétique conduisant à une dégradation très poussée du patrimoine forestier. L'objectif de ce travail a été d'analyser les différentes formes de valorisation des ressources de biomasse en Haïti pour en faire ressortir l'impact sur l'environnement et de faire des recommandations pour la valorisation d'autres sources de biomasses valorisables autres que le bois. L'analyse a révélé que les technologies utilisées pour la consommation du bois et charbon de bois en Haïti sont les plus médiocres et les plus traditionnelles qui existent, occasionnant un énorme gaspillage des ressources ligneuses. Ce gaspillage énergétique a occasionné une hausse de la demande conduisant à la dégradation spectaculaire de l'environnement, qui elle même conduit à la pauvreté de la masse paysanne. La filière de la biomasse en Haïti est laissée à la libre entreprise de la classe pauvre et majoritairement analphabète, ce qui justifie son traditionalisme. Sa dispersion et son caractère informel constitue une entrave pour toute possibilité d'innovation technique visant à améliorer les technologies. Le bois-énergie est prohibé par les législations haïtiennes, mais ces lois ne sont jamais d'application. Par ailleurs, il existe d'autres ressources de biomasses en Haïti qui peuvent constituer un grand intérêt, comme la bagasse de canne à sucre qui pourrait générer plus de 131.250.000 KWh d'électricité et aussi les déchets ménagers des villes, dont les neufs plus grandes villes pourraient générer plus de 67.342.500 m³/ an de méthane.

Mots-clés : Faiblesse technologique, gaspillage de ressources bioénergétiques, dégradation de l'environnement, Pauvreté paysanne.

Abstract

Biomass is regarded as a renewable energy source. However, its exploitation must be realized with rationality and good adequacy to not attack the environment. In Haiti, the exploitation of this resource for energetic purposes is not adequate, leading to a very thorough degradation of the Forests. The objective of this work was to analyze the various forms of valorization of the biomass resources in Haiti, to emphasize their environmental impacts and to make recommendations for the valorization of biomass resources other than wood. The analysis revealed that the conversion technologies used for wood and charcoal in Haiti are the poorest and most traditional that exist, which causes an enormous wasting of woody resources. This energy wasting caused a rise of the demand, leading to the spectacular degradation of the environment, which in turn is leading to the poverty of the agricultural work force. The biomass sector in Haiti is left to the free enterprise of the poor and often illiterate class what justifies his traditionalism. Its dispersion and informal character represents an obstacle to any possibility of technical innovation aiming at improving technologies. Wood-energy is prohibited by the Haitian legislations, but these laws are never applied. There exist other biomass resources in Haiti which can present major interest, as the sugar cane bagasse which can be able to generate more than 131.250.000 kWh of electricity and also organic municipal wastes of the cities, including the nine largest cities being able to generate more than 67.342.500 m³/year of methane.

Key words: Technological weakness, wasting of the bioenergetics resources, environmental pollution, farmer Poverty.

Sommaire

| | |
|---|----------|
| Résumé..... | iv |
| Liste des tableaux et figures..... | ix |
| Liste des acronymes..... | x |
| I-INTRODUCTION..... | 1 |
| 1.1-Mise en contexte..... | 1 |
| 1.2-Problématique..... | 1 |
| 1.3-Objectif du mémoire..... | 2 |
| 1.4-Hypothèse..... | 3 |
| 1.5-Démarches méthodologiques..... | 3 |
| 1.6-Limites de l'étude..... | 5 |
| 1.7- Présentation d'Haïti..... | 5 |
| 1.7.1- Situation géographique..... | 5 |
| 1.7.2- Relief..... | 6 |
| 1.7.3- Climat et végétation..... | 6 |
| 1.7.4- Situation socio-économique..... | 6 |
| 1.7.4.1- Agriculture..... | 6 |
| 1.7.4.2- Démographie..... | 7 |
| 1.7.4.3- Ressources naturelles..... | 7 |
| II-CONVERSION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE..... | 8 |
| 2.1- Biomasse-énergie..... | 8 |
| 2.1.1- Quelques biomasses spécifiques et leur composition chimique..... | 8 |
| 2.1.1.1- Le bois..... | 8 |
| 2.1.1.2- Les pailles..... | 9 |
| 2.1.1.3- La bagasse de canne-à-sucre..... | 9 |
| 2.2- Les différentes technologies de conversion énergétique de la biomasse..... | 10 |
| 2.2.1- La valorisation thermochimique de la biomasse..... | 10 |
| 2.2.1.1- Combustion..... | 10 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.1.1.1- Définition | 10 |
| 2.2.1.1.2-Principaux paramètres influençant la combustion de la biomasse | 11 |
| 2.2.1.1.3- Quelques technologies de la combustion de la biomasse au niveau domestique..... | 12 |
| 2.2.1.1.3.1.- Les foyers domestiques traditionnels | 12 |
| 2.2.1.1.3.2- Les cuisinières à bois et charbon de bois | 13 |
| 2.2.1.1.4- Brève présentation des technologies de la combustion de la biomasse au niveau industriel..... | 15 |
| 2.2.1.1.4.1- Les chaudières à bois | 15 |
| 2.2.1.2.- La gazéification..... | 17 |
| 2.2.1.3- La Pyrolyse /carbonisation | 20 |
| 2.2.2- La valorisation biochimiques de la biomasse | 21 |
| 2.2.2.1.-La bio méthanisation ou fermentation méthanique | 21 |
| 2.2.2.1.1- Principe de fonctionnement de la bio méthanisation..... | 22 |
| 2.2.2.1.2- Description du procédé de bio méthanisation | 24 |
| III- LES DIFERENTES UTILISATIONS DE LA BIOMASSE-ENERGIE EN HAITI | 25 |
| 3.1- Le bois de feu dans les foyers traditionnels | 26 |
| 3.2- La consommation du charbon de bois | 26 |
| 3.3- La consommation du bois dans les petites et moyennes entreprises (PME)..... | 27 |
| 3.4- La consommation de la bagasse dans l'industrie de canne à sucre | 29 |
| IV- LES IMPLICATIONS SOCIALES DE LA FILIERE DU BOIS-ENERGIE EN HAITI..... | 31 |
| 4.1- Qui sont charbonniers en Haïti ? | 31 |
| 4.2- La commercialisation du charbon de bois en Haïti | 32 |
| 4.3- La fabrication et commercialisation des cuisinières à charbon de bois | 33 |
| 4.4- Les législations sur le bois-énergie en Haïti | 34 |
| 4.5- Les impacts environnementaux et socio-économiques de l'utilisation de la biomasse-énergie en Haïti | 35 |
| 4.5.1- Conséquences écologiques | 35 |
| 4.5.2- conséquences socio-économiques..... | 36 |

| | |
|---|----|
| V- ANALYSE, INTERPRETATION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES | 37 |
| 5.1-Analyse et interprétation de la situation existante | 37 |
| 5.1.1- Le charbon de bois | 37 |
| 5.1.2- Le bois de feu | 39 |
| 5.2-Récapitulation de l'analyse de la situation existante | 41 |
| 5.3- Inventaires des ressources de biomasse disponibles et alternatives de valorisation | 42 |
| 5.3.1- La bagasse de canne à sucre | 42 |
| 5.3.2- Les déchets des villes | 43 |
| 5.4-Conclusion et recommandations | 44 |
| VI- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 46 |
| Annexe : calculs sur le potentiel de déchets ménagers biodégradables en Haïti | 50 |

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

| Tableau | Pages |
|---|-------|
| Tableau 1 : Répartition des pentes par rapport à la superficie d’Haïti..... | 6 |
| Tableau 2 : PCI indicatif de quelques types de combustible..... | 10 |
| Tableau 3 : Technologies actuelles de production d’électricité par combustion..... | 16 |
| Tableau 4 : Les différentes technologies de gazéification du bois | 19 |
| Tableau 5 : Ordre de grandeur de la production de méthane de certains substrats organiques dans la pratique. | 23 |
| Tableau 6 : Types d’énergies utilisés pour la cuisson dans les ménages en Haïti | 25 |
| Tableau 7 : Estimation de la consommation en bois des PME..... | 30 |

Figures

| Figures | Pages |
|--|-------|
| Figure 1 : Schéma du déroulement de l’étude | 4 |
| Figure 2 : Carte géographique d’Haïti | 5 |
| Figure 3 : Les cuisinières à charbon de bois fabriquées et utilisées en Haïti..... | 14 |
| Figure 4 : Les cuisinières à bois/ charbon de bois modernes | 15 |
| Figure 5 : Différentes technologies de valorisation du bois par gazéification..... | 18 |
| Figure 6 : Four traditionnel de fabrication de charbon de bois en Haïti..... | 21 |
| Figure 7 : Schéma de fonctionnement d’une installation de bio méthanisation | 24 |
| Figure 8 : Consommation en bois des PME en Haïti..... | 28 |

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de Maitrise de l'Energie

AFVP : Association Française Des Volontaires Du Progrès

BME : Bureau des Mines et de l'Energie d'Haïti

CARE: Catholic American Relief Everywhere

CNSA : Conseil National de Sécurité Alimentaire (Haïti)

ESMAP: Energy Sector Management Assistant Program

EDH: Electricité d'Haïti

MTPTC : Ministère des Travaux publics, Transport et Télécommunication

IHSI : Institut haïtien de Statistique et d'Informatique

MDE : Ministère de l'Environnement (Haïti)

MARNDR : Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (Haïti)

ONG : Organisation non gouvernementale

PCI : pouvoir calorifique inferieur

PME : Petites et Moyennes Entreprises

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

Chapitre I

I-INTRODUCTION

1.1-Mise en contexte

L'utilisation du bois de feu remonte de la nuit des temps, soit avec la découverte du feu par les hommes préhistoriques. Avec la sédentarisation, l'homme devint de plus en plus dépendant de cette énergie, utilisée pour la cuisson des aliments, pour chauffer leur habitation et pour la force motrice. Les anciennes civilisations purent voir le jour grâce à la recherche et la maîtrise de l'énergie. Ainsi, l'évolution des civilisations, passait-elle par la découverte et l'utilisation de nombreuses sources d'énergies comme le bois, le charbon de bois, le pétrole, pour ne citer que celles là. La vie de l'homme étant dépendante de l'énergie, il se met à la recherche et la consommation continue de cette dernière. Toutefois, l'utilisation de l'énergie par l'homme, même des sources dites renouvelables, n'est pas sans conséquences sur l'environnement.

1.2-Problématique

Beaucoup de pays en développement, dont Haïti, font face à une dégradation environnementale sans précédent, qui met en péril leur écosystème et la vie sociale de ses habitants. Cette dégradation de l'environnement passe principalement par une diminution considérable des ressources ligneuses, qui semble être le résultat d'une inadéquation de l'utilisation de ces ressources à des fins énergétiques.

Haïti, qui du temps de la colonisation Française fut appelé « la perle des Antilles » à cause de sa prospérité économique et sa couverture végétale, est actuellement le pays ayant le moins de couverture forestière dans les Caraïbes. Les forêts se dégradent à un rythme accéléré en passant de 20 % de couverture forestière en 1956 à environ 2 % de la superficie totale du pays de nos jours (Alter presse Haïti, 2004). La dégradation des forêts est tellement grave, que Magny (1991) finit par affirmer « qu'il s'agit d'une détresse écologique » tandis que d'autres parlent tout bonnement de désastre. Les prélèvements des ressources ligneuses se fait à un taux de 3 à 4 % supérieur à la productivité des formations forestières classent Haïti parmi les pays où a eu lieu la plus

grande conversion de la couverture forestière (FAO, 1999). Cet état de fait rend la situation environnementale du pays très déplorable.

Les ménages Haïtiens tirent actuellement plus de 71 % de leur énergie domestique dans des sources renouvelables : bois et charbon de bois (bureau des mines et de l'énergie Haïti, 1999). Ces formes de consommations basées principalement sur les combustibles ligneux font accroître la pression sur les forêts qui finissent par disparaître et laissent de côté d'autres sources de biomasse végétale qui pourraient être valorisées, mais qui constituent parfois des déchets.

Dans le contexte actuel de dégradation critique de l'environnement et de prélèvement annuel dépassant la productivité des peuplements forestiers, qui conduit à leur disparition, différents secteurs du pays (gouvernement, privé et parapublic) assistés de plusieurs institutions internationales, régionales ou bilatérales, se sont concertés, ces récentes décennies, pour trouver des alternatives durables pouvant réduire l'utilisation massive du bois et charbon de bois. Les alternatives envisagées sont basées surtout sur le remplacement des réchauds traditionnels à charbon de bois par d'autres à gaz (butane, GPL, méthane) (YOUNG et ALTIDOR, ANGUELIER, BME/EDH/MTPTC, 1997, 2005,2008).

Compte tenu du poids de l'importation des combustibles fossiles, vu la situation socio-économique du pays et le problème crucial que pose la gestion des déchets dans le pays, de nombreuses questions se posent sur la possibilité de réduire la consommation de la biomasse ligneuse en utilisant d'autres procédés de valorisation de la biomasse en complément de l'approvisionnement en énergie fossile.

1.3-Objectif du mémoire

Objectif principal

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les différentes formes de valorisation énergétique de la biomasse végétale en Haïti et leurs impacts sur l'environnement, et de proposer des alternatives pour une meilleure valorisation des ressources disponibles.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

Etudier la performance des différents procédés d'utilisation de la biomasse en Haïti ;

Faire ressortir les différents secteurs de la population impliqués dans la transformation et la commercialisation des produits forestiers à fin énergétique en Haïti ;

Analyser la législation sur la biomasse en Haïti ;

Faire des recommandations pour la valorisation des ressources de biomasse disponibles en Haïti.

1.4-Hypothèse

Cette étude se déroule autour de l'hypothèse suivante:

La dégradation environnementale d'Haïti est provoquée par une consommation excessive des ressources ligneuses qui résulte d'une utilisation de technologies mal adaptées pour la valorisation de ces ressources.

1.5-Démarches méthodologiques

Cette étude s'est effectuée suivant une analyse bibliographique divisée en trois phases :

D'abord, une première phase, au cours de laquelle des documents sur la valorisation énergétique de la biomasse au niveau mondial ont été consultés en vue de mieux appréhender les différentes technologies de valorisation énergétique de la biomasse à travers le monde.

Ensuite une deuxième phase, au cours de laquelle nous avons consulté des documents sur la consommation de la biomasse-énergie en Haïti et les implications environnementales de cette filière. Pour bien appréhender cette filière, de nombreux documents ont été consultés, tels que: des études, des rapports, des livres, et particulièrement des publications du bureau des mines et de l'énergie d'Haïti.

Enfin, au travers des documents consultés, nous avons dégagé les implications environnementales et socio-économiques de la filière de consommation de biomasse-

énergie en Haïti, y compris les différents textes de lois qui la réglementent. Cela nous a permis de dégager de nouvelles perspectives pour une meilleure valorisation des ressources de biomasse non valorisées ou mal valorisées dans certains cas. La figure 1 présente schématiquement le déroulement de l'étude.

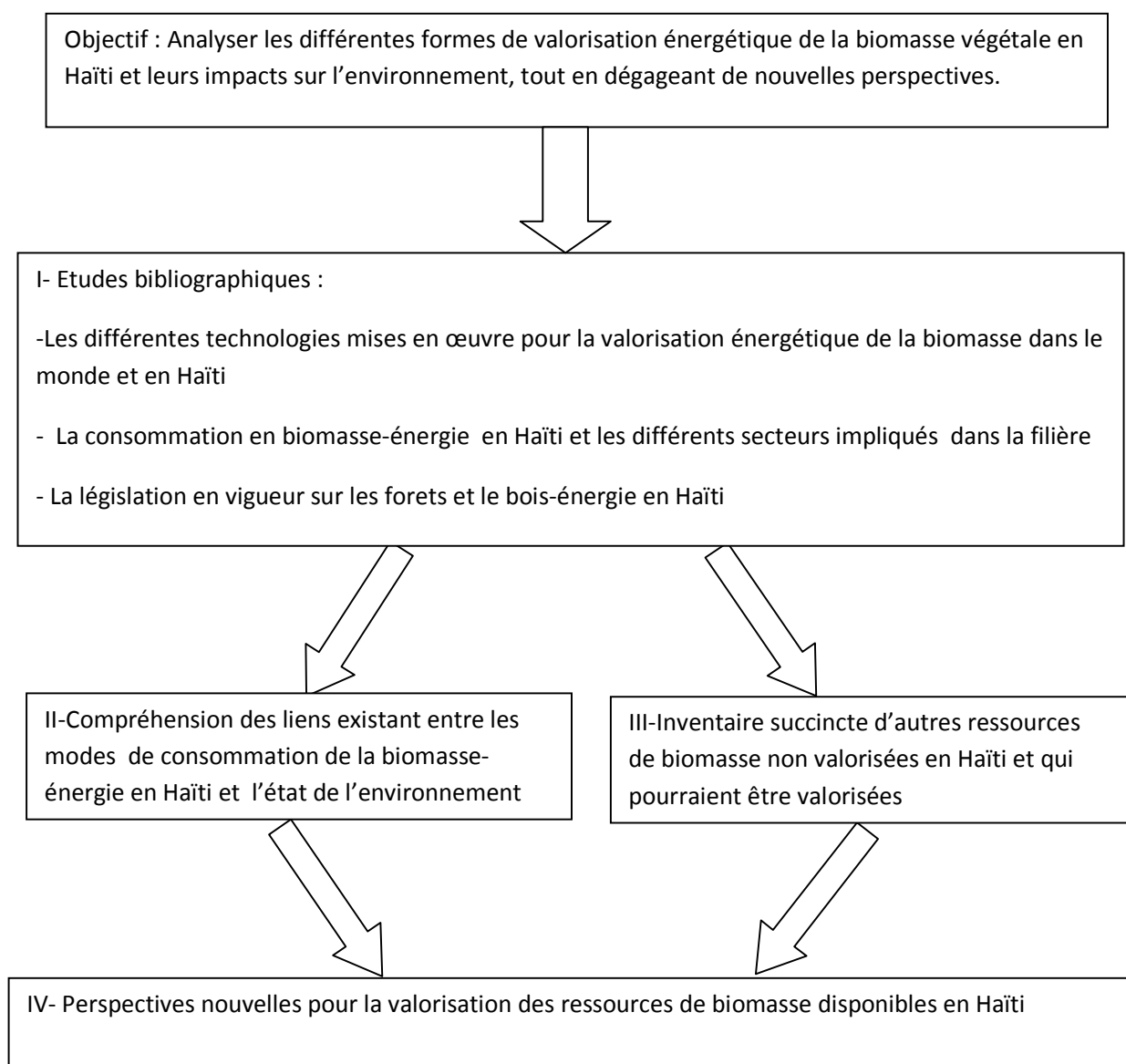


Figure 1 : Schéma du déroulement de l'étude

1.6-Limites de l'étude

Par fautes de données plus récentes nous avons utilisé beaucoup de données de 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 etc. Ce manque de données récentes est du au fait qu'à cause de la situation socio-économico-politique du pays, les études ne se réalisent que rarement ou à des intervalles très irrégulières. De ce fait, nous avons utilisé notre bon sens et notre connaissance de la réalité pour sélectionner et traiter les données.

1.7- Présentation d'Haïti

1.7.1- Situation géographique

La république d'Haïti est située dans la région des caraïbes. Elle partage l'île d'Haïti avec la république Dominicaine dont elle occupe la partie occidentale. Elle est bornée au nord par l'océan atlantique, à l'ouest et au sud par la mer des caraïbes et à l'est par la république Dominicaine. Sa superficie est de 27 750 Km² et sa capitale économique-politique est la ville de Port-au-Prince. La figure 2 présente la carte géographique d'Haïti.



Figure 2 : carte géographique d'Haïti

1.7.2- Relief

Le relief d'Haïti est très accidenté, avec une prédominance de montagnes d'environ 75 % du territoire. Le tableau 1 présente la répartition des pentes par rapport à la superficie du pays.

Tableau 1 : répartition des pentes par rapport à la superficie du Pays

| Classe de pentes | Superficie en Km ² | Pourcentage du territoire |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0-10 % | 8.085 | 29.1 |
| 10-20% | 2.166 | 7.1 |
| 20-40% | 2.755 | 10 |
| >40 % | 14.744 | 53.13 |

Source : MDE, 1999

1.7.3- Climat et végétation

On retrouve une forte variabilité climatique en Haïti à cause du pourcentage élevé de montagnes. Le climat est généralement tropical dans les plaines et la tendance observée dans les montagnes est de type subtropical. La précipitation varie de 400 mm dans les basses plaines sèches et de plus de 2000 mm dans les plus hautes altitudes. La température varie généralement de 15°C à 35°C (MDE, 1999).

La végétation est fortement variée, nonobstant sa dégradation spectaculaire de ces dernières décennies. Environ « 16 types de couvertures végétales sont observés en Haïti, dont 6 intéressent directement ou indirectement le secteur forestier » (PNUD, 1998).

1.7.4- Situation socio-économique

Haïti est l'un des pays les plus pauvres des caraïbes. Plus de la moitié de la population survit dans une situation très dégradante.

1.7.4.1- Agriculture

L'agriculture haïtienne est caractérisée par un morcellement accéléré des terres et une surpopulation dans les campagnes qui occasionnent une dégradation accrue des sols. Plus de la moitié des agriculteurs cultivent de petites parcelles de terres dispersées dans l'espace ne dépassant pas 2ha. C'est une agriculture d'autosubsistance dominée par la

polyculture, parfois pratiquée sur des pentes très raides. Les principales cultures sont par ordre d'importance : le maïs, le sorgho, la canne à sucre, le riz, la banane (figue banane et plantain), l'haricot, le « pois Congo », l'igname, l'arachide, le café, le cacao, le tabac...etc.

Les cultures les plus souvent cultivées en monocultures sont par ordre d'importance : la canne à sucre, le riz, la banane et exceptionnellement l'haricot et l'arachide d'arrière saison.

À cause d'un manque de politique d'aménagement du territoire, la majeure partie des plaines cultivables du pays sont actuellement de grands chantiers de construction. L'industrie agroalimentaire est très peu développée et les pertes post récoltes sont énormes avoisinant parfois les 40 % pour certaines denrées (CNSA/MARNDR, 2007). Ceci rend encore plus vulnérable la situation économique du paysan Haïtien.

1.7.4.2- Démographie

Le dernier recensement qu'a connu Haïti, en 2003, a révélé une population de 8.31 millions d'habitants avec un taux de croissance annuelle d'environ 2.3 %. Plus de 50 % de la population est âgée de moins de 21 ans, soit l'une des populations les plus jeunes de l'Amérique latine (IHSI, 2003).

1.7.4.3- Ressources naturelles

Les ressources minières sont très peu exploitées en Haïti. La plupart des gisements identifiés jusqu'à ce jour concernent de la bauxite, de l'or, de l'argent, du cuivre, du Carbonate de calcium, du soufre, du marbre, de la pouzzolane, du jaspe et du lignite. (BME, 2009).

Chapitre II

II-CONVERSION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE

2.1- Biomasse-énergie

La biomasse est constituée par l'ensemble des végétaux, des animaux et des déchets qui leur sont associés.

Du point de vue énergétique, le terme biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant être utilisées comme des sources d'énergie.

L'existence d'une forte variabilité de la composition de la biomasse favorise le développement de différentes technologies pour sa valorisation énergétique. Ces différentes technologies développées sont basées principalement sur la composition chimique qui elle-même confère des caractéristiques énergétiques spécifiques à cette biomasse.

Partant de la composition chimique de la biomasse, on distingue deux grandes catégories de biomasses énergétiques :

- ✓ Les biomasses humides peu lignifiées, qui ont généralement un contenu énergétique faible, donc ne peuvent pas être directement utilisées comme combustible. Elles peuvent être utilisées grâce aux procédés biochimiques qui permettent de les transformer en biogaz capable d'être valorisé énergétiquement.
- ✓ Les biomasses sèches qui sont constituées principalement de composés lignocellulosiques et qui ont un taux d'humidité inférieur à 20%. C'est la catégorie la plus adaptée à une valorisation thermochimique.

2.1.1- Quelques biomasses spécifiques et leur composition chimique

2.1.1.1- Le bois

La composition du bois varie en fonction de l'essence considérée. D'une façon générale, on admet qu'il est constitué de :

- 40-50 % de cellulose
- 30-40 % de lignine
- 10-20 % d'hémicelluloses (CHRISTOPHE et al., 1981).

Le bois représente la forme de biomasse la plus adaptée à la valorisation thermochimique. En fait, plus le contenu en lignine d'une biomasse est élevé, plus son PCI¹ est élevé, plus elle est adaptée à la valorisation thermochimique.

2.1.1.2- Les pailles

Les pailles sont essentiellement les tiges et feuilles de céréales dépouillées de leurs grains. Elles comprennent environ 30 % de cellulose et une quantité de matières organiques volatiles d'environ 60% (BRUN et APPERT, 1983).

2.1.1.3- La bagasse de canne-à-sucre

La bagasse de canne est la partie ligno-cellulosique qui reste dans le moulin après l'extraction du jus de canne. Elle est composée de :

- 22% de lignine
- 38% de cellulose
- 19% d'hémicellulose
- 2-3 % de cendres (CHRISTOPHE et al., 1981)

En dépit du taux de cendre plus ou moins élevé, la bagasse présente un intérêt pour la valorisation thermochimique. Elle a un PCI non négligeable par rapport à celui du bois, comme le montre le Tableau 2.

¹ Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est la quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exception de la chaleur latente de vaporisation de l'eau présente dans les fumées.

Tableau 2 : PCI indicatifs de quelques types de biomasse (Adapté de Crehay, marchal, 2004)

| Combustible | PCI (MJ/Kg) |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Pétrole | 41,850 |
| Bois anhydre | 18,4 |
| Bois à 20 % d'humidité | 13,9 |
| Bagasse de canne | 9,6 à 15,1 |
| Méthane biologique | 20 à 28 MJ/m ³ biogaz |
| Méthane naturel | 36 MJ/m ³ gaz naturel |
| Gaz pauvre des gazogènes | 5 MJ/m ³ gaz de gazogène |
| Lignite | 28,248 |
| Balle de riz | 12,1 à 16,7 |

2.2- Les différentes technologies de conversion énergétique de la biomasse

2.2.1- La valorisation thermochimique de la biomasse

Beaucoup de technologies existent pour convertir l'énergie que contient la biomasse sèche en chaleur utile ou en électricité. Nous traitons dans ce travail de la combustion, la gazéification et la carbonisation.

2.2.1.1- Combustion

2.2.1.1.1- Définition

La combustion est le moyen le plus simple pour la récupération de l'énergie contenue dans la biomasse. Elle libère directement la chaleur contenue dans la biomasse, tandis que les autres voies de valorisation fonctionnent suivant le principe de convertir la biomasse en un vecteur énergétique plus facilement stockable ou transportable et dont la transformation finale en énergie utile est effectuée à un autre moment et à un autre endroit.

C'est une réaction redox, exothermique réalisée grâce à la combinaison de trois éléments, un combustible (soit du bois), un comburant (le dioxygène...) et une énergie d'activation (quantité d'énergie nécessaire pour initier la réaction).

La combustion du bois fut utilisée jusqu'au 18^e siècle comme la principale source d'énergie dans le monde. La crise pétrolière de 1973 a favorisé de grandes améliorations dans ce domaine. Ces améliorations concernent surtout l'amélioration du rendement des appareils et aussi l'élargissement des ressources utilisées dans la combustion. Actuellement la combustion utilise outre que le bois, la bagasse, les pailles, les coques d'arachides etc. (CHRISTOPHE et al., 1981).

Le processus de combustion comprend plusieurs phases (Crehay et Marchal, 2004) :

- Le séchage : l'eau résiduelle contenue dans la biomasse est évaporée à cause de la chaleur du foyer,

- Pyrolyse : La chaleur dégagée par le foyer décompose les constituants de la biomasse en gaz et en fines gouttelettes de goudrons qui se vaporisent. La majorité de ces composées sont combustibles.

- La combustion des gaz : Les gaz qui s'échappent de la pièce de biomasse se combinent rapidement à l'oxygène et brûlent.

- Combustion du résidu carboné : après que les gaz se sont dégagés, le résidu carboné brûle. Plus la pièce de biomasse est de dimension importante, plus ces quatre phases se chevauchent.

2.2.1.1.2-Principaux paramètres influençant la combustion de la biomasse

a) L'air

Contrairement aux autres voies thermochimiques, la combustion se réalise avec un excès d'air. L'air est nécessaire à deux niveaux :

- Pour brûler le résidu carboné et les gaz au niveau du lit : l'air primaire

- Pour brûler les gaz combustibles au dessus du lit : l'air secondaire

La régulation de la quantité d'air injectée dans le foyer est très importante, car elle influence grandement le rendement de la combustion. Il faut injecter une quantité d'air suffisante pour assurer la combustion complète des gaz.

Cependant, un trop grand excès d'air conduit à une baisse de rendement et à des émissions d'imbrûlés (Crehay et Marchal, 2004).

b) L'humidité de la biomasse

L'eau consomme beaucoup d'énergie pour son évaporation. Donc, plus la biomasse est humide, plus son PCI est faible. En effet, l'introduction d'une biomasse trop humide dans le foyer va provoquer une baisse de la température de la chambre de combustion et par conséquent, une mauvaise décomposition thermique de la biomasse. De plus, la vapeur d'eau augmente considérablement le volume des gaz combustibles et également leur vitesse de passage. À cause de cette augmentation de la vitesse de passage des gaz, ils ont moins de temps pour se combiner avec l'oxygène de l'air pour être brûlés (Crehay et Marchal, 2004).

c) Dimension et la nature de la biomasse

Plus la biomasse est coupée en fine morceau, plus la surface de contact est élevée et plus facilement se dégagent les gaz de décomposition. Il en va de même pour les essences végétales très poreuses. Ces deux caractéristiques ont une grande influence sur la vitesse de combustion. Par contre, lorsque le combustible est trop fin, comme dans le cas de la sciure, la combustion se réalise avec beaucoup de difficultés, car la circulation d'air ne peut pas se faire correctement (Crehay et Marchal, 2004).

2.2.1.1.3- Quelques technologies de la combustion de la biomasse au niveau domestique

2.2.1.1.3.1.- *Les foyers domestiques traditionnels*

Ce sont des foyers à bois qui sont essentiellement utilisés pour la cuisson de la nourriture. Ces foyers sont construits généralement avec trois pierres arrangées de façon supporter correctement la casserole contenant les aliments. La combustion directe du bois dans ces foyers traditionnels, se fait totalement à l'air libre. En Haïti, le rendement de combustion dans ces foyers traditionnels peut avoisiner les 10% (Saint Jean, 2001).

Par ailleurs, il est à souligner que le rendement de combustion d'un appareil chauffant est considéré comme le rapport entre la quantité potentielle de chaleur contenue dans le combustible et la quantité produite par l'appareil pour l'utilisation voulue.

Les pertes de chaleur varient principalement avec les particules non entièrement consommées restant dans les cendres, les particules non entièrement consommées qui partent avec le gaz de combustion dans les cheminées et également d'une quantité de la chaleur résiduelle des gaz de combustion qui s'échappe.

Dans ces foyers traditionnels, les pertes de chaleur varient principalement avec la force du vent. De ce fait, une amélioration du rendement peut être obtenue en construisant un four en argile permettant de limiter la dispersion de la chaleur par le vent.

2.2.1.1.3.2- Les cuisinières à bois et charbon de bois

Il existe des cuisinières à charbon de bois et également des cuisinières à bois et charbon de bois.

❖ Les cuisinières à charbon de bois les plus traditionnelles sont généralement conçues avec une grille métallique portée par un trépied métallique. Cette grille est une plaque convexe et percée de plusieurs trous au fond permettant d'évacuer les cendres de la combustion. La casserole de cuisson est déposée sur le charbon de bois mis en combustion exactement sur la grille. Ces cuisinières traditionnelles procurent un rendement de combustion d'environ 20% (SAINT-JEAN, 2001). Ce sont ces modèles de cuisinières qui sont utilisés par les ménages haïtiens pour assurer la cuisson du plat quotidien. Les pertes de chaleurs enregistrées sont dues essentiellement par le passage non contrôlé du vent en dessous de la grille et également du fait que les trous d'évacuation des cendres laissent passer un peu de charbon incandescent. Ainsi, pour améliorer le rendement de combustion de ces cuisinières traditionnelles, fallait-il ajouter à la grille, un tambour ayant la forme d'un cylindre avec un fond de forme convexe comportant également une porte retenue par des charnières, comme le montre la Figure 3. La porte est de forme rectangulaire, située dans la partie médiane du cylindre et permet de contrôler l'entrée de l'air. Ces cuisinières améliorées procurent un rendement de combustion allant de 30 à 50% (BME, 2003).

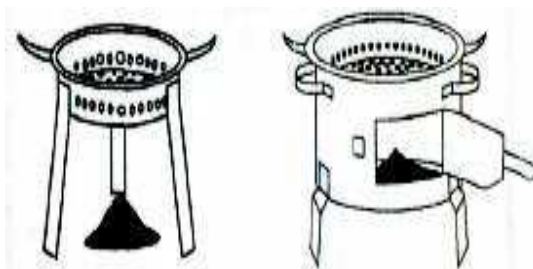


Figure 3: Les cuisinières à charbon de bois fabriquées et utilisées en Haïti

Source : Tassy, 2009

❖ Les cuisinières à bois/charbon de bois modernes sont constituées de plaques chauffantes faites en fonte, fer ou acier reposant sur une boîte métallique plus ou moins rectangulaire contenant une chambre de combustion et d'une porte fermant la chambre de combustion. Les cuisinières simples sont équipées d'un foyer recouvert souvent de briques réfractaires, d'une vanne d'isolement et permettent grâce une plaque chauffante et à un four, la cuisson des aliments et également le chauffage quand c'est nécessaire. Ces cuisinières peuvent assurer la combustion du bois ou du charbon de bois et peuvent atteindre un rendement de combustion d'environ 50 à 70%².

Dans une cuisinière à bois classiques, la chaleur diffusée pour la cuisson est véhiculée par les gaz de combustion qui réchauffent la plaque de cuisson et le four, comme le montre la Figure 4.

Il existe aussi des cuisinières à bouilleur ou cuisinières chaudières ayant plus ou moins les mêmes caractéristiques que les cuisinières simples, mais contenant un bouilleur leur permettant d'être raccordées à un réseau de chauffage central et ou chauffer un ballon d'eau chaude. Les modèles les plus évoluées contiennent des arrivées d'air multiples permettant un meilleur contrôle de la combustion. Leur rendement de combustion avoisine les 70%. Ces modèles de cuisinières peuvent facilement être adaptées pour les presses à vapeur des blanchisseries en leur ajoutant une installation à partir de la vanne d'isolement contenant un disconnecteur, une soupape thermique alimentation-décharge avec sonde, une vanne de remplissage permettant d'alimenter le ballon d'eau chaude³.

² http://www.costic.com/fileadmin/user_upload/6-Telechargements/Cuisinieres_a_bois.pdf

³ http://www.costic.com/fileadmin/user_upload/6-Telechargements/Cuisinieres_a_bois.pdf



Figure 4: Cuisinière à bois et charbon de bois moderne

Source : <http://www.natureetfeu.fr/Cuisiniere-a-bois-Sogno-Decorata.html>

2.2.1.1.4- Brève présentation des technologies de la combustion de la biomasse au niveau industriel

2.2.1.1.4.1- *Les chaudières à bois*

Ce sont des installations dans lesquelles la combustion est destinée à produire de la vapeur d'eau qui sera employée comme vecteur pour la production de chaleur ou pour faire tourner une turbine qui entraîne un alternateur produisant ainsi de l'électricité. Ces chaudières de capacité variable de quelques kilowatts à des mégawatts peuvent être utilisées pour le chauffage, la production d'électricité et également pour faire fonctionner les presses à vapeur des blanchisseries. Les modèles les plus évoluées sont les chaudières turbo, équipées d'une turbine qui introduit l'air de combustion ou d'un extracteur qui aspire les fumées. Elles sont très performantes, procurent des rendements de combustion allant jusqu'à 90% (ADEME, 2008). En effet, le rendement des chaudières à bois dépend de leur mode de combustion et la manière dont l'air est entré dans le foyer : c'est le tirage. Ce tirage peut être naturel ou forcé à l'aide d'un ventilateur de type turbine, comme c'est le cas des chaudières turbo.

Différentes technologies se sont développées pour la production d'électricité par combustion du bois dans les chaudières, comme le montre le Tableau 3.

Tableau 3 : Technologies actuelles de production d'électricité par combustion du bois (Crehay et Marchal, 2004 citant ADEME (2001))

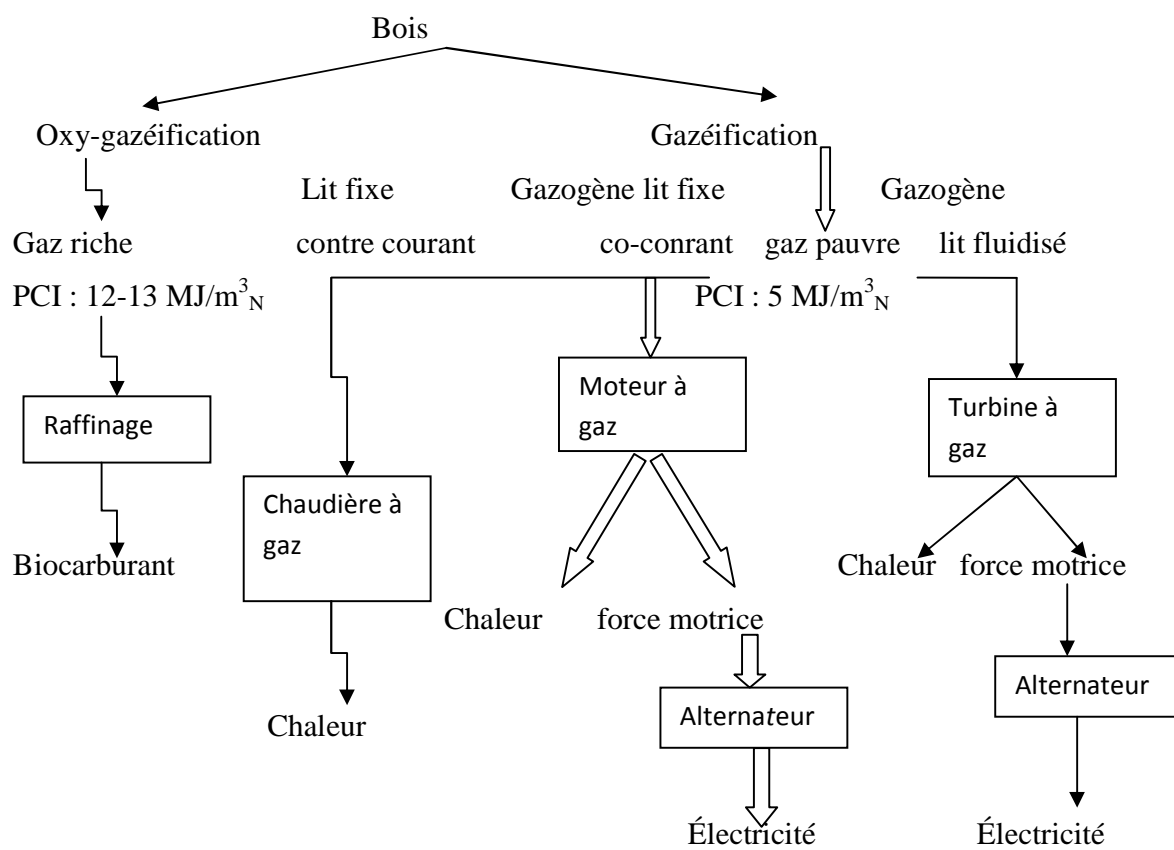
| | Puissance | Rendement électrique | Avantages | Inconvénients |
|----------------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| Turbine-vapeur à contre pression | À partir de 100 KW _{él} | -10 à 15 % en dessous de 5 MW _{él} -15 à 20 % au dessus de 5 MW _{él} | -Moins chère -Simplicité de conduite et d'entretien -Large gamme de puissance | -Faible rendement électrique |
| Turbine-vapeur à condensation | À partir de 500 KW _{él} | -15 à 20 % en dessous de 2 MW _{él} -20 à 30 % au dessus de 2 MW _{él} | -Rendement électrique élevé -Large gamme de puissance | -Rendement très tributaire de la charge en vapeur - coûts trop élevés, le rendant impossible à moins de 500 KW _{él} |
| Moteur à vapeur | De 120 à 1.500 KW _{él} | 15 à 20 % | -Plus performant que les turbines de faibles pression vapeur environ 30 bar -Rendement partiellement indépendant du régime | -Coût d'investissement et d'exploitation relativement élevé - Beaucoup de bruit et trace d'huile dans la vapeur |
| ORC | 300 à 1000 KW _{él} | 12 à 15 % | -Rendement électrique peu sensible à une variation du régime -Coût d'investissement et de maintenance faible | -Coût élevé et très peu utilisé |

2.2.1.2.- La gazéification

La gazéification consiste à transformer, à l'aide d'un oxydant, le bois ou le charbon de bois en un mélange gazeux. Ce mélange gazeux principalement de l'hydrogène, du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone, un peu d'eau et une quantité variable de goudrons. Le pourcentage de goudrons contenu dans le mélange dépend de la technologie utilisée. En fait, le goudron augmente le PCI du mélange gazeux (Crehay et Marchal, 2004).

L'utilisation des gazogènes présente pas mal d'avantages (CHRISTOPHE et al., 1981):

- Les gazogènes ne sont pas onéreux et sont très facile à utiliser
- Ils sont capables de valoriser des sous produits variés de l'agriculture (les pailles, les coques d'arachides, les tiges de « pois Congo » ...
- Les cendres qui en résultent peuvent être utilisés comme engrais potassique.
- Ils permettent d'obtenir des bénéfices dans des produits qui brûlent mal dans les chaudières (par exemple les pailles)
- Le gaz des gazogènes peut être utilisé à des fins diverses : ce gaz a été utilisé pendant la deuxième guerre pour faire avancer des voitures, il est actuellement utilisé pour la production de chaleur et d'électricité. La Figure 5 montre le schéma de fonctionnement d'un système de gazéification.



↪ : Technologies éprouvées mais économiquement peu rentables

→ : Technologies nécessitant encore des travaux d'optimisation

⇒ : Technologies matures et prouvées

Figure 5 : Différentes technologies de valorisation du bois par gazéification

Source : Adaptée de Crehay et Marchal, 2004

L'oxy-gazéification se réalise lorsque le bois est gazéifié avec de la vapeur. Le gaz produit est un gaz riche et peut être utilisé dans l'industrie chimique ou être raffiné pour l'utilisation comme biocarburant. Ces procédés ne sont pas encore arrivés à maturité industrielle (Crehay et Marchal, 2004).

La gazéification à l'air quant à elle, est un procédé beaucoup moins lourd et moins coûteux pour la mise en place. Elle produit du gaz pauvre utilisé pour la production de chaleur et d'électricité. Nous en distinguons des gazogènes à lit fixe co-courant et contre courant, lit fluidisé dense et lit fluidisé circulant (Crehay et Marchal, 2004). Le Tableau 4 présente les principales technologies de gazéification.

Tableau 4 : Principales technologies de gazéification du bois (Adapté de Crehay et Marchal, 2004)

| Gazogènes | Avantages | Inconvénients |
|-------------------------|---|---|
| Lit fixe co-courant | <ul style="list-style-type: none"> -Simple de construction -Simple de construction -Taux conversion élevé et gaz relativement propre | <ul style="list-style-type: none"> -Nécessité d'un combustible homogène et de taille significative. -Installation limitée à 350 Kw_{el} -Combustible à faible humidité -Coût de maintenance élevé |
| Lit fixe contre courant | <ul style="list-style-type: none"> -Construction simple et robuste Rendement thermique élevé -Plus grande souplesse vis-à-vis de l'humidité du combustible | <ul style="list-style-type: none"> -Faible température du gaz à la sortie et risque de condensation -Gaz chargé en goudron inadapté à la production d'électricité |
| Lit fluidisé dense | Construction relativement simple et opérationnelle | <ul style="list-style-type: none"> -Taille minimale pour être économique : 20Mw_{el} -Taux de particules élevé et taux de goudrons moyenne à élevé dans le gaz |
| Lit fluidisé circulant | <ul style="list-style-type: none"> -Grande tolérance par rapport au combustible (taille, type, humidité...) -Taux de goudrons modéré dans le gaz | <ul style="list-style-type: none"> -Taille minimale pour être économique : 20Mw_{el} -Taux de particules élevé dans le gaz |

Les gazogènes à lit fixe co-courant procurent un rendement technique d'environ 75%. Dans la pratique, avec un moteur à gaz utilisant le gaz des gazogènes, 1Kg de bois anhydre produit 1,25 KWh d'électricité (Crehay et Marchal, 2004).

Au final, les gazogènes présentent des avantages non négligeables, sont robustes et très peu sophistiqués. Ils peuvent être facilement utilisés en Haïti pour l'électrification rurale en valorisant des résidus agricoles comme la bagasse de canne-à-sucre, les résidus de pois Congo, sorgho etc.

2.2.1.3- La Pyrolyse /carbonisation

La pyrolyse consiste en une transformation chimique du bois, qui chauffé à l'abri de l'air à une température de 500 à 700° C donne des produits volatiles qui sont des gaz, du goudron pyrolique, de l'eau et laissant des résidus solides qui sont le charbon de bois (CHRISTOPHE et al., 1981).

Lorsque la pyrolyse est réalisée à une température inférieure à 500 °C, on parle de carbonisation. Elle consiste à soumettre le bois à des températures inférieures à 500°C, avec un temps de séjours plus ou moins long (quelques à des jours) et en présence d'une quantité très faible d'oxygène (Crehay et Marchal, 2004). Le charbon de bois ainsi formé est meilleur combustible que le bois, soit un pouvoir calorifique de 27 à 32 MJ/Kg pour une humidité de 10 à 1 %, presque deux fois supérieur à celui du bois dont il est issu. Pour réaliser la transformation du bois en charbon de bois, on apporte de la chaleur au bois. Dans les fours artisanaux de carbonisation, la chaleur est apportée par la combustion partielle du bois à traiter. Dans les systèmes modernes, « le bois est placé dans une enceinte close, chauffée de manière externe ou par circulation de gaz chaud ». Les procédés industriels continus de carbonisation de bois font recirculer les gaz chauds de la réaction de pyrolyse sur la charge du bois (Crehay et Marchal, 2004).

Le rendement massique⁴ de carbonisation est nettement supérieur dans le processus industriel que dans la production artisanale. Il peut varier de 40 % à une température de 400°C pour le processus industriel à 11% pour le processus artisanal. D'autres processus de carbonisation plus ou moins évolués dans certains pays en développement, comme les fours métalliques utilisés au Sénégal, procurent un rendement massique allant jusqu'à 35 % (Schenkel, Bertaux, Vanwijnsberge, Carré, 1997).

De façon la plus traditionnelle, le « fourneau de charbon » est constitué ainsi : les bois sont arrangés de façon à former un tas et recouverts de pailles puis de terre pour empêcher l'entrée de l'air. Des piquettes sont arrangées tout autour du lot de bois recouvert de pailles avec des branchages plus ou moins entrelacées pour supporter la terre qui recouvre le lot de bois, comme le montre la Figure 6 . Un trou est aménagé à

⁴ Rendement massique = masse de bois anhydre/masse de charbon produit

coté pour permettre de mettre le feu. Il sera fermé avec des brindilles puis de la terre au moment que le charbonnier aperçoit que le bois a pris feu. Dans ce processus, le rendement massique est d'environ 11% pour le jeune charbonnier qui n'a pas d'expérience, car les pertes sont énormes et dépendent de plusieurs facteurs ; entre autres : la patience du charbonnier qui doit mettre beaucoup de temps à surveiller la pénétration de l'air, l'essence végétale carbonisée, les soins après l'extinction du fourneau pour s'assurer que le charbon ne contient aucune étincelle de feu.



Figure 6: four traditionnel de fabrication de charbon de bois en Haïti

Source : BME, 1999

2.2.2- La valorisation biochimiques de la biomasse

La biomasse humide n'étant pas bien adaptée à la conversion thermochimique peut être valorisée énergétiquement grâce à certains processus biochimiques. Par processus biochimiques, on peut distinguer la fermentation méthanique et la fermentation alcoolique. Dans ce travail nous traitons uniquement de la bio-méthanisation.

2.2.2.1.-La bio méthanisation ou fermentation méthanique

La fermentation méthanique est appelée également digestion anaérobique parce qu'elle est similaire à la dégradation de la matière organique dans la panse des vaches. Ce processus de dégradation de la biomasse humide libère du compost et un mélange gazeux composé⁵ de 55 à 80 % de méthane et 20 à 45 % de CO₂.

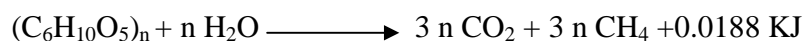
Elle est considérée comme un des procédés les plus écologiques pour la valorisation énergétique de la biomasse et ceci pour plusieurs raisons :

⁵ cours d'énergies renouvelables, UCL 2008-2009

- Elle est réalisée à une température plus ou moins basse ne dépassant pas 70°C. Donc, dans les pays chauds, avec une bonne isolation, on n'a pas besoin de chauffage externe pour le réacteur.
- C'est un procédé de dépollution, parce qu'elle permet de mieux gérer les déchets comme les eaux usées et d'autres déchets ménagers.
- Elle assure le recyclage de la matière organique en générant du compost en surplus du biogaz qui est récolté. Ce compost est utilisé en agriculture et permet d'apporter au sol les éléments qui lui étaient prélevés.
- Elle peut être utilisée à petite échelle, même à l'échelle d'une exploitation agricole et permettant à l'agriculteur de satisfaire ses besoin énergétique tout en générant des fertilisants pour son champs (CHRISTOPHE et al., 1981).

2.2.2.1.1- Principe de fonctionnement de la bio méthanisation

Cette fermentation est réalisée par des microorganismes anaérobies qui dégradent la cellulose de la biomasse en méthane et dioxyde de carbone suivant cette réaction:



Il est à souligner que la biomasse humide est composée d'eau et de matière sèche. La matière sèche quant elle est composée de matière minérale et de matière organique, dont seule la matière organique peut être transformée en méthane.

La fermentation se déroule généralement en trois phases plus ou moins distinctes :

- Une phase de liquéfaction : dans cette phase, la matière organique est fragmentée en molécules plus simples grâce à des enzymes et des bactéries puis ces molécules sont dissoutes dans l'eau pour être assimilables par les bactéries. En fait, la bio méthanisation est réalisée en milieu aqueux (90% d'eau environ).
- Dans la deuxième phase, la matière organique est hydrolysée et sert de nourriture à des bactéries acidogènes qui la transforment en acides. Ces acides sont ensuite soumis à l'action de bactéries cétoènes qui les transforment en acides acétiques.
- La dernière phase concerne l'action des microorganismes méthanogènes qui transforment les acides générés dans la phase précédente en méthane et gaz carbonique. C'est la phase la plus délicate puisque ces microorganismes ne tolèrent pas un milieu

acide, donc dans le cas d'un substrat trop acidifiant la fermentation méthanique peut être compromise.

Au final, plusieurs conditions doivent être respectées pour avoir une bonne fermentation méthanique :

- La matière organique doit contenir 85 à 90 % d'eau
- La cuve doit être étanche pour empêcher la pénétration de l'air
- La température du substrat doit être maintenue aux environs de 35°C
- Le substrat ne doit pas être acide. Il doit être légèrement alcalin soit à l'optimum un pH de 7,5
- Le contenu du réacteur doit être homogénéisé et maintenu à une température adéquate pour permettre un meilleur travail des microorganismes, car leur rôle est essentiel dans le processus.
- La durée doit être suffisante pour permettre la décomposition totale de la matière organique dans le réacteur.

Ce sont principalement ces facteurs qui influencent d'une certaines manières la production de méthane d'une installation. Le Tableau 5 présente un ordre de grandeur de la quantité de méthane produite par certains substrats organiques.

Tableau 5: Ordre de grandeur de la production de méthane de certains substrats organiques dans la pratique (cours d'énergies renouvelables (ENVI2007), UCL 2008-2009).

| Substrats | Matière sèche (%) TS | Matière organique VS (% TS) | Méthane produit m ³ / Kg VS |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---|
| Déchets verts | 20 – 50 | 90 | 0,1 - 0,3 |
| Herbe | 20 – 25 | 90 | 0,3 – 0,5 |
| Déchets alimentaires | 15 – 20 | 75 | 0,3 – 0,5 |
| Déchets organiques ménagers | 20 – 50 | 60 | 0,5 – 0,6 |
| Boues d'épuration | 4 – 10 | 60 | 0,1 – 0,4 |
| Pailles | 70 | 90 | 0,2 – 0,3 |

2.2.2.1.2- Description du procédé de bio méthanisation

Le procédé de bio méthanisation est composé d'une cuve qui est généralement enterrée pour limiter les pertes de la chaleur dans les parois et d'un ballon de stockage du biogaz produit.

Le biogaz produit peut être utilisé, entre autres, pour :

- Brûler dans un four assurant la cuisson des aliments, ou dans une chaudière pour le chauffage

- Pour produire de l'électricité, en utilisant un moteur à combustion interne à allumage commandé ou diesel adapté, procurant un rendement électrique de l'ordre de 30%.

- Pour l'alimentation du réseau gazier des villes moyennant une bonne épuration du biogaz et des investissements relativement importants.

La production d'électricité peut être rendue possible en se servant d'un moteur à combustion interne à allumage commandé ou diesel adapté procurant un rendement électrique de 30 %. La Figure 7 explique le procédé de bio méthanisation.

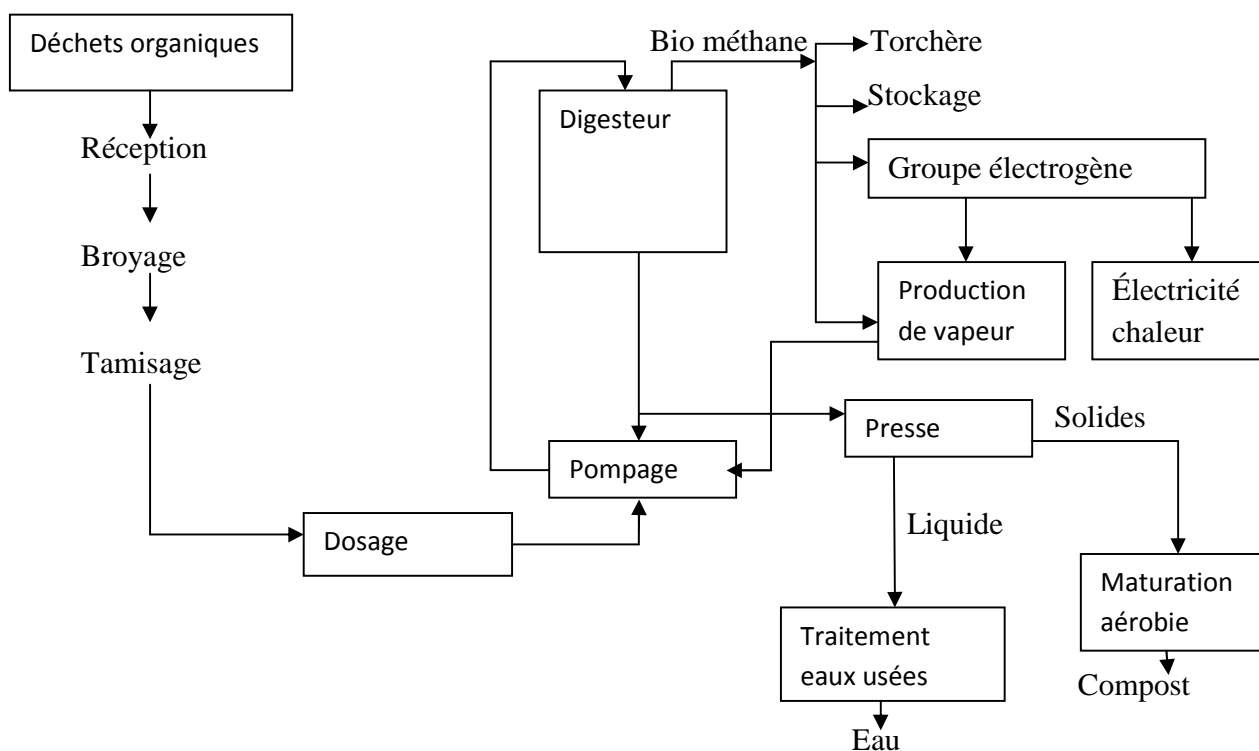


Figure 7 : schéma de base d'une installation de bio méthanisation

Source : Adapté des notes de cours d'énergies renouvelables (ENVI2007), UCL 2008-2009.

Chapitre III

III- LES DIFFÉRENTES UTILISATIONS DE LA BIOMASSE-ÉNERGIE EN HAÏTI

Quatre filières de consommation de la biomasse sont distinguées en Haïti : le bois de feu dans les foyers traditionnels, le bois de feu dans les PME, le charbon de bois dans les ménages urbains et la bagasse dans l'industrie de la canne à sucre.

Par ailleurs, le bois de feu et le charbon de bois constituent plus de 72 % de l'offre globale d'énergie primaire en Haïti (BME, 2001). Ils représentent la principale source d'énergie de cuisson des ménages Haïtiens. Selon l'institut Haïtien de statistique et d'informatique (2000), ils couvrent environ 95.2 % de l'énergie utilisée pour la cuisson des aliments dans les ménages, comme le montre le Tableau 6.

Tableau 6 : Les types d'énergies utilisés pour la cuisson dans les ménages en Haïti (IHSI, 2000),

| Energie pour la cuisson des aliments | Aire métropolitaine (%) | Autres zones urbaines (%) | Zones rurales (%) | Allure nationale (%) |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|
| Bois et charbon de bois | 84.6 | 97.8 | 98.1 | 95.2 |
| Kérosène | 1.9 | 0.5 | 0.8 | 1.0 |
| Propane | 13.3 | 1.0 | 1.0 | 3.6 |
| Électricité | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 |
| Autres | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.1 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

3.1- Le bois de feu dans les foyers traditionnels

Le bois de feu constitue la source principale d'énergie de cuisson dans le milieu rural haïtien, soit plus de 98 %. Ce type de consommation concerne essentiellement du bois et branchages morts récoltés dans les réserves boisées, des brindilles résultant de la production du charbon et également du bois issu du défrichage de nouvelles terres agricoles.

Dans des régions comme le nord-ouest d'Haïti où les formations végétales sont peu abondantes, les paysans pratiquent l'abattage des arbres y compris les arbres fruitiers pour trouver du bois de feu. Le bois devenu presque indisponible dans cette région et une situation économique très précaire poussent les paysans à pratiquer le dessouchage des arbres pour trouver du bois de feu et également pour fabriquer du charbon de bois. Cette situation est à la base d'une dégradation accélérée des sols dans cette région.

En 2003, la récolte de bois-énergie en Haïti était estimée à environ 5 millions de tonnes (BME, 2003). Dans ce total environ 40 %, soit environ 2.000.000 de tonnes, sont transformées en charbon de bois et tout le reste est consommé sous forme de bois de feu dans les ménages et les petites et moyennes entreprises. Cette récolte est d'environ 4 fois supérieure à la production des formations forestières qui s'évaluait à cette époque à environ 1.4 millions de mètre cube (BME, 2003).

La consommation du bois de feu par les ménages se fait avec les moyens les plus rudimentaires. Le bois est brûlé dans des foyers à « trois pierres » qui enregistrent des pertes de chaleur d'environ 90 % (SAINT-JEAN, 2001), soit un rendement de combustion de seulement 10 %.

3.2- La consommation du charbon de bois

La consommation annuelle du charbon de bois en Haïti était évaluée en 2000 par le bureau des mines et de l'énergie, à plus de 300.000 tonnes métriques. De ce total, plus de 70 % sont consommés dans la région métropolitaine de Port-au-Prince et le reste dans les villes de provinces. Le charbon de bois satisfait à lui seul plus de 26 % des besoins énergétique de la population. Il est essentiellement consommé par les ménages des villes (environ 80 % de la quantité de charbon de bois produite en Haïti) et les restaurants informels (les 20 % restant) (BME, 2003).

Selon Régis (2002), la consommation moyenne annuelle des ménages de Port-au-Prince est d'environ 939.5 Kg de charbon de bois.

Le charbon de bois est produit en Haïti avec un rendement massique très faible, soit de 20 % dans le meilleur des cas (BME, 2000). C'est-à-dire 5 Kg de bois, donnent environ 1Kg de charbon de bois dans les meilleures conditions de carbonisation traditionnelle du paysan Haïtien. D'autres sources parlent d'un rendement massique de seulement 10 à 15 % (ESMAP, 2007). Tandis que, les fours métalliques de carbonisation utilisés dans d'autres pays en développement procurent un rendement massique d'environ 35 %. D'autres pertes sont consenties lors du transport, avant d'atteindre la destination finale des grandes villes à cause de l'état critique des routes, surtout en saisons pluvieuses.

Quant aux appareils utilisés par les ménages et les restaurants informels pour la combustion du charbon, ils enregistrent des pertes en chaleur d'environ 80 %, c'est-à-dire un rendement de combustion de seulement 20 % (SAINT JEAN, 2001). Depuis 1997, des efforts d'améliorations des cuisinières traditionnelles ont été entrepris par le CARE Haïti et le BME et des cuisinières à charbon plus performantes (« réchauds miracles ») qui procurent un rendement de combustion d'environ 40% ont été mises sur le marché depuis les années 2000. Cependant, ces cuisinières améliorées sont très peu commercialisées par rapport aux réchauds traditionnels à plus bas rendement qui coûtent moins chers.

Le charbon de bois est essentiellement consommé par les gens les plus pauvres des villes puisque la classe la plus riche utilise surtout des réchauds à gaz. En fait, les gens les plus fortunés ont tendance à sortir de l'utilisation du charbon de bois. Selon SAINT JEAN (2001), environ 60 % des riches des villes n'utilisent pas le charbon de bois.

3.3- La consommation du bois dans les petites et moyennes entreprises (PME)

Les petites entreprises constituent une source non négligeable de consommation du bois. Selon les estimations du bureau des mines et de l'énergie d'Haïti, en 2003, les blanchisseries consomment annuellement entre 25.772 tonnes de bois, les boulangeries 156.000 à 208.000 tonnes, les « guildives » (usines traditionnelles de fabrication d'alcool) plus de 240.000 tonnes, les huileries essentielles (usines d'extraction d'huiles de vétivers...) plus de 50.000 tonnes. A coté de ces unités, d'autres entreprises comme

les cassaveries, les confitureries, les restaurants informels, les fours à chaux ont une consommation d'environ 20.000 tonnes. Les guildives et les boulangeries sont les plus grandes consommatrices de bois de feu dans cette filière, comme le montre la Figure 8.

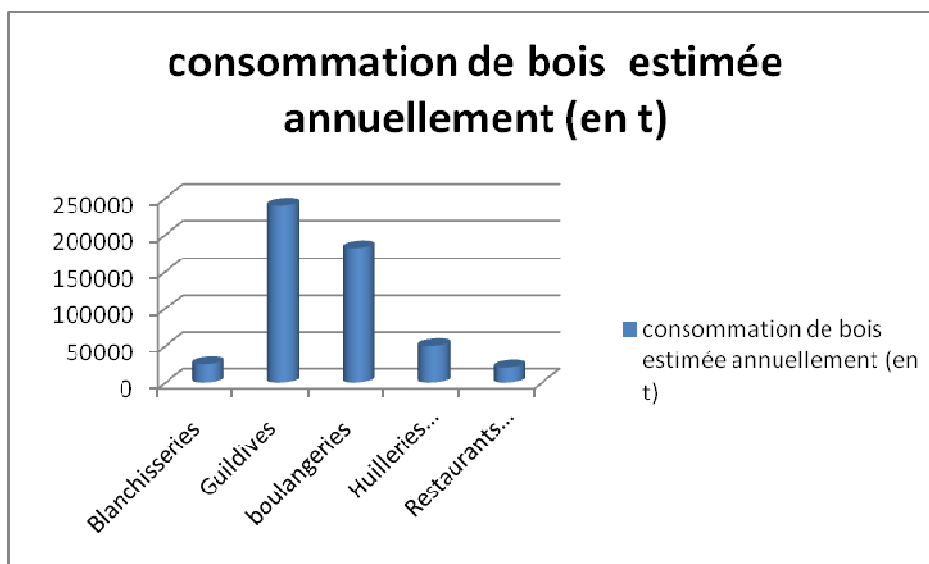


Figure 8 : Consommation en bois des petites et moyennes entreprises en Haiti

Ces micro-entreprises font une pression accrue sur les ressources ligneuses et ce qui est d'autant plus grave c'est le fait de brûler le bois avec les technologies les moins performantes.

La consommation du bois dans les guildives se fait avec un rendement de combustion ne dépassant celui des foyers traditionnels à trois pierres (environ 10 %). Les foyers de combustion du bois de ces entreprises sont constitués d'un four en béton ou en argile sur lequel repose la chaudière de distillation du jus de canne. Deux grandes imperfections sont à la base du mauvais rendement de combustion dans ces foyers (SAINT-DICK, 1999) :

-Etat défectueux et vétusté des chaudières de distillation

-Mauvaise qualité des foyers : la bouche du cendrier et de fourneau se confondent en un seul orifice ce qui provoque une mauvaise aération du four conduisant à une mauvaise combustion du bois.

Les boulangeries traditionnelles, utilisent des fours traditionnels qui donnent un rendement ne dépassant pas « 3 à 10 % dans le meilleur des cas » (BME, 2003). Le four utilisé par les boulangeries est une variation du four à briques utilisé en France aux XVIII^e siècle. Le pain est cuit grâce à la circulation de la chaleur de convection résultant de la circulation du gaz de combustion à l'intérieur du four. Les pertes de chaleur dans ces fours traditionnels proviennent de trois sources principales:

- Le mauvais contrôle de l'entrée d'air dans la chambre de combustion à cause de l'absence de portes,
- Cheminée mal conçue : la conception de la cheminée permet la sortie des fumées par l'entrée du four ou par la chambre de combustion,
- L'isolant de l'intérieur du four n'est pas adéquat.

A cause de ces différentes pertes, les boulangeries utilisent une quantité de bois supérieur à la quantité qui serait nécessaire.

Du côté des blanchisseries, la majorité d'entre elles utilisent du bois pour produire la pression nécessaire au fonctionnement de leur presse à vapeur. Les chaudières de fabrication locale, utilisées par les blanchisseries procurent une efficacité énergétique d'environ 25 %. Les pertes de chaleur enregistrées sont liées au fait que la porte de la chambre de combustion reste souvent ouverte lors de la combustion et également au quasi inexistence d'un bon système d'isolation (Moïse, 2003).

3.4- La consommation de la bagasse dans l'industrie de canne à sucre

La consommation de la bagasse a fortement décliné en Haïti avec la décadence de l'industrie de la canne à sucre. La culture de la canne-à-sucre est passée de 85.000 ha à 62.000 ha de 1975 à 1995 (Saint-Dick, 1999) et à seulement 44.000 ha actuellement (PIERRE, 2005).

La consommation de la bagasse dans les PME était estimée à 525.000 tonnes (SAINT JEAN, 1999). La bagasse était essentiellement consommée par les usines de production de sucre et certaines guildives de grandes tailles. Actuellement, il existe une seule usine produisant du sucre en Haïti (usine Jean Léopold Dominique) (Pierre, 2005), mais nous n'avons pas d'information concernant ses sources énergétiques. Le Tableau 7 présente une idée de l'utilisation de la bagasse dans les PME haïtiennes.

Tableau 7 : Utilisation de la Bagasse dans les PME, en Haïti (Saint-Dick, 1999).

| Type d'unité | Energie mécanique (broyage) | Energie thermi. (évap./distil.) |
|--|--------------------------------|------------------------------------|
| Petite guildive <i>dlo kan bouilli</i> | Animaux | Bois et bagasse |
| Petite siropterie | Animaux | Bagasse et bois |
| Moyenne siropterie | Gaz-oil | Bagasse et bois |
| Petite guildivessirop | | Bois |
| Petit atelier rapadou | Animaux | Bois ou bagasse |
| Moyen atelier rapadou | Gaz-oil | Bois ou bagasse |
| Petite guildive vesou | Gaz-oil | Bagasse |
| Moyenne guildive vesou | Bagasse - gaz-oil | Bagasse |
| Grosse guildive | Bagasse | Bagasse |

Commentaire : Selon Saint-Dick (1999), sur 5.612 ateliers de canne à sucre recensés en Haïti en 1997, 74 d'entre eux utilisent uniquement la bagasse, 5.100 utilisent la bagasse et partiellement le bois et les 438 autres unités les plus traditionnelles consomment plus de 98 % de la quantité de bois consommée dans cette filière.

Chapitre IV

IV- LES IMPLICATIONS SOCIALES DE LA FILIERE DU BOIS-ENERGIE EN HAITI

4.1- Qui sont charbonniers en Haïti ?

Les charbonniers en Haïti sont majoritairement les agriculteurs les plus défavorisés, qui cultivent moins de deux ha de terres ou sont parfois sans terres. Leur exploitation agricole ne générant pas assez de valeur ajoutée pour subvenir au besoin de leur famille, ils se mettent dans la coupe des arbres pour fabriquer du charbon de bois, puisqu'il y a une grande demande de ce dernier dans les grandes villes. Ces paysans pauvres qui sont le plus souvent des analphabètes, n'ont parfois aucune autre alternative, que de pratiquer l'activité de charbonnier permanent. Cette activité assure la survie d'une couche importante de la population, si bien que pas mal de gens plaident en faveur de son maintien en dépit de la dégradation accrue du patrimoine forestier haïtien. En effet, plus de 65.000 charbonniers furent recensés en 1990 par le bureau des mines et de l'énergie, dont 10.000 étaient des charbonniers permanents (ANTOINE, 2000), des chiffres non négligeables, quoique nous ne disposions pas de données plus récentes. Pour Victor (2000), l'état Haïtien ne devrait pas se « désintéresser du charbon de bois et du charbonnier ... et le charbon de bois doit être au cœur de toute stratégie qui vise la solution durable des problèmes énergétiques » étant donné que les charbonniers n'ont pas d'autres alternatives de survie.

Le statut de charbonnier est comme un héritage culturel relativement bien conservé. Selon VICTOR (1996) cité par le BME en 1999, c'est « Au charbonnier, l'Etat ne fournit ni crédit, ni assistance technique et ni subvention, ni information », qui doit fabriquer du charbon de bois en utilisant ses maigres moyens et son intelligence. L'activité de fabrication de charbon se fait de façon très irrégulière et non contrôlée puisque « c'est le charbonnier pauvre, qui décide : a) de La localisation et de l'extension des aires de production ; b) des techniques de prélèvement du matériel ligneux ; c) des méthodes de carbonisation ; d) et de l'ajustement de l'offre et la demande ». En effet, cette activité se

réalise de façon très traditionnelle et implique le savoir faire du charbonnier qu'il a hérité de ses parents.

4.2-La commercialisation du charbon de bois en Haïti

Le marché du bois et du charbon de bois représente une source de revenu non négligeable dans l'économie Haïtienne. Le charbon de bois à lui seul, représente un marché d'environ 65 millions de dollars Américains. En fait, les revenus annuels tirés du bois et charbon de bois s'étaient évalués pour l'année 2000, à plus de 80 millions de dollars Américains (BME, 2003). Plus de 30 % de ces revenus sont redistribués dans le milieu rural et constituent les moyens de subsistance d'une couche importante de paysans vivant dans des situations économiques très précaires. La filière du charbon de bois génère plus de 150.000 emplois directement ou indirectement en Haïti (VICTOR, 2000). En effet, le commerce du charbon de bois constitue le moyen de survie d'une partie importante de la population, dont plusieurs groupes distincts interviennent dans cette filière.

L'ESMAP, en 2007, a signalé les intervenants suivants:

a) Les producteurs (charbonniers) : Comme c'est déjà éclairé au point 4.1, les producteurs de charbon de bois en Haïti sont essentiellement les agriculteurs les plus défavorisés qui cultivent le plus souvent moins de deux hectares de terres ou parfois sans terres. Après avoir carbonisé tous les arbres de leur domaine, ces charbonniers envahissent les domaines de l'état, parfois même les parcs nationaux pour trouver des ressources ligneuses. D'autres se sont mis au service d'autres exploitants agricoles ayant plus de terres et fabriquent du charbon de bois pour ces derniers dont ils se partagent le lot.

b) Les spéculateurs : Ce sont ceux qui s'occupent principalement de la collecte du charbon de bois entre les mains des paysans pour approvisionner les grossistes de villes. Ce sont principalement, les paysans les plus fortunés du milieu rural qui ramassent le charbon entre les mains des paysans très dispersés dans l'espace. Ces derniers obtiennent

une marge encore plus importante que les producteurs ce qui pousse certains charbonniers qui commencent à gagner des fortunes à se convertir en spéculateurs.

Les spéculateurs assurent également le transport du charbon vers les grandes villes. Un transport souvent très pénible et qui occasionne pas mal de pertes à cause de la situation chaotique des routes.

c) Les grossistes des grandes villes : Ce sont essentiellement les gens les plus fortunés des bidonvilles qui ont généralement un dépôt pour le stockage du charbon. Ces derniers achètent le charbon de bois entre les mains des spéculateurs et vont le revendre avec les détaillants.

d) Les détaillants : Ce sont des gens démunis des bidonvilles, généralement des femmes. Elles achètent un ou deux sacs de charbon entre les mains des grossistes et elles vont les vendre au détail par lots ou par marmites dans les marchés informels des grandes agglomérations urbaines. Ces marchés marginaux et informels constituent un porche d'insalubrité dans les grandes agglomérations urbaines comme Port-au-Prince, par exemple. Les marges des détaillants s'élèvent à environ 39% du prix à la consommation contre 12 % pour le producteur (ESMAP, 2007).

e) Les camionneurs : Ce sont des gens fortunés des villes de province qui ont la possibilité de se procurer un camion et qui se spécialisent dans le transport des marchandises vers les grandes villes. Généralement, ils transportent vers les grandes villes du charbon de bois ou de la mangue et en retour ils apportent des produits manufacturés destinés aux villes de provinces et des campagnes.

4.3-La fabrication et commercialisation des cuisinières à charbon de bois

En Haïti, la fabrication et la commercialisation des cuisinières à charbon de bois sont assurées par une couche très défavorisée de la population, constituée de petits forgerons généralement appelé « recho man » et leur famille. En effet, les forgerons qui ont plus de revenus, sont ceux qui se spécialisent surtout dans la fabrication des outils agricoles. D'autres en situation économique plus précaire, se spécialisent uniquement dans la fabrication et la commercialisation des cuisinières à charbon de bois. Ces

réchauds sont essentiellement fabriqués avec des épaves de voitures et d'autres débris ferreux. Il n'existe pas d'investissement dans la filière et la fabrication se fait de façon très rudimentaire. Les forgerons qui s'occupent de ce marché sont majoritairement des analphabètes ou d'autres qui ont suivi seulement les études primaires.

4.4-Les législations sur le bois-énergie en Haïti

Les législations sur le bois en Haïti remontent du code rural de 1826 ou code de Jean-Pierre Boyer qui interdisait la coupe anarchique des arbres. L'article 23 du code rural de 1826 stipule « il est spécialement défendu d'abattre des bois sur la crête des montagnes, jusqu'à cent pas de leur chute, ni à la tête et à l'entour des sources d'eau ou sur le bord des rivières... ». En 1864, trente huit ans après le code rural de 1826, un autre code rural était entré en vigueur et contenant encore de nombreux articles sur le bois et les forêts.

De nombreux textes de lois ont repris le problème du bois-énergie et dégradation forestière, comme par exemple l'arrêté du 8 octobre 1938 interdisant l'exportation du charbon de bois. La coupe du bois et le commerce du bois et du charbon de bois sont théoriquement soumis à des réglementations très dures (SAINT JEAN, 1999).

Les articles 253 à 258 de la constitution Haïtienne (1987) ont été conçus pour la protection de l'environnement et font l'obligation à l'état de développer d'autres sources d'énergies pour la protection des réserves forestières. L'article 255 de la constitution stipule : « pour protéger les réserves forestières et élargir la couverture forestière, l'état encourage le développement des formes d'énergies propres : solaire, éolienne et autres. ».

La loi du 17 août 1955 et le décret du 07 juillet 1987 furent consacrés essentiellement à l'utilisation du bois dans les petites et moyennes industries. Notamment, l'article 34 de la loi du 17 août 1955 qui réclamait la conversion du matériel énergétique des PME pour utiliser des hydrocarbures à la place du bois. Le décret du 07 juillet 1987 concernait le transport, l'offre et la demande du bois, dont les articles 7, 8 et 9 interdisaient l'utilisation du bois dans les boulangeries, les blanchisseries et les guildives. L'article 9 de ce décret, en particulier, donne une durée de six mois pour la conversion totale des bruleurs de ces PME, pour utiliser d'autres combustibles à la place du bois. L'article 10

de ce même décret prévoit une amende allant de 5.000 à 50.000 gourdes ou d'un emprisonnement de 3 à 6 mois pour toute personne qui oserait violer les dispositions précitées (SAINT JEAN, 1999).

Au final, il existe au total sept textes de lois, cinq décrets, cinq arrêtés et plusieurs nomes dispersés dans les codes ruraux, dont les plus célèbres sont celui de 1864 et de 1962 (SAINT JEAN, 1999). En effet, la majorité des textes de lois sur le bois en Haïti concerne surtout l'interdiction d'utilisation de cette ressource et très peu la plantation des arbres ou l'amélioration des procédés techniques (SAINT JEAN, 1999). Par ailleurs, s'il existe la protection de droit, la protection de fait quant à elle n'existe pas. En fait, tenant compte de la vulnérabilité économique du pays et la faiblesse des pouvoirs publics, les législations sur le bois-énergie et les forêts ne sont jamais d'application.

4.5- Les impacts environnementaux et socio-économiques de l'utilisation de la biomasse-énergie en Haïti

La consommation excessive de la biomasse en Haïti est à la base de nombreux problèmes environnementaux auxquels le pays est confronté. La déforestation est engendrée surtout par la surexploitation des ressources ligneuses à des fins énergétiques. En fait, la relation entre la mauvaise utilisation du bois-énergie et dégradation de l'environnement est démontrée de causes à effet. « Les chiffres concernant le déboisement sont de plus en plus alarmants et reflètent clairement la crise en matière de combustible ligneux » (ESMAP, 2007)

Parmi les conséquences engendrées par cette situation nous pouvons distinguer, entre autres des conséquences socio-économiques et de lourdes conséquences écologiques.

4.5.1- Conséquences écologiques

Comme conséquences écologiques, nous pouvons citer entre autres:

- La perte accélérée de sols due à l'érosion engendrée par la déforestation. Les pertes annuelles de sols sont estimées à 36,6 millions de tonnes, soit 1.353 t/Km² (ESMAP, 2007)
- La diminution considérable des stocks d'eaux douces du pays à cause de la diminution de l'infiltration de l'eau de pluie,

-La perte accrue de la biodiversité : de nombreuses espèces animales et végétales sont menacées ou disparues à cause de la déforestation. Notamment, des espèces végétales à fort pourcentage de lignine, comme le bois chandelle et tant d'autres sont en voie d'extinction en Haïti et également de nombreux oiseaux.

Aujourd'hui, même les parcs et forêts nationaux, comme le « pic macaya », qui abritent beaucoup d'espèces endémiques commencent à subir la déforestation pour la production du charbon de bois (BME, 1999).

-L'aggravation de catastrophes naturelles, comme les inondations et les cyclones qui causent chaque année des pertes énormes en vie humaine et en biens.

-Les éventuels changements climatiques : les végétaux sont considérés comme des puits de captage du dioxyde de carbone, donc la déforestation contribue à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère.

4.5.2- conséquences socio-économiques

Comme conséquences socio-économiques, nous pouvons citer entre autres :

-La paupérisation des familles paysannes et l'augmentation de l'insécurité alimentaire à cause de la diminution considérable du rendement des cultures engendrée par la dégradation des sols,

- Augmentation de la bidonvilisation à cause de l'exode accéléré des agriculteurs vers les villes,

-Accumulation de déchets dans les villes et difficulté de gestion pour l'administration communale à cause de l'augmentation anarchique des populations urbaines,

-La destruction des infrastructures routières par l'érosion rendant difficile le transport en période pluvieuses,

-La diminution de la durée de vie des infrastructures comme les barrages hydro-électriques, les routes et les canaux d'irrigation à cause de l'érosion hydrique engendrée par la déforestation.

Enfin, la situation environnementale d'Haïti est alarmante et ceci est dû à la mauvaise utilisation de la biomasse à des fins énergétiques. La consommation de cette dernière se fait dans les appareils les plus médiocres et occasionnant ainsi une hausse de la demande, comme le montre le chapitre suivant.

Chapitre V

V- ANALYSE, INTERPRETATION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1-Analyse et interprétation de la situation existante

L'analyse des différentes utilisations de la biomasse en Haïti fait entendre que la consommation est fortement supérieure à la productivité des formations forestières. Les différentes formes de consommation identifiées engendrent une pression directe sur les formations forestières qui finissent par disparaître puisque les prélèvements sont supérieurs à l'accroissement.

Cette hausse de la consommation est due au fait que, non seulement, trop de secteurs dans l'économie utilisent les ressources ligneuses, mais aussi avec des appareils de conversion énergétique non performants. La fabrication du charbon de bois ne dépasse jamais un rendement de 20% et la consommation des biocombustibles se fait avec un rendement ne dépassant pas les 10 à 25 %. En fait, la dégradation environnementale d'Haïti est due à l'utilisation massive des ressources ligneuses avec des technologies non performantes occasionnant un gaspillage énergétique. Ce constat ne va pas à l'encontre de celui de SAINT-DICK (1999) affirmant que le bois-énergie se gaspille en Haïti en dépit de sa rareté. En fait, il ya du gaspillage dans toute la filière du bois-énergie en Haïti.

5.1.1- Le charbon de bois

Du côté de la carbonisation, avec un rendement de conversion ne dépassant pas les 20%, pour produire les 300.000 tonnes métriques de charbon de bois consommées annuellement en Haïti, les charbonniers traditionnels récoltent environ 1. 500.000 tonnes de bois. Tandis qu'avec des meules métalliques, qui procurent couramment un rendement de 35 %, seulement environ 857.143 tonnes métriques de bois auraient été récoltées ($300.000/0.35$), soit une économie d'environ 642.857 tonnes de bois. Donc, théoriquement, plus de 42 % du poids de bois récolté annuellement pour la production de charbon aurait été épargné. La carbonisation traditionnelle du bois occasionne un énorme gaspillage de produits ligneux. Par ailleurs, il faut souligner qu'en Haïti, cette

filière est laissée à la libre initiative du « pauvre charbonnier ». En outre, l'éparpillement à travers tout le pays de petites unités de production de charbon de bois entrave considérablement des innovations techniques dans cette filière. En fait, le pauvre charbonnier commence d'abord par la carbonisation des quelques arbres trouvés sur sa petite propriété, avec des rendements massiques très dérisoires, pour se mettre ensuite à la disposition d'autres propriétaires terriens voulant carboniser quelques arbres sur leur propriété ou se diriger clandestinement vers les domaines de l'état et les réserves nationales.

Du gaspillage peut aussi s'observer dans la consommation du charbon de bois faisant considérablement augmenter la demande. Les réchauds traditionnels couramment utilisés pour la combustion du charbon de bois procurent un rendement de combustion ne dépassant pas les 20 % tandis que les cuisinières à charbon modernes procurent un rendement de combustion de 50 à 70 %. Avec une efficacité de 20%, seulement l'équivalent du PCI de 60.000 tonnes de charbon de bois est récupéré ($300.000t \cdot 0.20$) tandis qu'avec les cuisinières à charbon de bois plus modernes, cette quantité d'énergie pourrait être obtenue en consommant plus ou moins 120.000 tonnes de charbon de bois ($60.000/0.5$).

D'autres types de cuisinières améliorées du modèle traditionnel haïtien, comme le « réchaud miracle », déjà expérimentées en Haïti qui procurent un rendement de récupération de chaleur de 40% pourraient épargner environ 150.000 tonnes de charbon de bois, soient plus 750.000 tonnes de bois qui seraient économisées même avec une carbonisation traditionnelle.

Ce constat ne va pas à l'encontre de celui du BME, en 2003, selon lequel, une famille Haïtienne qui consomme annuellement 939.5 Kg de charbon de bois pourrait réduire sa consommation jusqu'à 469.75 Kg en utilisant le modèle amélioré « réchaud miracle ». Alors, une économie de charbon de bois d'environ 50 % serait possible.

Pour Tassy (2009), l'utilisation de ces réchauds améliorés (réchaud miracle) pourrait favoriser une diminution de 40% de la coupe des arbres en Haïti. Cependant, il est à signaler que ce type de réchaud amélioré est très peu répandu en Haïti. Cette faible

distribution de ces modèles améliorées, disponibles sur le marché haïtien depuis 1987 et largement développés en 1989, est due au fait que les artisans qui les produisent n'ont pas assez d'argent ni d'outils appropriés pour les produire à grande échelle et pour les vendre à un prix compétitif.

Telinden et Saint Jean (1998), de leur côté, ont affirmé, en citant une enquête de l'AFVP en 1989, que 40 % des restaurants informels questionnés affirment ne pas se soucier de se procurer d'un appareil amélioré pour la combustion du charbon de bois qui coûte trois fois plus chers.

En faisant des artifices de calculs simples, nous pouvons voir que, théoriquement en combinant les techniques de carbonisation traditionnelles procurant un rendement de conversion de 20 % avec la consommation dans des cuisinières modernes, on aurait une économie de 900.000 tonnes de bois ($1.500.000 - 120.000 \times 0.20$). Cela signifie que même avec un rendement de carbonisation de 20%, environ 900.000 tonnes métriques de bois n'auraient pas été récoltées si tous les ménages et les restaurants informels avaient utilisé des cuisinières à charbon de bois modernes, soit une diminution de la coupe des arbres d'environ 18 %.

Avec les techniques de carbonisation modernes et les cuisinières à charbon de bois modernes, on aurait une économie d'environ 1.157.142 tonnes métriques de bois ($1.500.000 - 120.000 \times 0.35$), soit plus de 34 % ($(1.157.142 / 5.000.000) \times 100$) du poids de bois récolté annuellement aurait été épargné. Cela prouve que le bois se gaspille énormément dans cette filière.

5.1.2- Le bois de feu

La consommation du bois de feu est aussi catastrophique. Les foyers traditionnels à trois pierres utilisés en Haïti procurent un rendement de combustion de seulement 10 %, alors que les cuisinières à bois modernes, comme celles utilisées en Europe procurent un rendement de plus de 50 %.

Considérant qu'environ 2.293.500 tonnes⁶ de bois sont consommées annuellement dans ces foyers traditionnels. Si les ménages utilisaient ces cuisinières modernes, cette consommation ne serait pas si haute.

Avec ces foyers traditionnels, seulement l'équivalent du PCI de 229.350 tonnes de bois qui sont théoriquement utilisées pour faire cuire les aliments ($2.293.500t * 0.1$). Donc, les cuisinières modernes procureraient cette même quantité d'énergie en consommant environ 458.700 tonnes ($229.350*0.5$). Plus de 1.834.000 tonnes de bois ($2.293.500 - 458.700$), soit plus de 36 % ($(1.834.000/5.000.000)*100$) poids de bois récolté annuellement aurait été épargné. Cependant, ces pauvres paysans qui utilisent ces foyers traditionnels n'ont pas de moyens économiques suffisants pour se procurer d'équipements électroménagers modernes.

Du côté, des petites et moyennes entreprises, malgré les législations Haïtiennes leur interdisant de consommer le bois, le gaspillage n'est pas moindre. Si nous prenons l'exemple des blanchisseries qui utilisent des vieilles méthodes de combustion ne dépassant les 25 %, si elles avaient utilisé les cuisinières à bouilleur qui ont un rendement de combustion d'environ 70 % d'énormes quantités de bois pourraient être économisées. Leur consommation pourrait être passée de 25.772 tonnes à 9.205 tonne en utilisant des poêles à bois modernes⁷ ($25.772 t * 25/70$), soit une diminution de la coupe annuelle des arbres d'environ 0, 18 %.

Les guildives traditionnelles qui consomment la plus forte quantité de bois parmi ces entreprises produisent de la bagasse de canne qui pourrait être utilisée pour substituer au bois. En fait, l'utilisation du bois dans ces petites entreprises est due à cause qu'elles n'ont pas d'équipements modernes, leur permettant de consommer la bagasse. En effet, la bagasse a un taux de cendre plus ou moins élevé et un PCI plus faible que le bois, donc il fallait avoir des équipements plus modernes pour sa combustion. Selon Saint-dick (1999), les ateliers qui consomment uniquement de la bagasse sont aussi ceux qui ont une technologie plus adéquate pour l'extraction du jus de canne et pour la distillation. Le taux d'extraction du jus de canne est de 80 % pour ceux qui ont la capacité d'utiliser la bagasse contre 40 % pour les petits ateliers les plus traditionnels.

⁶ Voir chapitre III, point 3.1 et 3.3

⁷ Voir Chapitre 2, les cuisinières modernes à charbon de bois/bois

Les plus grandes guildives obtiennent jusqu'à 22 galon de clairin par tonne de canne broyée contre seulement 9.5 gallons pour les petits ateliers traditionnels (Saint-dick ,1999). Il semblerait que ces petites unités traditionnelles qui exploitent environ 3.82 ha de terres (PIERRE, 2005), ne génèrent pas assez de valeur ajoutée pour se procurer d'appareils modernes adaptés à la consommation de la bagasse. Il est à souligner que ces petites entreprises fonctionnent quasiment dans l'informel et qu'il est difficile de connaître et même d'estimer leur chiffre d'affaire (Jean-Giles, 2002). Cette difficulté s'explique par l'absence d'un système de comptabilité au sein de la plupart de ces PME et aussi à la méfiance de certains propriétaires pour que l'Etat ou les étrangers se mêlent dans leur affaire. Par contre, certains chefs de ces PME questionné par le CARE et le BME, ont déclaré qu'ils sont conscients de la dégradation de l'environnement, mais qu'ils n'ont pas assez de moyens pour se procurer d'appareils modernes, poursuit Jean-Gilles.

5.2-Récapitulation de l'analyse de la situation existante

L'analyse du système de consommation de la biomasse en Haïti nous permet de signaler, entre autres, quatre facteurs caractéristiques :

- 1) Il y a un énorme gaspillage du bois dans toutes les filières de consommation qui est lié à une faiblesse technologique.
- 2) Un fort pourcentage du secteur informel rend difficile à l'état de contrôler cette filière.
- 3) Il y a une inadéquation entre la consommation et les ressources disponibles, conduisant à une dégradation spectaculaire de l'environnement.
- 4) La faiblesse des pouvoirs publics est l'un des facteurs clés à la base de la dégradation environnementale d'Haïti. Les législations sur le bois-énergie ne sont jamais d'application malgré la dégradation de l'environnement, même les parcs et forêts nationaux font la scène de déboisement à des fins énergétiques.

Enfin, l'hypothèse de départ est sans doute vérifiée, la dégradation environnementale d'Haïti est provoquée par une utilisation inadéquate de la biomasse avec des technologies non performantes.

5.3- Inventaires des ressources de biomasse disponibles et alternatives de valorisation

Avec un taux de couverture végétale d'environ 2 %, nous ne pouvons pas proposer pour l'instant, des alternatives pour la valorisation du bois. Par contre, en vertu des analyses que nous venons de réaliser aux points précédents, nous pouvons déduire les apports d'un changement de technologies dans la consommation du bois. Certes, il est à souligner, que des efforts d'améliorations des appareils de combustion du charbon de bois ont été déjà effectués en Haïti, mais n'ont pas eu de succès.

Par ailleurs, il existe deux sources de biomasse potentiellement valorisables et pour lesquelles des alternatives peuvent être envisagées : ce sont la bagasse de canne à sucre et les déchets organiques des grandes villes.

D'autres sources de biomasses existent en Haïti, notamment des résidus de récoltes (pois Congo, sorgho, paille de riz, ...), mais nous n'avons pas de chiffres, en ce qui les concerne. Il y a également une difficulté de les récolter, compte tenu du morcellement des parcelles et prédominance de la polyculture.

5.3.1- La bagasse de canne à sucre

Le potentiel de bagasse disponible en Haïti a été estimé à 140.000 tonnes (ESMAP 2007). Deux alternatives peuvent être envisagées pour la valorisation de cette quantité de bagasse : La fourniture de crédits de modernisation aux petits ateliers de canne à sucre pour consommer de la bagasse ou l'électrification rurale. Avant d'envisager une de ces deux alternatives une étude socio-économique devrait être effectuée pour déterminer laquelle est plus rentable.

Si la production d'électricité est priorisée, plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour cette valorisation, notamment la dispersion de cette ressource. La production de la canne à sucre est effectuée dans des unités très dispersées dans tout le pays (PIERRE, 2005). Partant de cet état de fait, il serait fortement conseillé, dans ce cas, de valoriser cette ressource dans des petites unités de quelques kilowatts. Des gazogènes pourront être utilisés pour produire de l'électricité. Avec cette technologie, 1Kg de bois procure environ 1,25 Kwh d'électricité. Si nous considérons que la bagasse a un PCI d'environ

75 % de celui du bois⁸, les 140.000 tonnes de bagasse produiront une quantité d'énergie électrique d'environ 131.250.000 KWh ($140.000 \text{ t} * 1,25 \text{ Kwh} * 0,75 * 10^3$). Cette quantité d'énergie est non négligeable et permettrait d'éclairer des petites villes de province. Cette perspective pourra être envisagée pour éclairer certaines communes d'Haïti où la canne à sucre est la principale culture et où la culture de la canne à sucre est en forte croissance, comme la commune de « Saint Michel de latalaye », « Maïssade », « Thomonde », « Gros morne » (PIERRE, 2005).

5.3.2- Les déchets des villes

Les déchets des grandes villes haïtiennes ont un potentiel énergétique non négligeable. La ville de Port-au-Prince génère environ 3.500 tonnes de déchets ménagers par jour et les 8 autres grandes agglomérations urbaines (Cap Haïtien, Gonaïves, les Cayes, St-marc, Verrette, Jérémie, Port de paix, Limbé) génèrent environ 600 tonnes de déchets ménagers par jour. Ces déchets ménagers contiennent environ 75 % de matières organiques (Centre Wallon de biologie industrielle 1999, citant Corporation Housing Foundation, 1999). Donc nous avons une quantité déchets fermentescibles d'environ 3075 tonnes par jour ($(3.500 \text{ t} + 600 \text{ t}) * 75/100$).

Cette quantité de matière organique pourrait produire environ 184.500 m³ de méthane par jour soit 67.342.500 m³/an (Voir calculs en annexe). Cette quantité de méthane pourrait être stockée pour être vendue aux ménages à un prix modéré, de manière à les inciter à utiliser du gaz à la place des ressources ligneuses ; ou utilisée pour augmenter la production d'électricité. Une comparaison sur base de PCI et considérant que le gaz est consommé en Haïti avec un rendement de combustion de 55% (Anguélier, 2005), contre 10 à 25% de rendement pour les biocombustibles, montre que cette quantité de méthane procurerait une diminution de plus de 6 % de la récolte annuelle de bois (voir calculs en annexe).

⁸ Voir Tableau 2, chapitre 2

Le développement de cette filière en Haïti présentera de nombreux avantages en plus de la production énergétique comme:

- Elle permettra d'assainir les grandes agglomérations urbaines. Ce qui contribuera à améliorer les conditions de vie des gens des bidonvilles.
- Elle permettra de récupérer une quantité importante de méthane qui se dégage dans les grandes villes ou dans les décharges à ciel ouvert quand les déchets sont ramassés.
- Le compost qui sera généré pourra être utilisé dans le reboisement dans le cas où il n'est pas de bonne qualité pour l'agriculture à cause du tri des déchets.
- Enfin, elle permettra à l'état haïtien de générer des revenus avec les déchets lui permettant d'assurer une collecte plus rationnelle de ces derniers.

5.4-Conclusion et recommandations

Le présent travail avait pour objectif d'étudier la situation de la valorisation énergétique de la biomasse en Haïti, en faisant ressortir son impact sur l'environnement et d'aboutir à d'autres alternatives de valorisation de la biomasse disponible. Il est passé par une description de différentes technologies utilisées à travers le monde et en Haïti pour la valorisation de la biomasse sèche et humide. En fait, le chapitre II clarifie les différentes technologies développées à travers le monde qui permettent une meilleure valorisation du bois et d'autres biomasses qualifiées d'humides. Ce qui nous a permis de faire au chapitre V, une comparaison entre celles utilisées en Haïti et d'autres utilisées ailleurs et de présenter des alternatives pour la valorisation d'autres ressources de biomasse existant en Haïti autre que le bois.

L'étude des implications sociales de la filière biomasse en Haïti, faite au chapitre 4, montre qu'il n'y a aucun investissement significatif dans cette filière et qu'elle est laissée à la libre entreprise de la classe la plus pauvre et en majeure partie analphabète. Une filière qui présente un marché important, mais où l'ajustement de l'offre et de la demande est assuré par une classe pauvre et majoritairement analphabète.

En somme, l'analyse de la situation existante en Haïti montre un gaspillage énergétique dans toutes les filières de consommation des ressources ligneuses qui a conduit à une dégradation environnementale spectaculaire et une pauvreté de la paysannerie très alarmante. Cette dégradation est surtout liée à la faiblesse technologique et aussi à la faiblesse des pouvoirs publics ne procurant aucun contrôle strict dans cette filière.

La situation environnementale d'Haïti est donc alarmante et des mesures sévères devraient être envisagées pour réguler la consommation des ressources ligneuses. En effet, ce pays qui a plus de 50 % du territoire en pentes supérieures 40 % devrait avoir plus de 30 % de couverture végétale pour garder un équilibre écologique. Ainsi, nous reformulons l'urgente nécessité de substituer le charbon de bois dans les ménages et de garantir la stricte application des lois sur le bois-énergie dans les PME. Cependant, avec d'autres technologies déjà matures, il existe encore d'autres types de biomasse qui pourront apporter un surplus dans une nouvelle politique énergétique. Notamment, les déchets ménagers des villes qui constituent une source d'énergie non négligeable et que l'Etat haïtien pourrait développer cette filière dans une perspective d'assainissement des grandes agglomérations urbaines et aussi de réduction de l'utilisation des ressources ligneuses.

Enfin, ce travail ne prétend pas à l'épuisement des connaissances sur la valorisation de la biomasse en Haïti. Il ne constitue en effet qu'une contribution à la réflexion menée sur la substitution des combustibles ligneux en Haïti. Les analyses effectuées et les alternatives proposées sont basées sur des considérations théoriques. De ce fait, nous recommandons que des études plus techniques et économiques soient réalisées pour la valorisation de cette potentialité énergétique des déchets ménagers et également de la bagasse de canne à sucre.

VI- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1-ADEME, 2008. Guide pratique du chauffage au bois. France, PP. 24.

Document disponible sur URL :

http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/chauffage_bois/chauffage_bois.pdf.

2-ANGUELIER, J.P., 2005. Analyse de la substitution entre combustible dans le secteur énergétique en Haïti. Rapport (45 PP) to be obt. from ist author ; adress CPALC (commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes), LC/MEX/ R-180, Mexico, Mexique. Or contact URL: http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/07/39/PDF/JPA_Substitution-Haiti2005.pdf

3-Alter presse Haïti, 2004. La question environnementale à l'agenda politique populaire en Haïti. Article de presse. Port-au-Prince, Haïti, 24 septembre 2004 disponible sur URL : http://www.alterpresse.org/imprimer.php3?id_article=1719

4-ANTOINE, J.S., 2000. Analyse du système de collecte de données forestières en Haïti. Rapport (9 PP) to be obt. from ist author ; adress: Ministère de l'Agriculture des Ressources naturelles et du Développement Rural d'Haïti, département des ressources forestières, Damien, Port-au-Prince Haïti.

5-BME/EDH/MTPTC, 2008. Ebauche d'une proposition de politique énergétique nationale. Report (29 PP), to be obt. ; contact: URL : WWW.bme.gouv.ht

6-BME, 2009. Potentiel minier d'Haïti, disponible sur URL : WWW.bme.gouv.ht

7-BME, 2003. Analyse des filières énergétiques dans le secteur domestique (ménages, petites et moyennes entreprises). J. synergies.15, 1-8

8-BME, 2001. La pression exercée par l'économie haïtienne sur les arbres et les moyens d'y faire face. J. synergies. 9, 1-6

9-BME, 2000. La mise en place du programme de substitution du charbon de bois en Haïti dans le contexte de l'accord de Caracas. J. synergies. 8, 1-3

10- BME, 1999. L'énergie en Haïti : diagnostic du secteur de l'énergie. Article disponible sur URL : <http://www.bme.gouv.ht/energie/diagnost.html>

11-BRUN, M.J., APPERT, F., 1983. Les déchets sources d'énergie : déchets animaux et végétaux. Revue., collection énergie et environnement, deuxième édition, E.E.T.I, 7 50 16, Paris, France. P 7-39

12-Centre Wallon de biologie industrielle, 1999. Atlas des décharges d'ordures ménagers dans les pays en développement. Université de Liège, B-4000 Liège- Belgique. Article disponible sur URL : <http://www2.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Haiti/haiti.htm>.

13-CNSA/MARNDR, 2007. Flash info sécurité alimentaire. Flash info No 23 (avril 2007) Port-au-Prince, Haïti, (5 PP). Disponible sur URL : [http://www2.reliefweb.int/rw/RWFiles2007.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/EKOI-7474EC-rapport_complet.pdf/\\$File/rapport_complet.pdf](http://www2.reliefweb.int/rw/RWFiles2007.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/EKOI-7474EC-rapport_complet.pdf/$File/rapport_complet.pdf)

14-CHRISTOPHE, W., et al., 1981. Alternative pour aujourd'hui, la biomasse: énergie verte. Collection France des points chauds, F.G.A-CFDT, Paris, France, PP. 61.

15-CREHAY, R., MARCHAL, D., 2004. La filière bois-énergie. Report (57 PP) to be obt as Val biom - Valorisation de la biomasse ASBL, c/o centre wallon de recherches agronomiques, Chaussée de Namur, 146, B-5030 Gembloux, Belgique.

16-ESMAP, 2007. Stratégie pour l'allègement de la pression sur les ressources ligneuses nationales par la demande en combustible. Report (71 PP) to be obt. From its organization; address ESMAP, c/o Energy and water department-The World Bank group 1818 H Street, NW, Washington, D.C. 20433, USA.

17-FAO, 1999. Problèmes particuliers à la foresterie et activités intéressant les Petits Etats insulaires en développement. Comité des forêts, quatorzième session, Rome, Italie 1-5 Mars 1999. Disponible sur URL : <http://www.fao.org/docrep/meeting/X0966f.htm>

18-IHSI, 2000. Enquête budget consommation des ménages Haïtiens (EBCM 1999-2000). Vol 1 : Population, ménages et emploi, IHSI, Port-au-Prince Haïti, PP. 343.

- 19-IHSI**, 2003. Données quatrième recensement général de la population haïtienne et de l'habitat. Disponible online sur URL : <http://www.ihsi.ht/recensement.htm>
- 20- Jean-Giles, E.**, 2002. Les petites entreprises haïtiennes, peuvent-elles abandonner l'utilisation du bois dans le contexte social et économique actuel ? J. Synergies. 12,4-6
- 21-MAGNY, E.**, 1991. Haïti-Ressources naturelles et environnement : nouvelles approches. Ed. Henri Deschamps, Port-au-Prince, PP. 252.
- 20-Ministère de l'environnement**, 1999. Programme de formulation de la politique de l'eau. Port-au-Prince, Haïti.
- 22-Moïse, R.**, 2003. Situation énergétique des petites entreprises traditionnelles haïtiennes et ses conséquences économiques. J. synergies. 14, 1-3.
- 23-Notes de cours d'énergies renouvelables, ENVI2007, UCL 2008-2009**
- 24- PIERRE, F.**, 2005. Identification de créneaux potentiels dans les filières rurales haïtiennes (HT-T1008/ATN-FC-9052): Les filières canne à sucre. Report (43 PP) to be obt. ; adress : Ministère de l'Agriculture, des Ressources naturelles et du Développement Rural, Damien, Port-au-Prince, Haïti.
- 25-PNUD**, 1998. La gestion de l'environnement en Haïti : Réalités et perspectives. PNUD-Haïti Econet, (Edition spéciale), Port-au-Prince, Haïti, PP. 205.
- 26-REGIS, M. D.**, 2002. Projet énergie et environnement de CARE Haïti (2000-2002). J. synergies. 12, 6-7
- 27-SAINT-DICK, R.**, 1999. Petites agro-industries en Haïti : quelles alternatives énergétique?. J. Synergies. 2,3-5.
- 28-SAINT-JEAN, W.**, 2001. Résumé des activités des dernières années sur le bois-énergie en Haïti. J. synergies. 9, 7-8
- 29-SAINT-JEAN, W.**, 1999. Proposition du comité technique intersectoriel face au problème du bois énergie dans les petites entreprises. J. synergies. 2, 2.
- 30-SAINT-JEAN, W.**, 1999. Résumé de la législation réglementant l'utilisation du bois énergie en Haïti. J. synergies. 2, 8
- 31-Schenkel, Y., Bertaux, P., Vanwijnsberge, S., Carré, J.**, 1997. Une évaluation de la technique de carbonisation en meule. J. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2, 113-124

32-TASSY, G., 2009. Réchaud miracle, une alternative d'atténuation du déboisement en Haïti. Article publié par vision citadelle pour la revalorisation de l'être. Disponible sur URL : <http://www.visioncitadelle.org/recho%20mirak.pdf>

33- Tilden, J-Y., Saint-Jean, W., 1998. Historiques des alternatives menées en Haïti sur les réchauds améliorés. J. Synergies. 1, 2.

34-USINGER, J. 1999. Les blanchisseries et les boulangeries en Haïti, de grandes consommatrices de bois de feu. J. synergies. 2, 6-7

35-VICTOR, J.A, 2000. Le charbon de bois : mythes et réalité. J. synergies. 8, 2-4

36-Young, P. & Altidor, J.R., 1997. Kerosene: cooking fuel of the future. Fact or fiction?, (Edition spéciale) BME, Port-au-Prince Haïti, PP. 50.

Sites web

<http://www.natureetfeu.fr/Cuisiniere-a-bois-Sogno-Decorata.html>

http://www.costic.com/fileadmin/user_upload/6-Telechargements/Cuisinieres_a_bois.pdf

Annexe : calculs sur le potentiel de déchets ménagers biodégradables en Haïti

- 1) Les déchets organiques ménagers contiennent environ 20% de matière sèche totale, donc $3075 \text{ t} * 0,2 * 1000 = 615.000 \text{ Kg}$ par jour

Etant donné que c'est la partie organique de la matière sèche qui contribue dans la production de méthane et il y a 60 % de matière organique dans la matière sèche totale $615.000 \text{ Kg} * 0,6 = 369.000 \text{ Kg}$ par jour

Dans la pratique on a une production d'environ $0,5 \text{ m}^3$ de méthane / Kg matière organique, on a :

$$(0,5 * 369.000) = 184.500 \text{ m}^3 \text{ par jour}$$

Pour un an, nous avons : $184\,500 * 365 = 67\,342\,500 \text{ m}^3$ de méthane biologique (référence tableau 2, Chapitre 2).

- 2) Le méthane biologique a un PCI allant de 20 à 28 MJ/ m^3 (moyenne = 24 MJ/ m^3)

Le bois a un PCI allant de 13,9 à 18,4 MJ/ Kg (moyenne = 16,15 MJ/ m^3)

Les biocombustibles sont brûlés en Haïti avec un rendement de combustion de 10 à 25% (moyenne = 17,5%)

Les cuisinières à gaz utilisées en Haïti procurent un rendement de combustion de 55%

Alors :

$$(((67\,342\,500 \text{ m}^3 * 24) * 55/100) * 100) / ((5.000.000 \text{ tonnes de bois} * 1000 * 16,15) * 17,5/100)) = 6,3 \% \text{ du poids de la récolte annuelle de bois épargnés}$$

N.B : 5.000.000 de tonnes c'est la récolte annuelle de bois en Haïti.