HAL open science

Evaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti

J. Lacour, R. Bayard, E. Emmanuel, R. Gourdon

▶ **To cite this version:**

J. Lacour, R. Bayard, E. Emmanuel, R. Gourdon. Evaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti. Environnement, Ingénierie & Développement, 2011, N°60 - Juin 2011, pp.31-41. 10.4267/dechets-sciences-techniques.2890 . hal-03172033

HAL Id: hal-03172033

https://hal.science/hal-03172033

Submitted on 17 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Evaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti

J. Lacour[1,2*], R. Bayard[1], E. Emmanuel[2], R. Gourdon[1]

1Université de Lyon, INSA Lyon, LGCIE (Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale), F-69621 Villeurbanne Cedex, France.
2Université Quisqueya, LAQUE (Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement), BP 796, Port-au-Prince, Haïti.

* Email : dejoaneson@yahoo.fr - Tél. : +509-3760-1920

Résumé

Les résidus agricoles et assimilés sont caractérisés par leur aptitude à la valorisation par traitements biologiques aérobies et anaérobies et par une décomposition relativement rapide notamment sous les climats des pays intertropicaux, contribuant, par conséquent, à l'émission d'odeurs désagréables, à la pollution de l'air, des eaux souterraines et de surface et à la prolifération d'insectes vecteurs de maladies. La digestion anaérobie est particulièrement intéressante dans le contexte des pays en conditions de précarité, à l'instar d'Haïti, non seulement par le fait qu'elle contribue au traitement des résidus organiques fermentescibles et à la prévention des impacts et nuisances cités plus haut, mais aussi parce qu'elle offre des produits à haute valeur énergétique (méthane) et fertilisante (digestat).
En Haïti, aucune étude systématique de quantification ni de caractérisation bio-physico-chimique des fractions organiques des déchets d'origine agricole n'a été recensée à ce jour. Le présent article apporte une première contribution à l'évaluation quantitative, en termes de masses et de potentiel énergétique à partir de la méthanisation, des gisements des résidus organiques fermentescibles des principaux produits de l'agriculture et de l'élevage haïtiens, dans une perspective d'optimisation des choix alternatifs de valorisation. L'étude révèle que les gisements totaux de résidus végétaux et animaux sont de l'ordre de 2,0 x 10^6 t de matière organique correspondant à une production potentielle par digestion anaérobie de l'ordre de 3,5 x 10^8 Nm^3 de biométhane. Des travaux complémentaires, corroborés par des enquêtes de terrain, devront affiner les estimations des gisements spécifiques par culture, par saison culturale et en considérant un maillage géographique plus fin.

Mots-clé : Haïti ; Déchet organique agricole; digestion anaérobie ; évaluation de gisement ; valorisation énergétique ; méthane.

Abstract
Agricultural and similar residues are characterized by their ability to be converted through aerobic and anaerobic biological treatments and to be rapidly decomposed, particularly in tropical climate countries. These residues contribute to the emission of odors, air pollution, groundwater and surface water pollution and proliferation of insect diseases. Anaerobic digestion is of great interest particularly in the context of the precarious conditions in countries like Haiti, not only because it contributes to fermentable organic waste treatment and prevention of the negative impacts mentioned above, but also because it offers products of high energy (methane) and fertilizer (digestate) value.
There has yet to be identified a systematic study quantifying and characterizing bio-physic and chemical fractions of organic wastes from agriculture in Haiti. This paper provides an initial contribution to the quantitative assessment of mass and energy potential from organic residues generated by agriculture. This study reveals that combined deposits of plant and animal residues are about 2.0 x 10^6 tons of organic matter, which corresponds to a potential production of 3.5 x 10^8 m^3 of methane through anaerobic digestion. Further works and field surveys can refine this assessment by considering smaller time intervals and a finer geographic network.

Keywords : Haïti ; Agricultural organic waste : anaerobic digestion anaérobie ; energy valorization ; valorisation énergétique ; methane.

Introduction

Les déchets organiques d'origines agricoles sont traditionnellement utilisés, en tout ou en partie, localement au niveau des exploitations agricoles ou dans les environnements limitrophes des zones rurales et périurbaines, à des fins de valorisation matière principalement. Depuis les années 1960, de nombreux travaux de recherche-développement ont été réalisés dans différentes régions à travers le monde dans le but d'optimiser les pratiques traditionnelles de valorisation de ces catégories de déchets, en une mouvance assimilable à une « révolution scientifique et technologique des résidus agricoles » (Owen et Jayasuriya, 1989). En effet, ce nouveau paradigme, au sens de Kuhn (1963), a débuté avec les publications de Lampila (1963) et de Wilson et Pigdon (1964) et le développement de technologies d'amélioration des propriétés digestives de la paille de céréales dans l'alimentation animale, au niveau de l'Europe et de l'Amérique du Nord, avant de s'étendre, à partir des années 1980, au niveau des pays tropicaux en développement, en particulier l'Inde, le Bangladesh et d'autres pays de l'Asie et de l'Afrique (Owen et Jayasuriya, 1989). Parallèlement, les actions initiées sur la digestion anaérobie des résidus agricoles et assimilés, dans la seconde moitié du XIXe siècle, notamment en Allemagne, puis en Chine et en Inde, se sont intensifiées à partir des années 1970, avec la crise énergétique au niveau mondial (ISAT-GTZ, 1998).

Les résidus agricoles et assimilés désignent les sous-produits ligno-cellulosiques de céréales, canne à sucre, racines et tubercules, semences et plantes oléagineuses, légumes et fruits, de même que les résidus de transformations agro-industrielles et les déjections animales. Ces déchets sont constitués principalement de molécules d'origine naturelle issues de la biomasse, pouvant intégrer facilement les cycles biogéochimiques, en tant que matière première secondaire (Moletta et Cansell, 2003). Ils sont caractérisés par leur aptitude à la valorisation par traitements biologiques aérobies et anaérobies et une décomposition relativement rapide notamment sous les climats des pays intertropicaux, contribuant, par conséquent, à l'émission d'odeurs désagréables, à la pollution atmosphérique, à la pollution des eaux souterraine et de surface, à la prolifération d'insectes vecteurs de maladies. La connaissance de ces gisements de déchets, en termes quantitatif et qualitatif, participe notamment d'une évaluation des potentiels de diversion ou réduction, de recyclage et valorisation, spécifiquement définis en fonction de leurs différentes composantes (Tchobanoglous et al., 1993).

La méthanisation est un processus de digestion anaérobie permettant d'atteindre généralement un double objectif de valorisation énergétique par récupération méthane (CH_4) et de stabilisation des résidus agricoles et autres catégories de déchets organiques fermentescibles, en vue d'une valorisation matière par sa restitution partielle au sol (Bayard et Gourdon, 2009). La digestion anaérobie est particulièrement intéressante dans le contexte des pays en conditions de précarité, à l'instar d'Haïti, non seulement par le fait qu'elle contribue au traitement des résidus organiques fermentescibles et à la gestion de la pollution environnementale, mais aussi parce qu'elle offre, à travers ses principaux produits (le biogaz comme source d'énergie et le digestat solide en tant qu'amendement organique pour les sols), des solutions et des options génératrices de revenu. En d'autres termes empruntés à *Walekhwa et al.* (2009), la technologie de méthanisation transforme un problème environnemental coûteux en une solution économiquement profitable. Ce mode de traitement est applicable à une large gamme de substrats organiques cellulosiques, dont la bouse de vache, la fiente de volailles, le lisier de porc, les excréments humains, les résidus végétaux, les fractions fermentescibles des ordures ménagères et des déchets des industries agro-alimentaires. Il représente une alternative intéressante en particulier pour les zones rurales par son potentiel de production à partir d'unités décentralisées ne nécessitant aucune infrastructure ni moyen financier d'envergure, mais fournissant de la matière fertilisante et phytosanitaire et principalement de l'énergie thermique et électrique sous l'une de ses formes les plus durables, au bénéfice des petites fermes et communautés agricoles (Schröder *et al.,* 2008).

En Haïti, aucune étude systématique de quantification ni de caractérisation bio-physico-chimique des fractions organiques des déchets d'origine agricole, n'a été recensée à ce jour. Tandis que les résidus agricoles contribuent de façon significative à la réalisation des activités économiques, notamment dans le milieu rural, à travers différents mécanismes de valorisation matière et énergie.

Ce travail apporte une première contribution à l'évaluation quantitative, en termes de masses et de potentiel énergétique à partir de la méthanisation, des gisements des résidus organiques fermentescibles des principaux produits de l'agriculture et de l'élevage haïtiens, dans une perspective d'optimisation des différentes voies de valorisation. L'approche méthodologique suppose une sous-estimation des gisements potentiellement disponibles, dans le sens où les catégories de résidus prises en compte ne prétendent pas à l'exhaustivité. En outre, au niveau des fourchettes estimatives, des choix pessimistes des ordres de grandeur par défaut ont été retenus. L'objectif du travail est donc de contribuer à une évaluation quantitative des gisements des principales fractions organiques fermentescibles de résidus générés par les activités agricoles *lato sensu* en Haïti et leur potentiel de valorisation énergétique par digestion anaérobie.

Cadre méthodologique

2.1. Aperçu du contexte général de l'agriculture haïtienne

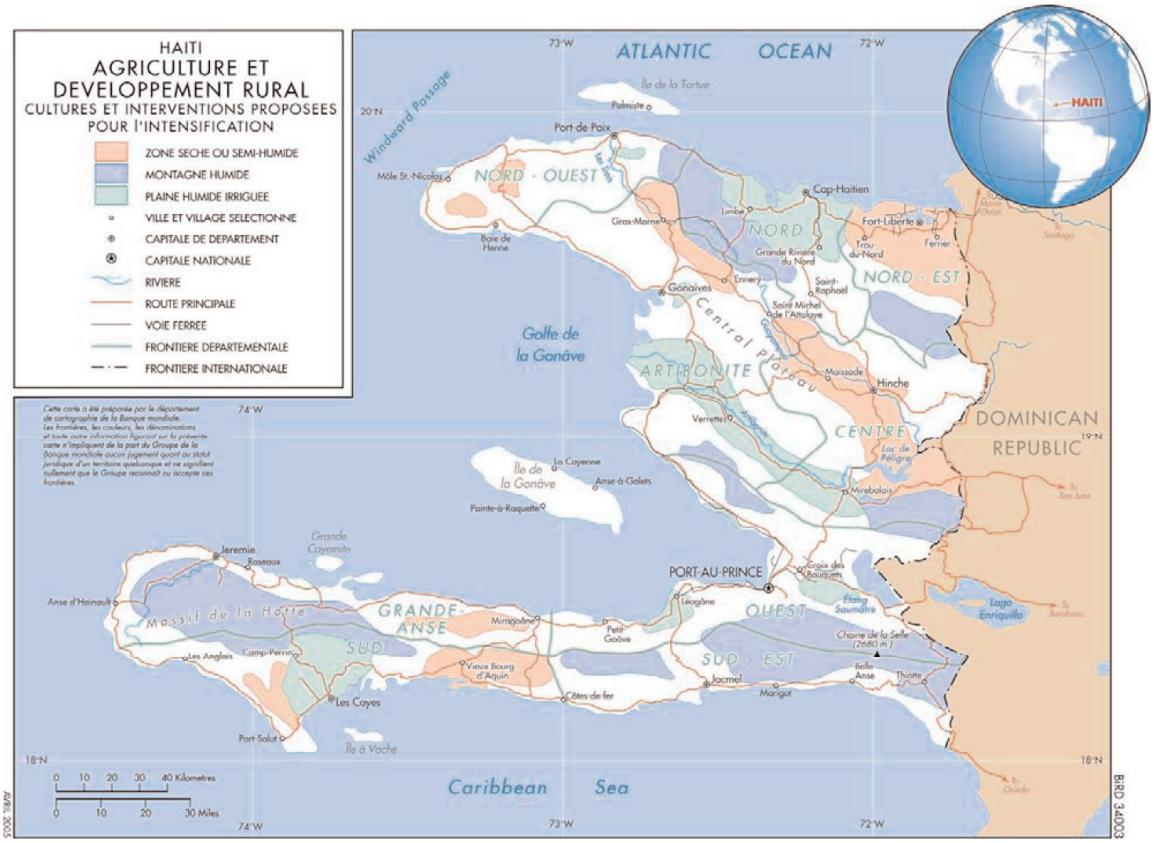
Une évaluation des quantités de résidus organiques générés par le secteur agricole en Haïti implique a minima une mise en perspective du milieu rural comme principal territoire d'accueil du secteur agricole en Haïti, de la situation spécifique de l'agriculture et des logiques selon lesquelles les fractions résiduelles produites sont valorisées ou éliminées.

En dépit de sa situation de déclin exacerbée au début des années 1980, l'agriculture haïtienne contribue à hauteur de 30% PIB national. Cette activité est pratiquée principalement sous climat tropical, chaud et humide, avec des variations plus ou moins marquées dans l'espace géographique. La température varie entre 10°C en hiver à dans les montagnes humides, à plus 1400 m d'altitude, et 35°C en été dans les plaines semi-arides. En fonction des régions, il existe généralement une alternance de 2 saisons pluvieuses (avril-mai et août-octobre) et de deux saisons sèches (juin-juillet et novembre-mars) ; sinon, une saison pluvieuse plus longue (avril-octobre) et une saison sèche (novembre-mars). L'humidité relative moyenne est de 60%.

Les paramètres du milieu physiques ont permis d'identifier 8 zones agro-écologiques en Haïti : côtes arides, plaines arides, montagnes arides, côtes humides, plaines humides, montagnes humides, plaines irriguées et montagnes très humides. Ces zones ont été regroupée en 3 grandes unités (montagnes humides, plaines humides ou irriguées, zones sèches ou semi-arides) illustrées sur la figure 1.

L'élevage des animaux est pratiqué, à plus de 80% de façon traditionnelle, par environ 800 000 petites exploitations agricoles, des fermes d'élevage de taille moyenne et des exploitations industrielles et semi-industrielles ne représentant qu'un très faible pourcentage du système existant (Bien-Aimé et al., 2004). Cette activité est généralement considérée comme une activité d'appoint réalisant une épargne au service de la mise en valeur des cultures et ne bénéficiant, par conséquent, d'un

Figure 1: Principales zones agro-écologiques d'Haïti (source: MARNDR et Banque Mondiale (2005))



investissement minimal orienté plutôt au profit des cultures. Dans ce schéma de production, il se crée toutefois une interdépendance assez vertueuse comme un commensalisme entre animaux et végétaux se partageant tour à tour les ressources et capitaux de l'exploitation. Les valeurs ajoutées issues de la production végétale permettent de grossir l'effectif du cheptel, en même temps qu'une part des résidus végétaux contribue à l'affouragement et l'alimentation des animaux. Réciproquement, les déjections de ces derniers apportent des éléments fertilisants aux végétaux et constituent eux-mêmes un fonds mobilisable, à tout moment, pour l'achat d'intrants pour les cultures et pour le développement général de l'exploitation.

2.2. Modes de traitements des résidus agricoles et d'élevage en Haïti

Traditionnellement, les résidus végétaux et les déchets d'animaux d'élevage sont valorisés comme moyen de gestion de la matière organique et de la fertilité des sols (GRET-FAMV, 1991). Cette valorisation s'inscrit dans une logique d'amélioration de la productivité des exploitations agricoles haïtiennes (Benoît, 1999). Parallèlement, une fraction importante des résidus végétaux post-récoltes et de transformation sont généralement utilisés comme provende pour l'alimentation animale où ils subissent une réduction et une conversion en déjections animales. Ces déchets animaux, de même qu'une autre fraction de résidus végétaux, ainsi que des fractions fermentescibles des ordures ménagères et assimilées interviennent souvent dans un processus assez complexe de transfert de fertilité entre 3 principales catégories de parcelles culturales fréquemment rencontrées au niveau des exploitations agricoles. Ce sont le « jaden lakou », le « jaden pre kay » et le « jaden lwen kay » décrits par Smolikowski (1993), définis en fonction de leur proximité par rapport à l'habitation de l'agriculteur. Le transfert des matières fertilisantes est généralement réalisé au profit des parcelles (ou « jaden ») les plus rapprochées, dans la mesure où celles-ci jouissent souvent d'une plus grande sécurité foncière. Il s'agit d'un mode de valorisation directe de la matière organique des déchets qui est alors épandue sur toute la superficie culturale ou concentrée au niveau de buttes, servant de supports aux cultures, où elle sera dégradée relativement lentement par les micro-organismes.

Par ailleurs, une part non négligeable de résidus agricoles ligno-cellulosiques et relativement secs (paille, canne, bagasse, mottes de bouse de vache), est également éliminée et/ou valorisée comme matières fertilisantes immédiatement disponibles pour les sols par brûlis. Alternativement, ces résidus sont utilisés comme source d'énergie thermique secondaire par les ménages et les unités de transformation agro-alimentaires. C'est le cas, par exemple, de la bagasse de canne à sucre, dont environ 20% des gisements annuels sont exploités comme combustibles (MTPTC-BME-EDH, 2006).

2.3. Aperçu de la question de l'énergie en Haïti

L'état de « pauvreté énergétique » des communautés marginalisées des pays en développement est caractérisé

par un déficit d'accès aux combustibles conventionnels, « propres », et par une dépendance relative aux sources d'énergie traditionnelles comme les déjections animales, les résidus de récoltes et le bois, impliquant des désavantages sur les plans environnemental, sanitaire et social (Sagar, 2005). En effet, la consommation énergétique per capita en milieu rural haïtien[1] (0,04 tep/habitant/an) est plus de 10 fois inférieure à celle au niveau des villes (0,51 tep/habitant/an), d'après MTPTC-BME-EDH (2006). Les ménages représentent environ 65 % de l'ensemble de la consommation énergétique finale, les industries comptent pour près de 19% et le secteur des services représente environ 4% de cette consommation. Le bois et les résidus agricoles contribuent à une couverture de plus de 75 % des besoins énergétiques annuels, avec un rendement efficace généralement inférieur 20% (MTPTC-BME-EDH, 2006). La surexploitation évidente de la biomasse ligneuse locale a conduit à un niveau avancé de déforestation, avec ses corolaires en termes de modifications dans le cycle hydrologique, de pertes de sols, de dégradation généralisée de l'espace et de vulnérabilité exacerbée vis-à-vis des catastrophes naturelles généralement induites.

2.4.Méthodes d'évaluation des gisements de résidus végétaux et assimilés

L'une des méthodes généralement utilisées dans l'évaluation des gisements de résidus végétaux consiste en un recensement des agriculteurs au niveau d'un espace donné. Une telle approche n'a pas été jugée applicable en Haïti, dans la mesure où les exploitations agricoles constituent un groupe hétéroclite, avec des différences de moyens de production très marquées. De plus, les conditions de précarité du secteur agricole rendent les productivités agronomiques trop dépendantes des aléas climatiques ; les proportions de productions primaires et résiduelles spécifiques variant énormément entre 2 saisons culturales sur une même parcelle.

La méthodologie initiée par Owen (1976) et Balch (1977) a été retenue dans le cadre de cette évaluation. Elle a été élaborée à partir de données statistiques de la FAO, relatives aux productions primaires des cultures, également appelées productions « nobles » ou économiques, considérées pour une année de référence. Les productions économiques des différentes cultures sont multipliés par leurs ratios résiduels respectifs (Owen et Jayasuriya, 1989). Cet exercice d'évaluation a retenu 12 des principales cultures végétales d'Haïti, en fonction de leurs niveaux de production primaire.

La démarche méthodologique à l'évaluation sommaire des gisements de résidus de récoltes a retenu les n cultures (i) les plus importantes, en termes de leurs productions primaires respectives (Vi) pour l'année de référence (y). Les productions spécifiques de résidus de récolte (Wviy) sont obtenues en multipliant les productions économiques des différentes cultures pour l'année de référence (Viy) par les ratios résiduels moyens respectifs (Ci) des différentes cultures. La somme des gisements spécifiques de résidus de végétaux représente une sous-estimation de la production totale des résidus de récolte (Wvty) pour l'année de référence. Elle est donnée par les relations 1 et 2 :

$$W_{vty}\ (\text{t/an}) \geq \sum W_{viy}\ (\text{t/an}) \qquad (1)$$

$$W_{viy}\ (\text{t/an}) = V_{iy}\ (\text{t/an}) \times C_i \qquad (2)$$

2.5. Méthodes d'évaluation des gisements de déchets animaux

Le mode d'élevage, la conduite animale et les potentialités du milieu physique conditionnent généralement la taille et la composition du cheptel, de même que la taille des individus du même âge et de la même espèce, et aussi, par conséquent, les quantités de déjections animales produites par une unité d'élevage, au cours d'une période donnée. Les élevages expansifs de caprins, équins et volailles, généralement conduits en liberté sur des espaces externes aux exploitations en Haïti, ne sont pas comptabilisés dans le cadre de cette évaluation. De plus, les effectifs souvent réduits ou dispersés des représentants respectifs de ces espèces au niveau des exploitations, rendent difficile et inefficace la récupération de leurs déjections. La méthodologie propose une évaluation des déjections animales, à partir d'une estimation des effectifs des cheptels pour l'année de référence, multipliées par leurs productions spécifiques de déjections. Dans le cadre de ce travail, cette approche prend seulement en compte les productions de déjections des bovins, des porcins, ainsi que des poulets élevés en concentration dans des poulaillers d'exploitation semi-industrielle.

Pour déterminer la quantité de déjection (Waiy) produite par une population animale donnée (ai), au cours de l'année de référence (y), la production moyenne journalière d'excrétas d'un individu (Waid) est multipliée par 365 jours et par l'effectif de la population (Aiy) recensée pour l'année d'étude (cas des bovins et porcins). La somme des gisements de déjections des n espèces retenues dans le cadre de l'évaluation, est une sous-estimation de la quantité totale de déjections (Waty) produite par l'ensemble des animaux d'élevage, au cours de l'année y. Ces expressions sont traduites par les relations 3 et 4 :

$$W_{aty}\ (\text{t/an}) \geq \sum W_{aiy}\ (\text{t/an}) \qquad (3)$$

$$W_{aiy}\ (\text{t/an}) = W_{aid}\ (\text{t/tête/jour}) \times 365\ (\text{jour}) \times A_{iy}\ (\text{nombre de têtes/an}) \qquad (4)$$

Dans le cas de l'élevage de poulets en Haïti, la production annuelle de fiente de poulets $W_{1000aiy}$ est multipliée par le nombre de milliers de poulets $N_{1000aiy}$ recensés au cours de l'année de référence (y). Le produit W_{aty} obtenu est ensuite affecté d'un coefficient (hy), correspondant à l'apport de l'élevage dit « moderne » (industriel et semi-industriel) dans la production totale de poulets en Haïti. La somme des gisements de fiente de poulets disponible (W_{athy}) est estimée à partir des relations 5 et 6 :

$$W_{athy}\ (\text{t/an}) = W_{aty}\ (\text{t/an}) \times h_y\ (\%) \qquad (5)$$

$$W_{aty}\ (\text{t/an}) = W_{10000aiy}\ (\text{t/1000 têtes/an}) \times N_{1000aiy}\ (\text{nombre de milliers de têtes/an}) \qquad (6)$$

Résultats de l'évaluation quantitative du potentiel biométhanogène des gisements de résidus d'origine agricole

Les résultats de l'évaluation des gisements prennent en compte 21 catégories de résidus des 12 principales cultures végétales retenues. Ce sont : la canne à sucre (Saccharum officinarum), les banane et plantain (Musa spp.), le manioc (Manihot spp.), l'igname (Dioscorea Spp.), la patate douce (Impomoea batatas), le maïs (Zea mays), le riz (Oryza sativa), le sorgho (Sorghum Vulgare), les haricot et pois sec (Phaseolus vulgaris), l'arachide (Arachis hypogaea), la pomme de terre (Solanum tuberosum, le chou (Brassica oleracea L. var capitata). Les gisements de déjections de bovins, porcins et porcins ont également été évalués. L'année 2008[2] a été retenue comme référence.
Les estimations des gisements sont présentées en tonnes de matière sèche (MS) et de matière organique estimée par la matière volatile (MV), à partir des données expérimentales rapportées dans la littérature. Les taux de MS et MV sont généralement obtenus par méthode gravimétrique, respectivement après séchage à 105°C pendant 24 heures, à partir de la mesure de la perte au feu à 550°C pendant 2 heures. De même, les potentiels biométhanogènes ultimes respectifs des différentes cultures ont été recueillies dans la littérature. Ces données sont généralement obtenues à partir d'essais batch réalisés en conditions standardisées (ISO-11734), avec des temps de rétention variables en fonction du taux de charge organique et de la nature des substrats. Les résultats des potentiels méthanogènes spécifiques sont présentés dans ce travail en Nm^3 de méthane par tonne de MV.

3.1. Potentiel des gisements de résidus végétaux

Le tableau 1 présente les 12 cultures majeures d'Haïti pour l'année 2008, par rapport aux masses de leurs produits économiques, leurs principaux départements géographiques et zones agro-écologiques respectifs de production. Les données relatives aux productions nobles de ces cultures ont été recueillies à partir des estimations des services statistiques de la FAO (FAOSTAT, 2008). Ces informations contribuent à une localisation sommaire des gisements de résidus végétaux. En effet, les résidus post-récoltes sont souvent disposés localement au niveau des parcelles culturales, tandis que les résidus des filières artisanales et agro-industrielles sont distribués à travers les circuits de transformation, de commercialisation et de consommation, généralement à l'échelle des départements de production.
De nombreuses estimations des ratios résiduels des différentes cultures végétales sont rapportées dans littérature, souvent avec des écarts importants pour une même culture. Les ratios retenus ont été pour la plupart tirés des études réalisées par la FAO, relatives aux pratiques et performances agronomiques de pays en développement. Des valeurs estimatives en pourcentage de MS, MV et en production spécifique ultime de méthane (Nm3/tonne de matière organique) ont été considérées pour les différentes catégories de résidus.
Dans de nombreux cas, des estimations relatives à des résidus assimilés ont été appliqués à certaines catégories des résidus à l'étude. Des ordres de grandeurs par défaut ont généralement été retenus. Ils servent d'indicateurs à l'évaluation des gisements de résidus, selon une hypothèse pessimiste. Ces estimations sont rapportées dans le tableau 2. Les références relatives données estimatives sont indiquées à l'aide d'un numéro mis en exposant et entre parenthèses.
Les gisements de résidus post-récolte et de transformation des produits végétaux pour l'année 2008, ont été estimés à près de $2,3 \times 10^6$ t de MS. Ces résultats ont mis en évidence un potentiel de valorisation énergétique par digestion anaérobie de plus de $3,2 \times 10^8$ m^3 de méthane, soit près de $2,8 \times 10^5$ tep ou environ $3,2 \times 10^6$ MWh d'électricité, convertibles, dans le cas spécifique d'Haïti, en plus de $6,8 \times 10^5$ t de bois de chauffe ou encore $4,0 \times 10^5$ t de charbon de bois, d'après les paramètres de conversion d'Angelier (2005). Ce qui correspond globalement à une couverture de plus de 130% des besoins, selon le niveau de consommation énergétique de la population rurale, ou près de 100% de la couverture des besoins ramenés au niveau de la consommation urbaine.

Cependant, la digestion anaérobie des résidus fermentescibles étant par définition un processus de production d'énergie en différé, ce potentiel doit être relativisé en prenant en compte le caractère saisonnier des gisements de résidus, les variations de température au cours des saisons et dans les différentes zones agro-écologiques et la nature intrinsèque des résidus qui vont influer sur les cinétiques de méthanisation de ceux-ci. En outre, il existe d'autres voies d'utilisation, partageant les gisements de résidus végétaux, dans la gestion de la fertilité des sols, dans l'alimentation animale et/ou dans la production de chaleur comme combustibles, et contribuant nécessairement à diminuer ce potentiel.
Le tableau 3 présente les gisements des différentes catégories de résidus végétaux, en termes de MS, de MV et de potentiel biométhanogène en Nm^3.

3.2. Potentiel des gisements de déjections animales

Les productions de bouse de bovins sont distribuées au niveau des petites et moyennes exploitations agricoles qui pratiquent l'élevage de façon traditionnelle, dans tous les départements du pays et durant toute l'année. Elles sont principalement concentrées au niveau de la Savane

Tableau 1 : Principaux produits agricoles et agro-industriels d'Haïti en 2008 (Viy), départements géographiques et zones agro-écologiques des superficies exploitées

Cultures	V_{iy} (t)	SAU (ha)	Département géographique	Zones agro -écologiques
Canne à sucre (*Saccharum officinarum)*	1 110 000	18 500	Centre, Ouest, Nord -Est	Montagnes semi -humides, plaines humides,
Banane et Plantain (*Musa spp.)*	495 000	76 000	Artibonite, Grande -Anse, Nippes, Nord, Nord -Est, Nord-Ouest, Ouest, Sud -est, Sud	Plaines irriguées et humides, Montagnes humides et semi -humides
Manioc (*Manihot spp.)*	435 000	99 000	Nord-Est, Sud -Est, Sud, Artibonite, Centre, Nord	Montagnes semi -humides et arides, Plaines sèches, Cotes arides
Ignames (*Dioscorea Spp.)*	235 000	43 000	Artibonite, Centre, Grande -Anse, Nord, Nord -Est, Sud -Est	Montagnes humides,
Patate douce (*Impomoea batatas)*	230 000	76 600	Centre, Grande -Anse, Nord, Nord-Est, Sud -Est	Plaines irriguées, humides et sèches
Maïs (*Zea mays)*	210 000	269 000	Centre, Sud, Artibonite, Grande -Anse, Nippes, Nord, Nord-Est, Nord -Ouest, Ouest, Sud -Est, Sud	Plaines irriguées, humides et sèches, Montagnes semi -humides et humides
Riz paddy (*Oryza sativa)*	110 000	53 000	Artibonite, Centre, Nippes, Nord, Nord -Est, Sud	Plaines irriguées et humides
Sorgho (*Sorghum Vulgare)*	100 000	115 000	Artibonite, Centres, Nippes, Nord, Nord -Ouest, Sud -Est, Sud	Cotes arides, Plaines irriguées et sèches, Montagne s semi -humides
Haricot et pois sec (*Phaseolus vulgaris)*	95 000	143 000	Artibonite, Centre, Grande -Anse, Nippes, Nord, Nord -Est, Nord -Ouest, Sud -Est, Sud	Plaine irriguées et humides, Montagnes humides et semi -humides
Arachide (*Arachis hypogaea)*	26 000	31 000	Centre, Grande -Anse, Nord -Ouest	Montagnes semi -humides, Plaines sèches
Pomme de terre (*Solanum tuberosum)*	15 000	1 150	Sud, Sud -Est, Ouest	Montagnes humides
Chou (*Brassica oleracea L. var capitata)*	13 000	2 100	Artibonite, Ouest, Sud -Est	Montagne s humides

Tableau 2 : Pourcentages de matière sèche (MS), matière volatile (MV), productions spécifiques méthane en m³/t de MV, et ratios de résidus (c_i) des principales cultures

Résidus	c_i	MS (%)	MV (% MS)	Production spécifique de CH_4 (Nm^3/t MV)
Bagasse de canne à sucre	0,4 (1)	54 (5)	94 (9)	200 (7)
Résidus de récolte de canne à sucre	1,7 (2)	20 (5)	65 (5)	123 (8)
Feuilles de manioc	0,1 (1)	30 (5)	40 (5)	123 (8)
Pelures de manioc	0,6 (1)	20 (6)	75 (6)	267 (10)
Tiges et feuilles de banane et plantain	2,2 (1)	5 (5)	60 (5)	123 (8)
Pelures de banane et plantain	0,3 (1)	20 (5)	89 (10)	322 (10)
Feuilles d'ignames	0,1 (1)	30 (5)	40 (5)	123 (8)
Pelures d'ignames	0,6 (1)	20 (6)	75 (6)	267 (10)
Feuilles de patate douce	0,1 (1)	30 (5)	40 (5)	123 (8)
Pelures de patate douce	0,6 (1)	20 (6)	75 (6)	267 (10)
Tiges de maïs	0,4 (2)	70 (6)	90 (6)	189 (8)
Rafles de maïs	5,0 (2)	85 (5)	80 (5)	189 (8)
Paille de riz	0,6 (2)	40 (5)	65 (5)	242 (10)
Balles de riz	5,0 (2)	50 (6)	90 (6)	189 (8)
Tiges de sorgho	0,5 (2)	55 (5)	65 (5)	134 (8)
Tiges et feuilles de haricot et pois	5,0 (3)	30 (5)	65 (5)	123 (8)
Paille d'arachide	0,5 (1)	70 (5)	40 (5)	242 (10)
Coque d'arachide	2,0 (2)	50 (6)	90 (6)	189 (8)
Feuilles de pomme de terre	0,1 (1)	30 (5)	40 (5)	123 (8)
Pelures de pomme de terre	0,6 (1)	20 (6)	90 (10)	267 (10)
Pertes de chou	0,5 (4)	20 (6)	91 (10)	309 (10)

(1) Devendra (1980) ; Khajarern et Khajarern (1985). (2) FAO (1983) ; Lequeux et al. (1990) ; Carré et Schenkel (1994). (3) Chanakya (2009). (4) IRAM (2001). (5) Parra et Escobar (1985). (6) Braun (2007). (7) Bras et Lacour (2009). (8) Ward et al. (2008). (9) Joseph et al.(2009). (10) Gunaseelan (2007).

Désolée dans l'Artibonite, la partie sèche de la plaine du Cul de sac dans l'Ouest, la plaine des Cayes dans le Sud, et les Plantations Dauphin et Madras dans le Nord-est. Les déjections de porcins sont générées notamment au niveau de 50 à 70% des exploitations qui élèvent 1 à 3 porcs conduits à la corde, d'après Bien-Aimé et al. (2004), au niveau du « jaden lakou » ou sur des parcelles « lwen » ou « pre kay » en jachère. Les fientes de poulets sont générées principalement au niveau des unités d'élevage type « moderne » recensées dans l'Ouest (80%), au niveau de plaine du Cul-de-sac, à proximité de Port-au-Prince, à Gressier et à Petit-Goâve ; dans le Sud ; et dans le Sud-Est (12,5%), d'après Chancy (2005). Le tableau 4 présente des estimations des effectifs des cheptels de bovins, porcins et poulets pour l'année 2008, d'après FAOSTAT (2008), avec leurs principaux départements de production.

Tableau 3 : Gisements spécifiques des résidus végétaux (Wviy) en masse brute (MB), MS (tonnes), MV (tonnes) et en potentiel biométhanogène (m³)

Résidus	W_{viy}			Production spécifique de CH_4 (m^3)
	MB (t)	MS (t)	MV (t)	
Bagasse de canne à sucre	444 000	239 760	225 374	45 074 880
Résidus de canne à sucre	1 850 000	370 000	240 500	29 581 500
Feuilles de manioc	43 500	13 050	5 220	642 060
Pelures de manioc	261 000	52 200	39 150	10 453 050
Pseudo-tronc et feuilles de banane	1 089 000	54 450	32 670	4 018 410
Pelures de banane et plantain	148 500	29 700	26 433	8 511 426
Feuilles d'ignames	23 500	7 050	2 820	346 860
Pelures d'ignames	141 000	28 200	21 150	5 647 050
Feuilles de patate douce	23 000	6 900	2 760	339 480
Pelures de patate douce	138 000	27 600	20 700	5 526 900
Tiges de maïs	84 000	58 800	52 920	10 001 880
Rafles de maïs	1 050 000	892 500	714 000	134 946 000
Paille de riz	66 000	26 400	17 160	4 152 720
Balles de riz	550 000	275 000	247 500	46 777 500
Tiges de sorgho	50 000	27 500	17 875	2 395 250
Tiges et feuilles de haricot et pois	475 000	142 500	92 625	11 392 875
Paille d'arachide	13 000	9 100	3 640	880 880
Coque d'arachide	52 000	26 000	23 400	4 422 600
Feuilles de pomme de terre	1 500	450	180	22 140
Pelures de pomme de terre	9 000	1 800	1 620	432 540
Pertes de chou	6 500	1 300	1 183	365 547
Total	**6 518 500**	**2 290 260**	**1 788 880**	**325 931 548**

Tableau 4 : Principaux départements de production, et effectifs des cheptels bovins, porcins et de poulets en 2008

Espèce animale	Cheptel (têtes)	Départements géographiques
Bovins	1 455 000	Tous les départements
Porcins	1 001 000	Artibonite, Ouest, Sud, Nord-est et autres départements
Poulets	2 800 000	Ouest, Sud, Sud-Est et autres

Tableau 5 : Gisements spécifiques journaliers de déjections (Waid) en t/jour/animal, teneurs en MS et MV en tonnes et productions spécifiques de CH4 en m3/tonnes de déjections de bovins, porcins et poulets

Déjections animales	W_{aid} (t/jour/animal)	MS (%)	MV (% MS)	Production spécifique de CH_4 (m^3/t MV)
Bouse de bovins	0,0045 (1)	15 (3)	55 (3)	75 (4)
Lisier de porcins	0,0020 (1)	15 (3)	35 (3)	275 (5)
Fientes de poulets	0,0110 (2)	30 (3)	60 (4)	175 (4)

(1) Werner et al. (1989). (2) Flora et Riahi-Nezhad (2006). (3) Parra et al. (1977) ; Parra et Escobar (1985). (4) Braun (2007). (5) Ward et al. (2008).

Tableau 6 : Potentiels des gisements spécifiques (Waiy) de déjection de bovins, porcins et poulets, en termes de MB, MS, MV (t/an) et m³ de CH_4/ tonne MV pour l'année 2008.

Déjections animales	W_{aiy}			Production spécifique de CH_4 (m^3)
	MB (t/an)	MS (t/an)	MV (t/an)	
Bouse de bo vins	2 389 838	358 476	197 162	14 787 120
Lisier de porcins	730 730	109 610	38 363	10 549 914
Fientes de poulets	11 200	3 360	2 016	352 800
Total	**3 131 768**	**471 445**	**237 541**	**25 689 834**

Des données expérimentales relatives aux productions spécifiques des déjections animales, aux teneurs en matière sèche et en matière organique, ainsi qu'aux potentiels méthanogènes spécifiques de ces résidus animaux, ont été collectées. Les valeurs par défaut de ces estimations ont été retenues. Elles ont permis une évaluation pessimiste des gisements totaux de déjections de bovins, porcins et poulets en Haïti. Ces données sont présentées dans le tableau 5, avec leurs références respectives désignées par des numéros mis en exposant et entre parenthèses.

Le tableau 6 présente une estimation des potentiels des gisements spécifiques de déjection de bovins, porcins et poulets, en matière brute, matière sèche, matière organique et m3 de méthane par tonne de matière organique pour l'année 2008. Les gisements totaux de déjections des animaux retenus, ont été estimés à plus de $4,7 \times 10^5$ t de MS, soit l'équivalent d'un potentiel biométhanogène ultime de plus de $2,5 \times 10^7$ Nm^3 de méthane ou environ de 21 850 tep, ou près de 54 000 t de bois de chauffe, ou environ $3,2 \times 10^4$ t de charbon de bois. Ces estimations correspondent à environ 10% de la couverture des besoins d'énergie, au niveau de la consommation dans le milieu rural, soit à peu près le même niveau par rapport à la contribution des gisements de résidus végétaux.

3.3. Voies d'utilisation des produits de la digestion anaérobie des déchets agricoles

Le biogaz peut être utilisé préférentiellement pour la cuisson au niveau des ménages haïtiens représentant près de 65% de la demande énergétique finale du pays et comme source énergétique d'appoint pour les petites exploitations de transformation de fruits (canne à sucre, manioc, banane, mangue, agrumes, etc.). Les cuisinières à biogaz offrent une efficacité énergétique de l'ordre 45%, contre près de 25% pour la production d'électricité à partir d'une génératrice ou environ 4% pour l'éclairage par les lampes à manchons, tandis que la cogénération, avec récupération de la chaleur des génératrices électriques sous forme d'eau chaude, peut atteindre jusqu'à 90% de rendement. Par ailleurs, le digestat solide fertilise et améliore les structures des sols agricoles, tout en réduisant les risques de pollution agro-chimique des eaux superficielles et souterraines (Schulz et Eder, 2001). Il est également transformé en compost après maturation ou utilisé comme substrat pour la production de lombri-compost et de champignon. Le liquide du digesteur joue un rôle de pesticide pour les cultures annuelles, est utilisé comme source de nutriments en aquaculture ou comme inoculum pour la digestion anaérobie (Chanakya et al., 2009).

Conclusion et perspectives

Les gisements totaux de résidus végétaux et animaux pour l'année 2008 ont été estimés à plus de $2,0 \times 10^6$ t de matière organique ou l'équivalent de plus de $3,5 \times 10^8$ Nm^3 de méthane, en termes de potentiel énergétique ultime convertible par digestion anaérobie. Ce potentiel correspond à une couverture de près de 145 % des besoins énergétiques des communautés rurales, selon leur niveau de consommation actuel, ou environ 110 % de la couverture des besoins ramenés au même niveau que la consommation urbaine.

Ces premiers résultats ont mis en perspective des opportunités d'accès à l'énergie au profit des communautés rurales d'Haïti, par la méthanisation comme voie de valorisation autrement plus durable des résidus agricoles disponibles localement en quantité importante. Toutefois, les estimations des potentiels méthanogènes ultimes n'ont pas pris en compte les cinétiques de décomposition des substrats, les procédés de digestion anaérobie, les paramètres du milieu physique et les considérations socio-économiques et politiques. En outre, ce travaille ne prétend pas à une exhaustivité ni à une extrême précision dans l'évaluation quantitative des gisements résiduels. Il comporte néanmoins une valeur d'indication par sous-estimation, à partir de choix pessimistes dans la détermination des paramètres estimatifs. Des études complémentaires corroborées par des enquêtes de terrain, devront affiner cette évaluation pour des intervalles de temps plus réduits et en considérant un maillage géographique plus fin. Par ailleurs, des exercices d'estimation du même ordre peuvent être réalisés sur les fractions fermentescibles des ordures ménagères générées dans les villes, aux fins d'approcher également une évaluation des potentiels de gisements de déchets organiques fermentescibles et des conditions de valorisation de ces ressources.

Notes

1 - La population rurale d'Haïti comptait environ 5 189 467 habitants en 2008, soit plus de 55% de la population totale, d'après les calculs effectués à partir des paramètres d'estimation de l'IHSI (2007)

2 L'année 2008 a été marquée par les émeutes de la faim qui ont occasionné la chute d'un gouvernement en Haïti et une succession de cyclones qui ont causés des pertes en vie et en biens, y compris dans le secteur agricole. Cependant, celle-ci a été retenue en raison de critères d'actualisation et de disponibilité de données.

Références bibliographiques

ANGELIER J.-P. Analyse de la substitution entre combustibles dans le secteur residentiel en haiti. Commission Economique pour l'Amérique Latine et les Caraïbes, ONU, Mexico, 2005, 38 p.

BALCH C. C. The potential of poor quality agricultural roughages for animal feeding In. New Feed Resources. Animal Production and Health. Rome, 1977.

BAYARD R., GOURDON R. Traitement biologique des déchets. Techniques de l'Ingénieur. 45.

BENOÎT F. Les expériences de compostage en Haïti : bilan et recommandations. In: CWBI/FDS/FAMV. Sensibilisation à la gestion des déchets ménagers dans les villes de la République de Haïti. Cahier technique. Port-au-Prince, 1999.

BIEN-AIMÉ A., BLAISE J., CHANCY M., DEJEAN J. M., DEJOIE C. A., GUÉ J. C., HILAIRE S., ISIDOR D. Premier rapport sur la situation des ressources zoogénétiques d'Haïti. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)/(MARNDR) Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural, 2004.

BRAS A., LACOUR J. Gestion des déchets solides à Port-au-Prince. Conjonction, 2009, vol., n° 221-222, pp. 79-96.
BRAUN R. Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development. In: RANALLI P. Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses, 2007, pp. 335–416.

CARRÉ J., SCHENKEL Y. Résidus secs d'origine agricole et des agro-industries. In: IEPF. Guide Biomasse-Energie. ACADEMIA. Québec, 1994, pp. 320.

CHANAKYA H. N. La gestion des déchets dans un pays émergent: l'Inde In: MOLETTA R. Les traitements des déchets 2009, pp. 660-677.

CHANAKYA H. N., RAMACHANDRA T. V., GURUPRASAD M., DEVI V. Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas. Environ Monit Assess, 2007, vol. 135, pp. 129-139.

CHANAKYA H. N., SHARMA I., RAMACHANDRA T. V. Micro-scale anaerobic digestion of point source components of organic fraction of municipal solid waste. Waste Management, 2009, vol. 29, n° 4, pp. 1306-1312.

CHANCY M. Identification de créneaux potentiels dans les filières rurales haïtiennes. Filière élevage : bovins, caprins, lapins, porcins, volailles, abeilles.: MARNDR-Direction Générale Adjointe à l'Organisation de la Production et des Marchés Agricoles/BID-Regional Operations Department- Environmental and Natural Resources Management Division, 2005, 142 p.

DEVENDRA C. Non-conventional feed resources in Asia and Far East. Bangkok: FAO-APHCA, FAO Far East Regional Office 1980, 99 p.

FAO. Production Yearbook. Rome, 1983.

FAOSTAT. FAO Statistical Yearbook 2007-2008. Rome.
FLORA J. R. V., RIAHI-NEZHAD C. Availability of poultry manure as a potential biofuel feedstock for energy production. . Columbia, USA: South Carolina Energy Office, 2006, 23 p.

GRET-FAMV. Manuel d'Agronomie Tropicale appliqué à l'agriculture. 46001. Cahors, Tardy Quercy (S.A.). 490.

GUNASEELAN V. N. Regression models of ultimate methane yields of fruits and vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition. Bioresource Technology, 2007, vol., n° 98, pp. 1270-1277.
HÉDUIT M. La filière biogaz dans les pays en développement. Québec: IEPF & ACCT, 1993, 82 p.

IHSI. Inventaires des Ressources et Potentialités d'Haïti (2005). Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique (IHSI)/Ministère de l'Economie et des Finances.

IRAM. Etude de Faisabilité du Projet d'Appui à l'Agriculture Périurbaine de Port-au-Prince. Port-au-Prince: Institut de recherches et d'applications des méthodes de développement (IRAM), 2001.

ISAT-GTZ. Biogas Digest_Biogas Basics. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) _ GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Vol. I: 46.

ISO-11734. International Standard Water quality Evaluation of the "ultimate" anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge Method by measurement of the biogas production. .

JOSEPH O., ROUEZ M., MÉTIVIER-PIGNON H., BAYARD R., EMMANUEL E., GOURDON R. Adsorption of heavy metals on to sugar cane bagasse: Improvement of adsorption capacities due to anaerobic degradation of the biosorbent. Environmental Technology, 2009, vol. 30, n° 13, pp. 1371-1379.

KHAJARERN S., KHAJARERN J. Potential for the better utilization of crop residues and agro-industrial by-products in animal feeding in Southeast Asia, with special reference to methodology, equipment, facilities and personnel invol-

ved as well as outline of research priorities of the region. In: FAO. Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding: research guidelines - State of knowledge. Rome, 1985, pp. 213.

KUHN T. The Structure of Scientific Revolution. 1963.
LAMPILA M. Experiments with alcali straw and urea. . Annales Agriculture Fenniae, 1963, vol. 2, pp. 105-108.

LEQUEUX P., CARRÉ J., HEBERT J., LACROSSE L., SCHENKEL Y. Energie et Biomasse: la densifcation. Presses Agronomiques de Gembloux, 1990, 188 p.

MARNDR, BM. Développement rural en Haïti : diagnostic et axes d'intervention. Port-au-Prince: Etude dirigée par le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural/Banque Mondiale-Unité du Développement Docial et Environnemental Durable-Région de l'Amérique Latine et des Caraïbes, 2005.

MOLETTA R., CANSELL F. Méthanisation de déchets organiques. Etude bibliographique. RECORD (REseau COopératif de Recherche sur les Déchets), 2003, 194 p.

MTPTC-BME-EDH. Haiti Energy Sector Development Plan 2007 - 2017. Port-au-Prince: Ministry for Public Works, Transportation and Communications (MTPTC)/Bureau of Mines and Energy (BME)/Electricity of Haiti (EDH), with the technical assistance of the International Atomic Energy Agency (IAEA), 2006, 54 p.

OWEN E. Farm wastes: straw and other fibrous materials. In: DUCKHAM A. N., JONES J. W. G., ROBERTS E. H. Food Production and Consumption. Amsterdam, 1976.

OWEN E., JAYASURIYA M. C. N. Use of crop residues as animal feeds in developing countries. Research and Development in Agriculture, 1989, vol. 6, n° 3, pp. 129-138.

PARRA R., ESCOBAR A. Use of fibrous agricultural residues (FAR) in ruminant feeding in Latin America. In: FAO. Better utilization of crop residues and by-products in animal feeding: research guidelines - State of knowledge. Rome, 1985, pp. 213.

PARRA R., ESCOBAR A., GONZALEZ E. El potencial de los recursos agricolas fibrosos. Jornadas Agronomicas, Maracay (Venezuela), 1977, vol. XI, pp. 12-15.

SAGAR A. D. Alleviating energy poverty for the world's poor. Energy Policy, 2005, vol., n° 33, pp. 1367-1372.

SCHRÖDER P., HERZIG R., BOJINOV B., RUTTENS A., NEHNEVAJOVA E., STAMATIADIS S., MEMON A., VASSILEV A., et al. Bioenergy to Save the World_Producing novel energy plants for growth on abandoned land. Env Sci Pollut Res, 2008, vol. 3, n° 15, pp. 196-204.

SCHULZ H., EDER B. Biogas-Praxis. Rev Staufen bei Freiburg, Ökobuch, 2001, vol. 2, pp.
SMOLIKOWSKI B. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haiti. Cahier ORSTOM Pédologie, 1993, vol. 28, pp. 229-253.
TCHOBANOGLOUS G., THEISEN H., VIGIL S. Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw Hill, 1993.

WALEKHWA P. N., MUGISHA J., DRAKE L. Biogas energy from family-sized digesters in Uganda: Critical factors and policy implications. Energy Polic y, 2009, vol., n° 37, pp. 2754-2762.

WARD A. J., HOBBS P. J., HOLLIMAN P. J., JONES D. L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology 2008, vol., n° 99, pp. 7928–7940.

WERNER U., STÖHR U., HEES N. Biogas plants in animal husbandry. Viewg. German Appropriate Technology Exchange (GATE)/Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1989, 134 p.

WILSON R. K., PIGDON W. J. Effects of a sodium hydroxide treatment on the utilisation of wheat straw and poplar wood by rumen microorganisms. Canadian Journal of Animal Science, 1964, vol. 44, pp. 117-132.

DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES,
REVUE FRANCOPHONE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE
SAP - 9, rue de l'Arbre Sec - 69281 LYON CEDEX 01
SAP/DPE - Service abonnement - 65, rue du Bourbonnais - CS80322 - 69337 Lyon cx 09
Tél. : 04 72 98 26 69 - Fax : 04 72 98 26 80
N° de commission paritaire : 0307 T 88295 - N° ISSN : 0753-3454
Principaux associés : DPE