



Les déchets végétaux-énergie, une des solutions au problème énergétique au Burundi

Ndikumana Edouard, Niyongabo Gérard & Sinzinkayo Elie

Ecole Normale Supérieure (ENS),

Boulevard Mwezi Gisabo, B.P. 6983 Bujumbura-Burundi

Auteur correspondant: Ndikumana Edouard, E-mail: ndikedo@yahoo.fr

Reçu: le 31 Octobre 2018

Accepté: le 11 Mars 2020

Publié: le 20 Mars 2020

RESUME

Mots-clés : Briquettes, pyrolyse, centres de cogénération, énergie électrique, chaleur

L'article examine la possibilité de transformer les déchets végétaux de toute sorte et d'utiliser ces déchets transformés dans la production de l'énergie. Les auteurs exposent et analysent, cas par cas, les méthodes de base de l'utilisation des déchets pour produire de l'énergie. Ils donnent certaines indications de résolution du problème de pénurie d'énergie basée sur la transformation des déchets et l'utilisation du gaz en résultant dans des centrales respectueuses de l'environnement qui utilisent du carburant diesel et de la biomasse. En fin, ils concluent par un constat que le recyclage des déchets des ménages (surtout les ménages urbains) et des entreprises industrielles permettra de résoudre non seulement le problème énergétique mais aussi les problèmes environnementaux, le bois et le charbon de bois occupant actuellement 100 pour cent dans la couverture de l'énergie domestique, 95 pour cent dans la balance énergétique nationale.

ABSTRACT

The article examines the possibility of transforming plant waste of any kind and using this transformed waste in the production of energy. The authors discuss and analyzes case by case the basic methods of using waste to produce energy. They give some indications of solving the problem related to energy shortage, based on the waste and the resulting use of gas in environmentally friendly plants that use diesel fuel and biomass. Finally, they conclude that the recycling of household waste (especially urban households) and industrial enterprises will solve not only the energy problem but also the environmental problems, wood and charcoal currently occupying 100percent in domestic energy coverage, 95 percent in the national energy balance.

Key words: briquettes, pyrolysis, cogeneration centers, electrical energy, heat

1. INTRODUCTION

Un des indicateurs du niveau de développement d'un pays est la production et la consommation annuelles d'énergie électrique; en d'autres mots le taux d'électrification. Malheureusement, pour le Burundi, ce taux est trop faible. Il est évalué légèrement supérieur à 2% (en 2012) par rapport à 16% en Afrique Sub-saharienne et 41% pour d'autres pays en voie de développement à faible revenu. La consommation d'électricité est de 25kwh/hab./an

quand la moyenne africaine est de plus de 500kWh (Assemblée nationale, 2011). L'écrasante majorité n'a pas accès aux sources énergétiques. L'offre en énergie est de loin inférieure à la demande de sorte que, pour satisfaire la demande d'au moins une partie de sa population, le Burundi se trouve dans l'obligation d'importer (tab. 2) une part non négligeable de l'énergie qu'il utilise (Assemblée nationale, 2011). Bref l'électricité burundaise est l'une des moins développées du monde (Манигомба et Чичирова, 2017). Pour résoudre ce problème

énergétique si aigu, en plus des projets de construction de nouveaux ouvrages hydroélectriques, le Gouvernement burundais propose d'autres voies de solution, notamment l'utilisation de la pyrolyse de la tourbe, des déchets de bois, de la biomasse agricole, des déchets ménagers et industriels (Manigomba et al, 2019). Une évaluation faite par des experts préconise que le volume annuel possible de déchets ménagers en 2016-2018 dans la ville de Bujumbura atteindrait environ 145 000 à 150 000 tonnes. Les réserves de tourbe explorées au Burundi représentent environ 60 millions de tonnes (Manigomba et al, 2019; Манигомба et Чичирова, 2017; Manirakiza, 2016).

A l'état actuel des choses, le Burundi a acquis une expérience considérable en matière de briquetage à travers des initiatives. Nous citerons à titre d'exemples, la carbonisation de briquettes à base de coques de café et de l'amidon de manioc comme liant, la carbonisation de la tourbe à travers les initiatives de l'ONATOUR (Office Nationale de la Tourbe) et une gamme d'expériences réalisées par les opérateurs privés qui emploient une large gamme de biomasses (Manirakiza, 2016 ; Ministère de l'Energie et des Mines, 2011).

Les technologies de pyrolyse et de gazéification sont anciennes, mais presque méconnues au Burundi. Elles ont été, par exemple, développées au 19^{ème} siècle pour la production de gaz de ville, ou encore pendant la seconde guerre mondiale pour produire du carburant. Ces procédés utilisent comme ressources le plus souvent directement du charbon (gazéification) ou du bois sur de petites unités (gazogènes de voiture) (Groupe de travail Pyrogaz, 2015).

Pour les ressources de type déchets, une première génération de procédés s'est développée à partir des années 1975/1980. Les déchets étaient traités en alternative à l'incinération, leur valorisation énergétique n'étant pas devenue encore une préoccupation majeure. Depuis plus d'une dizaine d'années, des procédés innovants de seconde génération pour les traitements des déchets qui produisent en premier lieu des composés énergétiques gazeux (syngaz), liquides (hydrocarbures) et solides (char ou coke) ont commencé à apparaître (Groupe de travail Pyrogaz, 2015).

Ainsi, le traitement des déchets dans le but d'obtenir de la pyrolyse et du biogaz permettrait de résoudre

partiellement les problèmes du combustible énergétique et environnemental du pays (Manigomba et al., 2019). Les déchets, dans ce cas, ne sont pas considérés comme des débris dont il faut se débarrasser mais plutôt comme une matière première ou comme une ressource à valoriser ; leur pyrolyse/gazéification permettant l'optimisation de leur efficacité énergétique.

L'objectif de ce travail est donc :

- la valorisation des déchets végétaux en source d'énergie par la production d'un gaz par pyrolyse (gaz de synthèse ou syngaz) avec pour but d'alimenter des moteurs thermiques (groupes électrogènes) et, par là,
- la résolution partielle des besoins en énergie électrique et la sauvegarde d'un environnement sain.

2. METHODOLOGIE

Pour mieux mener notre recherche, deux méthodes ont été utilisées;

- La recherche documentaire. Elle a porté sur des ouvrages et articles généraux et spécifiques abordant la problématique de la gestion des déchets organiques. Cette démarche nous a permis d'avoir un aperçu général sur la capacité énergétique du Burundi, et la quantité de déchets-matière première déversés par la population plus particulièrement celle urbaine;
- L'observation du terrain. Des visites effectuées sur terrain ont permis d'inventorier les types de déchets utilisés comme matières premières devant subir un certain traitement et d'évaluer le niveau actuel de leur traitement et de leur utilisation comme source d'énergie calorifique ou électrique. Cette façon de procéder nous a poussé à nous orienter vers un domaine de traitement basé sur un des procédés modernes de la technique de gestion des déchets qui vise à permettre leur valorisation et qui consiste en la production de combustible gazeux à partir de ces déchets pouvant alimenter les centrales thermiques existants moyennant une modification de certains éléments du moteur de ces centrales.

3. DEROULEMENT DE LA RECHERCHE

3.1. Evolution de la production de l'énergie électrique au Burundi.

Le secteur électrique burundais souffre de l'absence d'investissement significatif depuis vingt ans (comptés à partir de 1986) (Assemblée nationale 2011). La production nationale d'électricité est déficitaire par rapport aux besoins exprimés par la population burundaise dans son ensemble. Alors que l'on enregistre une progression linéaire de la demande liée à l'augmentation de la population, le Burundi se retrouve sans construction de nouvelles infrastructures fournissant l'électricité jusqu'en 2016 (Nsavyimana, 2017 ; Assemblée nationale, 2011); le manque d'investissements suffisants dans ce secteur explique ce phénomène.

Par exemple, durant la période 2014-2015, le réseau électrique national accusait un déficit de puissance de 22 MW (Ministère de l'énergie et des mines, 2011 ; Nsavyimana, 2017). Dans le cas général, ce déficit totalise 10 à 25MW voire plus selon les saisons (Manirakiza, 2016)

La production nationale d'électricité, d'une capacité totale de 45 MW en 2012, est essentiellement assurée par des centrales hydroélectriques, complétées par quelques centrales thermiques (Ministère de l'énergie et des mines, 2011). Les tableaux 1 et 2 montrent les ouvrages de la production nationale d'énergie électrique et les dates de mise en service pour le premier et la quantité d'énergie électrique importée pour le deuxième. Le tableau 3 donne la relation entre l'offre et la demande en énergie électrique.

Tableau 1: Capacité de production de l'énergie électrique au Burundi

Dénomination CHE	Année de mise en service	Province	Puissance installée (MW)
Rwegura	1986	Kayanza/Cibitoke	18,00
Mugere	1982	Bujumbura rural	8,00
Ruvyironza	1980/1984	Gitega	1,05
Marangara	1986	Ngozi	0,28
Nvemanga	1988	Bururi	2,80
Kavenzi	1984	Muyinga	0,80
Gikonge	1982	Muramvva	1,00
Buhiga	1984	Karuzi	
Centr. Therm.	1997	Bujumbura	5,50
Total			32,88

Source : REGIDESO, 2015

Tableau 2: Burundi-Energie électrique importée

Source	Année de mise en service	Importations (en MW)
RUSIZI I (SNEL)	1957	1,8
RUSIZI II (SINELAC)	1989	13,2
Total		15,0

Source : REGIDESO, 2015

Ces derniers temps des efforts visant l'augmentation de la production en énergie électrique ont été consentis. Nous citons pour exemple les centrales de Jiji-Mulembwe en construction, le barrage de Kaburantwa, etc. Néanmoins malgré tous ces efforts, l'offre reste toujours inférieure à la demande (tab. 3).

Tableau 3: Analyse globale de la demande en capacité et en énergie (Hors exploitation minière).

A	2016	2017	2018	2019	2020
DE (Gwh)	289	320	354	393	435
DC (Mw)	111	123	136	151	167

A : Année, DE : Demande énergie, DC : Demande capacité.

Source : Etude régionale du système interconnecté NELSAP

3.2. Une meilleure exploitation des déchets végétaux-énergie comme solution alternative

Les déchets végétaux tant ménagers qu'industriels ainsi que la tourbe, judicieusement exploités, peuvent être la réponse au problème de carence énergétique au Burundi. Malheureusement, la tourbe, dans son état naturel est difficile à utiliser du fait de son odeur désagréable pour la cuisson et des fumées nocives de combustion. Sa carbonisation seule ou mélangée à des déchets agricoles dans de petites unités décentralisées serait une des solutions qui, et selon nous, lui permettrait de gagner une part du marché domestique de la cuisson (Manirakiza, 2016 ; Ministère de l'énergie et des mines, 2011).

La production de l'énergie électrique et de la chaleur à partir des déchets peut se faire de deux manières différentes (Manirakiza, 2016 ; Mizero et al, 2015) :

- Les déchets à l'état naturel ou transformés (briquettes) sont directement utilisés pour le chauffage dans les ménages ou comme combustible d'une unité de production d'électricité ; par exemple comme combustible d'une chaudière pour les turbines à vapeur ou ;
- Les déchets transformés en briquettes combustibles subissent un deuxième traitement permettant d'en dégager un gaz combustible (gaz de synthèse ou syngaz).

Ces processus de transformation peuvent être représentés par le schéma combiné de la figure 1. Des déchets végétaux, par compactage, on obtient des briquettes utilisées comme combustible. La transformation de ces briquettes par pyrolyse donne un gaz de pyrolyse (gaz de synthèse ou syngaz) qui est lui aussi un combustible.

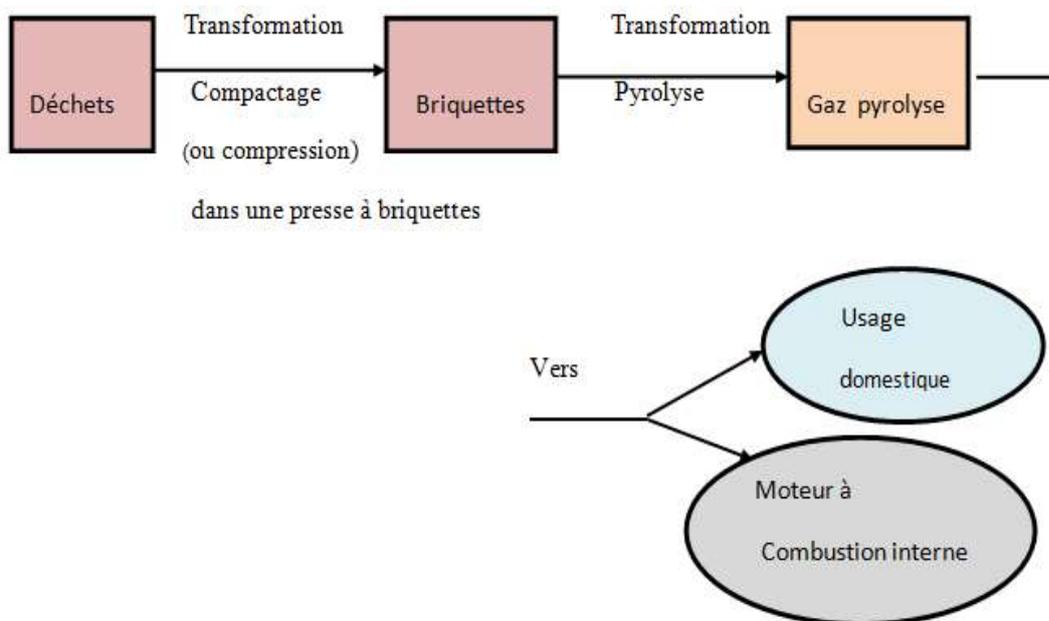


Fig. 1: Schéma du processus de transformation des déchets végétaux en source d'énergie

La transformation de ce gaz en énergie thermique uniquement ou en énergie thermique et énergie électrique peut se faire soit:

- Par combustion de ce gaz pour usage domestique ou dans un Moteur à Combustion Interne (MCI) ou dans d'autres installations à combustions externes génératrices d'énergie électrique;

- Par transformation de l'énergie qu'il contient en énergie cinétique puis mécanique dans une installation de turbine à gaz.

Le bois et le charbon de bois occupent presque plus de 94% des ménages dans la couverture de l'énergie domestique au Burundi (Assemblée Nationale, 2011 ; Ministère de l'énergie et des mines 2011; Nsavyimana, 2017). Comme notre souci est de chercher à résoudre partiellement problème de carence énergétique ci-haut exposé tout en

préservant l'environnement, la variante d'un gaz produit utilisé pour usage domestique ou comme combustible des Moteurs à Combustion Interne nous intéresse le plus.

Les schémas de gazéification utilisés dans la technique varient d'un producteur à l'autre. Ce sont les procédés tels qu'à lit fixe, à lit fluidisé statique ou entraîné, à contre-courant, à Co-courant et d'autres.

Le gaz ainsi obtenu contient de l'énergie chimique. Par combustion dans un moteur thermique, l'énergie chimique est transformée en énergie calorifique ou thermique puis en énergie mécanique entraînant ainsi un générateur de courant électrique branché sur ce moteur.

En qualité de combustible, nous envisageons d'utiliser les briquettes qui, d'une part, sont produites sur place et sont actuellement largement utilisées dans la production d'énergie à petite échelle au Burundi (Манигомба et Чичирова, 2017) et d'autre part parce que elles peuvent être obtenues à partir de déchets issus de la transformation de certains produits agricoles tels que le café, le riz, les noix de palmier à huile etc. Pour plus d'autonomie, nous trouvons qu'il est préférable de produire soi-même les briquettes au lieu de les acheter ailleurs.

3.3. Matière première pour briquettes et son niveau d'utilisation dans la production énergétique.

Les parches de café, les balles de riz, les déchets de coton, la bouse de vache, les vieux papiers, les ordures municipales, les déchets ou copeaux de bois, la tourbe, la sciure, les coques d'arachides, les coques de noisettes de palmes... sont certaines des matières premières utilisées pour fabriquer des briquettes combustibles (Manirakiza, 2016). Les sources d'approvisionnement en la matière sont nombreuses et variées. Par exemple, « Un habitant de la ville de Bujumbura produit en moyenne 0,6kg/jour soit 217 kg/an en mai 2011 (Mizero et al, 2015 ; Kapepula et al, 2016 ; Манигомба et Чичирова, 2017) et, selon les experts, entre 2016-2018, le volume annuel de déchets dans la même ville de Bujumbura aurait atteint environ 145 000 à 150 000 tonnes (Manigomba et al, 2019).

A ces déchets municipaux s'ajoutent les déchets en provenance des usines de traitement du café et des unités de décorticage du riz, les coques des noisettes fournis par les propriétaires des plantations de palmiers à huile et d'autres. Le tableau 4 montre la production des déchets solides municipaux dans quelques villes du monde comparativement à celle de Bujumbura.

Tableau 4 : Production des déchets solides dans quelques villes du monde et à Bujumbura (Mizero et al, 2015).

Ville	Kg/habitant/an
Yaoundé	256
Oran	350
Paris	523
Vienne	522
Québec	400
Bujumbura	217
Moyenne européenne	600
Moyenne tiers monde	150 à 200
Moyenne américaine	700

Il ressort de ce tableau que la production journalière de déchets par habitant correspond à la norme de pays en développement qui varie de 0,1 kg/j à 0,6 kg/j (Kapepula et al, 2016) soit un rejet annuel de 36,5 à 217 kg; la quantité d'ordures ménagères produite par une municipalité variant en fonction du niveau de vie de la population, du mode de vie des habitants et du climat et de la saison. Pour les ménages, elle varie selon la taille du ménage, le niveau de vie du ménage et de l'alimentation.

Le problème énergétique et par là le problème de déforestation au Burundi est tellement inquiétant qu'une part de la population se regroupe pour essayer d'en trouver partiellement une solution. Par ailleurs, suite à l'abondance des déchets surtout de balle de riz et de parche de café, la fabrication des briquettes de charbon a été proposée comme l'une des filières de valorisation des déchets (Manirakiza, 2016). C'est dans ce cadre qu'on a vu naître des unités de traitement des déchets qui produisent des briquettes pouvant remplacer valablement le bois ou le charbon de bois lors de la cuisson. De nos visites sur terrain, il ressort, à titre d'exemple, que:

- L'Association pour le Développement et la Lutte contre la Pauvreté (ADLP) est la première organisation privée à s'impliquer dans la gestion des déchets urbains. Les premiers morceaux de charbon ont été produits en août 2006.
- L'entreprise Burundi Quality Stoves (B.Q .S.) mixte d'abord différents déchets, ce qui lui permet de produire des briquettes avec une valeur calorifique très élevée (entre 3900 et 4000 kCal) par rapport au bois de chauffage (entre 3000 et 3800 kcal). Dans ce mélange, la part de la parche du café prime sur les autres matières et occupe un taux de 40%, taux dicté par son pouvoir calorifique plus élevé. Il faut environ 1 tonne de matières

premières pour avoir 900 kg de briquettes, la capacité de sa production allant jusqu'à 90 tonnes de biomasse renouvelable par jour avec trois machines de compilation.

- L'ETS Ndikumana Arnaud fait de même. L'analyse des échantillons des briquettes dans le laboratoire de Chimie agricole de l'ISABU effectuée sur demande de l'entreprise, suivant les procédés connus et standards (Chvetz et al, 1969), a permis de déterminer l'humidité, la teneur en cendres totales et la teneur en matières volatiles. Les résultats relatifs à ces analyses sont donnés dans le tableau 5.

Tableau 5: Résultats des analyses.

Echantillon	No Labo	Humidité, %, à 105°C	Cendres totales, % d'échantillon sec à 750°C	Matière volatile, % d'échantillon sec à 950°C
Briquette	D597	6,91	10,35	70,65

Nous avons envoyé, pour traitement par pyrolyse dans un laboratoire de l'Université de l'État de Kazan en Fédération de Russie, des échantillons de briquettes que nous avons produites dans cette entreprise (fig.2b). Les résultats du déroulement de l'expérience nous ont été envoyés par images vidéo à partir du laboratoire et ils ont prouvé un dégagement de gaz et ce gaz a brûlé lorsqu'on l'a enflammé. Nous pouvons donc nous permettre d'affirmer que ce gaz peut servir de combustible pour un moteur thermique et pour un usage domestique.

Un combustible solide est techniquement caractérisé par son indice de matière volatile et sa valeur énergétique ou pouvoir calorifique. On peut donc caractériser le combustible solide en mesurant le taux d'humidité, le taux de matières volatiles et les cendres. L'humidité a une influence notable sur le pouvoir calorifique utile. Plus un combustible est humide, moins il est inflammable. En outre, la teneur élevée en matières volatiles ou en cendre influe aussi négativement sur la qualité du combustible (Manirakiza, 2016). Le tableau 6 donne une comparaison des différents matériaux quant à leur teneur en énergie.

Tableau 6: Le potentiel théorique de déchets de récoltes du Burundi (Ministère de l'énergie et des mines, 2011)

Culture	Résidus	Pouvoirs calorifiques inférieurs (MJ/Kg)
Arachide	coque	17
Sucre (canne)	bagasse	19,37
Huile de palme	déchets	16
Coton	tiges	18,3
Mil	déchets	18
Maïs	déchets	18
Sorgho	déchets	18
Riz	déchets	12
Café	déchets	17,9
Manioc	tiges	19

Il découle de ce tableau que la teneur en cendre de la briquette produite par l'ETS Ndikumana Arnaud est de loin inférieure à celle de la tourbe qui varie de 25,81 à 4,5.% (Manirakiza 2016). Ainsi, nous concluons que c'est un combustible de meilleure qualité que la tourbe par sa teneur en énergie. Son pouvoir calorifique est donc supérieur à celui de la tourbe voire celui du bois de chauffage (de 12, 56 à 15,909 Mj/kg), mais inférieur à celui du charbon de bois de chauffage (27 Mj/kg (Ministère de l'énergie et des mines, 2011)). Il en est de même pour la teneur en énergie des éléments du tableau 5 à l'exception des déchets de riz.

4. RESULTATS

Les visites sur terrain nous ont permis d'adopter les étapes de la production des briquettes à partir des déchets végétaux et de proposer un schéma de transformation de ces briquettes en gaz combustible. Le but visé dans la recherche est de mettre à la disposition des consommateurs un combustible substitutif du gasoil pour assurer le fonctionnement des groupes électrogènes existants, en particulier ceux de la REGIDESO.

4.1. Description de la chaîne de production des briquettes à partir des déchets végétaux.

La technologie de production des briquettes est constituée de plusieurs opérations et elle est la même chez tous les producteurs, seule la technique de production diffère :

- L'opération première de préparation de la matière première pour la fabrication des briquettes est le déchiquetage ou le broyage des déchets combustibles. Elle se fait souvent à la main ou à

l'aide d'un outil aratoire : une machette ou une hache par exemple (dans le cas où les matériaux à préparer sont des branches, des rameaux et de la paille), un engin comme broyeur de paille n'étant utilisé que lors d'une production à grande échelle.

- La deuxième opération consiste à soumettre les produits résultant de la précédente opération à un séchage naturel dans des aires bien aérées et protégées de la pluie. Noter que le séchage dure longtemps.
- La troisième opération consiste à mélanger les déchets secs. La qualité du produit fini dépend des types de déchets mélangés et de la proportion de chaque élément dans le mélange. D'après les résultats de nos essais, une briquette avec une seule catégorie de déchets n'est pas consistante. Un ajout de liants secs ou parfois humides permet d'obtenir une consistance et une valeur calorifique optimales ou de conférer au matériau une certaine plasticité. L'huile de vidange, ajoutée aux déchets et dosée avec beaucoup de soin, permet elle aussi d'accroître la valeur calorifique des briquettes.
- La quatrième opération consiste à comprimer les déchets pour en tirer des briquettes. Une photo d'une unité de production des briquettes prise lors de nos visites de certaines entreprises est représentée sur la figure 2 et son schéma de principe sur la figure 3.
- La cinquième et dernière opération est le séchage dans des abris bien aérés. Cette opération est

combinée avec la précédente pour certaines unités de production. Là où l'opération de séchage est obligatoire, le temps nécessaire peut aller de quelques jours à plusieurs mois. Cela dépend du liant employé et des conditions de séchage. Le séchage accroît lui aussi, dans des proportions notables, le pouvoir calorifique des briquettes. L'élément principal de l'unité de production (fig. 2) est un propulseur spiral (une vis sans fin) 6 monté dans un boîtier 9 (corps de la presse à briquettes) et entraîné par un moteur électrique 1 par l'intermédiaire d'une transmission par courroie 8. Le moteur électrique est commandé à l'aide d'une boîte de commande 2. Le déplacement de l'unité de production d'un poste de travail à un autre est rendu possible par des roues mobiles 3.

- Lorsqu'on charge la trémie d'alimentation 7 d'un mélange de déchets bien secs, une vis sans fin 6 entraîne ce mélange progressivement à travers l'espace entre la vis et le boîtier (fig.3). A l'intérieur du boîtier, le mélange se comprime suite à un mouvement de rotation que lui imprime la vis autour de son axe. Grâce au mouvement de translation le long de l'axe de la vis, le mélange comprimé sort en passant dans une moule 4 qui lui donne une forme de la briquette voulue. Un anneau de chauffage (des résistances) 5 monté sur la moule sèche complètement la briquette de sorte qu'elle devient directement utilisable après production sans nécessiter un séchage préalable.

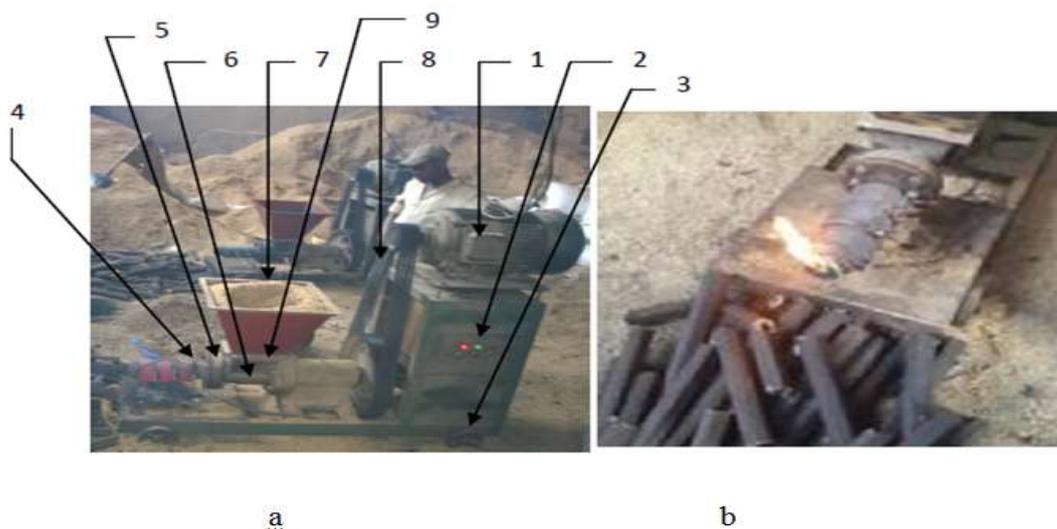


Fig.2: Unité de production des briquettes utilisée lors de notre étude (a) ; échantillons de briquettes fabriquées.

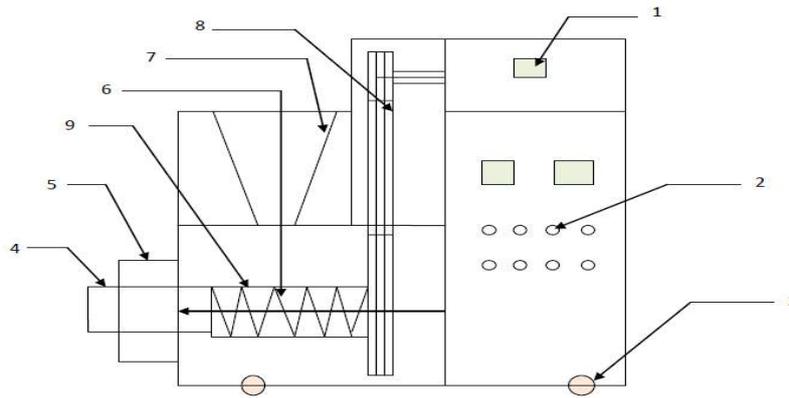


Fig. 3: Schéma de principe de la structure : 1-moteur électrique ; 2-boîte de commande ; 3-roues mobiles ; 4-moule ; 5-anneau de chauffage ; 6-vis sans fin ; 7-trémie d'alimentation ; 8-transmission par courroie ; 9- boîtier.

4.2. Obtention du Combustible pour Moteurs à Combustion Interne (MCI) à partir des briquettes végétales

Les expériences de traitement par pyrolyse des briquettes fabriquées à partir des déchets végétaux, menées dans le laboratoire utilisé, ont abouti à la production du gaz combustible (gaz de synthèse ou Syngaz) qui, produit à grande échelle, servirait comme combustible substitutif du gasoil pour les moteurs diesel. Il découle de notre étude qu' à partir d'un kg de déchets, on obtient 0,9 kg de briquettes.

Cependant, la combustion directe des briquettes pour produire de l'électricité nécessite tout un complexe d'installation tel qu'une chaudière à vapeur, une turbine à vapeur et un générateur de turbine qui, dans le présent cas, est tout simplement envisageable. Le rendement électrique d'une pareille installation classique est d'environ 35%. L'efficacité est donc faible.

La pyrolyse et la gazéification des briquettes que nous envisageons est une solution fiable pour améliorer cette efficacité. L'utilisation, dans des

centrales de cogénération (groupe électrogène par exemple), du gaz de synthèse produit à partir de ces briquettes combustibles permet de maximiser l'énergie des déchets organiques. La cogénération consiste à produire et à utiliser simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir d'une même énergie primaire et au sein de la même installation. Le rendement énergétique global peut atteindre 85%. La pyrolyse de 400 kg de déchets organiques à l'aide d'un dispositif de cogénération peut produire, selon notre recherche documentaire, à peu près 2,0 MW d'énergie électrique. En utilisant donc une (des) unité(s) de cogénération d'une capacité (totale) de 150- 200 MW, nous trouvons qu'il est possible de résoudre partiellement la crise énergétique que connaît le Burundi ; soit le déficit totalisant, comme nous l'avons mentionné plus haut, 10 à 25MW voire plus selon les saisons. Quant à la chaleur produite (300-400°C), elle peut être utilisée pour chauffer le gazéifieur ou une chaudière. Le schéma de production de l'énergie électrique et de la chaleur à partir des briquettes combustibles est représenté sur la figure 4.

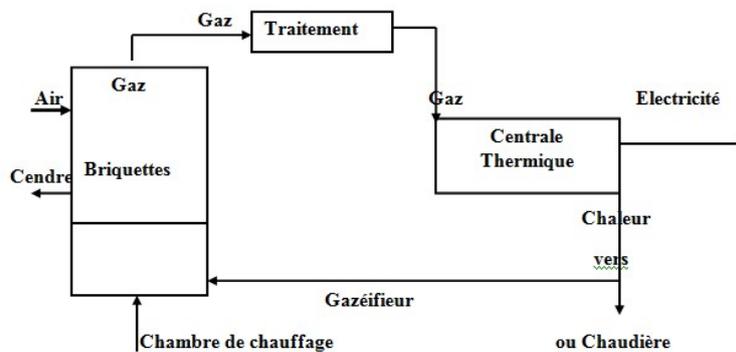


Fig.4: Schéma d'installation de pyrolyse.

Des briquettes obtenues à partir des déchets végétaux sont chauffées dans un gazéifieur à une température supérieure à 850°C, en présence d'une quantité limitée d'air (défaut d'oxygène). Là, les briquettes subissent une certaine transformation conduisant à la formation d'un gaz de pyrolyse (gaz de synthèse ou Syngaz). Les résidus de la transformation (cendres) sont déchargés du gazéifieur (nettoyage). Le gaz ainsi formé subit un traitement (filtrage) pour réduire les émissions polluantes. Le gaz purifié va alimenter une centrale thermique. La centrale thermique (unité de cogénération) produit, en plus du courant électrique (produit recherché), de la chaleur. Cette énergie supplémentaire qu'est la chaleur sera utilisée soit pour chauffer le gazéifieur, soit pour chauffer une chaudière.

5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

5.1. Discussion

Le travail met en évidence le faible niveau de production nationale d'énergie électrique et l'incapacité croissante de la Régie de Production et de Distribution d'eau et d'électricité du Burundi (REGIDESO) de satisfaire en énergie la population nécessaire. Actuellement, malgré l'exploitation de la centrale thermique, les abonnés ont besoin plus de l'énergie électrique fournie.

Au regard de la vétusté des infrastructures de centrales électriques, la croissance vertigineuse de la population urbaine et l'augmentation des industries/usines, l'Etat doit redoubler d'efforts dans l'investissement énergétique. Une autre alternative, il faut qu'il encourage les entrepreneurs à innover en recourant à la valorisation des déchets notamment les déchets végétaux.

L'installation d'une unité de production d'un combustible à partir des déchets végétaux réalisée suivant le schéma proposé (fig. 4) procure beaucoup d'avantages. D'abord, le combustible est produit localement à partir des déchets végétaux que l'on trouve sur tout le territoire burundais. Ensuite, le combustible produit l'énergie électrique et l'énergie calorifique. Enfin, ce combustible proposé vient pallier le déficit en énergie électrique qu'a l'entreprise publique, la REGIDESO et il contribue à la sauvegarde de l'environnement. La seule entrave est que son utilisation implique une modification de certains éléments du moteur thermique des groupes électrogènes actuellement fonctionnels.

5.2. Conclusion

Au terme de notre étude intitulée « **Les déchets végétaux-énergie, une des solutions au problème énergétique au Burundi** », le nœud du travail se rapporte sur la valorisation des déchets végétaux dans la production de l'énergie.

Les bilans énergétiques du Burundi sont dominés par les énergies traditionnelles à savoir le bois, le charbon de bois et les déchets végétaux. La production nationale d'électricité est déficitaire, le Burundi se retrouve dans l'obligation d'importer l'énergie.

Notre recherche propose un procédé de valorisation des déchets végétaux. On produit d'abord un combustible à partir des déchets végétaux qu'on compacte (briquettes). Ensuite, la briquette combustible est chauffée à une température de plus de 800°C. On récupère le gaz, on le filtre et enfin il est utilisé dans la production de l'énergie électrique et l'énergie calorifique.

BIBLIOGRAPHIE.

Assemblée nationale, 2011. Rapport d'information sur la problématique de l'énergie et de l'eau au Burundi Bujumbura. Commission de la bonne gouvernance et de la privatisation.

Chvetz I., Kondak M. et autres, 1969. *Thermique générale*. Edition MIR. Moscou.

Groupe de travail Pyrogaz, 2015. Pyrolyse et gazéification, une filière complémentaire pour la transition énergétique et le développement de l'économie circulaire. Note stratégique sur le développement de la filière pyrogazéification.

Kapepula L., Muyisa S., Jung C.G., 2016. Contribution à l'état de lieux de déchets solides ménagers dans la ville d'Uvira, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo.

Manigomba J.A., Chichinova N.D., Gruzdev V.B., Ndikumana E. and Lyapin A.I., 2019. Prospect for biomass energy use in the republic of Burundi.

Манигомба Ж.А., Чичирова Н.Д., 2017. Перспективы применения органических и промышленных отходов в энергетике республики Бурунди // Труды Академэнерго. 2017. № 2. С 107-110.

Manirakiza N., 2016. Etude comparative des briquettes combustibles à base des déchets municipaux produits par différents procédés. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme

de Master complémentaire en Sciences de l'Environnement

Ministère de l'énergie et des mines, 2011. Elaboration de la stratégie sectorielle pour le secteur de l'énergie au Burundi : Rapport final provisoire. Direction Générale de l'énergie et de l'eau.

Ministère de l'énergie et des mines, 2011. Lettre de politique énergétique. Direction Générale de l'énergie et de l'eau.

Mizero M., Ndikumana Th., & Jung G, 2015. Quantification, caractérisation et voies de valorisation des déchets solides municipaux dans la

ville de Bujumbura. *Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité*.

Nsavyimana A., 2017. Le déficit en énergie électrique du Burundi va continuer d'augmenter d'ici 2017.

REGIDESO, 2015. Rapport mensuel d'activités du mois d'aout 2015. Service équipement électricité.

REGIDESO, 2015. Rapport de production d'électricité entre 1996. -2014. Service équipement électricité.