

DURABILITÉ DE COMBUSTIBLES DE SUBSTITUTION AU BOIS ÉNERGIE EN
HAÏTI – FILIÈRES RENOUVELABLES POUR LA CUISSON DES ALIMENTS

par

Alexandre Racicot

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de Pascal Dehoux

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mai 2011

SOMMAIRE

Mots clés : Haïti, déforestation, bois de feu, charbon de bois, biométhanisation, solaire thermique, éthanol, biocharbon, bagasse, briquettes, développement durable.

Le couvert forestier naturel couvre 2 % du territoire haïtien. Il ne peut donc plus rendre les différents services écologiques nécessaires au maintien d'une biodiversité importante et d'une certaine qualité de vie. Les modes de cuisson des aliments sont actuellement une des causes principales de la surexploitation de la ressource ligneuse. En ce sens, il est judicieux d'explorer des filières énergétiques différentes permettant de répondre à ce besoin tout en ne créant pas de problèmes significatifs ailleurs.

Les analyses traditionnelles portent sur la substitution du bois énergie par des produits pétroliers, jugés accessibles et abordables. Cependant, les fluctuations récentes des prix, l'impact de l'importation de ces produits sur la balance commerciale du pays et la problématique du changement climatique justifient amplement de s'attarder à des formes d'énergies renouvelables et locales. À ce titre, la production de briquettes énergétiques, la biométhanisation des matières résiduelles, le solaire thermique, l'huile végétale pure, le bioéthanol et le biocharbon représentent des options intéressantes et pertinentes. Ces filières ont non seulement l'avantage de diminuer considérablement la demande en ressources ligneuses, mais également de créer des synergies importantes au sein de la société haïtienne.

À cet égard, l'objectif du présent essai est d'évaluer l'applicabilité de sources d'énergie de substitution au bois énergie par les ménages haïtiens sous l'angle du développement durable. La concertation des différents acteurs du milieu, ainsi que la prise en charge de la problématique par des organisations coopératives représentent des vecteurs d'actions pertinents qu'il convient de développer. Ensuite, des activités de recherche doivent être financées, notamment en ce qui concerne l'éthanol et l'huile végétale pure. Finalement, une combinaison de développement traditionnel, d'accès au crédit et d'éducation environnementale populaire permettrait de favoriser l'implantation de ces nouvelles filières énergétiques au sein de la population haïtienne.

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur d'essai, M. Pascal Dehoux, sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Ses commentaires précis et justes, ses pistes de réflexions et son enthousiasme m'ont permis de faire progresser cet essai au-delà de mes attentes.

Un merci tout spécial également à Mme Anne Racicot, responsable de la révision de cet essai.

Finalement, je dois remercier Véronique, ma conjointe, qui a su me soutenir et m'encourager tout au long de mes études.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 CADRE ANALYTIQUE	3
1.1 Méthodologie	3
1.1.1 Réflexion.....	3
1.1.2 Collecte d'informations	4
1.2 Cadre d'analyse	4
1.2.1 Développement durable	5
1.3 Critères	6
1.3.1 Environnement.....	6
1.3.2 Économie	7
1.3.3 Société.....	8
2 PORTRAIT ÉNERGÉTIQUE HAÏTIEN	9
2.1 Bois de feu et charbon de bois	9
2.2 Hydrocarbures	11
2.3 Électricité	13
2.3.1 Hydroélectricité.....	13
2.3.2 Solaire photovoltaïque	13
2.3.3 Énergie éolienne.....	14
2.4 Solaire thermique	14
2.5 Bagasse.....	14
2.6 Biométhanisation.....	15
2.7 Briquettes de papier.....	16
2.8 Comparaison de la situation énergétique des ménages haïtiens pour la cuisson des aliments avec d'autres pays	17
2.8.1 Cuba	17
2.8.2 République dominicaine	18
2.8.3 Sénégal	19
2.8.4 Rwanda	20
3 ANALYSE DE LA DURABILITÉ DE L'UTILISATION DU BOIS ÉNERGIE COMME ÉNERGIE DE CUISSON PAR LES MÉNAGES EN HAÏTI	22

3.1	Carbonisation	22
3.2	Environnement	24
3.3	Économie.....	28
3.4	Société	29
3.5	Synthèse	31
4	ALTERNATIVES À L'UTILISATION DU CHARBON DE BOIS DANS LES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT	33
4.1	Briquettes énergétiques	33
4.1.2	Bagasse	33
4.2	Solaire thermique	35
4.3	Biométhanisation.....	35
4.3.1	Matières résiduelles domestiques	36
4.3.2	Matières résiduelles agricoles.....	38
4.4	Biocarburant	38
4.4.1	Jatropha curcas (gwo medisyen).....	39
4.4.2	Agave	40
4.5	Pyrolyse.....	42
4.6	Biocharbon.....	43
4.7	Comparaison des énergies de substitution pour la cuisson des aliments avec d'autres pays	44
4.7.1	Cuba	44
4.7.2	République dominicaine	44
4.7.3	Sénégal.....	45
4.7.4	Rwanda	45
5	ANALYSE DES DIFFÉRENTES ALTERNATIVES À L'UTILISATION DU CHARBON DE BOIS.....	46
5.1	Briquettes énergétiques – bagasse/papier.....	46
5.1.1	Environnement.....	46
5.1.2	Économie	50
5.1.3	Société.....	51
5.2	Solaire thermique	52
5.2.1	Environnement.....	52

5.2.2	Économie	54
5.2.3	Société.....	55
5.3	Biométhanisation – matières résiduelles domestiques/agricoles	56
5.3.1	Environnement.....	56
5.3.2	Économie	59
5.3.3	Société.....	60
5.4	Biocarburant – Huiles végétales brutes/jatropha curcas	61
5.4.1	Environnement.....	61
5.4.2	Économie	63
5.4.3	Société.....	64
5.5	Biocarburants – Alcools/agave.....	66
5.5.1	Environnement.....	66
5.5.2	Économie	68
5.5.3	Société.....	69
5.6	Pyrolyse – Biocharbon	71
5.6.1	Environnement.....	71
5.6.2	Économie	73
5.6.3	Société.....	73
6	RECOMMANDATIONS	76
6.1	Briquettes énergétiques – bagasse/papier.....	76
6.2	Solaire thermique	78
6.3	Biométhanisation – matières résiduelles domestiques/agricoles	79
6.4	Biocarburant – Huiles végétales brutes/jatropha curcas	80
6.5	Biocarburants – Alcools/agave.....	82
6.6	Pyrolyse – Biocharbon	83
6.7	Synthèse	84
	CONCLUSION.....	86
	RÉFÉRENCES	88
	ANNEXE 1 – TABLEAU RÉSUMÉ DES OPTIONS ÉNERGÉTIQUES.....	98

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

CEPALC	Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES	Gaz à effet de serre
GERA	Groupe sur les énergies renouvelables appliquées
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
IDH	Indice de développement humain
MTPTC	Ministère des Travaux Publics, des Transports et des Communications
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMD	Objectif du millénaire pour le développement
ONU	Organisation des Nations Unies
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
USD	Dollars américains
RIAED	Réseau international d'accès aux énergies durables

LEXIQUE

GES d'origine biogénique	Gaz à effet de serre provenant de la biomasse.
Phytoremédiation	Ensemble des processus employés dans la décontamination des sols et des eaux souterraines qui utilisent des végétaux supérieurs afin d'extraire, de détruire ou de stabiliser les contaminants (Grand dictionnaire terminologique du Québec, 2011).
Guildiverie	Industrie fabricant l'alcool.

INTRODUCTION

L'exploitation des ressources ligneuses en Haïti a débuté au temps de la colonisation tout d'abord pour fournir du bois de charpente, pour la construction de canots, pour la production de charbon de bois et de bois de feu et pour augmenter les superficies agricoles. Des facteurs démographiques ont accentué la demande en bois de construction, en combustible et en terres agricoles, contribuant de plus en plus à la dégradation de la ressource jusqu'au moment où l'extraction de matière ligneuse a supplanté la capacité de régénération de la forêt. Aujourd'hui, le couvert forestier naturel ne couvre plus que près de 2 % du territoire.

Cette situation entraîne de nombreux effets négatifs importants au sein de la société haïtienne, notamment sur le plan de la capacité d'adaptation aux changements climatiques, de la productivité des sols, de la qualité et de la quantité de l'eau et du développement économique et social. C'est là que réside toute la complexité de la situation; il ne s'agit pas de simplement remplacer le bois par une autre ressource pour espérer régler le problème. La ressource ligneuse joue en Haïti un rôle essentiel au plan économique, au plan social et au plan écologique. Les solutions proposées doivent tenir compte de chacun de ces facteurs afin de pouvoir concurrencer efficacement la ressource ligneuse.

Le séisme du 12 janvier 2010 est venu aggraver la situation en augmentant l'insécurité alimentaire et la demande en bois de construction. Cette problématique est donc un enjeu central en Haïti et est caractérisée par la complexité des facteurs responsables de cet état de fait et par la multiplicité des défis et des impacts qui l'accompagnent. Si historiquement la problématique de la déforestation était liée à l'agriculture et à la construction, un facteur actuel important est plutôt la demande en bois énergie (charbon de bois et bois de feu) pour la cuisson des aliments par les ménages. Par conséquent, c'est sous cet angle que la problématique de la déforestation sera abordée. Il est important de faire la distinction entre les effets découlant d'une trop grande utilisation de la ressource ligneuse sur l'écosystème haïtien et ceux découlant de l'utilisation *per se* de la ressource ligneuse comme combustible par les ménages. Ainsi, le bois énergie, même s'il ne représente pas un combustible idéal (efficacité de l'énergie libérée, dégagement de fumées et substances toxiques), peut

toutefois être utilisé de façon durable, lorsque le taux d'extraction de la ressource est inférieur au taux de régénération, ce qui n'est pas le cas en Haïti.

L'objectif de cet essai peut alors se résumer à évaluer l'applicabilité de sources d'énergie de substitution au charbon de bois et au bois de feu par les ménages haïtiens sous l'angle du développement durable. Des questions d'assainissement public, de sécurité alimentaire, d'équité des genres, d'autonomisation citoyenne, d'emplois et de développement économique sont toutes reliées directement et indirectement à cette problématique. Par conséquent, la complexité et la multiplicité des enjeux liés à l'utilisation du bois énergie justifient l'emploi du développement durable comme grille d'analyse.

Néanmoins, l'essai est réalisé dans l'optique d'apporter une contribution concrète et originale aux domaines du développement international, de l'environnement et de l'indépendance énergétique. Aussi l'analyse portera-t-elle exclusivement sur des filières énergétiques renouvelables et locales. De nombreuses analyses se sont penchées par le passé sur l'offre en produits pétroliers, charbon, gaz propane, etc., mais peu d'études se sont uniquement concentrées sur des combustibles renouvelables de substitution au bois énergie. La présente analyse tentera d'intégrer les externalités habituellement associées aux combustibles de substitution afin de cibler les occasions d'intervention. C'est par cette analyse que cet essai tentera de se démarquer.

Cet essai présentera le portrait énergétique des ménages haïtiens et la filière bois énergie sera soumise au cadre analytique dans le but de bien documenter les lacunes et les possibilités d'amélioration que les autres filières devront exploiter. Par la suite, l'essai explorera les impacts de l'utilisation du bois énergie ainsi que les différentes filières énergétiques actuellement utilisées en Haïti et ailleurs. Ces filières énergétiques seront ensuite analysées sous l'angle du développement durable en vue d'évaluer dans quelle mesure elles pourraient s'avérer pertinentes au contexte haïtien. Finalement, des recommandations seront proposées afin de mettre en application ces différentes filières énergétiques; mais tout d'abord, le cadre analytique sera détaillé.

1 CADRE ANALYTIQUE

Ce chapitre aborde les aspects méthodologiques liés à l'essai et présente le concept de développement durable qui sera utilisé. Les critères d'évaluation y seront également établis.

1.1 Méthodologie

1.1.1 Réflexion

L'enjeu de la déforestation du territoire haïtien est complexe, notamment en raison de ses nombreuses causes actuelles et historiques ainsi que de ses multiples conséquences sur la société et, dans une plus large mesure, sur l'écosystème haïtien en entier. La plus importante cause actuelle de déforestation (FAO, 2005) est la coupe du bois destiné à la fabrication du charbon et l'utilisation du bois pour la cuisson des aliments. Ainsi, comme il a été mentionné précédemment, il est possible d'établir des liens clairs entre pauvreté, développement, santé, alimentation et qualité de l'environnement. Plutôt que de pallier les différentes lacunes engendrées par la déforestation, cet essai se concentre sur l'une des causes : la production d'énergie de cuisson à partir de la biomasse ligneuse, soit la forêt. La forêt en Haïti ne recouvre aujourd'hui qu'environ 2 % du territoire. Le couvert végétal haïtien est composé de forêts (2,6 %), d'agroforesterie (18,3 %), de mangroves (0,7 %), de broussailles (31,8 %), de zones humides (1,4 %), de pâturages (1,1 %) et de cultures intensives (44,1 %) (PNUE, 2010). Étant donné la faible superficie de forêts restantes, la provenance du bois énergie n'est pas claire, comme il sera démontré ultérieurement.

De nombreuses solutions de rechange à l'utilisation du bois et du charbon de bois existent en territoire haïtien et de par le monde (CEPALC, 2005; ESMAP, 2007; IIED, 2010; IIED, 2007; IIED, 2006). Cependant, ces solutions, sous leur forme actuelle, ne sont pas toutes applicables au contexte haïtien. Avant de proposer un ensemble de solutions, il conviendrait donc d'en évaluer les tenants et les aboutissants sous l'angle du développement durable. Sans entrer dans les détails, il faut tout de même mentionner que les enjeux sont cruciaux : le charbon de bois et le bois de feu représentent une source de revenus non négligeable pour une part importante de la population et une source d'énergie à prix relativement faible (ESMAP, 2007). Les ménages qui s'en servent n'ont pas accès à des équipements énergétiques modernes (électricité, approvisionnement en gaz, fours et équipements de cuisson classiques, etc.) et disposent de peu de moyens financiers (ESMAP, 2007). Les

solutions proposées doivent donc tenir compte de cette réalité si elles veulent être employées à grande échelle. Toute la complexité de cet essai peut donc se résumer ainsi : il s'agit de proposer des sources d'énergies renouvelables en accroissant le niveau de développement économique de la population, tout en restaurant la capacité de support des écosystèmes haïtiens.

1.1.2 Collecte d'informations

Comme mentionné ci-haut, une multitude de sources d'information existe, sous forme de rapports, d'articles scientifiques et de résumés de conférences. Il convient alors d'établir des critères permettant de juger de la validité et de la qualité des sources d'information. Ces critères s'appliqueront aux entités qui produisent et diffusent les informations.

Les informations valides proviendront de sources :

- gouvernementales (ministères, agences de développement, programmes);
- intergouvernementales (Organisation des Nations unies (ONU), Banque Mondiale);
- non gouvernementales (instituts de réflexion, organisations environnementales, organisations de développement international);
- scientifiques (revues spécialisées en développement et environnement);
- journalistiques (journaux, sites Web, télévision, radio);
- autres (blogues, sites Web personnels, etc.). Ces informations devront être validées par au moins deux autres sources indépendantes provenant des catégories mentionnées précédemment.

La provenance des informations devra toujours être spécifiée. Les informations seront validées le plus souvent possible par d'autres sources d'informations indépendantes.

1.2 Cadre d'analyse

Depuis l'adoption des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) au tournant du millénaire, le domaine du développement international a quelque peu évolué. Cette évolution a intégré ces objectifs, au nombre de 8 (huit), qui se concentrent sur des enjeux de gouvernance, de réduction de la pauvreté, d'environnement, d'éducation, d'équité des genres, et de santé (ONU, 2011).

Ces enjeux serviront de base à l'élaboration des critères de développement durable utilisés dans le cadre de cet essai. Il apparaît en effet pertinent d'avoir recours à ces enjeux, puisqu'ils caractérisent beaucoup d'interventions réalisées en développement international. Toutefois, avant d'aborder ces critères, il convient d'approfondir davantage le concept de développement durable, car il constitue la base du cadre analytique de cet essai.

1.2.1 Développement durable

La définition classique du développement durable telle qu'elle est mentionnée dans le rapport *Notre avenir à tous* (Brundtland, 1987) : « *Répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs* » permet d'amorcer la réflexion et le questionnement portant sur notre manière de vivre et de « faire » le développement. Cependant, il convient de s'interroger et de comprendre les dynamiques sous-jacentes à ce concept. La notion de durabilité est très souvent expliquée par une analogie financière toute simple : à l'instar du rentier, qui ne doit pas dépenser son capital s'il veut jouir de ses rentes, la société ne doit pas diminuer son capital naturel et énergétique si elle espère vivre indéfiniment. Ainsi, l'utilisation de ressources ou d'énergie est durable lorsque le capital naturel n'est pas diminué. Autrement dit, les ressources et l'énergie doivent être utilisées à un rythme inférieur à celui de leur production.

La ressource ligneuse comme source d'énergie correspond à une ressource renouvelable dans la mesure où le prélèvement annuel ne dépasse pas la régénération de la ressource. Dans la présente situation, ce n'est toutefois pas le cas. La diminution du couvert forestier a fortement réduit la capacité régénératrice de la ressource, ce qui contribue à son tour à diminuer la taille du couvert forestier et ainsi de suite. La situation n'est donc pas durable même si la ressource a le potentiel de l'être.

Cette situation pose nécessairement une limite naturelle au concept de développement. En effet, en fonction de la productivité d'un territoire donné (capacité des écosystèmes à transformer l'énergie solaire en biomasse qui dépend de la latitude, de l'altitude, de la fertilité des sols, des précipitations, etc.), du nombre d'individus présents sur le territoire et du niveau de consommation/efficacité énergétique par habitant, une société ne peut se développer au-delà d'un certain seuil sans ébranler les fondements mêmes de son

développement. Elle doit alors importer massivement ses produits de base (eau, nourriture, énergie) et utiliser des combustibles fossiles en quantité (Schumacher, 1978). Le sujet de cet essai en est un exemple des plus frappants, comme il sera expliqué au chapitre 3.

Bref, le concept de développement durable qui servira de cadre analytique à cet essai se veut donc une intégration du concept de capacité de support de l'écosystème haïtien aux vecteurs environnementaux, sociaux et économiques. Toute analyse qui ne saurait prendre en compte ce déterminant serait vaine et non pertinente; vu sous cet angle, le développement d'Haïti passe nécessairement par une gestion intégrée du territoire et par l'utilisation de sources d'énergie locales et renouvelables. S'il semble plus profitable à court terme de se tourner vers les énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon) comme l'ont fait de nombreux autres états, l'objectif de cet essai est de proposer des recommandations qui permettront, à long terme, de sortir Haïti de l'état de dépendance dans lequel il se trouve actuellement. De plus, l'angle sous lequel la problématique sera abordée sera celui d'analyser les causes et non les symptômes de la déforestation. De cette manière, les recommandations produites auront une portée plus grande puisqu'elles intégreront des éléments se situant en amont de la problématique et qu'elles viseront à ne pas déplacer la problématique. L'importance de cette façon de faire n'est plus à démontrer (Drexhage and Murphy, 2010).

1.3 Critères

Le cadre d'analyse étant solidement établi, il convient alors de déterminer une série de critères permettant de juger de la durabilité de l'utilisation du bois énergie et des solutions proposées. Ces critères seront présentés sous trois catégories, soit : environnement, économie et société.

1.3.1 Environnement

Ressource renouvelable : la ressource utilisée dans la production d'une source d'énergie est-elle renouvelable? Si oui, le rythme d'utilisation est-il inférieur à son rythme de renouvellement? Sinon, existe-t-il des façons d'augmenter l'efficacité avec laquelle cette ressource est utilisée?

Restauration des écosystèmes : l'exploitation de la ressource utilisée dans la production d'une source d'énergie se fait-elle dans le respect des écosystèmes d'où cette ressource provient? Contribue-t-elle à améliorer la capacité de support de ces écosystèmes?

Utilisation d'organismes génétiquement modifiés : l'introduction d'organismes génétiquement modifiés à l'intérieur de l'écosystème haïtien déjà affaibli ne cadre pas avec le principe de précaution. Cette option serait donc à proscrire.

Production de gaz à effet de serre (GES) : les solutions proposées devront présenter un bilan comparable au bois énergie sur le plan de l'émission de GES. Sans réaliser une analyse de cycle de vie, il est toutefois possible de caractériser les émissions en fonction du type de GES émis, de la quantité émise par kilojoule d'énergie produit et de la nature du GES (fossile ou biogénique).

Érosion des sols : la problématique de l'érosion des sols étant déjà bien documentée et importante, les options présentées ne devront pas aggraver cet état de fait. Elles devront au contraire contribuer à restaurer la qualité des sols et la rétention des éléments nutritifs.

Qualité/quantité de l'eau : de la même manière que le critère précédent, les solutions devront s'assurer de préserver et/ou d'améliorer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Elles devront aussi utiliser l'eau le plus efficacement possible, c'est-à-dire en utiliser le moins possible par kilojoule d'énergie produit.

Biodiversité : l'exploitation des différentes sources d'énergie devra respecter la biodiversité haïtienne et préserver et/ou améliorer cette biodiversité.

Matières résiduelles : les options présentées devront prévoir la production et la revalorisation (s'il y a lieu) des matières résiduelles.

1.3.2 Économie

Création d'emplois : les sources d'énergie proposées devront s'accompagner d'une création positive nette d'emplois, c'est-à-dire que plus d'emplois devront être créés afin de remplacer ceux perdus dans le secteur du bois énergie, de stimuler la croissance économique et de diminuer le chômage.

Retombées économiques locales/balance commerciale positive : il faudra s'assurer que les nouvelles sources d'énergie génèrent des retombées économiques locales, et veiller à ce que les flux économiques soient situés en Haïti. L'activité économique liée à la production du bois énergie se situant en grande partie à l'intérieur du territoire haïtien, il importe de respecter cet état de fait afin de ne pas aggraver la situation économique précaire du pays.

Investissement initial : les sources d'énergie proposées devront requérir un investissement initial en capital très faible afin de répondre à une exigence d'accessibilité. L'achat d'équipements coûteux n'est pas possible sans envisager une méthode de financement tel que le crédit. Cette option sera abordée ultérieurement.

1.3.3 Société

Autonomisation des citoyens : les options énergétiques présentées devront favoriser autant que possible l'autonomisation des citoyens. Ainsi, il sera important que les sources d'énergie ne placent pas les citoyens dans une situation de dépendance (économique, environnementale, technique) accrue.

Équité des genres : les solutions proposées doivent tenir compte des réalités culturelles de la société haïtienne et ne pas favoriser de déséquilibre entre les genres. Il est donc important d'améliorer l'autonomie des femmes au moyen de nouvelles sources d'énergie.

Amélioration de la santé : les nouvelles sources d'énergie ne devront pas occasionner de nouveaux problèmes de santé et devront aussi améliorer l'état de santé des différents utilisateurs/producteurs.

Consultation de la communauté : lors de l'implantation des différentes recommandations, un processus consultatif transparent et éclairé devra avoir lieu afin d'inclure la communauté dans le choix des options énergétiques. Toute tentative d'implanter un choix sans l'accord des communautés visées serait vaine.

Ainsi, au chapitre 3, ces critères seront appliqués à l'utilisation du bois énergie. Par la suite, au chapitre 5, les différentes sources d'énergie proposées seront évaluées selon ces mêmes critères afin de les comparer et d'apporter des recommandations éclairées et pertinentes.

2 PORTRAIT ÉNERGÉTIQUE HAÏTIEN

Ce chapitre présente la consommation énergétique des ménages haïtiens et établit une comparaison avec quatre états : Cuba, la République dominicaine, le Sénégal et le Rwanda. Le portrait énergétique haïtien est particulier en ce qu'il est fortement homogénéisé. En effet, selon le *Global Environment Outlook Haïti 2010* :

« Environ 72 % des besoins en énergie pour usage domestique sont couverts par la biomasse en particulier le charbon de bois et le bois énergie qui sont utilisés pour la cuisine. Les autres 25 % sont couverts par le gaz propane en bouteille, l'électricité et des quantités marginales d'autres combustibles alternatifs tels que le kérosène. » (PNUE, 2010, p.16)

Il est toutefois estimé que 95 % des ménages haïtiens utilisent le bois énergie pour cuire les aliments (OMS, 2006). Cette proportion ne permet pas de déduire quantitativement l'impact de l'utilisation du bois énergie comme énergie de cuisson sur la déforestation, mais permet par contre de supposer que cet impact est assez important. Au plan économique, le séisme du 12 janvier 2010 a eu comme effet de faire diminuer la croissance économique du pays à environ 3 %, alors qu'elle avait été estimée à près de 8 % pour l'année 2010 (PNUE, 2010). Tous les secteurs de l'économie ont été touchés. Cependant, certains l'ont été plus durement que d'autres, tels le commerce, les transports, les télécommunications et l'industrie. Le secteur énergétique, quant à lui, n'a pas subi de baisse notable, ce qui permet de supposer que la demande énergétique pour les ménages haïtiens est en ce moment incompressible. Il convient alors, dans le but de déterminer des opportunités d'intervention, de présenter le portrait énergétique haïtien, sur le plan de la consommation des ménages, d'une manière plus détaillée. Les différentes institutions jouant un rôle clé dans chaque domaine seront également présentées brièvement.

2.1 Bois de feu et charbon de bois

Les chiffres les plus récents estiment que le bois de feu représente à lui seul près de 55 % de la consommation énergétique des ménages (la consommation énergétique comprend la cuisson des aliments, l'éclairage, le transport et le fonctionnement des appareils électriques) (PNUE, 2010). La quantité de bois énergie exploitée annuellement se situe entre 3 et 4 millions de tonnes métriques, soit de 12 à 30 millions d'arbres. Cela correspond à plus de quatre fois la quantité de pétrole consommé en Haïti. La consommation de bois de feu par

les ménages, en 1993, représentait 85 % de la consommation totale de bois de feu (ESMAP, 2007).

L'approvisionnement se fait principalement sur des espaces déjà déboisés, où subsistent quelques arbres. La matière première pour la production du bois de feu est constituée des arbres morts, des brindilles et du petit bois, mais également des racines des arbres. La consommation de bois de feu, contrairement au charbon de bois, se situe principalement en milieu rural et dans les zones marginales des villes plutôt que directement en ville (2 % du bois de feu utilisé par les ménages est consommé en ville) (ESMAP 2007). Il semble que le problème principal lié à l'utilisation du bois énergie soit la surexploitation de cette ressource, comme en témoigne la dégradation rapide des couverts forestiers naturels. Ceux-ci n'occupent plus que 2 % du territoire alors qu'ils étaient autrefois très denses (PNUE, 2010). La couverture forestière totale du territoire (en comptant les surfaces occupées par l'agroforesterie) serait de l'ordre de 20,9 % (PNUE, 2010).

La consommation de charbon de bois répond quant à elle à près de 17 % de la demande en énergie de cuisson. C'est la deuxième énergie en importance au pays destinée à un usage domestique. Le charbon de bois provient de la coupe d'arbres vivants et est mal considéré pour cette raison (ESMAP 2007). Sa fabrication (carbonisation) consiste en la combustion de bois en atmosphère contrôlée (sans oxygène). Ainsi, l'humidité naturelle du bois vert est expulsée, ce qui facilite la combustion et élimine l'excédent de fumée lors de cette combustion (FAO, 1983). Il est important de mentionner que l'efficacité de la transformation du bois en charbon est très faible. Il faut environ 5,6 tonnes de bois pour produire une tonne de charbon, soit un rendement de 18 %. Cette situation, combinée à la faible efficacité des fours employés par les ménages (12,5 % et 20 % pour les réchauds traditionnels à bois et à charbon de bois respectivement) rend l'utilisation du bois énergie peu efficace d'un point de vue énergétique (CEPALC, 2005).

L'avantage du charbon de bois réside dans son faible prix, qui ne reflète pas le phénomène d'épuisement de la ressource primaire. L'augmentation du prix suit plutôt l'évolution des prix des autres combustibles. Le charbon de bois est vendu soit en marmite (1,13 kg), soit en sac (40 kg) (CEPALC, 2005). Vendu en marmite, il est près de 80 % plus cher qu'en sac

pour la même quantité (ESMAP, 2007). Cette situation particulière sera expliquée de manière détaillée au chapitre 3.

Enfin, l'organisme ayant pour but de contrôler, de développer et de gérer les activités de déboisement et de production de charbon est le Service des Ressources Forestières, créé par le Ministère de l'Agriculture, des Ressources naturelles et du Développement rural. L'organisme qui s'occupe de la conservation de l'environnement à proprement parler est le Ministère de l'Environnement. Il s'occupe spécifiquement de la protection des parcs et des forêts.

2.2 Hydrocarbures

Il est possible de distinguer deux groupes d'hydrocarbures utilisés par les ménages haïtiens, soit le gaz propane (gaz de pétrole liquéfié (GPL)) et le kérosène. Ces produits couvrent près de 25 % de la demande annuelle en combustible pour l'ensemble des activités économiques et représentent un poids lourd dans la balance commerciale du pays (8 % des produits pétroliers sont utilisés par les ménages; les chiffres ne permettent pas d'établir dans quelle proportion cette énergie est utilisée pour la cuisson). Le pays consacre 30 à 50 % des devises générées par les exportations pour couvrir l'importation de produits pétroliers (comprenant l'énergie de transport et la production d'électricité en centrales thermiques). En 2004, la quantité de GPL consommée était estimée à près de 12 000 tonnes/an. Le GPL est fourni principalement par trois sociétés : Sodigaz, Total Haïti et Ecogaz. Cette dernière s'approvisionne en République dominicaine, où la consommation est 60 fois plus importante qu'en Haïti, ce qui permet des économies d'échelle (ESMAP, 2007). Le reste du GPL provient principalement de Trinidad et Tobago (CEPALC, 2005).

Le GPL est considéré par beaucoup comme le combustible idéal; il ne salit pas les instruments de cuisson, ne produit pas de fumée et la chaleur est constante et facile à ajuster. Cependant, son prix élevé (1 dollar par litre en 2005 (ESMAP, 2007)) en fait un combustible utilisé seulement par les ménages les plus aisés. Ainsi, il est employé comme combustible d'appoint au charbon de bois lorsque le temps manque. L'obligation de l'acheter en bonbonnes de 12, 23 ou 46 kg rend son utilisation inefficace économiquement ainsi que dangereuse. Des accidents liés à une mauvaise utilisation des cuisinières (retours

de flamme, déversements de liquide, odeurs) entretiennent une certaine méfiance à l'égard de ce combustible (seulement 15 % des ménages urbains y ont recours (CEPALC, 2005)).

Le kérosène est utilisé essentiellement pour l'éclairage et, de façon occasionnelle, pour la cuisson quotidienne. Il est importé principalement du Venezuela. Sa consommation représente deux fois la quantité de GPL consommée. Six obstacles majeurs ont été identifiés concernant la pénétration des hydrocarbures comme source d'énergie de remplacement au bois énergie, soit : le coût des appareils de cuisson, la mauvaise perception des produits pétroliers, en particulier le kérosène, l'absence de politique étatique en la matière, la diminution importante de revenus pour les gens vivant de la production et de la vente du bois énergie, l'augmentation du déficit commercial, l'absence d'institutions étatiques facilitant le transfert de la biomasse vers les produits pétroliers (CEPALC, 2005). Les infrastructures de distributions d'hydrocarbures sont nombreuses et accessibles. Elles sont de plus bien connues des ménages haïtiens. Le kérosène est également un combustible cher, coûtant près de 0,56 dollar le litre en 2005 (ESMAP, 2007).

Enfin, quatre acteurs institutionnels existent dans le domaine du gaz et des produits pétroliers. Le Bureau d'Approvisionnement en Produits Pétroliers, créé par le Ministère du Commerce et de l'Industrie, supervise le secteur pétrolier, attribue les contrats d'importation pour Électricité d'Haïti et contrôle les prix et les marges de distribution des produits pétroliers, à l'exception du GPL. L'Association Nationale des Distributeurs de Produits Pétroliers représente les différentes compagnies pétrolières présentes en Haïti (Total, Texaco, Esso) et négocie les prix avec le Bureau d'Approvisionnement en Produits Pétroliers. Ensuite, l'Association de l'Industrie du Gaz, composée de diverses entreprises du gaz, fait la promotion du GPL et détermine les normes relatives à sa commercialisation et à sa consommation (CEPALC, 2005). Ainsi, malgré la faiblesse des produits pétroliers dans le secteur énergétique domestique, de nombreux acteurs sont présents. Finalement, le Bureau des Mines et de l'Énergie d'Haïti, dont la mission est de promouvoir la recherche et l'exploitation des ressources minérales et énergétiques, supervise l'exploitation et la gestion de l'énergie sous la tutelle du Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (BME, 1999).

2.3 Électricité

2.3.1 Hydroélectricité

La première installation de production d'énergie hydroélectrique en Haïti, la centrale hydroélectrique de Péligre, remonte à 1971. La production, en 1974, correspondait à plus de 94 % de l'offre. Cette proportion n'a cessé de décroître depuis. En effet, selon le *Global Environment Outlook Haïti 2010* :

« l'accès à l'électricité reste faible au niveau du pays. Seul 31,6 % des ménages sont desservis, avec un pic de 92,2 % à Port-au-Prince et 23,2 % dans les villes de province. En milieu rural, 10,5 % des résidents sont branchés sur le réseau électrique. » (PNUE, 2010, p.84)

De plus, l'hydroélectricité est très peu utilisée pour la cuisson. En ce sens, elle ne constitue pas une solution viable à court terme contre la déforestation (ESMAP, 2007). Plusieurs raisons expliquent cet état de fait, notamment le manque de fiabilité du réseau d'Électricité d'Haïti et le prix élevé des appareils de cuisson électriques. Il existe toutefois un potentiel intéressant d'énergie hydroélectrique. En effet, Haïti possède un fort potentiel hydrographique qui, à l'aide d'investissements importants, pourrait être développé. Le relief du pays en fait un territoire de choix pour développer la filiale de l'hydroélectricité. Cependant, pour les raisons mentionnées précédemment, il ne semble pas qu'elle puisse résoudre le problème de la déforestation à court terme (ESMAP, 2007). Aucune information sur le prix du kWh n'a été trouvée pour Haïti.

Électricité d'Haïti est l'acteur principal du domaine de l'énergie électrique. Cette entreprise publique a été fondée en 1971 et est chargée de la production, du transport et de la distribution d'électricité dans le pays. La production électrique peut être assumée par le secteur privé, toutefois l'électricité ainsi produite doit être achetée et distribuée par Électricité d'Haïti (CEPALC, 2005).

2.3.2 Solaire photovoltaïque

Se trouvant à proximité de l'équateur (Port-au-Prince se situe au 18^e degré de latitude Nord (Haïti-Référence, 2010), Haïti bénéficie d'un excellent potentiel d'énergie solaire. Cependant, le coût élevé des panneaux photovoltaïques, des appareils de cuisson

électriques, ainsi que des difficultés d'entretien ont fait en sorte de rendre cette technologie marginale. De nombreux projets ont toutefois eu lieu, sans faire suite, comme en témoigne le *Global Environmental Outlook Haïti 2010* :

« Les expériences de transfert de technologie et de changements dans les habitudes énergétiques, initiées dans le secteur des ménages, incluent [...] des générateurs de courant photovoltaïques, mais ces efforts n'ont pas donné de résultats concluants à cause des "problèmes d'ordre institutionnel et à l'absence d'incitations fiscales et légales" » (PNUE, 2010, p. 108).

2.3.3 Énergie éolienne

Il existe très peu d'information sur l'emploi de l'énergie éolienne en Haïti et l'information existante tend à indiquer qu'elle n'est pas utilisée par les ménages comme énergie de cuisson. Des projets de centrales éoliennes ont déjà fait l'objet d'études de préfaisabilité par le passé (WINERGY, 2006), mais les problèmes liés à l'utilisation de l'énergie électrique mentionnés plus haut sont encore une fois présents dans cette situation. Il ne semble pas, malgré le potentiel éolien intéressant d'Haïti (100 à 300 W/m² à 30 mètres de hauteur (WINERGY, 2006) que l'énergie éolienne représente une alternative viable à court terme contre la problématique du déboisement.

Bref, l'électricité ne représente pas une alternative viable et intéressante au bois énergie dans la lutte contre le déboisement. Les prix trop élevés des infrastructures et des appareils de cuisson rendent cette alternative inefficace.

2.4 Solaire thermique

Un potentiel d'intervention résiderait toutefois dans l'utilisation massive de petits fours solaires. Cette avenue sera présentée et évaluée plus loin dans le cadre de cet essai.

Il apparaît que l'énergie solaire thermique est, à l'heure actuelle, sous-utilisée par les ménages comme énergie de cuisson. Des progrès importants pourraient être réalisés dans ce domaine.

2.5 Bagasse

Il existe présentement en Haïti une filière énergétique liée à la biomasse autre que le bois énergie. La bagasse, qui provient de la transformation de la canne à sucre, constitue un

combustible de remplacement efficace pour la cuisson des aliments. Cette forme d'énergie contribue à près de 4 % de la consommation énergétique des ménages (PNUE, 2010). Le nombre d'ateliers de transformation de canne est estimé à près de 5 600. Il est donc possible de compter sur un approvisionnement stable et un savoir-faire bien établi. La majorité de la bagasse semble toutefois utilisée par des distilleries, mais cette forme d'énergie commence tranquillement à se répandre à travers le pays (ESMAP, 2007). La quantité de bagasse produite au pays annuellement est de 140 000 tonnes, soit un potentiel énergétique oscillant entre 37 000 et 56 000 tonnes d'équivalent pétrole (tep) (À titre de comparaison, les ménages haïtiens consomment l'équivalent de 1 151 000 tep en bois énergie (CEPALC, 2005). Les briquettes de bagasse pourraient remplacer près de 4 % du bois énergie). La bagasse peut, à l'instar du bois, être transformée en briquette carbonisée. La question de l'efficacité du procédé doit ici aussi être soulevée; cependant, l'utilisation de ces briquettes peut se faire avec des réchauds traditionnels (CEPALC, 2005). Aucun prix n'a pu être déterminé concernant la bagasse.

2.6 Biométhanisation

La biométhanisation consiste en la transformation anaérobie de la matière organique. Lors de cette transformation, la matière organique est transformée en méthane (55 à 80 %) et en gaz carbonique (20 à 45 %) (ONESIAS, 2009). L'organisation non gouvernementale brésilienne Viva Rio (DINEPA, 2010) a installé deux unités de biométhanisation dans la région de Port-au-Prince. Ces unités servent de projets pilotes et profitent directement à la communauté. Ces installations transforment les excréta humains en biométhane. Elles sont utiles à plusieurs niveaux : elles servent d'installations sanitaires accessibles, neutralisent les excréta, fournissent de l'énergie et des amendements pour les sols. Selon les données extraites du projet, un adulte peut produire jusqu'à 50 litres de biométhane par jour, un enfant, jusqu'à 33 litres. Ceci représente 0,36 et 0,24 kWh respectivement (à Port-au-Prince, avec une population avoisinant les 2 millions d'habitants (36,5 % a moins de 15 ans (IHSI, 2003)), le potentiel énergétique du biométhane se situe autour de 632 400 kWh/jour. Ce chiffre correspond à près de 19 850 tep/an, soit 1,7 % de la demande énergétique (bois énergie) pour la cuisson). Le biométhane peut être utilisé directement comme combustible de cuisson ou dans un générateur afin de produire de l'électricité. Il est possible d'utiliser

non seulement les excréta humains, mais également les déjections animales et les matières résiduelles organiques.

Il n'existe présentement pas de données significatives sur l'utilisation du biométhane comme source d'énergie de cuisson par les ménages. Des données sur les quantités, les prix et l'accessibilité ne sont pas disponibles, ce qui laisse croire que cette forme d'énergie est peu, voire pas utilisée. Les différents problèmes liés à l'utilisation du GPL sont également présents pour l'utilisation du biométhane, soit le transport, l'utilisation d'un réchaud adapté et coûteux et l'installation de bioréacteurs, qui représentent un investissement de départ plus important. Le projet élaboré par Viva Rio laisse cependant croire qu'un potentiel important existe en Haïti pour ce type d'énergie.

La Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement du gouvernement haïtien a mis sur pied, dans le cadre du programme Biogaz Haïti, une stratégie 2010-2012, qui vise à établir le cadre d'utilisation et d'instauration du biogaz comme source d'énergie (DINEPA, 2010). Les objectifs de réduction du déboisement et de production d'amendements pour les sols y sont cependant secondaires. L'objectif principal étant l'amélioration des conditions d'hygiène et de salubrité. Il est toutefois très intéressant d'examiner plus en détail cette stratégie, puisqu'elle présente un effet de synergie entre différentes problématiques et solutions. Cette proposition sera donc présentée et évaluée plus en détail aux chapitres 4 et 5.

2.7 Briquettes de papier

Du combustible peut être produit à partir de résidus de papier. Le papier est récupéré, broyé puis mélangé avec un agent liant (peut être produit à partir de cassave), pressé en briquette puis séché. Ce combustible est ensuite revendu et sa combustion est plus aisée que le charbon de bois et le bois de feu. Une initiative du programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) à Carrefour Feuilles a permis d'instaurer un système de collecte, de tri et de production de briquettes de papier. Les coûts pour une cuisson équivalente sont déjà plus bas pour les briquettes que pour le charbon et ils sont appelés à décroître encore plus avec le temps. Le projet emploie de nombreuses femmes et on assiste déjà à une

amélioration de la santé. Les retombées économiques, sociales et environnementales se font déjà sentir et la population participe activement à ce projet (PNUD, 2008).

2.8 Comparaison de la situation énergétique des ménages haïtiens pour la cuisson des aliments avec d'autres pays

Il convient de comparer succinctement la situation énergétique haïtienne avec la situation qui prévaut à l'intérieur d'autres pays présentant des caractéristiques similaires. Cuba, la République dominicaine, le Sénégal et le Rwanda ont été retenus aux fins de cette étude comparative.

2.8.1 Cuba

Le cas de Cuba a été retenu ici, puisqu'il représente à plusieurs égards un modèle de développement. Semblable à Haïti, Cuba est un état insulaire, sa population avoisine les 11,4 millions d'habitants (Population Data.net, 2011), il ne produit pas de pétrole (CIA, 2011) et est soumis à des conditions climatiques et météorologiques similaires. De plus, l'embargo mis en place par les États-Unis en 1962 a induit une pression énorme sur le développement en réduisant considérablement les importations d'hydrocarbures et d'autres matériels. Ces importations ont été couvertes par l'URSS jusqu'en 1989. À partir de cette date, la population et le gouvernement ont donc dû user de créativité afin de pallier ce handicap. En 2009, Cuba était classé au 51^e rang sur le plan de l'indice de développement humain (IDH), comparativement à Haïti qui occupait la 149^e position (PNUD, 2009). Bien que des différences historiques importantes existent et expliquent la différence entre les niveaux de développement actuels, il est toutefois intéressant de comparer le portrait énergétique de cet état avec celui d'Haïti.

Sur le plan de l'accès à l'électricité, 95 % des ménages cubains disposaient en 1997 d'un accès fiable, qui permettait de répondre à environ 35 % de la demande en énergie. En 1997 également, près de 100 millions de mètres cubes de gaz naturel ont été consommés dans la région de La Havane (Jaffe and Soligo, 2001). Entre 1990 et 1999, la consommation énergétique totale du pays a diminué de près de 20 %, alors que le PIB a augmenté de près de 6 %. Il est donc intéressant de noter que demande énergétique et croissance économique ne sont pas nécessairement liées de manière directe. Cependant, la fiabilité des données en

termes de consommation énergétique peut être remise en question; il semble que de plus en plus de formes d'énergies décentralisées jouent un rôle essentiel dans le portrait énergétique cubain. La révolution énergétique (*revolucion energetica*), entreprise en 2006, est un vaste programme gouvernemental d'économie d'énergie et de remplacement des énergies traditionnelles par des énergies renouvelables décentralisées. Ce programme d'envergure est né de la nécessité de s'affranchir des sources d'énergie importées. Cependant, peu d'efforts ont touché la cuisson des aliments; les plans se sont plutôt concentrés sur l'éclairage. En ce qui a trait à la cuisson des aliments, la quantité de ménages utilisant de la biomasse solide comme source d'énergie se situe autour de 21 % (OMS, 2006). Cette quantité est beaucoup plus faible qu'en Haïti. Il est alors difficile d'établir une comparaison entre ces deux pays. La consommation de GPL utilisée par les ménages est d'environ 64 000 tonnes en 2008 (ONE, 2008).

2.8.2 République dominicaine

État voisin d'Haïti, partageant la partie est de l'île d'Hispaniola, la République dominicaine partage sensiblement les mêmes conditions climatiques et géographiques qu'Haïti. Avec une population de près de 9,7 millions d'habitants, la République dominicaine se classe au 90^e rang au plan de l'IDH (Population Data.net, 2011) (PNUD, 2009). Le portrait énergétique de la République dominicaine se rapproche davantage de Cuba que d'Haïti. En effet, près de 65 % des ménages sont connectés au réseau électrique (de manière officielle) et 25 % le sont de manière non officielle, pour un total de 90 % des ménages qui ont accès à l'électricité. Ainsi, environ 685 000 personnes n'ont pas accès à l'électricité à la maison. Le charbon de bois représente pour sa part seulement 6 % de l'énergie utilisée pour la cuisson et la part des ménages utilisant de la biomasse solide comme combustible de cuisson se situe autour de 14 %, ce qui est encore plus faible qu'à Cuba (OMS, 2006). La consommation énergétique dominicaine est donc très différente de la consommation haïtienne (United States Agency for International Development, 2004). À l'instar de Cuba, d'importants efforts sont réalisés dans le domaine de l'efficacité énergétique afin de réduire l'utilisation et les coûts de l'énergie. La faible utilisation du charbon de bois en République dominicaine résulte en un couvert forestier modéré de l'ordre de 30 %. La demande annuelle en bois de feu/charbon de bois est d'environ 556 000 mètres cubes. Les

importations nettes de bois (charpente, papier) étaient de 172,5 millions de dollars (USD) en 1998. Les besoins en ressources ligneuses sont ainsi principalement comblés via l'importation (FAO, 2002). Il apparaît alors que pour suffire à son développement, la République dominicaine s'est tournée massivement vers les énergies fossiles afin de produire de l'électricité et ainsi fournir à près de 90 % de sa population un accès à cette forme d'énergie moderne. Il semble peu probable qu'Haïti suive cette voie dans un avenir rapproché pour des raisons d'investissements importants, d'équilibre commercial et d'emplois.

2.8.3 Sénégal

Avec une population avoisinant les 14 millions d'habitants, le Sénégal est près de deux fois plus peuplé qu'Haïti (Population Data.net, 2011). Situé en Afrique de l'Ouest, ce n'est pas un pays insulaire et son climat est désertique au Nord, tropical au Sud. Le Sénégal se classe au 166^e rang sur le plan de l'IDH, ce qui en fait un état comparable à Haïti (149) (PNUD, 2009). C'est à ce niveau que l'on peut faire une brève comparaison avec Haïti sur le plan de la consommation énergétique des ménages et de la gestion des ressources ligneuses. La FAO mentionne des faits importants concernant l'état des ressources forestières au Sénégal :

« une tendance à la dégradation et à la régression des ressources forestières sous l'action des coupes abusives, des feux de brousse, du surpâturage et des défrichements agricoles. La coupe de bois vise en très grande partie l'approvisionnement des villes en bois de chauffage et charbon de bois. Les formations forestières offrent de nombreux autres produits utiles : fruits, médicaments, fourrage et de nombreux autres produits et services. Elles remplissent des fonctions écologiques importantes dans la prévention de l'érosion, la protection des plans d'eau et la limitation des tendances à la désertification. » (FAO, 2003)

Ce constat rappelle la situation haïtienne à bien des égards : la dégradation du couvert forestier, sous l'action de la coupe de bois abusive tend à augmenter l'érosion des sols, la dégradation des plans d'eau et, spécifiquement au Sénégal, la désertification. Le bois énergie couvre près de 76 % des besoins énergétiques des ménages (cuisson, éclairage, appareils ménagers) (Direction de l'Énergie, 2005). Le GPL, l'électricité et le kérosène ne répondent respectivement qu'à 16,4 %, 6,6 % et 1,1 % des besoins énergétiques des

ménages sénégalais. Cependant, il importe de mentionner que le bois énergie couvre la presque totalité des besoins de cuisson. Sans faire une analyse approfondie de la situation, il est néanmoins possible de constater que le Sénégal fait face à des défis sensiblement similaires concernant la déforestation. Cette situation limite son développement économique (faible productivité des sols, accès à l'eau, désertification) et son faible développement économique limite sa capacité à utiliser des sources d'énergie ayant moins d'impact sur les ressources forestières. À ce stade, il semble que quelques recommandations émises dans le cadre de ce travail pourraient s'appliquer au Sénégal.

La problématique de la déforestation a fait l'objet de quelques stratégies nationales mises en place depuis 2000 (notamment dans le domaine de l'agroforesterie). De plus, de nombreuses initiatives sont mises en œuvre afin de favoriser l'utilisation de la technologie solaire pour la cuisson. Une pléthore d'acteurs privés existent et proposent des solutions. Celles-ci semblent très populaires. Il conviendrait donc d'analyser les tenants et les aboutissants au chapitre 4. Par ailleurs, il semble que l'intérêt du gouvernement sénégalais soit porté de plus en plus vers cette problématique. Des échanges avec le gouvernement haïtien, les différentes organisations non gouvernementales (ONG) et les agences de développement international pourraient favoriser la recherche de solutions.

2.8.4 Rwanda

De par sa superficie (26 798 km²), sa population (10,4 millions d'habitants) et son IDH (167^e position) (Population Data.net, 2011) (PNUD, 2009), le Rwanda peut aisément se comparer à Haïti. Son relief et son climat sont également similaires. Concernant l'état de ses forêts, le couvert forestier rwandais est estimé à près de 20 % (Interpress Service, 2011) et le gouvernement s'est donné comme objectif de l'augmenter à 30 % d'ici 2020. Différents programmes de plantation ont permis d'atteindre 282 563 ha de superficie de boisements artificiels (Mukuralinda, 2003). L'utilisation du bois comme combustible au Rwanda a augmenté de 60 % entre 1990 et 2005. Cette hausse est entre autres due à l'accroissement rapide de la population après la fin du génocide en 1994 (3 millions de personnes sont retournées au Rwanda). Interpress Service (2011) soutient également qu'il est important d'introduire des solutions de rechange au bois énergie comme énergie de cuisson. Les avenues les plus prometteuses seraient d'utiliser des réchauds améliorés et

d'introduire de nouvelles habitudes alimentaires nécessitant moins de temps de cuisson. Le gouvernement s'est aussi doté d'un cadre juridique plus contraignant et d'un programme d'éducation populaire en agroforesterie. Ce programme permet de restaurer le couvert forestier tout en générant une activité économique durable et des produits comestibles (fruits) (Interpress Service, 2011).

Actuellement, plus de 96 % des ménages ont recours au bois énergie comme source d'énergie principale de cuisson (OMS, 2006). Près de 60 % de la population urbaine utilise le charbon de bois comme source d'énergie pour la cuisson. Ces chiffres sont très élevés et sont le reflet de la grande difficulté pour la population de se tourner vers des solutions durables. Malgré les efforts de longue date du gouvernement en termes de reboisement, la demande en bois énergie annuelle dépasse toujours la capacité des forêts rwandaises à se régénérer (Mukuralinda, 2003). On assiste donc au même scénario qu'à Haïti. À terme, si la situation ne change pas, il est tout à fait possible de prévoir une diminution drastique du couvert forestier et de la qualité de vie des habitants. À l'instar d'Haïti, le Rwanda doit se donner les moyens de sortir du cycle de dépendance aux produits de la forêt comme source d'énergie. Afin d'y arriver, des investissements importants seront nécessaires, provenant autant du secteur public que privé. La collaboration des citoyens est par contre le facteur le plus déterminant dans la réussite d'une telle entreprise.

Bref, à la lumière de ces informations, il apparaît pertinent d'établir un lien entre développement et résilience des écosystèmes. La « pauvreté » d'un écosystème place les habitants dans une situation de dépendance et induit une multitude de conséquences néfastes sur d'autres facettes de la vie (hygiène, alimentation, événements climatiques extrêmes). Le portrait énergétique haïtien étant extrêmement homogène, des patrons de dépendances s'installent à l'égard d'une seule ressource essentielle et il en résulte un accroissement de la pauvreté au fur et à mesure que la ressource s'épuise, augmentant ainsi la dépendance initiale. Afin de briser ce cercle vicieux, des solutions seront étudiées et analysées aux chapitres 4 et 5 et des recommandations seront formulées au chapitre 6. Mais tout d'abord, la durabilité de l'utilisation du bois énergie par les ménages haïtiens sera évaluée au chapitre suivant.

3 ANALYSE DE LA DURABILITÉ DE L'UTILISATION DU BOIS ÉNERGIE COMME ÉNERGIE DE CUISSON PAR LES MÉNAGES EN HAÏTI

Ce chapitre portera sur l'utilisation du bois énergie comme énergie de cuisson en Haïti. L'utilisation de cette ressource sera évaluée sous l'angle du développement durable, à l'aide des critères présentés au chapitre 1. Avant de procéder à l'analyse, une courte description technique du processus de fabrication du charbon de bois sera présentée. Le rendement énergétique de la transformation du charbon de bois ainsi que de la combustion du bois de feu et du charbon de bois seront inclus dans cette description. Finalement, une synthèse permettra de regrouper les enjeux clés qui sont liés à l'utilisation du bois énergie en Haïti.

3.1 Carbonisation

La FAO définit la carbonisation comme une forme particulière de pyrolyse qui consiste en la dégradation de substances complexes carbonées (telles que le bois et les résidus agricoles) en formes plus simples (carbone élémentaire et composés chimiques pouvant contenir du carbone) par le chauffage en absence d'oxygène (FAO, 1985). Typiquement, la carbonisation peut représenter près de 10 % des coûts totaux de production (de la coupe de l'arbre à la vente du charbon fini). Toujours selon la FAO (1985), trois facteurs principaux influencent l'efficacité de conversion :

- 1- Le taux d'humidité du bois au moment de la carbonisation
- 2- Le type d'équipement utilisé
- 3- La façon dont le processus est mené

Il est donc possible d'influencer ces trois facteurs afin d'augmenter l'efficacité du processus de carbonisation et ainsi réduire la demande en bois. Sous le climat des Caraïbes, il est possible d'utiliser l'énergie du soleil pour faire sécher le bois sur une période d'environ trois mois. Passé cette période, la dégradation biologique et l'humidité ambiante font perdre ses qualités au bois mort. Il est donc important de s'assurer que ce temps de séchage est bien respecté. Toutefois, le temps de séchage n'est souvent pas respecté; le bois est rapidement carbonisé afin d'éviter des vols (FAO, 1985).

Le type d'équipement utilisé influence la manière dont le bois est chauffé (gaz inerte chaud, bois, hydrocarbures, etc.) et traité. Par exemple, les meules traditionnelles ne produisent que de 10 à 15 kg de charbon par 100 kg de bois sec (soit près de 200 kg de bois vert). Il est estimé qu'avec une meule améliorée, il serait possible de doubler la production de charbon de bois (ESMAP, 2007). Finalement, la manière dont le processus de carbonisation est mené influence également l'efficacité générale du processus. Mieux contrôler la quantité d'oxygène qui pénètre et alimente la combustion permet de rendre le processus plus efficace.

Il est estimé que de 60 à 80 % de l'énergie est perdue lors du procédé de transformation du bois en charbon. Le bois n'est donc pas transformé en charbon dans une optique de gain énergétique, mais pour des raisons de santé et de manipulation (Stewart, 1987).

De manière simple, le charbon de bois est produit de la façon suivante :

« Dans une charbonnière ou un four à charbon traditionnel, une partie du bois est brûlée pour sécher le reste de la charge et élever sa température, de telle sorte que la pyrolyse s'amorce et se poursuive ensuite d'elle-même jusqu'à la fin. Le bois ainsi brûlé est perdu.[...] Le processus de pyrolyse produit du charbon de bois qui se compose principalement de carbone [...] Lorsque la pyrolyse est achevée, on laisse le charbon, qui a atteint une température d'environ 500 °C, se refroidir à l'abri de l'air; on peut alors décharger le four ou la charbonnière en toute sécurité, et le charbon est prêt à l'emploi. » (FAO, 1983)

La production de charbon de bois en Haïti se fait de manière traditionnelle, ce qui nécessite entre 5 et 7 kg de bois pour produire 1 kg de charbon. Cette manière de faire est très inefficace et contribue considérablement à la déforestation (Bureau des Mines et de l'Énergie, 2003). Bref, la production du charbon de bois est un procédé bien connu qui, dans les conditions actuelles, pourrait être amélioré. Ceci fait partie d'un ensemble de mesures visant à améliorer la durabilité de cette source d'énergie en Haïti. Les conditions de cette durabilité seront analysées dans la prochaine section.

3.2 Environnement

- Ressource renouvelable

Entre 30 et 50 millions d'arbres sont coupés chaque année en Haïti. Ceci représente environ 5,4 millions de tonnes de bois. De cette quantité, 4 millions de tonnes servent comme bois de feu tandis que le reste (1,4 million) est transformé en charbon de bois (250 000 tonnes de masse finale). La productivité actuelle du couvert forestier haïtien est évaluée à près d'un million de tonnes de bois. Le stock de bois sur pied est estimé à environ 26 millions de tonnes et son taux de croissance est de 3,8 % (ESMAP, 2007; CEPALC, 2005). Selon la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (2005, p.23) :

« À un tel rythme d'exploitation (5,4 millions de tonnes/an), si la production de bois avait pour origine la seule forêt et si aucune mesure particulière n'était prise, la forêt restant en Haïti devrait disparaître en sept ans. »

Puisque la « forêt » ne disparaît pas complètement, le bois doit donc provenir nécessairement d'autres sources telles que : les arbres provenant de l'agroforesterie, les racines et les souches ainsi que l'extérieur du pays. De plus, il est clair que si l'objectif est d'augmenter le couvert forestier en Haïti, il faudrait donc reboiser massivement et réduire la quantité de bois extrait sous la barre du million de tonnes annuellement. Avec le temps, la productivité augmenterait et s'accélérerait. L'utilisation actuelle du bois énergie n'est donc pas durable selon ce critère précis.

- Restauration des écosystèmes

Tel qu'il est mentionné au critère précédent, l'utilisation actuelle du bois énergie comme énergie de cuisson en Haïti contribue à dégrader le couvert forestier et arboré de manière importante. Le bois énergie contribue donc à la destruction des écosystèmes et à la réduction de leur capacité de support plutôt qu'à leur amélioration. Les problèmes d'érosion contribuent également à détruire les écosystèmes marins et aquatiques, réduisant leur capacité à soutenir la vie (PNUE, 2010).

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation du bois énergie en Haïti.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

Le bois énergie étant composé de carbone, sa combustion dégage du dioxyde de carbone. Cependant, ce CO₂ étant biogénique (d'origine biologique et non fossile), il ne contribue pas directement aux changements climatiques. La problématique se situe plutôt en aval. C'est en effet les phénomènes de déforestation et de changement d'affectation des terres (954 000 tonnes de GES, soit 15,77 % des émissions totales (Ministère de l'Environnement, 2001)) qui contribuent aux changements climatiques en éliminant des puits de carbone. Selon la FAO (2005b) :

« La déforestation, [...] contribuent à réduire le stockage du carbone dans les forêts; en revanche, la gestion durable, la plantation et la réhabilitation des forêts peuvent favoriser la fixation du carbone. On estime que les forêts du monde renferment 283 gigatonnes (Gt) de carbone uniquement dans leur biomasse, et que le carbone stocké dans la biomasse des forêts, bois mort, litière et sols, représente au total une quantité d'environ 50 pour cent supérieure à celle du carbone dans l'atmosphère. » (FAO, 2005b)

Les forêts jouent donc un rôle important dans le stockage du carbone et dans la régulation du climat. Il est évalué qu'entre 12 et 17 % des émissions de GES mondiales sont liées à la déforestation (Toutchkov, 2011) Avec 0,19 tonne de GES par habitant par an, Haïti n'est pas un producteur important de GES. Il apparaît donc qu'une modification, même importante, de la quantité de GES émise directement par un combustible de substitution aurait peu d'impact sur le bilan global haïtien, d'autant plus que cette substitution s'accompagnerait probablement d'une diminution de la déforestation (Ministère de l'Environnement, 2001).

- Érosion des sols

La topographie particulière du pays (52 % de la surface du pays se retrouve sur des pentes de 40 % et plus) et la pluviométrie (1 400 mm de pluie en moyenne, avec des pointes à 4 000 mm, concentré sur une période de six mois) sont des facteurs prédisposant à l'érosion

des sols. Conjugué à la déforestation massive, cet état ne fait que s'aggraver. Il est estimé que plus de 42 millions de mètres cubes de sols sont lessivés annuellement (équivalant à 12 000 hectares sur 20 cm d'épaisseur (ou 36,6 millions de tonnes (ESMAP, 2007)); donnée provenant à l'origine du Ministère de planification et de la coopération externe, gouvernement haïtien). Cette situation, qui se poursuit année après année a des conséquences majeures. L'envasement du principal réservoir hydroélectrique réduit la production d'énergie. Le sol et les matières résiduelles de toute sorte qui sont charriés par l'eau contaminent les sources d'eau potable et affectent les écosystèmes marins et côtiers, diminuant du même coup le rendement des ressources halieutiques. Enfin, c'est toute la productivité des terres agricoles qui est diminuée, avec les conséquences humaines et économiques qui en découlent (quantité insuffisante de nourriture produite et chômage) (PNUE, 2010). À ce niveau, l'utilisation du bois énergie n'est donc pas durable telle qu'elle est pratiquée actuellement en Haïti.

- Qualité/quantité de l'eau

La déforestation résultant de l'utilisation non durable du bois énergie a des conséquences sur le plan de la qualité et de la quantité d'eau disponible. La qualité de l'eau est principalement affectée par l'érosion des sols, tel qu'il est mentionné ci-haut, et aussi par la diminution de la capacité du sol à filtrer et à retenir l'eau efficacement. Les plantes et le couvert végétal en général jouent un rôle important de phytoremédiation des nutriments, des substances toxiques et des pathogènes. De plus, sur le plan de la quantité d'eau, le couvert forestier, par son réseau racinaire, facilite la percolation de l'eau dans le sous-sol et le maintien de la hauteur de la nappe phréatique. Le couvert forestier joue également un rôle prépondérant dans le maintien de l'humidité atmosphérique via le phénomène de transpiration. Il peut donc jouer un rôle important dans la régulation des précipitations. (Lambert, 1996) Sur ce point, le bois énergie, tel qu'il est utilisé présentement en Haïti, ne peut pas être considéré comme une source d'énergie durable.

- Biodiversité

Le *Global Environment Outlook 2010* (PNUE, 2010) caractérise Haïti comme étant un véritable joyau de la diversité biologique. Son insularité, son relief et son climat en font un

endroit riche en biodiversité. Cependant, cette richesse ne cesse de diminuer, notamment à cause de la déforestation. En effet, la destruction des forêts a mené à la destruction des habitats de nombreuses espèces animales et végétales, rendant leur survie plus que précaire. De plus, l'érosion importante résultant de la déforestation entraîne une quantité importante de sédiments, de matières résiduelles et de substances toxiques dans les zones côtières. Ceci a pour effet d'asphyxier et de polluer une partie des écosystèmes marins et côtiers. La déforestation a donc un lien direct avec la perte de biodiversité.

- Matières résiduelles

Sur la production de matières résiduelles lors de la combustion du charbon de bois, la FAO (1983) mentionne ceci :

« Le résidu représente les cendres, qui se composent de matières minérales telles qu'argile, silice, oxydes de calcium et de magnésium, etc. présentes à l'origine dans le bois ou constituant des impuretés apportées par la terre au cours de la carbonisation. La teneur en cendres du charbon de bois varie entre 0,5 % environ et plus de 5 % » (FAO, 1983).

Les matières résiduelles provenant de la combustion du bois de feu sont également les cendres. Les cendres peuvent servir de fertilisants agricoles, ainsi que d'agents de chaulage des sols (neutralisation de l'acidité des sols). À ce titre, les cendres peuvent donc remplacer la chaux agricole et le muriate de potassium. Il est également possible d'utiliser les cendres pour la fabrication du béton, ce qui le rend plus dense et résistant (Conseil national de recherches Canada, 2008). Il existe également une compagnie, Biomasse-Haïti, qui revalorise les restants de charbon et les cendres en nouvelles briquettes de combustible. Ceci contribuerait également à diminuer les pressions sur les ressources ligneuses. Il semble donc que concernant le critère des matières résiduelles, il serait possible d'utiliser le bois énergie de manière durable en valorisant les cendres à l'intérieur de la société haïtienne.

3.3 Économie

- Création d'emplois

Le secteur du bois énergie génère près de 16 % des revenus ruraux et emploie environ 150 000 personnes (ESMAP, 2007; CEPALC, 2005). Ces chiffres sont probablement en dessous de la réalité, puisqu'ils ne prennent pas en compte le travail non rémunéré de la collecte du bois de feu par les femmes et les enfants. Idéalement cette quantité d'emplois devrait être préservée par une éventuelle source d'énergie de substitution.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

Du point de vue des retombées économiques locales et de la balance commerciale, la production et l'utilisation du bois énergie représente un atout majeur pour Haïti. En effet, même s'il n'est pas possible d'affirmer que la totalité de la ressource ligneuse provienne d'Haïti (les sources d'approvisionnement sont entre autres : les arbres seuls en bordure des routes/champs, le bois mort, l'agroforesterie, les arbres qui repoussent rapidement (Bayahonda) et la République dominicaine), il est possible d'estimer que la plupart de la matière ligneuse provient tout de même du pays (ESMAP, 2007; CEPALC, 2005). L'activité économique liée à la production du charbon est estimée à près de 65 millions de dollars par année (BME, 2001). Du point de vue de la balance commerciale, il est évalué que cette activité économique permet d'économiser l'équivalent de 88 millions de dollars en pétrole annuellement. La filière du bois énergie représente également environ 9 % du PIB (CEPALC, 2005).

Il importe toutefois de mentionner que des études économiques (non exhaustives) ont estimé à 1 600 millions de dollars le total des coûts externalisés liés à la filière du bois énergie. Ainsi, les coûts dépassent largement les bénéfices. Les coûts incluent : la disparition de 2 000 hectares de terres arables pouvant produire 80 millions de dollars de récoltes et l'ensablement du réservoir électrique de Péligre menant à une diminution de la production hydro-électrique. Les coûts non inclus comprennent notamment la dégradation des ressources hydriques (maladies), la dégradation des ressources halieutiques, la diminution de la séquestration du CO₂, les problèmes de santé liés aux fumées lors de la cuisson, la perte de biodiversité (difficile à chiffrer), l'augmentation de la vulnérabilité aux

changements climatiques, le nombre d'heures perdues à la collecte du bois (toujours plus loin), etc. (CEPALC, 2005) Les coûts présentés ici doivent être abordés de façon critique. La méthodologie utilisée ne fait pas l'unanimité, cependant elle permet d'établir un ordre de grandeur qui existe entre les coûts et les revenus. Il est donc possible d'estimer que globalement la filière du bois énergie, telle qu'elle existe présentement en Haïti, représente un mauvais patron d'utilisation de la ressource et qu'elle n'est pas durable selon ce critère économique précis.

- Investissement initial

L'investissement initial pour la cuisson au charbon de bois est relativement faible en comparaison des autres modes de cuisson. En effet, un réchaud traditionnel coûte environ 75 gourdes (près de 2 dollars canadiens) tandis qu'un réchaud amélioré peut coûter entre 150 et 200 gourdes (de 3,5 à 5 dollars canadiens). Le charbon, s'il est acheté en marmite, coûte environ 1,25 dollar par jour et, s'il est acheté en sac, coûte 0,75 dollar par jour (ESMAP, 2007). L'écart est considérable et représente un élément de dépendance économique important pour les ménages les plus pauvres.

3.4 Société

- Autonomisation des citoyens

À ce titre, il semble que le mode d'approvisionnement actuel en charbon de bois, chez les citoyens les plus pauvres, pose problème. En effet, ceux-ci doivent acheter le charbon en marmite (une marmite contient environ 1 kg de charbon (ESMAP, 2007)), qui a un prix unitaire plus élevé que lorsqu'il est acheté en sac (près de 38 kg (ESMAP, 2007)). Même si le charbon est moins cher au prix unitaire lorsqu'il est acheté en sac, il est plus difficile pour les ménages les moins fortunés d'amasser la quantité d'argent nécessaire (qui est plus élevée pour le sac que pour la marmite). Les ménages les moins fortunés doivent donc acheter plus fréquemment de plus petites quantités de charbon de bois, ce qui leur coûte plus cher. En outre, il leur est plus difficile d'avoir accès à des fours plus efficaces, ce qui augmente leur dépendance économique et énergétique au charbon mauvais marché (PNUE, 2010) (ESMAP, 2007). Il convient également de mentionner l'importance de cette activité économique pour l'économie rurale, qui dépend à hauteur de 16 % du secteur du bois

énergie pour survivre. (ESMAP, 2007). Par ailleurs, les charbonniers dépendent souvent de cette seule activité économique pour avoir un quelconque revenu (CEPALC, 2005). De ce point de vue, la filière du bois énergie, telle qu'elle est pratiquée actuellement en Haïti ne semble pas durable, puisqu'elle ne permet pas aux charbonniers et aux ménages les plus pauvres d'améliorer leurs conditions de vie.

- Équité des genres

En milieu rural, où le bois de feu est le plus utilisé pour la cuisson, la collecte est la responsabilité des femmes et des enfants qui peuvent y consacrer plusieurs heures chaque jour. Cette situation impose donc une demande de temps incompressible chez ces groupes sociaux. (CEPALC, 2005). De plus, traditionnellement, la cuisson des aliments est la responsabilité des femmes. Celles-ci, de même que les enfants qui peuvent être présents lors de la cuisson, sont plus exposés aux fumées et substances chimiques qui sont produites lors de la combustion du bois de feu et du charbon de bois (OMS, 2006). La pollution atmosphérique provenant de la combustion de biomasse provoque près de 1,6 million de décès chaque année et contribue à 2,7 % des maladies à travers le monde. L'Organisation mondiale de la santé (2006) indique que le taux de mortalité infantile en Haïti, est de 11,8 % tandis que le taux de mortalité maternelle est de 0,68 % (comparativement à Cuba : 0,8 % et 0,033 %, à la République dominicaine : 3,5 % et 0,15 %, au Sénégal : 13,7 % et 0,69 % et au Rwanda : 20,3 % et 1,4 % (OMS, 2006)). À ce titre, l'utilisation du bois énergie n'est pas équitable.

- Amélioration de la santé

Nonobstant l'aspect sexo-spécifique mentionné ci-haut, la production de charbon de bois crée des problèmes de santé chez les charbonniers. Le charbon de bois est utilisé parce qu'il produit moins de fumée lors de sa combustion. Cependant, ce problème de santé est déplacé en amont lors de l'étape de la carbonisation (OMS, 2006). De plus, les conditions actuelles de gestion de la ressource ligneuse favorisent également l'érosion des sols, le ruissellement de l'eau (plutôt que la percolation), ce qui à son tour contribue à contaminer les sources d'eau de surface (le ruissellement de l'eau dans les amas de matières résiduelles, particulièrement en milieu urbain, entraîne des contaminants dans les eaux de surfaces –

potables – et les eaux côtières (PNUE, 2010)). L'érosion des sols contribue aussi à l'augmentation du risque de glissements de terrain, à l'envasement des rivières et à une baisse du rendement agricole pouvant mener à des situations de malnutrition chronique (Lambert R., 1996).

- Consultation de la communauté

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation du bois énergie dans sa forme actuelle. Il serait toutefois pertinent de l'évaluer avant de mettre en place de nouveaux programmes de développement touchant l'utilisation de cette ressource.

Le bois énergie, tel qu'il est présentement employé, d'un point de vue social, ne semble pas correspondre au concept de développement durable. Une partie importante de la population qui l'utilise et qui le produit se retrouve en situation de dépendance économique et sociale. De plus, de nombreux problèmes de santé sont liés à son utilisation. Les conditions d'utilisation durable du bois énergie ne sont donc pas réunies sur le plan social.

3.5 Synthèse

L'analyse précédente expose certaines conséquences négatives de la déforestation en Haïti. Sans être une évaluation exhaustive des impacts, elle permet toutefois de réaliser l'importance de la problématique. Comme mentionné précédemment, la déforestation ne découle pas seulement de l'utilisation du bois énergie pour la cuisson des aliments pour les ménages, mais aussi de son utilisation par les petites et moyennes entreprises (boulangeries, nettoyeurs à sec, restaurants, etc.). S'il est difficile d'évaluer quantitativement la part de la cuisson des aliments responsable de la déforestation, il est toutefois possible d'affirmer que cette responsabilité est très considérable et que les impacts mentionnés ci-haut doivent être imputés au bois énergie en conséquence.

Parmi l'ensemble des critères sus mentionnés, seulement le faible coût de la ressource (et des réchauds traditionnels), la nature locale de l'énergie, la contribution positive à la balance commerciale, le potentiel renouvelable du bois et la valorisation des cendres comme agent fertilisant ou structurant permettent de poser un diagnostic de durabilité. En ce qui concerne tous les autres critères, l'utilisation du bois énergie comme énergie de

cuisson principale par les ménages ne peut tout simplement pas être qualifiée de durable. De nombreuses conséquences de la déforestation ont des impacts sur d'autres aspects, ce qui crée un effet de synergie très important contribuant à maintenir la population haïtienne dans un état de précarité économique, sociale, environnementale, alimentaire et sanitaire grave. Il importe alors de trouver des solutions durables applicables au contexte haïtien. C'est ce que les prochains chapitres tenteront de faire.

4 ALTERNATIVES À L'UTILISATION DU CHARBON DE BOIS DANS LES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

Ce chapitre aborde différentes alternatives énergétiques au bois de feu et au charbon de bois. Certaines de ces alternatives sont déjà utilisées en Haïti à l'heure actuelle, tandis que d'autres le sont en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. Le contexte d'utilisation de ces alternatives au sein du Sénégal, du Rwanda, de Cuba et de la République dominicaine sera présenté s'il y a lieu. L'applicabilité de ces alternatives au contexte haïtien sera évaluée au chapitre suivant.

4.1 Briquettes énergétiques

Les briquettes énergétiques sont des briquettes constituées de biomasse carbonisée et mélangée à un liant (mixture à base de manioc), qui sont ensuite compressées puis séchées au soleil. Ces briquettes, dépendamment de la biomasse de base, ont un pouvoir calorifique variable, mais non négligeable. Elles remplacent ainsi le bois énergie comme combustible de cuisson. Elles ont également l'avantage de pouvoir être utilisées directement dans les fours classiques. Elles peuvent être fabriquées à partir de bagasse, de paille de riz, de cabosses de cacao, de cotons de maïs, de résidus de café, d'arachides, de noix de coco, de papier et de jatropha. Le cas particulier de la bagasse sera traité ici-bas à titre d'exemple, tandis que le cas du jatropha sera présenté dans une section différente. D'autres matières peuvent être transformées en briquettes de la même manière que la bagasse, comme le papier. Le papier usé est d'abord collecté et déchiqueté. Puis, il subit une période de trempage. Il sera ensuite pressé dans la forme voulue. Enfin, une période de séchage suivra afin d'extraire l'eau qui n'aura pas été éliminée au pressage. Par ailleurs, il est important de mentionner que les cotons de maïs se carbonisent, se manipulent et se brûlent très bien dans leur forme originale, il est donc plus efficace de les laisser tels quels.

4.1.2 Bagasse

La bagasse constitue la matière résultante de l'activité d'extraction du sucre de la canne à sucre (Kamimoto, 2005). Il s'agit d'un résidu agricole qui n'a pas de qualité nutritive. Son utilisation comme source d'énergie est donc intéressante, car elle ne prive pas l'activité agricole d'un intrant nutritif important. Comme source d'énergie, la bagasse peut être

utilisée telle quelle, c'est-à-dire directement brûlée sans aucune transformation. Elle peut également être transformée en charbon par procédé de carbonisation. Le charbon ainsi obtenu sera mélangé à une mixture composée d'eau et de cassave (manioc) et compressé en forme de brique. Ces briques sont mises à sécher au soleil pendant environ une semaine (Kamimoto, 2005; PNUE, 2007).

Présentement, la bagasse couvre environ 4 % des besoins énergétiques des ménages. Il est possible d'attribuer 0,2 % des besoins énergétiques de cuisson directement à la bagasse. La majorité de la bagasse est utilisée sur place par les entreprises de transformation de canne à sucre (ESMAP, 2007). Entre 3 000 et 5 600 ateliers de transformation de canne à sucre sont en place sur le territoire haïtien, mais seulement 1 000 fonctionneraient réellement (Kamimoto, 2005; ESMAP, 2007).

Le potentiel de production de briques de bagasse diffère selon les estimations, mais varie entre 26 000 tonnes (Kamimoto, 2005) à 30 000 tonnes par an (ESMAP, 2007) (certaines sources estiment la quantité de bagasse à près de 140 000 tonnes produites annuellement (ESMAP, 2007; Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement, 2010)). La bagasse est composée comme suit :

- 22 % de lignine
- 38 % de cellulose
- 19 % d'hémicellulose
- 2 à 3 % de cendres (Kamimoto, 2005)

Cette composition lui confère un pouvoir calorifique inférieur semblable à celui du bois. L'utilisation de la bagasse en brique permettrait, selon différentes estimations, de réduire d'entre 3,6 % et 25 % la consommation de charbon de bois au pays (26 000 tonnes/720 000 tonnes (Kamimoto, 2005) ou 80 000 tonnes (comprenant la cassave (ESMAP, 2007))). Il est toutefois difficile de dire si ces estimations s'appliquent uniquement à l'énergie de cuisson ou si elles concernent aussi l'opération des ateliers de transformation de canne à sucre. Comme les chiffres varient beaucoup, ils doivent être utilisés avec précaution. Enfin, il est pertinent de mentionner que l'utilisation de la bagasse et du bois de feu comme sources d'énergie (tous les secteurs) diminue de 2 % par an (CEPALC, 2005).

4.2 Solaire thermique

Étant situé sous les tropiques, Haïti reçoit une importante quantité d'énergie solaire sous forme de rayonnement. À cet effet, il serait judicieux d'exploiter cette ressource afin de diminuer les pressions de déforestation. De nombreuses expériences réalisées en Afrique et en Asie (Kenya, Soudan, Tanzanie, Inde et Chine également) ont démontré la faisabilité de cette source d'énergie à grande échelle (Anonyme, 2009; Resch and Kaye, 2007; Dennery, 2007; Mulama, 2006). La technologie solaire, en plus de cuire les aliments, permet de pasteuriser l'eau (6 minutes à 65 °C) (Tucker, 1999). La technologie employée ne varie pas, c'est plutôt le design et la résistance aux intempéries qui changent d'un modèle de four à un autre. À la base, il s'agit de construire le four (une boîte de carton, dont le couvercle et une des faces ont été enlevés et dont les surfaces intérieures sont recouvertes d'un matériau réfléchissant – papier d'aluminium) et d'utiliser un récipient métallique de couleur foncée. Ce récipient est placé au centre du four qui est lui-même orienté vers le soleil. Le four doit être réorienté à quelques reprises au cours de la cuisson afin de suivre le mouvement du soleil (ce type de four est appelé « box type », soit type boîte). Le temps de cuisson dépend de la quantité et du type de nourriture à cuire, mais varie généralement entre 2 et 3 h. Il est ainsi possible de cuire deux repas par une journée ensoleillée. La température, en plein soleil, peut atteindre 100 °C. (Lahkar and Samdarshi, 2010; Tucker, 1999). Puisque l'utilisation de fours solaires dépend de l'ensoleillement en cours, ce type de cuisson ne représente pas une solution absolue au problème de la déforestation en Haïti. Il s'agit plutôt d'une solution complémentaire, qui permet de réduire la quantité de bois énergie utilisée à des fins de cuisson. Ses avantages et inconvénients seront davantage détaillés au prochain chapitre.

4.3 Biométhanisation

Comme mentionné au chapitre 2, la biométhanisation consiste en la transformation anaérobie de la matière organique. Lors de cette transformation, la matière organique est transformée en méthane (55 à 80 %) et en gaz carbonique (20 à 45 %). L'absence d'oxygène empêche la décomposition totale de la matière organique en dioxyde de carbone. La teneur en cellulose de la matière constitue un facteur limitatif. Ainsi, le bois n'est pas propice à la méthanisation rapide (Onesias, 2009). La biométhanisation produit également de l'eau et du digestat. À titre de comparaison, le contenu énergétique d'un mètre cube de méthane (biologique) se situe entre 20 et 28 millions de joules (MJ) tandis qu'un

kilogramme de bois sec contient environ 18,4 MJ (Onesias, 2009). La température idéale de digestion se situe aux alentours de 70 °C, ce qui est idéal pour Haïti, où aucune source de chaleur externe n'est nécessaire. Enfin, il est important de mentionner que différentes installations peuvent être mises sur pied. Le modèle communautaire, c'est-à-dire relier des installations de biométhanisation plus importantes à une cuisinière commune, permet d'utiliser plus facilement le gaz. Le volume produit étant plus important, il est possible de relier directement le digesteur aux réchauds. Cependant, des installations de faible taille pourraient nécessiter des compresseurs afin d'accumuler le gaz. Ceci n'est pas obligatoire en toute situation et compliquerait grandement l'implantation de cette technologie à grande échelle. Cette section aborde les différentes sources de matières organiques présentes à Haïti; leur contexte d'application sera abordé au chapitre suivant.

4.3.1 Matières résiduelles domestiques

La gestion des matières résiduelles et des excréta d'origine humaine est une problématique importante en Haïti, surtout en milieu urbain (seulement 24 % des Haïtiens avaient accès à un assainissement amélioré avant le séisme de janvier 2010 (DINEPA, 2010)). Selon Onesias (2009), l'ensemble des déchets ménagers des neuf plus grandes villes du pays pourraient générer plus de 67 342 500 m³ de méthane par année (soit 3 500 tonnes/jour par an provenant de Port-au-Prince et 600 tonnes/jour provenant des huit autres villes). Le ministère des Travaux publics, Transports et Communications (MTPTC) (2006) indique plutôt une quantité de matières résiduelles plus faible d'environ 1 000 tonnes, soit 2 500 tonnes par jour pour Port-au-Prince (pour un total de 50 917 500 m³ de méthane par année). Ces matières résiduelles seraient biodégradables à plus de 83 % (MTPTC, 2006). Une étude estime qu'il serait possible de remplacer plus de 6 % de la récolte annuelle de bois (Onesias, 2009). Puisque la technologie de biométhanisation s'adapte bien à petite échelle, il serait possible de l'étendre à l'ensemble des centres urbains et des villages afin d'augmenter la quantité de méthane produite. En incluant également les excréta humains et animaux, le potentiel de remplacement du bois énergie devient de plus en plus intéressant (pour l'instant, aucune étude, à la connaissance de l'auteur, ne permet de déterminer le potentiel énergétique de l'ensemble de cette biomasse).

Si l'objectif de cet essai n'est pas de traiter spécifiquement de la problématique des matières résiduelles, il est toutefois pertinent d'en dresser les grandes lignes afin de mettre en contexte l'option de biométhanisation des matières résiduelles. La problématique est plus importante en centre urbain, soit Port-au-Prince, car c'est là qu'est la plus grande production de matières résiduelles organiques à l'hectare. Des chiffres avancent que 50 % (Centre Wallon de Biologie Industrielle, 1999) de ces matières sont collectées et amoncelés à la décharge de Truitier. Cependant, selon le MTPCP (2010), il est impossible de savoir quel est le taux de collecte ainsi que la quantité exacte de matières résiduelles qui sont collectées puis envoyées à l'enfouissement, car les équipements nécessaires (balances) sont inexistantes. Il importe de considérer ces chiffres avec précaution. Le reste des matières s'amoncelleraient dans les rues, les ravines et contribueraient à la pollution de l'eau de surface lors des pluies. Certaines matières seraient tout simplement brûlées, contribuant à la pollution de l'atmosphère et relâchant des substances toxiques lorsqu'elles sont mélangées à des matières plastiques. Enfin, le lixiviat non traité contamine les nappes phréatiques et le sol (MTPTC, 2006). Certains secteurs (Cité Soleil) ne sont tout simplement pas desservis par un service de collecte des matières résiduelles pour cause d'insécurité (MTPTC, 2006).

La gestion des eaux usées représente également à la fois un défi et un vecteur énergétique important pour la société haïtienne. En effet, selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement (2010), les maladies diarrhéiques constituent l'une des deux premières causes de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans. Il est également important de mentionner que, depuis le tremblement de terre de janvier 2010, le choléra constitue aussi une maladie hydrique qu'il serait possible de contrôler avec de meilleures mesures d'hygiène. De plus, traditionnellement, la dilution des eaux usées semble le facteur important concernant le traitement de ces eaux. Les installations sont précaires (latrines) et contaminent les nappes d'eau souterraines. La plupart des installations ne sont tout simplement pas raccordées à un réseau d'aqueducs (souvent inexistant). Une manière intéressante de diminuer la charge de ces effluents serait de leur faire subir un traitement anaérobie et de récupérer les biogaz provenant de ce procédé.

Bref, la problématique est importante et justifie que des efforts et des moyens y soient alloués. Le prochain chapitre permettra d'analyser dans quelle mesure la biométhanisation pourraient avoir des effets synergiques majeures pour la société et l'environnement haïtien.

4.3.2 Matières résiduelles agricoles

Le secteur agricole haïtien présente un grand potentiel de génération d'énergie sous forme de biométhane. En effet, la bagasse, la paille de riz, l'écorce de noix de coco, la cabosse de cacao, les résidus de la transformation du jatropha et les résidus de manioc constituent des sources intéressantes de carbone pouvant être méthanisées (Roger et al., 1999). La faisabilité technique de la méthanisation représente également ici un avantage considérable, puisqu'elle permet de décentraliser la production d'énergie et de diminuer les coûts de transport. Le compost produit peut également retourner aux champs pour enrichir le sol et augmenter la productivité des cultures. Il est toutefois difficile d'estimer le potentiel de cette filière étant donné le manque de renseignements relatifs à la quantité de matières résiduelles agricoles générée annuellement. Cependant, il est possible de mentionner que les cultures les plus importantes (igname, maïs, patate douce, riz paddy et sorgho) totalisaient en 2005 une quantité de plus de 800 000 tonnes métriques (PNUE, 2010). Le potentiel de cette filière est ainsi très important.

4.4 Biocarburant

Les biocarburants, au sens entendu dans le cadre de cet essai, peuvent être définis de la manière suivante :

« Les biocarburants (ou agrocarburants) au sens strict sont des carburants liquides produits à partir de plantes cultivées. Suivant les filières, on cherche à produire de l'huile ou de l'alcool par fermentation alcoolique de sucres ou d'amidon hydrolysé. » (Encyclopédie scientifique en ligne, 2011)

Ce sont donc les carburants d'origine biologique, sous forme liquide, qui seront abordés dans la présente section. Les deux types (huiles et alcools) seront abordés dans cette section puisqu'ils comportent des différences majeures.

4.4.1 Jatropha curcas (gwo medisyen)

Sur le plan de la production d'huiles végétales, une plante prometteuse sera présentée ici, soit le *Jatropha curcas* (gwo medisyen en créole). De nombreuses possibilités existent pour la production d'huile végétale; cependant, cette plante présente des caractéristiques intéressantes et uniques qui en font une candidate de choix pour son utilisation en Haïti. Le *Jatropha curcas* est un arbuste endémique à Haïti, où il est aussi connu sous le nom créole de gwo medisyen. Traditionnellement, cette plante était utilisée dans la médecine (agent purgatif) (Ministère de l'Environnement, 2009). Elle est donc bien connue des Haïtiens. Cet arbuste produit des graines desquelles on extrait de l'huile par simple pression mécanique ou à l'aide d'un solvant organique. Plusieurs caractéristiques avantagent le *Jatropha curcas* par rapport à d'autres plantes oléagineuses. Premièrement, la plante est toxique, ce qui fait qu'elle ne peut être consommée par l'homme ou le bétail. Cette toxicité n'entraîne pas de compétition pour les ressources alimentaires si le *Jatropha curcas* est cultivé sur des terres impropres à l'agriculture vivrière. Le deuxième avantage du *Jatropha curcas* réside dans sa capacité à pousser sur des sols dégradés, ce qui rend le premier avantage encore plus intéressant. En effet, il devient possible de se servir du *Jatropha curcas* pour produire une valeur ajoutée à une terre dégradée, tout en la régénérant (voir plus bas et chapitre suivant). Puisque la plante n'est pas comestible, elle peut servir de barrière naturelle autour des plantations. De plus, sa croissance est rapide et permet une récolte six mois après sa mise en terre (Ministère de l'Environnement, 2009). La production d'huile peut atteindre 1 litre pour 4 kg de graines sèches. Ces graines peuvent être entreposées pour une période de 12 mois sans perte lorsqu'elles ont été séchées correctement. Le bois du *Jatropha curcas* ne se prête pas bien à la combustion, ce qui en fait un candidat de choix pour combattre la déforestation. Enfin, tous les avantages liés au maintien d'une flore arbustive peuvent être attribués au *Jatropha curcas* en culture. Le reste de la graine (après extraction de l'huile) peut être transformé en briquettes pour la cuisson, retourné au champ comme engrais ou biométhanisé puis retourné au champ comme engrais.

L'huile ainsi produite peut être utilisée directement comme combustible de cuisson dans un four à kérosène (Robbins, 2008; Brittain, and Litaladio, 2010). Cependant, selon certaines études, des améliorations techniques doivent être apportées afin de rendre l'utilisation de

ces fours plus efficace et économique (Messemaker, 2008). L'huile peut également être transformée en biodiesel ou utilisée directement dans des moteurs diesel modifiés. Toutefois, ces aspects ne seront pas traités puisqu'ils ne constituent pas une alternative au bois énergie pour la cuisson des aliments. Enfin, il est pertinent de mentionner que de nombreuses initiatives sont en place à travers le monde afin de tester la culture du jatropha curcas. De ces initiatives, un constat préliminaire ressort : le jatropha curcas, tel qu'il existe actuellement, ne présente pas des rendements intéressants pour sa culture à grande échelle (FAO, 2010; Volckaert and Ross, 2009; Brittain and Litaladio, 2010). Des études sont en cours afin d'améliorer le rendement des cultures (sélection de plantes plus efficaces et moins toxiques, dans le but de nourrir le bétail). Il apparaît toutefois que des modes de culture alternatifs pourraient augmenter la valeur ajoutée du jatropha curcas (Business Wire, 2009). Ces modes seront discutés au chapitre six.

4.4.2 Agave

Sur le plan des alcools ou éthanols, de nombreuses plantes semblent également prometteuses dans un avenir proche. Si le maïs-grain semblait une voie intéressante il y a de ça quelques années, la compétition entre ressources énergétiques et ressources alimentaires a rendu cette option moins profitable. Des recherches ont cependant été effectuées afin de trouver et de développer des alternatives, dont l'une est originaire du Mexique, l'agave. L'agave est bien connu comme étant la plante à la base de la tequila, mais pourrait bientôt attirer l'attention par ses caractéristiques énergétiques (Friedman, 2010). L'agave est traditionnellement cultivé pour produire du mezcal (terme générique décrivant toutes les formes d'alcool obtenues par distillation de l'agave) et plus particulièrement de la tequila (provenant de la variété Agave tequilana Weber). De plus, l'agave est également cultivé pour ses fibres, très résistantes (Leitch et al., 2010). Il existe à l'heure actuelle plus de 200 espèces d'agave à travers le monde. Cette plante possède donc de nombreuses variations génétiques et un éventail de caractéristiques. Par ailleurs, certaines espèces poussent très bien dans les milieux arides et semi-arides, sont très résistantes au stress hydrique et capturent efficacement le CO₂ (Somerville et al., 2011). Des projets de production de bioéthanol sont en cours au Mexique, où la capacité totale de production est estimée à près de 5,6 millions de tonnes de biomasse (sèche) (Green Energy

News, 2011). Le potentiel pour Haïti pourrait ainsi être énorme; l'agave pourrait régénérer les sols dégradés tout en offrant une source de revenus aux agriculteurs/propriétaires. Selon le PNUE (2010), le territoire haïtien est couvert à 31 % de broussailles, soit une superficie de 882 450 hectares. Le potentiel de production d'éthanol est donc très important.

Le bioéthanol est obtenu à partir de la fermentation des sucres présents dans la plante. Les modes de culture actuels permettent d'obtenir 120 tonnes de biomasse à l'hectare tous les six ans (Green Energy News, 2011). Le bioéthanol peut donc être produit à partir d'une multitude de végétaux (maïs, canne à sucre, manioc, betterave, etc.), mais l'avantage de l'agave réside dans le fait que ce n'est pas une plante comestible. Ainsi, la culture de l'agave sur des sols dégradés n'induit pas de pression supplémentaire sur les ressources alimentaires comme c'est le cas avec le maïs par exemple.

Le prochain aspect à considérer est la faisabilité. En effet, quelques recherches dans les banques de données permettent de comprendre que cette avenue énergétique (bioéthanol à partir d'agave) est toute jeune et que de nombreuses études environnementales, économiques et sociales doivent être réalisées pour en comprendre tous les enjeux. Cependant, le fait que l'agave est déjà cultivé depuis longtemps pour la production de tequila accroît sa faisabilité; les techniques agraires sont bien connues. C'est donc sur le plan de la transformation de la biomasse en éthanol que des efforts doivent être entrepris. C'est également sous cet angle que cette technologie pourrait être difficile à implanter en Haïti puisqu'elle nécessite de grands investissements sous forme d'industries de transformation, de main-d'œuvre qualifiée et d'infrastructures adéquates. Ces aspects seront détaillés plus en profondeur au prochain chapitre.

Enfin, l'accessibilité à des fours adaptés est un élément primordial de choix énergétique. En effet, le bioéthanol ne peut être utilisé directement dans un four classique (charbon de bois et bois de feu). L'éthanol peut donc être utilisé directement dans un four adapté (tel que les fours utilisés par les randonneurs; ces fours consistent en un simple récipient à l'intérieur duquel l'éthanol est versé) ou être mélangé à un agent gélifiant pour être employé comme du combustible à fondue.

Dans le cas des réchauds adaptés, une grande variété de modèles existe et leur utilisation est jugée plus ou moins sécuritaire selon le modèle. Un modèle à pressurisation est plus coûteux, mais plus sécuritaire à manipuler (réchaud Primus (Primus, 2011)). La pression est ajustée par une pompe manuelle, ce qui permet de contrôler la flamme. Ce type de réchaud peut brûler du kérosène et de l'éthanol. Les réchauds à kérosène présentement utilisés en Haïti peuvent également être employés avec de l'éthanol.

Un réchaud plus simple (réchaud Trangia (Trangia, 2011)) brûle de l'alcool dans un simple récipient ouvert placé sous un support à cuisson. Le faible coût de ces réchauds (certains se vendent cinq dollars canadiens et il est possible d'en fabriquer à partir de pièces de métal récupérées (cannettes d'aluminium, conserves, boîtes de thon, etc.)) en fait des candidats de choix comme appareils de cuisson des aliments.

Concernant l'éthanol gélifié, il nécessite un processus de plus lors de la production, ce qui peut augmenter son coût de vente. Toutefois, son usage est considéré plus sécuritaire que l'éthanol liquide. En effet, il ne se renverse pas, résiste aux vents et ne risque pas d'exploser. Le réchaud à éthanol gélifié (réchaud Sterno) est quant à lui un modèle encore plus simple. Il s'agit d'un contenant en métal pouvant se refermer (7 onces de combustible brûlent durant deux heures (Sterno, 2011)). Il est ainsi plus facile de récupérer et de manipuler le surplus de combustible contrairement aux fours à éthanol liquide. La fabrication de ces fours ne nécessite pas de technologies avancées et est facilement applicable au sein des pays en voie de développement.

Bref, l'option du bioéthanol présente de nombreuses caractéristiques intéressantes qu'il sera pertinent d'évaluer au prochain chapitre. Bien que l'utilisation de l'agave en soit encore à ses débuts, la technique de transformation de la cellulose en éthanol fait l'objet de nombreux projets de recherches partout à travers le monde. Il est donc probable que cette technologie devienne de plus en plus abordable dans les prochaines années.

4.5 Pyrolyse

La pyrolyse (carbonisation du bois) est déjà largement répandue en Haïti et peut être définie comme suit :

« 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 pyroligneux, de l'eau et laissant des résidus solides qui sont le charbon de bois ». (Onesias, 2009, p. 20).

Utilisée principalement pour transformer le bois en charbon, cette technique peut toutefois servir à d'autres fins, avec d'autres types de biomasse. Une forme particulière de pyrolyse permet de transformer la matière organique diverse (matières résiduelles agricoles, matières résiduelles domestiques, végétaux divers) en biocharbon et d'en retirer des combustibles. L'efficacité du procédé conditionne la quantité et la qualité des combustibles produits. Le biocharbon peut servir de combustible traditionnel (charbon produit à partir de biomasse), mais peut également être utilisé pour améliorer la qualité des sols. C'est là que se situe son avantage principal, comme il sera démontré dans la prochaine section.

4.6 Biocharbon

Le biocharbon est produit naturellement partout à travers le monde lors de feux de végétation et a été produit historiquement en Australie et en Amazonie (Terra Preta) (Downie et al., 2011; Graber et al., 2010), où des traces de cette pratique culturelle ont été retrouvées. Le charbon, au lieu d'être utilisé comme combustible, est enfoui dans le sol. De cette manière une partie (50 %) (Kimble et al., 2008) du carbone présent dans la biomasse ayant servi de matière première est retourné au sol où il est stabilisé. Une partie du carbone (sous forme de gaz) est utilisée afin d'alimenter le processus de pyrolyse, une autre partie est rejetée sous forme d'huiles pyrolytiques. Ces huiles peuvent être récupérées afin d'être revendues comme carburant (Maraseni, 2010). Le biocharbon, une fois incorporé au sol, offre plusieurs avantages. Il augmente la capacité de rétention, de filtration et d'infiltration de l'eau dans le sol et le captage du méthane (Karhu et al., 2011). La capacité du sol à échanger des cations et des anions est également améliorée et le pH augmente, ce qui peut régler des problèmes d'acidité (Inyang et al., 2010). Des études ont également démontré l'augmentation de l'activité microbienne du sol et sa productivité générale (Graber et al., 2010; Jha et al., 2010; Maraseni, 2010). De plus, le temps de résidence du carbone dans le sol se situe entre quelques centaines d'années à plus de 1 000 ans, ce qui fait de cette technologie un puits de carbone intéressant. Finalement, le biocharbon diminue la toxicité des métaux lourds et augmente la rétention des éléments nutritifs du sol (Chen et al., 2010;

Maraseni, 2010). Bref, les avantages de l'utilisation du biocharbon sont indéniables. Cependant, il est nécessaire de posséder une technologie appropriée afin d'en retirer le maximum de bénéfices. Le contrôle de l'air doit être optimal et la manipulation des huiles pyrolytiques peut se révéler ardue. Le contexte d'application du biocharbon en Haïti sera évalué au chapitre suivant.

4.7 Comparaison des énergies de substitution pour la cuisson des aliments avec d'autres pays

Cette section présente brièvement les initiatives mises en place dans quatre pays choisis pour leurs similitudes avec Haïti.

4.7.1 Cuba

Récemment, de nombreuses initiatives en énergies renouvelables (biométhanisation, solaire photovoltaïque et thermique) ont été mises en œuvre par l'organisme non gouvernemental Cuba Solar. Cet organisme vise à promouvoir l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement (Cuba Solar, 2000). Le groupe sur les énergies renouvelables appliquées (GERA) de l'Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, travaille sur un réchaud solaire depuis plus de dix ans. Plus de 200 prototypes familiaux ont été distribués à travers la campagne cubaine et la technologie semble bien répondre aux besoins des ménages (GERA, 2011).

4.7.2 République dominicaine

D'importants projets de biométhanisation de matières résiduelles en décharges sont en cours en République dominicaine, dans la région Santo Domingo. Ces projets représentent une puissance électrique installée de près de 10 MW. Le potentiel est donc très important et plutôt que de transformer le gaz en électricité, il serait possible de le vendre directement comme combustible de cuisson (Réseau international d'accès aux énergies durables (RIAED), 2009).

4.7.3 Sénégal

Tout récemment, le gouvernement sénégalais a créé un Comité national des biocarburants afin d'assurer une meilleure coordination des actions des différentes institutions œuvrant dans le domaine (RIAED, 2010b). Le gouvernement a également adopté une stratégie nationale de développement des énergies renouvelables pour la lutte contre la pauvreté. Cette stratégie met de l'avant plusieurs objectifs et actions qui touchent surtout l'électrification rurale, mais également l'intégration du solaire thermique dans les bâtiments et comme énergie de cuisson (Partners for Africa, 2010).

4.7.4 Rwanda

Sur le plan des énergies renouvelables, le Rwanda fait bonne figure avec de nombreux projets de biométhanisation en cours. Un exemple de réussite est le programme de subventions à l'installation de digesteur de biogaz. Pour un citoyen possédant deux vaches, le gouvernement rwandais finance 30 % de l'achat d'un digesteur (coût total : 1 400 USD). Plus de 350 installations sont maintenant en marche à travers le pays et le programme prévoit d'atteindre 5 000 installations en 2012 (Twizeyimana, 2010; RIAED, 2010a). Le biométhane produit peut alors être utilisé comme combustible de cuisson et la matière décomposée sert de compost pour l'agriculture. Si le stade actuel du projet en est encore à ses débuts, il est possible de supposer qu'une généralisation à l'ensemble du pays est envisageable dans un avenir rapproché.

En somme, des alternatives intéressantes et diversifiées au bois énergie existent de par le monde. Elles présentent des potentiels d'action intéressants. Leur contexte d'application en Haïti sera abordé au chapitre suivant.

5 ANALYSE DES DIFFÉRENTES ALTERNATIVES À L'UTILISATION DU CHARBON DE BOIS

L'analyse de durabilité des options énergétiques sera présentée dans le cadre de ce chapitre. Un tableau résumé en annexe permet de comparer rapidement chaque option en fonction de chacun des critères. Il est également supposé que les impacts positifs et négatifs liés à la consommation de bois énergie sont soustraits de cette analyse, c'est-à-dire qu'ils ne seront pas mentionnés à nouveau. Ainsi, il est inutile de mentionner que l'utilisation de biométhane a un impact positif indirect sur la biodiversité parce que l'utilisation du bois énergie est réduite. Seuls les impacts directement liés à l'utilisation d'une option énergétique seront analysés afin d'alléger le texte et d'en faciliter la lecture.

5.1 Briquettes énergétiques – bagasse/papier

5.1.1 Environnement

- Ressource renouvelable

En évaluant l'état actuel de la production de bagasse en Haïti, il est possible d'affirmer que son utilisation serait durable. En effet, la bagasse n'est pas produite en elle-même, c'est-à-dire que la culture de la canne ne vise pas à produire de la bagasse. La bagasse est un sous-produit de la production de canne à sucre. Il est alors plus pertinent d'évaluer la durabilité de son utilisation plutôt que de sa production. Dans le cas présent, il est nécessaire de comparer l'usage de la bagasse sous forme de briquettes énergétiques (en remplacement du bois énergie) avec l'utilisation antérieure de la bagasse. À l'heure actuelle, la bagasse est surtout utilisée comme combustible dans le secteur commercial (boulangeries, blanchisseries et guildiveries) avec un mélange de bois et de charbon (CEPALC, 2005). Il est donc réaliste de supposer qu'en retirant la bagasse de ce secteur, elle serait remplacée par du bois énergie. Comme la bagasse irait remplacer du bois énergie pour la cuisson des aliments, il est nécessaire d'évaluer l'efficacité des systèmes de combustion entre eux (ménages et industries) et d'évaluer la quantité d'énergie libérée versus l'énergie nécessaire à la fabrication et au transport des briquettes. Finalement, il est également nécessaire d'évaluer l'efficacité de la combustion de la bagasse telle quelle versus les briquettes de bagasse. Afin d'évaluer de façon précise ces résultats, une analyse de cycle de vie

comparative serait nécessaire. Toutefois, ceci dépasse largement le cadre de cet essai et le champ d'expertise de l'auteur.

Quelques pistes de réflexion peuvent néanmoins être proposées. Habituellement, les systèmes de combustion importants sont plus performants que les petits. Il est probable que ce soit le cas ici et qu'il soit plus judicieux d'utiliser le bois énergie dans les commerces plutôt que chez les ménages. Ensuite, les briquettes étant pressées manuellement et séchées au soleil, l'énergie nécessaire à leur production est plutôt liée à leur transport et à la production de l'agent liant. Toutefois, l'agent liant est également brûlé lors de la combustion et libère de l'énergie à son tour. Il n'est donc pas sûr que les briquettes soient moins énergétiques que la bagasse. De plus, leur forme facilite la combustion.

Concernant le papier, il est possible de croire que la production et l'utilisation des briquettes de papier, si elle a lieu dans un périmètre géographique assez petit, serait plus efficace que le bois énergie comme énergie de cuisson par les ménages. Toutefois, il est peu probable que son utilisation contribuerait à réduire la consommation de bois énergie de manière significative.

L'utilisation de vieux papiers s'inscrit par contre dans une optique de ressources renouvelables puisqu'il est impossible d'utiliser cette ressource à un rythme plus élevé que celui de sa production. Cette situation est due au fait qu'il s'agit d'une matière résiduelle et non d'une ressource naturelle à proprement parler et que des infrastructures de récupération et de recyclage n'existent pas. Si tel était le cas, il serait plus judicieux de recycler le papier que d'en faire du combustible.

- Restauration des écosystèmes

La canne à sucre est largement cultivée en Haïti (plus de 1 050 000 de tonnes en 2005 (PNUE, 2010)). La plante est pérenne, mais dépendamment des pratiques culturelles, de nouveaux plants peuvent être mis en terre chaque année. De plus, il semble qu'une façon de cultiver la canne soit de brûler le champ avant chaque récolte, pour en éliminer le feuillage excessif (Alliance Haïti, s. d.). Cette pratique peut à première vue avoir des impacts majeurs sur la faune et la flore locale. Enfin, comme il sera mentionné plus loin, la culture de la canne à sucre, lorsqu'elle est irriguée, requiert énormément d'eau, qui ne peut alors

servir à autre chose. Par contre, l'utilisation de la bagasse sous forme de briquettes ne constitue pas en soi un facteur négatif ou positif dans la qualité des écosystèmes.

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation de la bagasse en Haïti.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

À l'instar du bois énergie, la bagasse est d'origine biologique. De ce fait, sa combustion ne dégage pas de CO₂ d'origine fossile et ne contribue pas directement à l'effet de serre et aux changements climatiques. L'étape du séchage de la bagasse peut très bien se faire à l'aide de l'énergie solaire passive. Cependant, l'étape de la production des briquettes (broyage de la bagasse, mélange avec un agent liant tel que l'amidon de manioc et la compaction des briquettes) peut générer des GES d'origine fossile (carburants pour alimenter la machinerie). Enfin, dans le cas où la production de canne à sucre serait augmentée dans le seul but de fournir de la bagasse supplémentaire, il serait pertinent de comptabiliser les émissions de GES liées au changement d'affectation des terres (seulement dans le cas où l'espace de culture de la canne remplacerait une forêt ou un couvert végétal quelconque). En dehors de ce cadre, la culture de la canne sur un sol déjà dénudé n'entraînerait pas d'augmentation d'émissions de GES.

En ce qui concerne les briquettes de papier, la production de GES au cours de la production et de la combustion est nulle, au même titre que pour la bagasse. En effet, étant d'origine biologique, le papier n'émet pas de CO₂ d'origine fossile dans l'atmosphère.

- Érosion des sols

La culture de la canne, dépendamment des conditions dans laquelle elle est effectuée, peut produire des impacts positifs et négatifs. Un rapport du World Wildlife Fund (2004) propose des techniques de culture en pente (15 degrés et plus) qui permettent de combattre efficacement l'érosion. Ainsi, les feuilles sont coupées et laissées au sol plutôt que brûlées et le labourage du sol est minimal. Il est également recommandé de planter la canne en bandes à diverses périodes de l'année. Cette technique protège les plus jeunes pousses de l'érosion. En outre, l'aménagement de terrasses est recommandé lorsque cela est financièrement et techniquement possible. Enfin, le fait de pouvoir réutiliser les boutures

d'une année à l'autre maintient un réseau racinaire important dans le sol, ce qui permet de lutter efficacement contre l'érosion.

Les briquettes de papier n'auront pas d'impacts négatifs ou positifs notables sur l'érosion des sols en Haïti.

- Qualité/quantité de l'eau

La canne à sucre est composée à 70 % d'eau et nécessite de ce fait une grande quantité d'eau pour sa culture à l'instar du riz et du coton (WWF, 2004). Les cultures à petites échelles ne requièrent toutefois pas d'irrigation importante. De plus, étant donné que la bagasse est un sous-produit qu'il faut nécessairement gérer, il est difficile de lui attribuer directement les impacts hydrologiques de la culture de la canne à sucre.

La fabrication de briquettes de papier requiert de l'eau afin de faire macérer le papier en début de procédé. Une bonne partie de l'eau est récupérée lorsqu'elle est expulsée par la presse. Cependant, les briquettes doivent être séchées avant de pouvoir être utilisées. Une partie de l'eau est donc perdue et doit être remplacée. Il est difficile d'estimer avec précision la quantité d'eau requise pour produire un kilo de briquette. Cette quantité dépend de la qualité de la presse et de sa manipulation.

- Biodiversité

Sur le plan de la biodiversité, les pratiques monoculturelles représenteraient un problème important lié à la culture de la canne si des habitats diversifiés étaient détruits. Ce n'est cependant pas le cas en Haïti, les grandes surfaces de cultures ont été transformées lors de la période coloniale. Enfin, comme pour les autres critères, l'utilisation de la bagasse comme combustible pour la cuisson des aliments ne constitue pas un facteur d'importance dans l'évolution de la biodiversité.

L'utilisation du papier usé pour la fabrication des briquettes n'a pas d'impact important sur la biodiversité haïtienne.

- Matières résiduelles

À l'instar du bois énergie, la combustion de briquettes à base de bagasse et de papier produit des cendres. À ce titre, ce type d'énergie ne représente donc pas un changement notable par rapport au bois énergie.

5.1.2 Économie

- Création d'emplois

Le transport et la transformation des briquettes, la collecte de la bagasse et du papier usé et la transformation du manioc sont des secteurs économiques à l'intérieur desquels de nombreux emplois peuvent être créés. Actuellement, la transformation de la bagasse en briquette n'est pas une pratique étendue, la bagasse étant plutôt directement brûlée telle quelle. Il est donc possible de croire que de nouveaux emplois pourraient être créés avec la généralisation de ce combustible. En ce qui concerne le papier, le projet de Carrefour Feuilles est un exemple patent d'un projet à haute intensité de main-d'œuvre qui s'inscrit directement dans le cadre de la production de briquettes énergétiques à partir de papier.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

À première vue, les activités économiques de l'industrie de la canne à sucre et de la bagasse circulent entièrement à l'intérieur du pays. L'utilisation de la bagasse comme combustible ne nécessite donc aucune importation, ce qui est un élément favorable sur le plan du développement durable.

L'utilisation du papier pour fabriquer des briquettes énergétiques permet de transformer un problème sanitaire en un vecteur économique important. La ressource étant située dans les grands centres urbains (Port-au-Prince), les flux économiques créés sont situés exclusivement à l'intérieur des frontières.

- Investissement initial

L'investissement initial nécessaire à la fabrication de briquettes est une presse. Celle-ci peut être manuelle ou motorisée. Il est toutefois possible de fabriquer des briquettes de qualité à l'aide de la presse manuelle. Ensuite, les briquettes pouvant être utilisées directement dans des réchauds classiques, l'investissement pour les ménages est inexistant. L'investissement initial est donc réduit.

5.1.3 Société

- Autonomisation des citoyens

En offrant des opportunités d'emplois diversifiés et un combustible à faible coût, les briquettes permettent aux citoyens qui les utilisent d'améliorer leurs conditions de vie (à titre comparatif, les briquettes de papier de Carrefour Feuilles sont deux fois moins chères que le charbon vendu en sac et 3,5 fois moins chères que le charbon vendu en marmite (ESMAP, 2007). De plus, il est facile de vendre les briquettes à l'unité, ce qui évite les problèmes mentionnés au chapitre 3 concernant la vente de charbon en gros.). Des informations sur le prix des briquettes de bagasse ne sont pas disponibles pour l'instant.

- Équité des genres

Le projet de briquettes de papier à Carrefour Feuilles emploie 54 % de femmes parmi ses 385 travailleurs. De plus, il semble que la cuisson soit plus rapide avec les briquettes qu'avec le charbon de bois, ce qui tend à réduire les tâches de cuisine, principalement réservées aux femmes. À long terme, des projets de ce type pourraient se multiplier et favoriser l'émancipation des femmes haïtiennes.

- Amélioration de la santé

La transformation des matières premières en brique est beaucoup moins nocive pour la santé que la carbonisation du bois. Si aucun dégagement de fumées n'y est associé, la transformation nécessite toutefois le port d'équipements de sécurité (masques). Dans le cadre du projet de Carrefour Feuilles, ces équipements devaient être portés par les travailleurs (PNUD, 2008). De plus, en ce qui concerne la combustion, il semble que les briquettes ne causent pas autant de problèmes respiratoires et de problèmes de santé que le bois énergie (OMS, 2006). À cet égard, les briquettes semblent prometteuses. Enfin, la collecte du papier usé contribue à assainir l'environnement urbain et favorise de bonnes pratiques (collecte, tri, recyclage).

- Consultation de la communauté

Le projet de Carrefour Feuilles est un bel exemple de participation citoyenne. En effet, c'est un projet à haute intensité de main-d'œuvre qui emploie beaucoup de gens du quartier et un comité a été mis sur pied afin de gérer les activités. Ce comité est composé de neuf

membres de la communauté qui assureront la relève à la fin du projet. La collaboration de ce comité est nécessaire à chaque activité du projet. Dans ce cadre précis, la communauté est donc consultée; il serait possible d'étendre cette formule à d'autres projets.

Concernant la bagasse, les petits producteurs pourraient se rassembler sous forme de coopérative afin de fournir un volume de bagasse important et ainsi rentabiliser son usage. Ce modèle permettrait de diversifier les sources de revenus et de partager les risques.

Bref, du point de vue de la durabilité, les briquettes énergétiques de bagasse et de papier semblent offrir des solutions de rechange intéressantes, mais différentes au bois énergie. Il est difficile d'évaluer la quantité de briquettes qui pourraient être fabriquées à base de papier; aussi, n'est-il pas possible d'évaluer dans quelle proportion elles pourraient remplacer le bois énergie. Toutefois, compte tenu des autres bienfaits liés à leur utilisation, leur adoption à grande échelle est recommandée.

5.2 Solaire thermique

5.2.1 Environnement

- Ressource renouvelable

Puisqu'il n'est pas possible d'utiliser l'énergie solaire à un rythme plus grand que la vitesse à laquelle elle est générée, celle-ci est considérée comme étant renouvelable. Il faut alors évaluer la fabrication des réchauds. Plusieurs modèles existent, mais l'analyse présente portera sur deux en particulier. Le premier (réchaud en boîte de carton), composé de carton, d'un sac de plastique et d'une fine couche de papier réfléchissant (aluminium) et le second, une boîte en bois munie d'un couvercle transparent et de panneaux réfléchissants (Sunoven, s. d.). Le premier modèle est déjà utilisé dans des camps de réfugiés du Darfour, au Kenya, en Tanzanie et en Asie. De nombreux projets ont permis de démontrer sa faisabilité technique avec des matériaux locaux, facilement utilisables. En fait, la fabrication de ces réchauds permet de réutiliser du carton et du papier d'aluminium. Le second modèle nécessite plus de moyens, tout en utilisant des matériaux de base facilement accessibles. De nombreuses expériences en Haïti, autant dans la capitale qu'en région rurale, semblent prometteuses. Différents projets menés en collaboration avec la compagnie Sunoven font

état de plusieurs centaines de réchauds vendus et de personnes formées (Sunoven, s. d.). À ce titre, il semble donc que le solaire thermique soit durable.

- Restauration des écosystèmes

L'utilisation du solaire thermique n'ajoute pas de pression notable sur les différents écosystèmes haïtiens et ne contribue pas directement à les restaurer.

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation du solaire thermique en Haïti.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

Le solaire thermique, contrairement à toutes les autres sources d'énergie étudiées dans le cadre de cet essai, ne dégage aucune émission de GES lors de la cuisson, autant biogénique que fossile.

- Érosion des sols

L'utilisation du solaire thermique ne contribue pas directement à diminuer ou à augmenter l'érosion des sols, que ce soit de façon directe ou indirecte.

- Qualité/quantité de l'eau

Puisque le solaire thermique n'utilise pas d'eau, il ne constitue pas une source de dégradation et de diminution de l'eau. De plus, la technologie du solaire thermique permet de pasteuriser l'eau et la rendre potable gratuitement, à la différence des autres sources d'énergie. Ainsi, les réchauds solaires ont également un impact de taille sur la santé des populations.

- Biodiversité

Le solaire thermique n'augmente pas l'érosion de la biodiversité, que ce soit de façon directe ou indirecte.

- Matières résiduelles

Le solaire thermique ne produit pas de matières résiduelles en quantité importante.

5.2.2 Économie

- Création d'emplois

Il est difficile de quantifier cet aspect, puisque le nombre d'emplois nets créés dépend de la quantité de réchauds produits et du taux d'utilisation de ces réchauds par les ménages. Il est possible de supposer qu'une utilisation massive de ces réchauds solaires réduirait la demande en bois énergie, ce qui éliminerait des emplois dans ce secteur et que le nombre d'emplois créés pour la fabrication et la vente de réchauds ne serait pas aussi important. La différence du solaire thermique par rapport aux autres sources d'énergie se situe dans le fait qu'aucun combustible n'est nécessaire. Ainsi, toutes les étapes (transformation, collecte, transport) associées aux combustibles sont exclues du solaire thermique. Ces emplois ne disparaîtront toutefois pas complètement, puisque le solaire thermique ne peut constituer une alternative unique et complète au bois énergie. Des options énergétiques devront être proposées en association avec le solaire thermique pour les journées sans soleil. Enfin, en permettant aux ménages de dégager une marge de manœuvre financière, il est possible que d'autres secteurs de l'économie soient dynamisés. À long terme, l'utilisation de réchauds solaires peut donc s'inscrire dans une perspective de réduction de la pauvreté et de développement économique.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

Les emplois créés seront majoritairement locaux et les réchauds peuvent très bien être fabriqués avec des matériaux disponibles sur place. Ainsi, il est plausible d'affirmer que la balance commerciale ne sera pas affectée négativement.

- Investissement initial

L'investissement initial pour des modèles sophistiqués peut être recouvert entre 20 et 50 mois, dépendamment du prix du combustible, du taux d'utilisation et du modèle du réchaud. De plus, la durée de vie est estimée à près de 15 ans (Nahar, 2001). Pour les modèles en carton et papier d'aluminium, le prix d'achat est beaucoup plus faible et est à la portée des ménages les plus pauvres. Le retour sur investissement est beaucoup plus rapide, mais leur durée de vie beaucoup plus courte (Resch and Kaye, 2007). Enfin, à la différence de toutes les autres énergies de substitution, le solaire thermique ne nécessite aucune supervision, et ce, même si le temps de cuisson est beaucoup plus long. Le temps

économisé (collecte du bois, surveillance de la cuisson) peut être employé à d'autres activités économiques et le retour sur investissement est encore plus rapide de cette manière. Malheureusement, des chiffres précis permettant de quantifier ces grandeurs ne sont pas disponibles.

5.2.3 Société

- Autonomisation des citoyens

Étant une énergie gratuite, accessible à tous, le solaire thermique constitue une excellente occasion pour les ménages d'utiliser leur rémunération à d'autres fins. De ce fait, le solaire thermique est un vecteur d'autonomisation important, puisqu'il aide à briser le cercle de la dépendance économique envers une forme d'énergie coûteuse et inefficace (bois énergie).

- Équité des genres

Les projets au Soudan ont été mis sur pied pour des raisons de sécurité. Le bois se trouvant toujours de plus en plus loin, les femmes devaient s'aventurer loin à l'extérieur des camps et étaient souvent victimes d'agressions. Bien que la situation soit différente en Haïti, les femmes doivent tout de même consacrer de longues périodes de temps à trouver du bois (surtout en milieu rural) et à s'occuper activement de la cuisson des repas. Le solaire thermique permet de diminuer considérablement le temps passé à l'extérieur pour la collecte du bois et le temps passé à s'occuper du repas. En effet, la cuisson étant douce et régulière avec le solaire thermique, il n'est pas nécessaire d'y assister en tout temps pour mélanger la nourriture et ajouter du combustible. Ainsi, bien que la cuisson soit plus lente, il est toutefois possible de laisser le repas cuire seul, ce qui dégage du temps pour vaquer à d'autres activités économiques ou pour la scolarisation.

- Amélioration de la santé

Les réchauds solaires ne produisent aucune forme de pollution qui pourrait constituer une atteinte à la santé. C'est donc un autre facteur jouant en faveur de l'équité des genres, la santé des femmes et des enfants s'en trouvant améliorée.

- Consultation de la communauté

Ce critère sera abordé de manière différente ici et concernera plutôt l'acceptation sociale de la technologie solaire. De nombreux projets en Afrique ont démontré qu'il est difficile de

faire accepter la cuisson « sans feu ». En effet, les gens n'ont pas l'impression que la nourriture est cuite s'il n'y a pas de feu ou de flammes. Ceci pose un projet sur le plan de l'intervention sociale (Dennerly, 2007). Il faut donc organiser des démonstrations publiques et faire participer les femmes, notamment dans le choix des modèles. Celles-ci deviendront des vecteurs de changement au sein de leur communauté. Cet aspect sera approfondi au chapitre suivant, portant sur les recommandations. L'acceptation/consultation de la société est donc un aspect primordial à considérer pour implanter le solaire thermique au sein d'une communauté et, à ce titre, les expériences réalisées avec le réchaud Sunoven laissent envisager un potentiel intéressant (Sunoven, s. d.).

Le solaire thermique représente une option intéressante, puisqu'elle permet de diminuer considérablement les impacts négatifs liés à l'utilisation du bois énergie tout en favorisant de manière positive de nombreux autres aspects (santé, autonomisation, économie). Il constitue alors un choix éclairé qu'il conviendrait de populariser rapidement.

5.3 Biométhanisation – matières résiduelles domestiques/agricoles

5.3.1 Environnement

- Ressource renouvelable

Concernant les matières résiduelles domestiques (sans les eaux usées), la quantité générée chaque jour dans Port-au-Prince uniquement avoisine les 3500 tonnes (Onesias, 2009). Les matières résiduelles sont renouvelables dans la mesure où leur utilisation (ou extraction du milieu) ne peut jamais dépasser leur production et qu'elles ne constituent pas une ressource naturelle jouant un rôle important dans un écosystème complexe. Par contre, en ce qui concerne les matières résiduelles agricoles, il n'est pas aussi sûr que cela soit le cas. Bien qu'il soit aussi impossible de les extraire (ou de les utiliser) à un taux plus grand que leur production, les retirer du milieu duquel elles proviennent contribuerait à dégrader la qualité des sols. Il serait alors pertinent d'en réserver une partie pour les sols. La fraction qu'il est possible d'extraire de façon raisonnable se situe près de 10 % de la biomasse (Smil, 2010). Au-delà de cette quantité, les sols en culture se dégraderont rapidement et un apport important de fertilisants devrait être envisagé. Toutefois, il serait possible d'établir des partenariats entre les agriculteurs et les organisations responsables de la biométhanisation

afin de retourner une partie du digestat issu du processus de biométhanisation. Ainsi, la qualité des sols serait préservée. Enfin, puisque les compresseurs (afin d'embouteiller le biométhane) fonctionnent à l'aide de carburant fossile (diesel), il conviendrait de les adapter pour qu'ils fonctionnent au biométhane. Dans le cas où des cuisines communautaires seraient mises sur pied, aucun compresseur ne serait nécessaire.

- Restauration des écosystèmes

L'utilisation des matières résiduelles domestiques pour la production de biométhane permettrait de produire un compost de qualité qui, retourné dans les terres en cultures et en friche, permettrait d'améliorer et de maintenir la qualité des sols. Ainsi, la résilience des écosystèmes s'en trouverait touchée de manière positive. Cette biomasse résiduelle, qui jusqu'à présent perd de sa valeur dans les décharges, dans les rues, dans les dépotoirs illégaux et dans les cours d'eau, irait enrichir les sols de minéraux et nutriments plutôt que de se dégrader inutilement et de contaminer l'environnement.

Dans le cas de l'utilisation de matières résiduelles agricoles, il est important de retourner le digestat produit aux champs afin de combler la perte de nutriments. De cette manière, les écosystèmes agricoles ne seront pas affectés négativement.

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation de matières résiduelles organiques domestiques ou agricoles en Haïti.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

Cette technologie, si elle est utilisée incorrectement, pourrait éventuellement relâcher d'importantes quantités de méthane dans l'atmosphère. Ce gaz est un puissant GES, dont le potentiel de réchauffement global est de 21 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). Une attention particulière devrait donc être portée à la qualité des installations, à la formation du personnel et à des mesures à prendre en cas de défectuosité/erreur humaine. Il faut également prendre en compte que les émissions de méthanes liées aux matières organiques enfouies (eaux usées et matières résiduelles domestiques) seront diminuées, ce qui représente un gain environnemental majeur. De plus, la fabrication du digesteur nécessite du béton et du mortier, des matériaux qui émettent

beaucoup de GES lors de leur fabrication. Toutefois, sur la durée de vie du digesteur, cette quantité est négligeable. Enfin, les compresseurs requièrent une forme de carburant, la plupart du temps du diesel. Le fonctionnement des compresseurs sera donc une source de GES. Il faudrait alors adapter ces compresseurs pour qu'ils fonctionnent avec du biométhane.

- Érosion des sols

L'utilisation de matières résiduelles agricoles pourrait dans certains cas mener à une grande érosion des sols. Par exemple, le fait de retirer du sol toute la tige du maïs plutôt que d'en laisser une partie contribue à préserver le sol de l'érosion éolienne et hydrolienne. Cependant, une meilleure productivité des sols (utilisation du digestat) favoriserait la croissance végétale et ainsi, la diminution de l'érosion des sols.

L'utilisation de matières résiduelles domestiques (comprenant les eaux usées) n'aurait pas d'impact négatif notable sur l'érosion des sols. Le digestat pourrait par contre être utilisé dans les champs afin d'en augmenter la productivité.

- Qualité/quantité de l'eau

En retirant les matières organiques résiduelles des rues, des terrains vagues et des dépotoirs illégaux, la quantité de contaminants présents dans les eaux de pluies et de ruissellement sera diminuée, ce qui assurera une meilleure qualité de l'eau. De plus, en traitant les eaux usées, la biométhanisation améliore la qualité des eaux de surface et des eaux de ruissellement. Le projet de l'ONG Viva Rio dans le quartier de Bel Air (Port-au-Prince), qui a mis en place un système de traitement des eaux usées au moyen de toilettes communautaires et d'un digesteur, est un exemple de réussite en ce domaine. Les eaux traitées servent à élever du tilapia en pisciculture et à l'arrosage d'une pépinière (Agence canadienne de développement international, 2011).

La production de biométhane à partir de matières résiduelles agricoles n'aura pas d'impacts notables sur la qualité et la quantité de l'eau.

- Biodiversité

L'utilisation de matières résiduelles agricoles ou domestiques ne devrait pas avoir d'impact majeur sur la biodiversité haïtienne. Toutefois, l'utilisation du digestat comme amendement des sols permettra d'améliorer la qualité des sols et indirectement de favoriser la biodiversité présente dans les sols et dans les écosystèmes agricoles (agroforesterie).

- Matières résiduelles

Aucune matière résiduelle n'est issue du processus de combustion du biométhane. De plus, sur le plan de la production du gaz, le digestat sert d'amendement au sol. La fabrication du digesteur devrait produire des matières résiduelles, mais il serait possible de les minimiser, des les trier et de les réutiliser (agrégats, ciment, mortier). Enfin, dans le cas où la manipulation du méthane peut nécessiter des bonbonnes, celles-ci devront être éliminées après leur vie utile. Des mesures devront être prises pour s'assurer que cela se fait dans le respect de l'environnement et des populations.

5.3.2 Économie

- Création d'emplois

La fabrication de digesteurs, la formation, la production, la vente, le remplissage et le transport des bonbonnes, la collecte et le transport des matières résiduelles et le transport du compost sont tous des secteurs d'activités qui créeront des emplois. Le projet de briquettes de papier à Carrefour Feuilles est un exemple de collecte de matières résiduelles à haute intensité de main-d'œuvre qui fonctionne bien. Les bénéfices économiques pour la population seraient donc importants pour cette option énergétique.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

Le niveau de développement technologique pour cette option énergétique peut être considéré de niveau intermédiaire, ce qui fait qu'il est possible de créer et de gérer les installations requises avec de la main-d'œuvre et du savoir-faire locaux. En créant des flux économiques internes uniquement, cette technologie n'aura pas d'impacts négatifs notables sur la balance commerciale, sauf pour l'importation de diesel utilisé par les compresseurs, lorsque c'est nécessaire.

- Investissement initial

L'investissement initial, autant pour le producteur que pour le consommateur est plus important dans le cas de cette technologie. Pour le producteur, il s'agit de construire un digesteur, un compresseur et un ensemble de bonbonnes, lorsque c'est nécessaire. De plus, des infrastructures de collectes de matières résiduelles doivent être mises en place, ce qui représente un défi logistique et économique. Le consommateur doit pour sa part se munir d'un réchaud à gaz (type GPL ou propane) et doit pouvoir acheter une bonbonne au producteur. À ce titre, il semble que cette technologie soit moins durable que le bois énergie. Des programmes de subventions pourraient être mis sur pied.

5.3.3 Société

- Autonomisation des citoyens

À cet égard, les citoyens sont autant dépendants d'une source d'énergie externe et d'un réseau de production/distribution. Il apparaît alors qu'à moins de posséder un digesteur personnel, un citoyen ne voit pas son autonomie améliorée de façon majeure.

- Équité des genres

La cuisson des aliments avec le biométhane est plus propre et plus facile qu'avec le bois énergie, ce qui implique moins de temps passé à s'occuper de la cuisson et à récupérer les instruments de cuisine.

- Amélioration de la santé

La cuisson des aliments avec le biométhane dégage moins de substances nocives pour la santé humaine que le bois énergie, la santé des femmes et des enfants en sera donc améliorée considérablement. Des dangers liés à l'utilisation d'un gaz combustible existent : brûlures, incendies et explosions peuvent survenir. De la formation adéquate devrait donc être fournie avec le réchaud.

- Consultation de la communauté

À l'instar du projet de Carrefour Feuilles, il serait possible de mettre sur pied un comité organisateur responsable de la collecte des matières résiduelles ou d'instaurer un modèle coopératif qui serait chargé de la production et de la distribution du biométhane. Enfin, l'expérience de Viva Rio à Bel Air semble prometteuse : le biométhane est utilisé

directement à la source dans une des cuisines communautaires. Ainsi, aucun besoin de compresseur, ce qui facilite grandement l'utilisation et réduit les coûts. Cette avenue devrait être explorée plus en profondeur (ACDI, 2011). Par ailleurs, il est possible de croire que l'utilisation de cuisines communautaires pourrait contribuer à la solidification des relations sociales, à l'émancipation des femmes et à une résilience communautaire accrue (particulièrement dans les camps de déplacés). En effet, en profitant des cuisines communautaires comme forum d'échange, il est possible que le tissu social s'en trouve renforcé. Ces cuisines communautaires permettraient aux femmes d'échanger et de s'entraider. L'utilisation du GPL et du propane comme énergie de cuisson est déjà connue dans la société haïtienne et est perçue comme étant le combustible idéal (ESMAP, 2007). Les pratiques culturelles ne font donc pas obstacle à son adoption.

À la suite de cette analyse, il apparaît que la biométhanisation constitue également un choix intéressant pour plusieurs raisons. Outre le fait que les problèmes liés à l'utilisation du bois énergie soient diminués, la biométhanisation contribue activement à régler des problèmes de santé publique, de même que des problèmes sanitaires et écologiques (cycle des nutriments fermé). C'est une option créatrice d'emplois qui permettrait à Haïti de développer une expertise prisée dans un domaine en pleine ébullition.

5.4 Biocarburant – Huiles végétales brutes/jatropha curcas

5.4.1 Environnement

- Ressource renouvelable

Puisqu'il s'agit de la culture d'une plante pour ses graines, et que l'extraction des graines ne mène pas directement à l'épuisement de la ressource, il est possible de considérer le jatropha curcas comme potentiellement renouvelable. Potentiellement, puisqu'il faut en effet tenir compte de la dégradation de la valeur des sols avec le temps suite à l'extraction continue de biomasse. Bien que la graine ne constitue qu'un faible pourcentage de la biomasse totale de la plante, des études ont démontré qu'il était préférable de retourner les coquilles entourant les graines et le reste de graines (pressées) au sol. Si les graines écrasées sont utilisées comme combustible (combustion directe), il faudra augmenter l'apport en

nutriments externes pour maintenir le rendement des cultures (Brittaine and Lutaladio, 2010).

- Restauration des écosystèmes

Il a été démontré que le jatropha pousse sur des sols dégradés et pauvres en nutriments (avec un rendement moindre) et que, de ce fait, il contribue à en améliorer la qualité. La culture du jatropha permet de revitaliser le sol et d'augmenter la quantité de matières organiques présente dans le sol, en permettant une meilleure infiltration et rétention d'eau et en accroissant l'activité microbienne (Brittaine and Lutaladio, 2010).

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Jusqu'à présent, les différents essais sur le jatropha curcas ont démontré que la plante devrait être améliorée (génétiquement ou non) afin de sélectionner des caractéristiques plus intéressantes (meilleure productivité, meilleur contenu en huile, non-toxicité) (Brittaine and Lutaladio, 2010). Il faudra donc considérer ce critère lorsque le moment sera venu d'établir une politique énergétique encadrant le jatropha.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

En restaurant des sols dégradés, la culture du jatropha s'inscrit dans un changement d'affectation des terres qui, s'il est bien fait, peut augmenter la quantité de gaz carbonique qui sera maintenu dans le sol. Toutefois, l'utilisation massive de fertilisant pourrait libérer une importante quantité d'oxyde nitreux, un puissant GES dont le potentiel de réchauffement global est de 310 (GIEC, 2007). Par contre, cette situation n'est pas la norme chez les agriculteurs haïtiens. Le coût des fertilisants de synthèse étant prohibitifs. L'extraction de l'huile, si elle est motorisée, requiert du carburant fossile (diesel). Des mesures devraient être prises afin d'adapter les équipements à l'huile de jatropha curcas.

- Érosion des sols

En cultivant le jatropha pour ses vertus énergétiques ou simplement en utilisant le jatropha comme barrière naturelle en bordure des terres en culture, il est possible de solidifier le sol par le réseau racinaire de la plante. De plus, sa présence en bordure des terres en culture permet de réduire l'érosion éolienne et ainsi de diminuer les pertes de sols. Les racines de

la plante permettent à l'eau de s'infiltrer plutôt que de faire du ruissellement, réduisant du même coup la quantité de sol charrié au loin.

- Qualité/quantité de l'eau

De la même manière que la plante combat l'érosion, le jatropha, en augmentant l'infiltration et la filtration de l'eau, permet d'en améliorer la qualité et la quantité dans le sol et les nappes phréatiques.

- Biodiversité

La culture à grande échelle du jatropha pourrait mener à des pratiques monoculturelles avec une essence extrêmement productive en termes de production d'huile et de besoin en nutriment. Cependant, il est plus probable que le modèle d'exploitation retenu soit celui de la culture de quelques plants et de la vente des graines par les agriculteurs à un transformateur. Ce modèle est utilisé notamment pour le café. Cela modifierait également le paysage agricole haïtien de manière notable. Il faudra donc considérer ce critère lorsque le moment sera venu d'établir une politique énergétique encadrant le jatropha.

- Matières résiduelles

Les matières résiduelles produites par la transformation des graines en huiles peuvent être utilisées comme combustible direct (incinération), comme matières résiduelles agricoles servant à la biométhanisation ou elles peuvent être retournées aux champs comme engrais. Il n'y a donc aucune matière résiduelle à proprement parler qui est créée par la transformation et la combustion de l'huile de jatropha.

5.4.2 Économie

- Création d'emplois

La culture du jatropha à grande échelle sur des terres de moindre valeur pour la production vivrière permettrait de redynamiser la campagne haïtienne et offrirait de nombreux emplois et des revenus supplémentaires. Le transport et la transformation des graines en huile ainsi que le transport et la vente de l'huile créeraient également de nombreux emplois.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

La plante étant endémique et bien connue, les équipements d'extraction pouvant être actionnés manuellement et l'ensemble des activités liées à cette technologie pouvant être réalisés à l'intérieur du pays, il semble que l'utilisation du jatropha curcas n'ait ni un impact négatif ni un impact positif sur la balance commerciale en remplaçant le bois énergie comme combustible de cuisson.

- Investissement initial

L'investissement initial pour le producteur comporte trois volets : l'achat ou la location du champ (dans le cadre d'une plantation à grande échelle), l'achat des semis et l'achat de l'extracteur. Les problèmes fonciers en Haïti pourraient être un obstacle à la mise en place de cette technologie alors que la faible valeur des terres dégradées pourrait constituer un incitatif important. Toutefois, le succès de cette entreprise pourrait éventuellement pousser le prix des terres agricoles à la hausse. L'achat de semis peut constituer un investissement important (Brittaine and Lutaladio, 2010) la première année seulement. Cet investissement sera proportionnel à la qualité de semis achetés. L'agriculteur pourrait lui-même procéder à la sélection et à la récolte de semis sauvages, mais il s'agirait d'une entreprise très longue et probablement peu rentable. Enfin, l'extracteur, s'il est manuel, aura un coût à l'achat plus faible, des coûts d'entretien plus faibles, mais des frais d'exploitation qui varieront en fonction des coûts de main-d'œuvre. Des extracteurs fonctionnant à l'huile de jatropha existent, leur rendement est jugé meilleur (Brittaine and Lutaladio, 2010), mais leur coût d'achat et d'entretien est plus élevé. Pour le consommateur, le coût se limite à l'achat d'un réchaud à kérosène, qui peut fonctionner avec l'huile de jatropha (Brittaine and Lutaladio, 2010).

5.4.3 Société

- Autonomisation des citoyens

En fournissant d'importantes opportunités d'emplois, le jatropha permettrait de diversifier les activités économiques et les sources de revenus. Ceci permettrait à terme de favoriser l'autonomisation des citoyens par un développement économique accru. De plus, en augmentant la qualité des sols, le jatropha permettrait également d'augmenter la quantité de nourriture produite s'il était utilisé afin d'améliorer la qualité du sol. Après quelques années

de production, des cultures vivrières pourraient remplacer le jatropha. Toutes ces conditions contribuent à favoriser l'autonomie des citoyens.

- Équité des genres

L'avantage de l'huile végétale sur le bois énergie comme combustible de cuisson réside dans la facilité avec laquelle elle est utilisée. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'être toujours à l'attention du feu, ce qui dégage du temps libre aux femmes pour vaquer à des activités économiques ou académiques. La cuisson n'est toutefois pas aussi facile qu'avec le kérosène (l'huile de jatropha ne s'allume pas aussi facilement), ce qui limite les risques d'incendies et annule les risques d'explosions.

- Amélioration de la santé

La combustion de l'huile de jatropha n'est pas aussi propre que le kérosène, le biométhane ou l'éthanol (voir plus bas). Cependant, sa combustion est plus propre que celle du bois énergie, ce qui a un effet direct sur la qualité de l'air intérieur. Deux études publiées en 1987 (Horiuchi et al.) et 1988 (Hirota et al.) révèlent la présence d'un agent cancérigène présent dans l'huile de jatropha qui serait actif au contact de la peau. Cependant, ces études semblent les seules publiées à ce sujet et n'ont pas été reproduites depuis. Il faut donc considérer ces résultats en gardant ce fait à l'esprit.

- Consultation de la communauté

Dans l'état actuel des projets de culture du jatropha, il n'est pas possible de déterminer quelle forme devrait prendre l'implantation de cette technologie. Il est cependant clair que la participation du milieu rural est primordiale et que cette technologie se prête bien à une gestion décentralisée, puisque le niveau de développement technologique requis est faible. Dans cette optique des partenariats ou des régimes coopératifs seraient judicieux.

À la lumière de cette analyse, l'utilisation de l'huile de jatropha en Haïti serait possible, mais nécessiterait des ajustements importants et de la recherche et du développement. La culture du jatropha devrait être bien encadrée et se limiter à la restauration des sols dégradés impropres à la production vivrière afin de limiter la hausse des prix des denrées alimentaires. Afin d'assurer le succès d'une telle initiative, il importe de considérer le jatropha curcas comme étant un élément constitutif d'un système écologique plus large. Il

faut donc chercher à maximiser chacune des possibilités qu'offre la plante. De cette manière, les systèmes mis en place seront plus résilients et offriront des perspectives d'emplois diversifiées et nombreuses.

5.5 Biocarburants – Alcools/agave

L'éthanol gélifié sera abordé brièvement à la fin de la présente section et ne constituera pas en soi une analyse à part entière.

5.5.1 Environnement

- Ressource renouvelable

La culture de l'agave pour produire de l'éthanol, à l'instar du jatropha, peut être réalisée sur des sols dégradés, en situation de stress hydrique. Ainsi, cette culture se fait dans le respect des ressources alimentaires et dans une perspective de régénération des sols. Il apparaît donc que cette culture est potentiellement renouvelable, puisqu'il n'est pas possible d'extraire l'éthanol à une vitesse plus grande que la vitesse de croissance de l'agave. Il faut alors s'assurer que l'apport en biomasse et en nutriments soit égal à la perte que connaissent les sols en culture. La biomasse non utilisée devrait être retournée au sol afin de maximiser les rendements. Enfin, il serait possible de planter le jatropha et l'agave sur une même parcelle, en culture associée (agroforesterie). Des systèmes similaires ont déjà été testés et semblent fonctionner efficacement. De cette façon, le rendement serait augmenté, la terre serait maximisée et les revenus agricoles seraient plus grands.

- Restauration des écosystèmes

En utilisant le système de culture associée, les pratiques monoculturelles sont évitées, la résilience de l'écosystème est améliorée et les interactions au niveau du sol, entre les différents organismes vivants, sont diversifiées. De plus, en cultivant l'agave sur des sols dégradés, une partie de la biomasse de la plante retourne au sol et l'enrichit. Elle permet également une meilleure infiltration et rétention d'eau et augmente l'activité microbienne.

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Jusqu'à présent, les différents essais sur l'agave ont démontré que la plante devrait être améliorée (génétiquement ou non) afin de sélectionner des caractéristiques plus

intéressantes (meilleure productivité) (Valdez-Vazquez et al., 2010). Il faudra donc considérer ce critère lorsque le moment sera venu d'établir une politique énergétique encadrant la culture de l'agave à des fins énergétiques.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

En restaurant des sols dégradés, la culture de l'agave s'inscrit dans un changement d'affectation des terres qui, s'il est bien fait, peut augmenter la quantité de gaz carbonique qui sera maintenu dans le sol. Toutefois, l'utilisation massive de fertilisant pourrait libérer une importante quantité d'oxyde nitreux, un puissant GES dont le potentiel de réchauffement global est de 310 (GIEC, 2007). Par contre, cette situation n'est pas la norme chez les agriculteurs haïtiens, le coût des fertilisants de synthèse étant prohibitif. En ce qui concerne le processus de transformation de l'agave en éthanol, soit la fermentation, celle-ci est bien connue en Haïti et dans la région (production de rhum à partir de canne à sucre). Il est probable que les producteurs d'éthanol puissent être autosuffisants en énergie, en utilisant uniquement l'éthanol, le biométhane ou la bagasse comme combustible. De ce point de vue, il ne semble donc pas que les émissions de GES soient un problème sérieux.

- Érosion des sols

En cultivant l'agave pour ses vertus énergétiques, il est possible de solidifier le sol par le réseau racinaire de la plante. De plus, sa présence permet de réduire l'érosion éolienne et ainsi de diminuer les pertes de sols. Les racines de la plante permettent à l'eau de s'infiltrer plutôt que de faire du ruissellement, réduisant du même coup la quantité de sol charrié au loin.

- Qualité/quantité de l'eau

De la même manière que la plante combat l'érosion, l'agave, en augmentant l'infiltration et la filtration de l'eau, permet d'en améliorer la qualité et la quantité dans le sol et les nappes phréatiques. De plus, puisque sa culture ne nécessite pas beaucoup d'eau, le contenu en eau virtuelle (total de l'eau nécessaire à la production d'une unité de produit) de l'éthanol sera plus faible que pour l'huile de jatropha sur le plan de la culture. Cependant, en ce qui a trait à la fermentation, les usines modernes utilisent entre 5 et 10 litres d'eau par litre d'éthanol (Union Économique et Monétaire Ouest Africaine, 2006). Il apparaît donc que la transformation à grande échelle serait exigeante en eau.

- Biodiversité

La culture à grande échelle de l'agave pourrait mener à des pratiques monoculturelles avec une essence extrêmement productive en termes de production d'énergie et de besoin en nutriment. Cependant, cette approche requiert très souvent des pesticides et place l'agriculteur dans une situation de dépendance dans le cas d'une diminution de l'approvisionnement en pesticide et d'une augmentation de la résistance des pestes. Cela modifierait également le paysage agricole haïtien de manière notable. Il faudra donc considérer ce critère lorsque le moment sera venu d'établir une politique énergétique encadrant la culture de l'agave et d'envisager des pratiques de cultures associées.

- Matières résiduelles

La biomasse utilisée pour la production d'éthanol est le corps de la plante (et non les feuilles), duquel le sucre est extrait puis transformé en éthanol. Les feuilles pourraient être digérées pour les transformer en biométhane. Le compost produit devrait être retourné au champ pour enrichir le sol et maintenir la productivité. Une certaine quantité de bagasse (résidus secs) est produite lors du processus d'extraction du sucre. Cette bagasse pourrait idéalement subir le même traitement que les feuilles (digestion anaérobie) et être ensuite retournée au champ pour enrichir le sol.

5.5.2 Économie

- Création d'emplois

Des emplois seraient créés dans plusieurs catégories comme l'agriculture, le transport, la fermentation des sucres, la vente de l'alcool, la manutention des matières résiduelles et la fabrication et la vente de réchauds adaptés. Les perspectives d'emplois sont plus diversifiées que dans le cas du bois énergie et pourrait mener à une spécialisation accrue et à une meilleure acquisition de compétences par les travailleurs.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

Contrairement à l'huile de jatropha, l'éthanol produit à partir de l'agave requiert une transformation plus complexe que le simple pressage mécanique. Toutefois, l'expertise concernant la fermentation des sucres en alcool est déjà en place en Haïti (rhum, produit à partir du sucre de canne). L'éthanol pourrait trouver d'autres débouchés que la cuisson des

aliments et substituer à d'autres produits importés à haute valeur ajoutée, ce qui serait bénéfique pour l'économie haïtienne.

- Investissement initial

L'investissement initial pour le producteur comporte trois volets : l'achat ou la location du champ (dans le cadre d'une plantation à grande échelle), l'achat des semis la première année et les installations de fermentation alcoolique. Les problèmes fonciers en Haïti pourraient être un obstacle à la mise en place de cette technologie alors que la faible valeur des terres dégradées pourrait constituer un incitatif important. Toutefois, le succès de cette entreprise pourrait éventuellement pousser le prix des terres agricoles à la hausse. L'achat de semis pourrait également constituer un investissement important la première année seulement. Cet investissement sera proportionnel à la qualité de semis achetés. L'agriculteur pourrait lui-même procéder à la sélection et à la récolte de semis sauvages; il s'agirait toutefois d'une entreprise très longue et probablement peu rentable. Enfin, la technologie de fermentation des sucres en alcool est déjà en place en Haïti, mais une manipulation supplémentaire (broyage de la lignocellulose pour séparer la lignine de la cellulose) s'avère nécessaire. Cette manipulation supplémentaire peut s'avérer coûteuse et l'implantation de plusieurs usines de fermentation serait très coûteuse. Pour le consommateur, le coût se limite à l'achat d'un simple réchaud à alcool, à faible prix et facile à construire soi-même s'il le faut.

5.5.3 Société

- Autonomisation des citoyens

À l'instar du jatropha, la culture de l'agave permettrait de diversifier les activités économiques et les sources de revenus en fournissant d'importantes perspectives d'emplois. Ceci permettrait à terme de favoriser l'autonomisation des citoyens par un développement économique accru. De plus, en accroissant la qualité des sols, l'agave permettrait également d'augmenter la quantité de nourriture produite s'il était utilisé en rotation avec d'autres cultures vivrières.

- Équité des genres

L'avantage de l'éthanol, à l'instar de l'huile de jatropha, par rapport au bois énergie comme combustible de cuisson réside dans la facilité avec laquelle il est utilisé. Il est toutefois nécessaire d'être toujours à l'attention du feu, surtout en présence de jeunes enfants, afin d'éviter les risques d'incendies et d'explosions.

- Amélioration de la santé

La combustion de l'éthanol est aussi propre que le kérosène, le biométhane ou le gaz propane. Sa combustion est donc plus propre que celle du bois énergie, ce qui a un effet direct sur la qualité de l'air intérieur et améliore ainsi la santé des femmes et des enfants.

- Consultation de la communauté

Dans l'état actuel des projets de culture de l'agave, il n'est pas possible de déterminer quelle forme devrait prendre l'implantation de cette technologie. Il est cependant clair que la participation du milieu rural est primordiale. Cette technologie ne se prête pas bien à une gestion décentralisée, puisque le niveau de développement technologique requis est plutôt élevé. Dans cette optique, des partenariats avec des gouvernements, des acteurs privés et des institutions financières seraient à prévoir afin de mettre en route cette option énergétique. Éventuellement, des régimes coopératifs pourraient prendre la relève et ainsi assurer un développement harmonieux avec les collectivités locales.

De façon similaire à l'huile de jatropha, l'éthanol provenant de l'agave est une avenue intéressante, quoique plus difficile à implanter. Même si une partie de l'expertise nécessaire à la fermentation alcoolique se trouve déjà en Haïti, la taille des investissements nécessaires pourrait constituer un frein important à cette source d'énergie. Les avantages à son utilisation sont indéniables (santé, restauration des écosystèmes, opportunités économiques, captage du CO₂). Pour cette raison, il convient de continuer d'explorer cette solution.

D'un autre côté, la production d'agent gélifiant se fait à partir de cellulose méthylique modifiée (origine biologique) nécessitant une transformation chimique. Une production à grande échelle pourrait avoir des impacts importants sur l'environnement. Le procédé est complexe et nécessite une expertise qui n'est peut-être pas présente en Haïti. Par contre, dans le cas où une telle expertise serait développée, des emplois spécialisés et bien

rémunérés seraient créés. Il faut également mentionner que la manipulation de l'éthanol gélifié est plus sécuritaire que l'éthanol pur. Il est plus facile à conserver et sa combustion ne dégage pas de substances nocives pour la santé des humains.

5.6 Pyrolyse – Biocharbon

5.6.1 Environnement

- Ressource renouvelable

Le concept même de biocharbon implique que la ressource est renouvelable. En effet, il s'agit de l'extraction puis de la carbonisation d'une certaine quantité de biomasse. Lors de l'étape de la carbonisation, les huiles et gaz produits sont récupérés pour être réutilisés à l'instant (gaz) ou plus tard (huiles). Le charbon produit est retourné dans les sols et en améliore la qualité. Cette pratique peut être répétée de manière à ce que la productivité des sols soit augmentée considérablement, ce qui mène à une plus grande production de biomasse. De plus, dans les conditions actuelles (déboisement massif), il serait pertinent d'utiliser cette technique plutôt que de simplement utiliser le bois énergie comme combustible. En effet, afin de retirer le maximum d'huiles pyrolytiques du processus, celui-ci se doit d'être beaucoup plus efficace que la simple carbonisation. Moins d'arbres seraient alors décimés pour produire la même quantité d'énergie. Enfin, plutôt que de contribuer à la dégradation des sols au moyen de l'érosion, cette pratique permettrait d'améliorer les sols. Le déboisement aurait toujours lieu, mais certains de ses effets négatifs seraient diminués. Il serait toutefois judicieux d'utiliser des matières résiduelles organiques domestiques ou agricoles et de retourner le biocharbon produit aux champs.

- Restauration des écosystèmes

En produisant une matière carbonée stabilisée, le biocharbon permet de restaurer la capacité de support des écosystèmes. En effet, comme décrit au chapitre 4, le biocharbon, une fois incorporé au sol, en améliore notablement les qualités.

- Utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Ce critère ne s'applique pas à l'utilisation du biocharbon en Haïti.

- Production de gaz à effet de serre (GES)

Les matières premières étant d'origine biologique, aucun GES fossile n'est ajouté à l'atmosphère dans tout le processus de production du biocharbon. En outre, le biocharbon constitue un puits de carbone, puisqu'il emprisonne le carbone présent dans la biomasse sous une forme stable. Ce carbone peut rester plusieurs centaines d'années sous cette forme.

- Érosion des sols

En augmentant l'activité microbienne du sol et sa productivité générale (Graber et al., 2010; Jha et al., 2010; Maraseni, 2010), le biocharbon favorise le développement du couvert végétal en surface, ce qui a un impact direct sur l'érosion des sols. Par ailleurs, en améliorant la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol, l'érosion s'en trouve diminuée (Karhu, et al., 2011).

- Qualité/quantité de l'eau

Comme mentionné au critère précédent, le biocharbon facilite l'infiltration et la rétention d'eau dans le sol. Le biocharbon augmente également la filtration de l'eau, la rétention et la stabilisation des métaux lourds et la rétention des éléments nutritifs. La qualité des eaux souterraines et de surface est donc notablement améliorée par cette pratique (Chen et al., 2010; Maraseni, 2010; Karhu et al., 2011).

- Biodiversité

L'utilisation du biocharbon ne semble pas, à première vue, avoir d'impacts négatifs notables sur la biodiversité haïtienne. Pour ce faire, le biocharbon doit être produit à partir de ressources végétales diverses (matières résiduelles agricoles, herbes, etc.) et non pas d'arbres. Par contre, en améliorant la qualité des sols et la rétention de l'eau, il est plus que probable que cela favorise la biodiversité dans les endroits où le biocharbon est incorporé au sol puisque la productivité biologique sera augmentée.

- Matières résiduelles

Aucune production de matières résiduelles ne peut être associée à l'utilisation d'huiles pyrolytiques et de biocharbon.

Sur le plan de l'environnement, le biocharbon permettrait donc de toujours produire du charbon à partir du bois (mais également à partir d'autres sources végétales) tout en augmentant la qualité des sols et ainsi, la revégétalisation.

5.6.2 Économie

- Création d'emplois

La production de biocharbon repose en partie sur le même modèle de production économique que le bois énergie (collecte, carbonisation, vente). Cependant, d'autres étapes sont à considérer afin de dresser un portrait plus complet. La manipulation du biocharbon (retour en terre) et des huiles pyrolytiques (remplissage des contenants) ont le potentiel de créer beaucoup d'emplois. En effet, la manipulation du biocharbon est un travail à haute intensité de main-d'œuvre qui profiterait aux agriculteurs et à la population active.

- Retombées économiques locales/balance commerciale positive

Bien que le niveau technologique requis pour cette option énergétique soit plus élevé que pour la simple carbonisation (requiert une meule vraiment étanche et un dispositif pour recueillir les huiles pyrolytiques), la presque totalité des flux économiques est située à l'intérieur du pays. Ceci rend donc cette solution très intéressante d'un point de vue économique.

- Investissement initial

L'investissement initial pour le producteur sera plus important, ce qui peut constituer un frein majeur à l'implantation de cette technologie en Haïti. En effet, l'achat d'une meule vraiment étanche à l'air représente un coût supplémentaire qu'il serait difficile d'absorber pour le producteur. Enfin, les huiles pyrolytiques doivent être utilisées dans un réchaud adapté, similaire à celui utilisé pour l'huile de jatropha (kérosène), ce qui peut représenter un investissement important pour certains consommateurs.

5.6.3 Société

- Autonomisation des citoyens

Un impact important de la production du biocharbon serait d'augmenter la productivité des sols en culture et ainsi favoriser la sécurité alimentaire locale sans devoir dépendre de plus

en plus de fertilisants de synthèse coûteux. En éliminant cette nécessité, le biocharbon, à l'aide de partenariats entre les agriculteurs et les producteurs, permettrait d'atteindre un plus au degré d'autosuffisance et de résilience. Il n'y aurait cependant pas de différence notable sur le plan de l'autonomie des consommateurs d'huiles pyrolytiques par rapport au bois énergie.

- Équité des genres

Comme pour d'autres sources d'énergie analysées dans le cadre de cet essai, la cuisson à l'aide d'huiles pyrolytiques est plus aisée qu'avec du bois énergie, ce qui contribue à diminuer le temps consacré à une tâche ménagère importante. Autrement, la manipulation du biocharbon, un travail à haute intensité de main-d'œuvre, ne favoriserait ni ne réduirait les perspectives d'emploi des femmes. Il s'agit cependant d'un travail exigeant physiquement et des formes d'organisation du travail adaptées devraient être adoptées (rotation, partage des tâches).

- Amélioration de la santé

Des effets bénéfiques diffus peuvent être espérés à long terme avec l'utilisation massive du biocharbon dans les sols en culture. Ces effets découlent de l'amélioration de la qualité des sols et des eaux, de l'augmentation de la productivité des sols et de la rétention/stabilisation des métaux lourds. Par ailleurs, des avantages sur le plan de la qualité de l'air intérieur sont attendus. L'utilisation d'huiles pyrolytiques dégage moins de substances toxiques que le bois énergie.

- Consultation de la communauté

L'implication de nombreux partenaires (institutions financières, gouvernement local, agences de développement, populations locales, agriculteurs, charbonniers) est nécessaire afin de mener à bien ce type d'initiative. Tous les acteurs qui sont touchés de près ou de loin par cette initiative doivent être impliqués dans le processus décisionnel parce que ce projet ne peut pas être un succès sans la participation de plusieurs acteurs. Les bienfaits du biocharbon devront être expliqués et démontrés, des partenariats devront être créés entre les agriculteurs et les charbonniers afin d'établir de nouvelles dynamiques sociales et économiques. Ces deux acteurs peuvent jouer un rôle qui renforce la position de l'autre,

ceci doit être bien compris et intégré pour que le projet soit une réussite. Seulement de cette façon sera-t-il possible de changer les pratiques culturelles et énergétiques.

Bref, le biocharbon offre d'importantes possibilités sur le plan de la restauration des écosystèmes et des emplois. Par ailleurs, l'important potentiel lié au captage du carbone et du méthane dans le sol n'est pas à négliger. Il serait possible de s'en servir pour obtenir du financement (crédits carbone) qui améliorerait de manière considérable la rentabilité d'une telle initiative. L'enjeu pour Haïti est important, les sols en culture se dégradent année après année, au détriment de la sécurité alimentaire et du développement économique. La production de biocharbon devrait alors être envisagée en association avec d'autres types d'activités (résidus agricoles provenant des plantations d'agave, de jatropha, de cannes à sucre, etc).

Les différentes filières évaluées ci-haut possèdent toutes leurs forces et leurs faiblesses. La difficulté de les implanter réside donc dans le fait de bien connaître le contexte local et de savoir lier les ressources humaines, financières et technologiques aux besoins des populations, dans le respect de l'environnement. C'est dans cette optique que des recommandations seront présentées au chapitre suivant.

6 RECOMMANDATIONS

Ce chapitre présente des recommandations élaborées au cours de la rédaction de cet essai. Elles ne constituent nullement des obligations, mais plutôt des suggestions et des réflexions. Tout en gardant à l'esprit les limites financières, techniques et humaines inhérentes aux initiatives de développement international, ces recommandations peuvent être abordées comme un ensemble de mesures indépendantes plutôt qu'un tout à appliquer uniformément. Il n'est pas dans l'intention de l'auteur de dicter à quiconque leur conduite, il s'agit en fait de participer au débat et de contribuer à améliorer, si possible, la qualité de vie des Haïtiennes et des Haïtiens. Par ailleurs, si ces recommandations sont élaborées dans une perspective strictement haïtienne, les problématiques liées aux ressources énergétiques, aux ressources naturelles, à la protection de l'environnement et au développement se retrouvent partout dans le monde, autant des les pays industrialisés que dans les pays en développement. Le contenu de cet essai pourrait donc éventuellement servir de base à d'autres travaux dans ce domaine. Enfin, chacune des sources d'énergie présentée pourrait faire l'objet d'un essai entier.

L'exploration et l'analyse de diverses alternatives au bois énergie pour la cuisson des aliments ont permis de dégager des informations pertinentes concernant la faisabilité technique, la durabilité, l'applicabilité et la potentialité de ces alternatives dans le contexte haïtien. Bien qu'un important travail ait ainsi été réalisé, il importe de pousser plus loin la réflexion et de proposer des pistes de solution qui permettront de mettre en application ces solutions.

6.1 Briquettes énergétiques – bagasse/papier

Il ressort de l'analyse des briquettes énergétiques que le matériau de base utilisé pour leur confection a un impact important sur la durabilité et l'applicabilité de cette option. À première vue, la bagasse semble un choix pertinent pour plusieurs raisons, notamment en raison de sa disponibilité et de sa faible valeur économique et écologique. Cependant, celle-ci est déjà largement utilisée par les industries de transformation ce qui rend son remplacement nécessaire et problématique. Avant d'étendre à grande échelle ce procédé, il conviendrait de réaliser une analyse de cycle de vie environnementale (ACV-E). Bien qu'elles soient coûteuses et difficiles à réaliser, elles s'avèrent nécessaires lorsque la réalité

à saisir est très complexe. Une ACV-E sur l'utilisation de la bagasse dans la fabrication de briquettes énergétiques permettrait de déterminer quel combustible utiliser pour la remplacer dans les industries, dans quelle mesure la fabrication de briquettes est efficace et quel est le taux d'efficacité des réchauds et fours utilisés. Ensuite, l'ACV-E permettrait de quantifier la part des impacts environnementaux de la culture de la canne qu'il faut attribuer à l'utilisation de la bagasse pour la confection de briquettes. Cette analyse permettrait finalement de déterminer s'il serait pertinent d'étendre la culture de la canne aux seules fins de produire des briquettes et de déterminer quelles pratiques culturelles devraient être adoptées dans quel contexte. Il serait également pertinent d'évaluer en profondeur la disponibilité de la bagasse pour justifier des investissements adéquats. Un important travail reste donc à faire avant de pouvoir vraiment envisager l'utilisation de la bagasse à grande échelle.

L'utilisation du papier usé représente un avantage indéniable, soit de contribuer à l'assainissement de l'environnement urbain. Toutefois, son application à grande échelle ne peut être envisagée qu'en milieu urbain suffisamment densément peuplé. Pour pouvoir constituer une alternative intéressante et viable au bois énergie, la quantité de briquettes de papier produite doit être importante. Afin de limiter les coûts de transport, il faut donc produire et brûler ces briquettes dans un espace géographique relativement restreint. Il est également possible de calculer concrètement la limite maximale de production de briquettes de papier suivant la consommation de papier dans la capitale. Cette alternative ne peut donc pas constituer une réponse unique à la problématique du bois énergie. Il serait également important d'incorporer cette donnée dans une politique énergétique. Cette recommandation sera expliquée plus bas.

Il conviendrait également d'explorer l'utilisation d'autres matières résiduelles industrielles ou agricoles, telles que les cabosses de cacao, les cotons de maïs, les noix de coco, la paille de riz, les résidus de cafés, d'arachides et de jatropha. Cependant, les agriculteurs devraient recevoir de la formation agricole. Il est important de comprendre que la perte de biomasse entraîne une baisse de productivité des sols si elle est maintenue sur plusieurs années. À ce titre, l'option de la biométhanisation et du retour du digestat aux agriculteurs semble plus prometteuse.

La faisabilité technique des briquettes énergétiques n'est plus à démontrer : le projet de Carrefour Feuilles étant un bel exemple de réussite, cette option énergétique devrait être étendue, notamment avec le papier usé. Il s'agit d'un vecteur d'emplois important qui permettrait de réduire quelques problématiques de santé et d'assainissement. Ainsi, puisqu'un système de collecte et de tri des matières résiduelles est nécessaire afin de fournir le papier usé, ce système pourrait être utilisé dans une perspective de valorisation des matières résiduelles organiques par la biométhanisation.

6.2 Solaire thermique

De loin l'option la plus rentable économiquement (les coûts d'utilisation sont inexistants, l'investissement initial relativement faible) et la plus efficace écologiquement (aucune ressource naturelle affectée par l'utilisation), le solaire thermique peut toutefois être difficile à populariser. Les populations qui en bénéficieraient le plus ne sont pas nécessairement celles qui ont les moyens financiers d'acheter un réchaud solaire, si faible soit l'investissement initial. Par ailleurs, des croyances et des perceptions négatives à son égard doivent être changées avant de pouvoir réellement l'utiliser à grande échelle. Des initiatives intéressantes en Tanzanie, au Kenya et au Darfour misent sur des démonstrations publiques, des subventions et le bouche à oreille afin de populariser ce mode de cuisson. La plupart du temps, une démonstration publique est réalisée afin de démontrer les bienfaits et la facilité d'utilisation des réchauds solaires. Des participantes sont ensuite choisies. Un réchaud leur sera attribué gratuitement, en échange de quoi elles devront en faire la promotion dans leurs réseaux sociaux, tandis que pour d'autres participantes, le réchaud sera subventionné à hauteur de 75 % (Sunoven, s. d.). Des initiatives sont même mises sur pied afin de faire de ces femmes des vendeuses qui retirent un revenu des démonstrations publiques et de la vente de réchauds. Un modèle exponentiel de vente est ainsi possible, basé uniquement sur la participation des femmes à des démonstrations publiques.

Idéalement, la cuisson solaire devrait devenir un réflexe. C'est-à-dire que chaque fois que les conditions météorologiques le permettent, le réchaud solaire devrait être utilisé. Puisque l'énergie solaire thermique ne peut constituer une solution de remplacement unique et complète au bois énergie, cette forme de cuisson doit absolument être conjuguée à d'autres énergies. Comme les impacts économiques, écologiques et sociaux sont positifs, il serait

pertinent d'en tenir compte à l'intérieur d'une politique énergétique nationale. À ce titre, il s'avérerait peut-être nécessaire de tenter de quantifier les coûts sociaux et environnementaux de l'utilisation du bois énergie en Haïti comme énergie de cuisson (analyse sociale de cycle de vie et ACV-E). Des chiffres ont été avancés dans le cadre de cet essai. Ils sont toutefois incomplets et certainement insuffisamment documentés. Toutefois, afin de bien faire réaliser toute l'importance et le potentiel du solaire thermique pour la société haïtienne et afin de convaincre le gouvernement d'investir dans cette avenue en période économique et sociale difficile, une telle étude serait nécessaire. Les effets sur la santé (sur le plan respiratoire et des maladies diarrhéiques, notamment en ce qui a trait à la purification de l'eau à faible coût) ne sont pas à négliger et pourraient éventuellement avoir des effets non négligeables sur la démographie en modifiant le taux de mortalité infantile. À cet effet, des campagnes populaires de sensibilisation pourraient être organisées, en synergie avec l'assainissement des lieux publics (collecte des matières résiduelles et traitement des eaux usées). Il serait peut-être plus facile d'amorcer des changements dans les modes de cuisson avec une approche sanitaire plutôt qu'environnementale.

6.3 Biométhanisation – matières résiduelles domestiques/agricoles

La biométhanisation représente de loin l'option présentant le plus de potentiel et de possibilité de synergies avec d'autres systèmes. Compte tenu des bienfaits liés à la collecte des matières résiduelles organiques domestiques, au traitement des eaux usées, à la réintégration du digestat dans le cycle des nutriments, à la création d'emplois et à l'amélioration généralisée des conditions de vie (santé respiratoire et assainissement de l'environnement urbain), la biométhanisation devrait occuper la place principale à l'intérieure de toute stratégie énergétique nationale. Les initiatives de cuisines communautaires basées sur le traitement des eaux usées sont un succès et semblent pouvoir fonctionner de manière indépendante, à peu de frais. Il serait donc judicieux d'exploiter cette manière de faire et de l'étendre à l'ensemble des quartiers de Port-au-Prince et des autres villes d'importance du pays. Similairement, des points de collecte et de traitement des matières résiduelles organiques domestiques pourraient être disséminés à travers ces mêmes quartiers de manière à produire du biogaz.

Concernant les matières résiduelles organiques agricoles, il serait judicieux de former des coopératives agricoles qui mettraient en commun les ressources financières, les matières premières et qui permettraient de partager les risques et les bénéfices entre les membres. Les coopératives situées en périphéries des grandes villes et des marchés ruraux pourraient établir des partenariats avec les organisations responsables des digesteurs et des cuisines communautaires afin de fournir les matières premières et de collecter le digestat. Les coûts de transport pourraient ainsi être maintenus au minimum : la productivité des terres agricoles adjacentes aux villes serait grandement améliorée à faible coût, ce qui permettrait de réduire les coûts de transport des denrées alimentaires et favoriserait la sécurité alimentaire des villes.

En milieu rural, le même modèle d'association coopérative pourrait être envisagé à la différence que ces coopératives seraient propriétaires et exploitantes de leur propre digesteur. Elles en retireraient alors le bénéfice de l'utilisation du biométhane. Lorsque la densité le permet, il conviendrait de reproduire le modèle de cuisine communautaire afin de réduire l'utilisation d'installations de compression du méthane. Toutefois, dans les situations où la densité de population serait si faible qu'il ne serait plus envisageable de recréer ces structures, des digesteurs individuels pourraient être subventionnés sur la même base du programme mis en place au Rwanda.

6.4 Biocarburant – Huiles végétales brutes/jatropha curcas

Comme il a été mentionné dans le cadre de cet essai, la culture du jatropha semble pour l'instant prometteuse même si d'importantes recherches restent tout de même à être réalisées, notamment en ce qui concerne la productivité et la toxicité de la plante. Toutefois, ces questions se posent plutôt pour un type d'exploitation industrielle. Ce n'est cependant pas le cas pour la majorité des agriculteurs haïtiens. Le jatropha serait alors beaucoup plus utile dans une vision intégrée des activités agricoles que dans une perspective strictement économique. Les bienfaits liés à la régénération des sols, ses propriétés antiérosives, le fait que son bois n'est pas optimal pour la combustion, que la plante puisse servir de barrière naturelle pour les animaux permettent de développer des stratégies de développement global basées sur un ensemble de facteurs plutôt que seulement sur l'extraction de l'huile pour en faire du combustible.

Ainsi, afin d'utiliser ses propriétés antiérosives à bon escient, il serait possible de planter le jatropha en bordure des champs en culture. Cette barrière naturelle pourrait être doublée voire triplée sur la partie la plus élevée de la parcelle en culture de manière à ralentir la vitesse de l'eau lors de fortes pluies. Sur des parcelles plus dégradées, le jatropha pourrait être cultivé quelques années (10 à 15) puis pourrait être remplacé par des cultures vivrières. Ainsi, il serait aisé de régénérer des sols tout en retirant un revenu supplémentaire. Des modèles coopératifs pourraient également être mis sur pied afin de permettre aux agriculteurs moins fortunés de vendre les graines de jatropha récoltées au propriétaire de la presse mécanique. Les matières résiduelles, soit le résidu post-extraction et l'enveloppe de la graine, devraient être réutilisées. L'enveloppe devrait idéalement être retournée au champ afin d'enrichir le sol. Quant au résidu de l'extraction, son contenu énergétique est plus important que celui de l'huile qu'il contenait. Il pourrait alors être utilisé comme combustible à brique ou biométhanisé afin d'en extraire le méthane. Le digestat produit devrait lui aussi être retourné au champ afin de maintenir la productivité des sols. Enfin, un programme de subventions, financé par Électricité d'Haïti, pourrait faciliter l'achat de presses et de réchauds adaptés. Une partie de l'huile de jatropha produite pourrait facilement être intégrée dans les centrales thermiques du pays, sans modification notable de leur fonctionnement. D'une part, cette solution assurerait une demande soutenue pour l'huile et, d'autre part, une diminution des importations de produits pétroliers, ce qui serait bénéfique d'un point de vue économique.

Ce qui ressort de l'analyse du jatropha, réalisée au chapitre 5, c'est que même avec une productivité moindre, la plante se révèle quand même bénéfique pour plusieurs raisons. Un système agro forestier basé sur le jatropha aurait le bénéfice de ralentir considérablement l'érosion causée par les eaux de pluie, contribuerait à régénérer les sols et offrirait un revenu non négligeable à la population tout en diminuant la demande en bois énergie pour la cuisson des aliments. D'un côté, le système contribue activement au reboisement et d'un autre côté, il contribue activement à diminuer les pressions sur la déforestation. Afin d'aller chercher ces avantages, il importe de dépasser le cadre de simple culture d'appoint. Ainsi, des programmes et des projets doivent être mis sur pied afin de reboiser massivement des parcelles délaissées, impropres à l'agriculture vivrière.

Le mode de culture devrait intégrer de la biodiversité à au moins deux niveaux. Il serait important de préserver la diversité des plants de jatropha dans le but d'assurer une certaine résilience face aux maladies et aux événements climatiques extrêmes. Ensuite, il serait également judicieux d'intégrer d'autres espèces de plantes en culture associées. Le cas de l'agave est intéressant puisqu'il pousse aussi sur des sols dégradés, qu'il produit de l'énergie, qu'il régénère des sols et qu'il nécessite peu d'entretien. De plus, la grande variété d'espèces d'agave fait que cette plante peut s'adapter facilement à des conditions différentes d'altitude, de température, d'humidité, d'ensoleillement, etc.

6.5 Biocarburants – Alcools/agave

Sans répéter sensiblement les mêmes arguments qu'à la section précédente, il est pertinent de mentionner qu'une stratégie similaire pourrait être adoptée dans le cas de l'éthanol. Afin d'assurer la demande et un revenu stable pour les producteurs, une part de la production pourrait être utilisée dans l'essence (5 à 10 % de la production totale). Ceci n'aurait pas d'impact direct sur la déforestation, mais, en contribuant à diminuer la dépendance aux produits pétroliers importés, l'éthanol produit localement favorise le développement économique de la société haïtienne. Le reste de la production servirait au marché domestique de cuisson des aliments.

Puisque la transformation des sucres en alcool est un procédé connu et relativement facile à mettre en œuvre, il serait possible d'établir des partenariats avec le milieu privé, responsable de la production d'alcool (rhum). L'utilisation du procédé de fermentation sur une base industrielle permettrait d'assurer une qualité et des économies d'échelles importantes. Toutefois, si l'éthanol devait se révéler être un choix de société pour remplacer le bois énergie, des investissements importants de la part du gouvernement, des donateurs internationaux et du secteur privé seraient nécessaires. Les installations de fermentation sont coûteuses et nécessitent un approvisionnement important et constant afin d'être rentables. Des études de faisabilité devraient toutefois être conduites avant de se lancer dans cette avenue. Le coût de l'éthanol doit pouvoir rester compétitif avec le bois énergie s'il veut un jour le remplacer.

Enfin, la manipulation de l'éthanol purifié peut s'avérer dangereuse, surtout en présence d'enfants, de grands vents ou avec des équipements de mauvaise qualité. Il conviendrait alors, si la filière éthanol était développée à grande échelle, de promouvoir l'utilisation de sa forme gélifiée, beaucoup plus facile et sécuritaire à manipuler.

De la même manière que pour la culture du jatropha curcas, la culture de l'agave devrait se faire pour plusieurs raisons et les études de faisabilité devraient incorporer les externalités bénéfiques (régénération des sols, filtration et rétention de l'eau, santé maternelle et des enfants, etc.) afin de porter un regard critique et pertinent sur la plante à l'intérieur d'un système global et non comme une simple ressource à exploiter. Par exemple, le jatropha et l'agave étant des plantes pérennes, il serait judicieux de les utiliser sur des pentes afin de réduire l'érosion et les risques de glissements de terrain.

6.6 Pyrolyse – Biocharbon

À l'instar de la biométhanisation des matières résiduelles, la production de biocharbon pour en retirer du carbone stabilisé et du combustible liquide représente un important vecteur de synergies pour la société haïtienne. En ce sens, ces deux filières devraient faire partie intégrante de toute stratégie énergétique nationale. Ce qui les distingue des autres filières énergétiques est dû au fait qu'elles permettent une réintégration effective d'une partie du carbone et des nutriments dans l'écosystème. Une manière efficace de produire le biocharbon, tout en voyant au problème de l'inefficacité des charbonnières, serait mettre sur pied un programme de crédit accompagné de mécanismes de développement propre. L'investissement pour adapter les charbonnières est trop important pour que les charbonniers puissent le réaliser eux-mêmes. Il leur serait par ailleurs difficile de justifier une hausse du combustible vendu pour rentabiliser cet investissement. De plus, la stabilisation du carbone en biocharbon pourrait probablement justifier une forme de financement du type crédits de carbone. Afin de mener à bien ce type d'initiative, il faut d'abord viser les communautés qui dépendent du couvert forestier pour leur assurer des rendements agricoles, des revenus et une certaine qualité de vie. Ces communautés doivent également consommer du charbon de bois plutôt que du bois de feu. Elles doivent donc se trouver en ville plutôt qu'en milieu rural, sans toutefois être complètement détachées de leur environnement naturel immédiat (périphérie urbaine, moindre densité). Dans ces

communautés, il serait alors possible de mettre sur pied un modèle coopératif de crédit qui financerait l'investissement requis pour les installations de biocharbon. Le charbonnier bénéficierait de revenus provenant de la vente du combustible et de la vente (transport et manutention) du biocharbon. Les agriculteurs membres de la coopérative bénéficieraient ainsi des avantages liés au biocharbon à faible coût.

6.7 Synthèse

Les recommandations proposées ici se veulent des pistes de réflexion et devraient toujours être réévaluées en fonction du contexte spécifique dans lequel elles s'appliqueraient. L'accent a été placé sur des modèles coopératifs de prise en charge des communautés pour plusieurs raisons. Tout d'abord, pour des raisons d'autonomisation et de responsabilisation (*empowerment*) des individus et des collectivités. La meilleure façon de favoriser le développement économique et social est de placer les collectivités au centre de ce développement. Ensuite, le principe de subsidiarité, selon lequel les décisions devraient être prises et les actions menées par le niveau d'organisation le plus apte à le faire, estime que les collectivités et communautés connaissent le mieux leur réalité, leurs besoins et leurs ressources. Enfin, la problématique du bois énergie est d'abord et avant tout un problème social et non environnemental, ce qui indique que les réponses les plus appropriées seront nécessairement d'ordre social.

Il ressort de cette analyse que la problématique est grave et qu'il convient d'intervenir dès que possible. Dans cette optique, l'accent devrait être placé sur des solutions permettant de réduire immédiatement et à faible coût la demande en bois énergie (*low hanging fruit*). À ce titre, le solaire thermique représente une filière avantageuse à court terme. Un vaste programme de subvention à l'achat et à la fabrication permettrait d'inonder le marché haïtien et de développer une expertise locale. Pour y arriver, des partenariats avec des ONG existantes seraient judicieux. À moyen et long terme, le solaire devra toutefois être remplacé par ou jumelé à une autre énergie de substitution et il apparaît à ce stade, que la biométhanisation des matières résiduelles agricoles et résiduelles possède un potentiel énergétique, économique et social qu'il serait judicieux d'exploiter. Pour les raisons mentionnées plus haut, la biométhanisation est une technique facilement reproductible, ayant déjà fait ses preuves un peu partout à travers le monde et en Haïti même.

Enfin, le principe de subsidiarité ne devrait pas justifier l'abandon par les différents ordres de gouvernement de leur responsabilité quant au développement, à la santé, la sécurité et à l'épanouissement des citoyens. À ce titre, une action concertée de chacun des paliers de gouvernement s'avère nécessaire, notamment par l'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie nationale de substitution du bois énergie comme combustible de cuisson. De nombreux documents, projets, études, thèses ayant été produits à ce sujet, il est alors possible d'élaborer des politiques et de trouver des moyens d'évaluer leur efficacité.

CONCLUSION

La problématique de la déforestation, si elle peut être liée actuellement à l'utilisation du bois énergie comme combustible de cuisson des aliments par les ménages, ne peut se résumer à quelques données statistiques sur l'utilisation, sur les impacts environnementaux et sociaux et sur des données économiques. La complexité des enjeux qui y sont liés justifie des solutions multifactorielles, basées sur l'intégration des réalités économiques, environnementales et sociales. Cet essai se voulait une tentative d'intégrer des facteurs divergents des analyses traditionnelles effectuées sur le sujet. En s'attardant uniquement à des filières renouvelables et locales, l'auteur a voulu apporter un point de vue qui intègre différentes problématiques laissées de côté lorsque les produits pétroliers sont présentés comme un substitut de choix pour le bois énergie. À court terme, le choix des énergies durables peut s'avérer plus difficile à mettre en place, mais l'avantage d'une énergie durable réside dans sa durabilité. En favorisant un développement équilibré aujourd'hui, ces énergies assurent un futur de qualité, basé sur la résilience des communautés locales et des écosystèmes.

S'il est parfois tentant d'espérer la solution miracle, la complexité de la problématique étudiée ici rend ces attentes futiles et dangereuses. Futile parce qu'à la lumière de cette analyse, il apparaît que l'une des raisons principales qui justifie l'utilisation massive du bois comme source d'énergie réside dans une distorsion économique majeure. Si l'utilisation du bois énergie est si répandue, c'est simplement parce que les impacts négatifs que son utilisation cause sont externalisés. Les analyses réalisées notamment sur la biométhanisation et le biocharbon montrent qu'en intégrant les impacts positifs, ceux-ci deviennent concurrentiels et profitables malgré des investissements initiaux plus importants. L'attente de la solution miracle est également dangereuse, car elle concentre trop d'efforts et de ressources sur une solution qui tarde à se développer. Entretemps, des gens vivent les difficultés et les effets négatifs de la déforestation.

Afin de pallier cet effet miracle, une approche énergétique intégrée a été proposée. Cette approche présente l'avantage de considérer la problématique dans son contexte et d'évaluer la faisabilité et l'applicabilité des solutions à l'intérieur de ce même contexte. Par contre, cette approche se révèle plus difficile à mettre en place, puisqu'elle ne peut être généralisée,

elle doit être adaptée à chaque contexte. Ainsi, si les solutions proposées dans le cadre de cet essai peuvent s'appliquer pour Haïti, elles devront toutefois être adaptées au contexte local d'application suivant les particularités spécifiques à chaque situation. De même, afin de pouvoir étendre ces propositions à d'autres États vivant des situations similaires, les particularités locales devront être intégrées. Cela constitue certes un obstacle à l'application des propositions, mais également un gage de qualité.

Le choix du développement durable comme cadre d'analyse se révèle d'ailleurs pertinent. La présence de nombreux effets croisés (synergies) entre les filières énergétiques et les sphères sociales haïtiennes justifient tout à fait de sortir du simple cadre économique traditionnel ou encore des filières énergétiques fossiles. Bien que la problématique de la déforestation soit souvent abordée sous l'angle environnemental, il s'agit d'une problématique humaine. Ceci complexifie grandement les enjeux, mais fait également appel à l'imagination humaine. En ce sens, le développement durable répond parfaitement aux impératifs d'une analyse plus complète.

Par conséquent, l'objectif de cet essai, qui constituait à évaluer l'applicabilité de sources d'énergie alternatives au charbon de bois et au bois de feu par les ménages haïtiens sous l'angle du développement durable, a été atteint. L'analyse couvre un large éventail de possibilité et intègre bon nombre d'externalités dans ses critères. Toutefois, compte tenu des contraintes d'espace et de temps, des choix ont dû être faits concernant les filières à étudier et la profondeur avec laquelle l'analyse a été produite. Cet essai se veut un petit pas vers une approche divergente de la problématique de la déforestation en Haïti et une modeste contribution à la résolution d'un drame d'abord et avant tout humain.

RÉFÉRENCES

- Agence canadienne de développement international (2011). *L'ACDI à Bel Air : l'amélioration de l'environnement dans un milieu urbain*, [En ligne]. <http://www.acdi-cida.gc.ca/acdi-cida/ACDI-CIDA.nsf/fra/NAD-113145833-RF6> (Page consultée le 4 avril 2011).
- Alliance Haïti (s. d.). *La canne à sucre. Société haïtienne*. [En ligne]. <http://www.alliance-haiti.com/societe/technique/canne-sucre.htm> (Page consultée le 3 avril 2011).
- Anonyme (2009). Cardboard box cooker wins prize. *Appropriate Technology*, vol. 36, n° 2.
- Brittaine, R., and Litaladio, N. (2010). Jatropha : A Smallholder Bionergy Crop – The Potential for Pro-Poor Development. In FAO. *FAO Corporate Document Repository*. [En ligne]. <http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e.pdf> (Page consultée le 3 mars 2011).
- Brundtland, G. H. (1987). *Notre avenir à tous*. [En ligne]. http://fr.wikisource.org/wiki/Notre_avenir_%C3%A0_tous_-_Rapport_Brundtland (Page consultée le 17 décembre 2010).
- Bureau des Mines et de l'Énergie (BME) (2003). A propos de la consommation énergétique des ménages et des petites entreprises en Haïti : Le saviez-vous?. *Synergies*, août 2003. [En ligne]. <http://www.bme.gouv.ht/synergie/numero%2014/apropos.html> (Page consultée le 16 février 2011).
- BME (2001). Le charbon de bois : mythes et réalités, par Jean André Victor Consultant PNUD. *Synergies*, décembre 2000. [En ligne]. <http://www.bme.gouv.ht/synergie/numero8/charbonjav.htm> (Page consultée le 17 février 2011).
- BME (1999). *Site internet du Bureau des Mines et de l'Énergie*. [En ligne]. <http://www.bme.gouv.ht/> (Page consultée le 3 mai 2011).
- Business Wire (2009). *Sirona Fuels Lauches Jatropha Community Farming in Haiti*. [En ligne], http://www.businesswire.com/portal/site/google/?ndmViewId=news_view&newsId=20090427006106&newsLang=en (Page consultée le 4 mars 2011).
- Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement (2010). *Méthanisation de déchets à Port-au-Prince (Haïti)*. [En ligne]. <http://www.cefrepede.org/nos-projets/port-au-prince-haiti.html> (Page consultée le 23 février 2011).

- Centre Wallon de Biologie Industrielle (1999). *La gestion des déchets ménagers en Haïti*. [En ligne].
<http://www2.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Haiti/haiti.htm#La%20gestion%20des%20d%C3%A9chets%20m%C3%A9nagers%20au%20Mali> (Page consultée le 28 février 2011).
- Chen, Y., Shinogi, Y. and Taira, M. (2010). Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 48, n° 6-7, p. 526-530.
- Central Intelligence Agency (2011). *Haïti*. [En ligne].
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ha.html> (Page consultée le 3 mai 2011).
- Commission Économique pour l'Amérique Latine et les Caraïbes (CEPALC) (2005). Analyse de la substitution entre combustibles dans le secteur résidentiel en Haïti. In CEPALC. *Site de la Commission Économique pour l'Amérique Latine et les Caraïbes*. [En ligne]. <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/22702/R880.pdf> (Page consultée le 17 janvier 2011).
- Conseil national de recherches Canada (2008) *Faits saillants – Secrets d'un nouveau béton*. [En ligne]. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/actualites/cnrc/2008/07/12/secrets-nouveau-beton.html> (Page consultée le 18 février 2011).
- Cuba Solar (2000). *Sociedad cubana para la promocion de las fuentes renovables de energia y el respeto ambiental*. [En ligne].
<http://www.cubasolar.cu/instituciones/cubasolar.html> (Page consultée le 6 mars 2011).
- Dennery, P.R. (2007). Solar cookers spreading in Kenya. *Appropriate Technology*, vol. 34, n° 4, p. 7.
- Direction de l'Énergie (2005). *La consommation. Système d'information énergétique du Sénégal*. [En ligne]. <http://www.sie-energie.gouv.sn/spip.php?article9> (Page consultée le 15 février 2011).
- Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (2010). *Programme Biogaz Haïti Stratégie 2010-2012*. [En ligne].
http://www.dinepa.gouv.ht/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&task=download&id=337%3Astrategie-biogaz&Itemid=91 (Page consultée le 13 février 2011).
- Downie, A.E., VanZwieten, L., Smernik, R.J., Moriss, S. and Munroe, P.R. (2011). Terra Preta Australis: Reassessing the carbon storage capacity of temperate soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n° 140, p. 137-147.

- Drexhage, J. and Murphy, D. (2010). Sustainable Development: From Brundtland to Rio 2012. In International Institute for Sustainable Development. *Trade Mark Southern Africa*. [En ligne].
http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP1-6_Background%20on%20Sustainable%20Devt.pdf (Page consultée le 4 février 2011).
- Encyclopédie scientifique en ligne (2011). *Biocarburant*. [En ligne]. <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1057> (Page consultée le 1 mars 2011).
- Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) (2007). Stratégie pour l'Allègement de la Pression sur les Ressources Ligneuses Nationales par la Demande en Combustibles. In ESMAP. [En ligne].
http://www.bme.gouv.ht/energie/ESMAP_Strategie_Haiti_07.pdf (Page consultée le 2 février 2011).
- FAO (2010). *Jatropha – a bioenergy crop for the poor*. [En ligne],
<http://www.fao.org/news/story/pt/item/44142/icode/en/> (Page consultée le 4 mars 2011).
- FAO (2005a). *Évaluations des ressources forestières mondiales – Haïti*. [En ligne].
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai859F/ai859F00.pdf> (Page consultée le 8 février 2011).
- FAO (2005b). *Les forêts – réservoir vital de carbone*. [En ligne].
<http://www.fao.org/forestry/32250/fr/> (Page consultée le 18 février 2011).
- FAO (2003). *Les forêts et le secteur forestier – Sénégal*. [En ligne].
<http://www.fao.org/forestry/country/57478/fr/sen/> (Page consultée le 14 février 2011).
- FAO (2002). *Les forêts et le secteur forestier - République Dominicaine*. [En ligne].
<http://www.fao.org/forestry/country/57478/fr/dom/> (Page consultée le 14 février 2011).
- FAO (1985). *Industrial charcoal making*. [En ligne].
<http://www.fao.org/docrep/x5555e/x5555e03.htm#TopOfPage> (Page consultée le 15 février 2011).
- FAO (1983). *Simple technologies for charcoal making*. [En ligne].
<http://www.fao.org/docrep/x5328e/x5328e00.htm> (Page consultée le 3 février 2011).
- FAO (1983). *Techniques simples de carbonisation*. [En ligne].
<http://www.fao.org/docrep/x5328f/x5328f02.htm> (Page consultée le 16 février 2011).

- Friedman, L. M. (2010). *Tequila plant holds promise as arid biofuel source*. [En ligne]. <http://www.scidev.net/en/news/tequila-plant-holds-promise-as-arid-biofuel-source.html> (Page consultée le 4 mars 2011).
- GERA (2011). *Proyecto: Diseño y construcción de una cocina solar con almacenamiento de energía*. [En ligne]. <http://www.gera.uo.edu.cu/index.php/proyectos-realizados/desarrollo-de-una-cocina-solar-con-almacenamiento-de-energia> (Page consultée le 7 mars 2011).
- Graber, E., Harel, Y.M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D.R., Tsechansky, L., Dorenshtein, M. and Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant Soil*, n° 337, p. 481-496.
- Grand dictionnaire terminologique du Québec (2011). *Phytoremédiation*. [En ligne]. http://www.granddictionnaire.com/BTML/FRA/r_Motclef/index800_1.asp (Page consultée le 18 février 2011).
- Green Energy News, (2011). *Agave Tequila Plant Proves to be Most Sustainable Biofuel Source*. [En ligne]. <http://www.renewable-energy-news.info/agave-sustainable-biofuel-source/> (Page consultée le 4 mars 2011).
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In Fourth Assessment Report (2007). IPCC Fourth Assessment Report : Climate Change 2007*. [En ligne], <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf> (Page consultée le 3 avril 2011).
- Haiti-Référence (2010). *Profil de la ville de Port-au-Prince*. [En ligne]. <http://www.haiti-reference.com/geographie/villes/pap.html> (Page consultée le 3 février 2011).
- Hirota, M., Suttajit, M., Suguri, H., Endo, Y., Shudo, K., Wongchai, V., Hecker, E. and Fujiki, H. (1988). A new tumor promoter from the seed oil of *Jatropha curcas* L., an intramolecular diester of 12-deoxy-16-hydroxyphorbol. *Cancer Research*, vol. 48, n° 20, p. 5800-5804.
- Horiuchi, T., Fujiki, H., Suttakit, M., Sanuma, M., Yoshioka, A., Wongchai, V., Hecker, E. and Sugimura, T. (1987). Presence of tumor promoters in the seed oil of *Jatropha curcas* L. from Thailand. *Japanese Journal Of Cancer Research: Gann*, vol. 78, n° 3, p. 223-226.
- Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique (IHSI) (2003). *Présentation Générale des Résultats*. [En ligne]. http://www.ihsi.ht/rgph_resultat_ensemble_population.htm (Page consultée le 3 février 2011).

- Interpress Service (IPS) (2011). La carotte et le bâton pour préserver les forêts. *IPS*, 25 janvier 2011. [En ligne]. http://ipsinternational.org/fr/_note.asp?idnews=6341 (Page consultée le 15 février 2011).
- International Institute on Environment and Development (IIED) (2010). Bioenergy in India. *In IIED. The Energy and Resources Institute*. [En ligne]. <http://pubs.iied.org/pdfs/G02989.pdf> (Page consultée le 25 janvier 2011).
- International Institute on Environment and Development (IIED) (2007). Biofuels: Strategic Choices for Commodity Dependant Developing Countries. *In IIED*. [En ligne]. <http://pubs.iied.org/pdfs/G02587.pdf> (Page consultée le 25 janvier 2011).
- International Institute for Environment and Development (IIED) (2006). Presentation on Domestic Biogas Plant: Huge Potentials for Sustainable Clean Energy Source of Bangladesh. *In IIED*. [En ligne]. <http://pubs.iied.org/pdfs/G00031.pdf> (Page consultée le 25 janvier 2011).
- Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W. and Zimmerman, A.R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, n° 101 p. 8868-8872.
- Jaffe, M. A. and Soligo, R. (2001). *Potential for the U.S. Energy Sector in Cuba* [En ligne], <http://www.cubafoundation.org/CPF-EnergyStudy.htm> (Page consultée le 14 février 2011).
- Jha, P., Biswas, A.K., Lakaria, B.L. and Rao, A.S. (2010). Biochar in agriculture – prospects and related implications. *Current Science*, vol. 99, n° 9, p.1218-1227.
- Kamimoto, L. K., (2005). *Economic Feasability of Bagasse Charcoal in Haiti*. Boston, Massachusetts Institute of Technology, 16 p.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergstrom, I. and Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* n° 140, p. 309-313.
- Kimble, M., Padeloup, M.-V. and Spencer, C. (2008). Sustainable Bioenergy Development in UEMOA Member Countries. *In United Nations Foundation. Press Center*. [En ligne]. http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/gpgs_files/pdf/UNF_Bioenergy/UNF_Bioenergy_full_report.pdf (Page consultée le 6 mars 2011).
- Lahkar, P. J. and Samdarshi, S. K. (2010). A review of the thermal performance parameters of box type solar cookers and identification of their correlations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, p. 1615-1621.
- Lambert, R. (1996). *Géographie du cycle de l'eau*. Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, 441 p.

- Leitch, A., Korakianitis, T. And Robert, M. (2010). Agave – biofuel of the future? *In Planet Earth Online*. [En ligne]. <http://planetearth.nerc.ac.uk/features/story.aspx?id=829> (Page consultée le 5 mars 2011).
- Maraseni, T. K. (2010). Biochar : maximising the benefits. *International Journal of Environmental Studies*, vol. 67, n° 3 p. 319-327.
- Messemaker, L. (2008). The Green Myth? Assessment of the Jatropha value chain and its potential for pro-poor biofuel development in Northern Tanzania. *The Green Myth*. [En ligne]. <http://www.lodemessemaker.nl/jatropha/docs/Messemaker2008TheGreenMyth.pdf> (Page consultée le 3 mars 2011).
- Ministère de l'Environnement (MDE) (2009). *Position de l'État Haïtien dans le Cadre du Dialogue Politique sur Les Changements Climatiques*. [En ligne]. http://www.ht.undp.org/_assets/fichier/publication/pubdoc48.pdf?PHPSESSID=6f64208baea3978adcbab6959b4d5079 (Page consultée le 2 mars 2011).
- Ministère de l'Environnement (2001). *Première communication nationale sur les changements climatiques*. [En ligne]. <http://unfccc.int/resource/docs/natc/hainc1.pdf> (Page consultée le 17 février 2011).
- Ministères des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) (2006). Analyse de la problématique de la gestion des déchets. *In MTPTC*. [En ligne]. http://www.mtptc.gouv.ht/pdf/epa/gds_rapport_interiminaire.pdf (Page consultée le 28 février 2011).
- Mukuralinda, A., Gapusi, R.J. et Ndayambage, J.D. (2003). Impact de la consommation du bois énergie sur l'environnement au Rwanda. *In Institute of Scientific and Technological Research*. [En ligne]. www.irst.ac.rw/IMG/doc/Impact_de_la_consommation_energetique_sur_l.doc(Page consultée le 14 février 2011).
- Mulama, J. (2006) Kenya: Take cardboard and foil, add sun, and voila! Dinner. *Interpress Service*, [En ligne]. http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-6373541/KENYA-TAKE-CARDBOARD-AND-FOIL.html (Page consultée le 27 février 2011).
- Nahar, N. M. (2001). Design, development and testing of a double reflector hot box solar cooker with a transparent insulation material. *Renewable Energy*, vol. 23, p. 167-179.
- Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2008). Tabla 41-42. Gas licuado de petroleo. Consumo por sectores economicos. Periodo 1959 – 2008. *In Estadísticas Energéticas en la Revolución*. [En ligne]. <http://www.one.cu/publicaciones/50aniversario/estadisticas%20energeticas/Tablas%20capítulo%20III.pdf> (Page consultée le 3 mai 2011).

- Onesias, G. (2009). *Valorisation de la biomasse-énergie en Haïti : Analyse de la situation et perspectives d'amélioration*. Université catholique de Louvain, 60 p.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2006). Fuel for life – Household Energy and Health. In OMS. *Indoor air pollution*. [En ligne]. <http://www.who.int/entity/indoorair/publications/fuelforlife.pdf> (Page consultée le 2 février 2011).
- Organisation des Nations Unies (ONU). (2011). *Objectifs du millénaire pour le développement*. [En ligne]. <http://www.un.org/fr/millenniumgoals/> (Page consultée le 2 février 2011).
- Partners for Africa (2010). Stratégie Nationale de développement des énergies renouvelables pour la lutte contre la pauvreté. In Partners for Africa. [En ligne]. <http://www.partners4africa.org/docs/1-3-PfA-PolicyDialogueSenegal-0504-Wade.pdf> (Page consultée le 9 mars 2011).
- Population Data.net (2011). *Palmarès – Pays et territoires du monde*. [En ligne]. <http://www.populationdata.net/index2.php?option=palmares&rid=3&nom=pays-population-surface-densite> (Page consultée le 15 février 2011).
- Primus (2011). *Smart, practical, light – reliable portable stoves for every adventure*. [En ligne]. http://www.primus.eu/Templates/Pages/3_cols_white_middle.aspx?SectionId=5888 (Page consultée le 5 mars 2011).
- Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) (2009). Rapport mondial sur le développement humain 2009 – Lever les barrières : Mobilité et développement humains. In PNUD. *Rapport sur le développement humain*. [En ligne], http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2009_FR_Complete.pdf (Page consultée le 14 février 2011).
- PNUD (2008). Gestion des déchets solides – Carrefour Feuilles. In Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement. *Gestion des déchets solides à Carrefour-Feuilles*. [En ligne]. <http://compostagecefrepare.files.wordpress.com/2009/03/depliant-centre-de-triage-carrefour-feuille.pdf>
- PNUD (2008). *Gestion des déchets solides*. [En ligne]. http://www.ht.undp.org/_assets/fichier/publication/pubdoc41.pdf?PHPSESSID=4c030915cd77e9805b78d38ea8187575 (Page consultée le 4 février 2011).
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2010). GEO HAÏTI – État et Perspectives de l'Environnement. In PNUE. *Programme des Nations Unies pour l'environnement*. [En ligne]. [http://www.unep.org/pdf/GEO_Haiti2010\(web\).pdf](http://www.unep.org/pdf/GEO_Haiti2010(web).pdf) (Page consultée le 22 décembre 2010).

- PNUE (2007). Technologie et environnement. *In Tunza*, vol. 5, no. 3. [En ligne].
http://www.unep.org/pdf/tunza/tunza_5.3_french.pdf (Page consultée le 20 février 2011).
- Réseau international d'accès aux énergies durables (2010a). *Rwanda : le gouvernement se lance dans une importante campagne de production de biogaz*. [En ligne].
<http://www.riaed.net/spip.php?article2816> (Page consultée le 8 mars 2011).
- RIAED (2010b). *Sénégal : création du Comité national des biocarburants*. [En ligne].
<http://www.riaed.net/spip.php?article2687> (Page consultée le 8 mars 2011).
- RIAED (2009). Chili : crédits carbone pour deux sites de production de biogaz. [En ligne].
<http://www.riaed.net/spip.php?article2027> (Page consultée le 8 mars 2011).
- Resch, R., and Kaye, N. (2007). Giving life with the sun: the Darfur solar cookers project. *UN Chronicle*, vol. 44, n° 2, p. 65.
- Robbins, K., (2008) Developing Biofuels in Rural Haïti – The Jatropha Pepinye Today. *In GreenMicrofinance Group. Development Through Enterprise*. [En ligne],
<http://www.nextbillion.net/archive/files/jatropha%20pepinye%20today.pdf> (Page consultée le 2 mars 2011).
- Roger, P., Alazard, D., Gaime-Perraud, I., Garcia, J-L., Labat, M. et Roussos, S. (1999) Les recherches à l'IR sur la dépollution et la valorisation de déchets agricoles et agro-industriels. *In Institut de Recherche pour le Développement*. [En ligne],
http://pierre-armand-roger.fr/pdf/205_salonagric.pdf (Page consultée le 1 mars 2011).
- Schumacher, E.F. (1978). *Small is Beautiful, Une société à la mesure de l'homme*. Gap, France, Contretemps, 316 p.
- Smil, V. (2010). *Energy Myths and Realities – Bringing Science to the Energy Policy Debate*. Washington, D. C., The AEI Press, 213 p.
- Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S.C. and Long, S.P. (2011). Feedstocks for Lignocellulosic Biofuels. *Science*, vol. 329, p. 790-792.
- Sunoven (s. d.). *Country Programs – Haiti*. [En ligne].
<http://www.sunoven.com/international/haiti.php> (Page consultée le 10 mai 2011).
- Sterno (2011). *Questions about Sterno Brand Cooking Fuel?* [En ligne].
<http://www.sterno.com/retail/pages/faq.html> (Page consultée le 5 mars 2011).
- Stewart, B., Joseph, S., Shanahan, Y., Young, P, Loose, J. et Grant, I. (1987). *Improved Wood, Waste and Charcoal Burning Stoves*. London, IT Publications, 235 p.

- Toutchkov, H. (2011). *Fao : un équilibre entre déforestation et reboisement est possible*. [En ligne]. <http://www.tropeco.fr/p/Fao-un-equilibre-entre-deforestation-et-reboisement-est-possible> (Page consultée le 18 février 2011).
- Trangia (2011). *Trangia Stoves*. [En ligne]. http://www.trangia.se/english/2913.trangia_stoves.html (Page consultée le 5 mars 2011).
- Tucker, M. (1999). Can solar cooking save the forests? *Ecological Economics*, vol. 31, p.77-89.
- Twizeyimana, A. B. (2010). *A défaut de bois de chauffe, le biogaz*. [En ligne]. http://www.swissinfo.ch/fre/Dossiers/LArchipel_francophone_-_Montreux_2010/La_politique_en_jeu/A_defaut_de_bois_de_chauffe,_le_biogaz.html?cid=28375796 (Page consultée le 8 mars 2011).
- Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (2006). *Étude sur le développement de la filière « éthanol/gel fuel » comme énergie de cuisson dans l'espace « UEMOA »*. In [En ligne]. http://www.unido.org/fileadmin/user_media/UNIDO_Header_Site/Subsites/Green_Industry_Asia_Conference__Maanila_/GC13/UEMOA_Biofuel_Study.pdf (Page consultée le 6 avril 2011).
- United States Agency for International Development (USAID) (2004). *Estrategia de Eficiencia Energética par la Republica Dominicana*. [En ligne]. http://www.usaid.gov/dr/docs/resources/estrategia_eficiencia_energetica_rd2.pdf (Page consultée le 13 février 2011).
- Valdez-Vazquez, I., Acevedo-Benitez, J.A. and Hernandez-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bionergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14 p. 2147-2153.
- Volckaert, V. and Ross, S. (2009). Jatropha Suitability Evaluation Haïti. In Watershed Initiative for National Natural Environmental Resources. *Land suitability for jatropha*. [En ligne]. http://pcrmedia.com/winner/fr/WINNER_Jatropha_Suitability_Evaluation_Report_Haiti_14%20_Oct.pdf (Page consultée le 3 mars 2011).
- WINERGY (2006). Atlas éolien d'Haïti et termes de références pour une étude de faisabilité de 3 microcentrales éoliennes dans la région du Nord/Nord Est. In Bureau des mines et de l'énergie. [En ligne]. http://www.bme.gouv.ht/energie/eole/Atlas_Haiti.PDF (Page consultée le 13 février 2011).

World Wildlife Fund (WWF) (2004). Sugar and the environment – Encouraging Better Management Practices In sugar production. *In* World Wildlife Fund. *Publications and Resources*. [En ligne].
http://assets.panda.org/downloads/sugarandtheenvironment_fidq.pdf (Page consultée le 4 avril 2011).

ANNEXE 1 – TABLEAU RÉSUMÉ DES OPTIONS ÉNERGÉTIQUES

Tableau A1 : Résumé des options énergétiques selon les critères de développement durable

	Bois énergie	Briquettes de bagasse	Briquettes de papier	Solaire thermique	Biométh./MR domestique	Biométh./MR agricole	Jatropha Curcas	Agave	Biocharbon
Environnement	↘								
Ressource renouvelables	↘	↔	↔	↗	↗	↘	↗	↗	↗
Restauration des écosystèmes	↘	↔	↔	↔	↗	↔	↗	↗	↗
OGM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	↘	↘	NA
Production de GES	↔	↔	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Erosion des sols	↘	↗	↔	↔	↗	↗	↗	↗	↗
Eau	↘	↔	↘	↗	↗	↔	↗	↗	↗
Biodiversité	↘	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↗
Matières résiduelles	↗	↗	↗	↔	↗	↗	↗	↗	↗
Économie									
Emplois	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Retombées économiques balance commerciale	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Investissement	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘	↘
Société									
Autonomisation	↘	NSP	↗	↗	↘	↘	↗	↗	↗
Équité des genres	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Santé	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Consultation de la communauté	↔	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗

Légende : NA : ne s'applique pas. NSP : Ne sait pas. ↔ : sans effet. ↗ : effet positif. ↘ : effet négatif.