

## Article 23. Etude de la production de charbon vert à base d'écorce de maïs

Mendrika Vatosoa Idealy Randrianatolotriniavonirina<sup>1</sup>, Antonio JAOMIARY<sup>1</sup>, Said Mze<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mention « Education-Apprentissage-Didactique et Ingénierie en Electrotechnique et Electronique », ENSET de l'Université d'Antsiranana

[jaomiaryantonio@yahoo.fr](mailto:jaomiaryantonio@yahoo.fr), [ajaomiary@univ-antsiranana.edu.mg](mailto:ajaomiary@univ-antsiranana.edu.mg)

### Résumé

Le présent article propose l'étude de la production de charbon vert à base d'écorce de maïs. En effet, le procédé de production de « charbon vert » consiste à carboniser les écorces de maïs déjà anhydres. Cette poudre carbonisée est ensuite agglomérée à l'aide d'un liant et pressée ensuite à l'aide d'un système de compactage pour être durcie et lui donne une forme bien définie (briquettes). Pour avoir un échantillon de charbon, on a réalisé un prototype d'unité de production pour le laboratoire du parcours Génie Energétique de l'Ecole Normale Supérieure pour l'Enseignement Technique. Une technique de production de charbon vert est développée. En effet, le processus est composé de trois étapes : séchage, carbonisation et compactage. Enfin, on a procédé à une étude qualitative des charbons verts obtenus afin d'apprécier l'efficacité énergétique de ces derniers. On a mis en perspective que le même procédé pourrait être exploité pour la production de charbon vert à base d'autres formes de déchets végétaux (bois gâtés, feuilles mortes, papier-carton, coques d'arachide, balles de riz, etc.). Pour la suite, les travaux de recherche consisteront à faire l'étude financière de la production de charbon d'écorce de maïs.

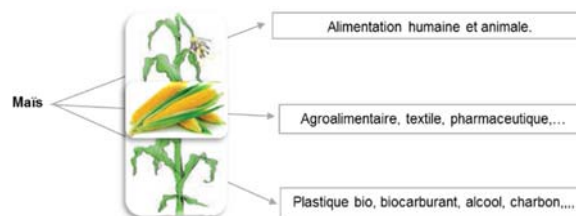
**Mots clés :** Charbon Vert, Ecorce de Maïs, Etude Qualitative, Impact Environnemental, Impact Socio-Economique.

## I. INTRODUCTION

La déforestation ou l'exploitation abusive des bois énergie par la population entraîne la sécheresse, la désertification et la hausse des émissions de gaz à effet de serre. Cette situation contribue fortement au réchauffement climatique de la planète. En Afrique, le bois représente les 89% des sources d'énergie. De plus, à Madagascar, le charbon de bois devient de plus en plus onéreux. Cela nous oblige à rechercher une source d'énergie alternative (renouvelable ou recyclable). A cet effet, la transformation d'écorce de maïs en charbon est l'une des solutions envisageables.

Le choix de l'écorce de maïs comme biomasse à valoriser est dû aux critères suivants:

- Il peut être cultivé sur divers zones, en particulier dans les 22 régions de Madagascar.
- Il présente un bon rendement culturel. En effet, le rendement moyen de la culture de maïs est de l'ordre de 2 tonnes par hectare. Ce rendement peut être de 3 à 5 tonnes par hectare pour les variétés améliorées [1].
- Il peut être valorisé dans divers domaines:



Procédés de valorisation de maïs

Le présent article souhaite apprécier la faisabilité d'installation d'unités de production de charbon vert de petite, de moyenne et de grande échelle. Pour ce faire, le présent travail est subdivisé en trois parties: la première partie concerne les matériels et méthodes exploités, la seconde partie aborde les résultats et les discussions y afférentes. La conclusion sera mise dans la troisième partie.

## II. MATERIELS ET METHODES

Le processus de production de charbon vert nécessite une validation préalable des matériels et méthodes permettant d'avoir des résultats significatifs

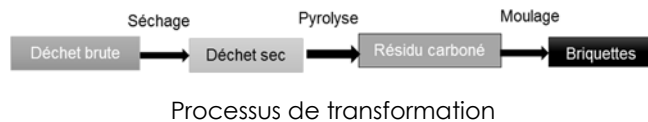
### A. Matériels

Les matériels utilisés dans le cadre de cette étude sont illustrés dans la figure ci-dessous :



## B. Technique de production de charbon à base d'écorce de maïs

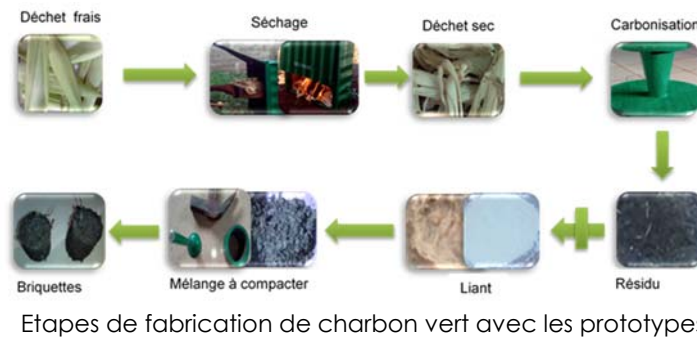
Concernant le processus de transformation, les étapes ci-dessous ont été considérées :



En utilisant le prototype d'équipement de production qu'on a réalisé, 1,5 kg de d'écorces de maïs a permis d'avoir les informations suivantes :

- Durée de séchage dans le séchoir : 5 à 10mn
- Poids après séchage : 1,2 kg
- Durée de carbonisation : 10mn

La figure suivante résume le déroulement du processus de production de charbon vert à base d'écorces de maïs :

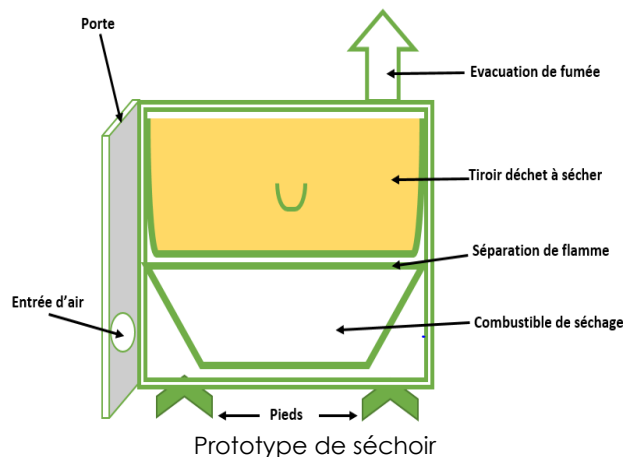


### ▪ Le séchage

On a étalé les écorces de maïs au soleil pour qu'ils soient bien secs. Ensuite, on les a déposés dans le séchoir à une température aux alentours de 185°C pour arriver à l'état anhydre. Au bout de quelques minutes seulement, les écorces sont déjà prêtes à la carbonisation.

En effet, le séchage se fait en deux étapes :

- Séchage au soleil (2 à 3 jours)
- Utilisation du séchoir : température de séchage aux alentours de 185°C dans un prototype de séchoir en tôle plane galvanisée (90 cm de large et 5 mm d'épaisseur), de dimensions 100 x 50 cm<sup>2</sup> de base et 70 cm de hauteus. La capacité du séchoir est de 1,5 kg d'écorces de maïs par vague.



$$\text{Déchet humide} = \text{Matière sèche} + \text{H}_2\text{O} \quad (1)$$

### ▪ La pyrolyse

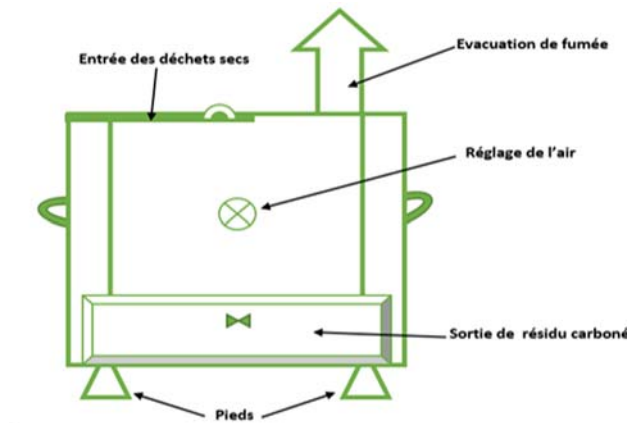
Ce procédé permet la décomposition de la matière organique solide en trois phases : solide (coke de pyrolyse ou char), liquide (constituée de condensables : lourds (huiles de pyrolyse) ou légers (H<sub>2</sub>O) et gazeuse (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>).

La vitesse de dégradation pyrolytique dépend du type de déchet et la de température. Cela dépend évidemment aussi de la production voulue (gaz ou charbon ou huile).

Pour pouvoir transformer les écorces de maïs, le niveau de température est au-delà de 260°C (valeur indiquée par le thermomètre). Il s'agit de pyrolyse lente ou carbonisation. Le produit de la réaction est essentiellement un résidu carboné solide : le coke de pyrolyse.

Le prototype de brûleur utilisé présente les caractéristiques suivantes:

- En tôle plane galvanisée (90 cm de large et 5 mm d'épaisseur);
- Dimensions: 80cm de hauteur et 40cm x 60cm de base;
- Durée de vie estimative:10 ans ou plus;
- Capacité: 2 kg d'écorces;
- Durée de carbonisation: 10 mn



Prototype de brûleur

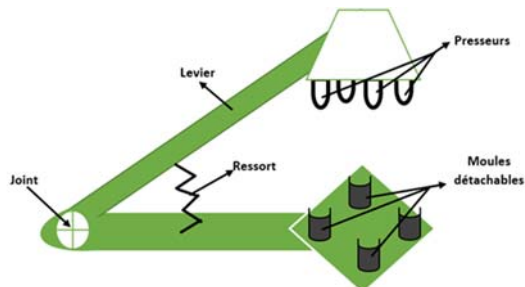
L'énergie nécessaire à la pyrolyse est fournie par la combustion d'une partie même de déchet d'écorces de maïs, qui, autrement, aurait été convertie en charbon.

La phase de carbonisation peut être décisive, si elle n'est pas réalisée dans les meilleures conditions, elle risque de compromettre toute l'opération.

Matière sèche  $\longrightarrow$  C + gaz (volatil) (2)

### ▪ Le moulage et compactage

Cette étape permet de transformer les résidus en briquettes combustibles. Pour ce faire, il faut au préalable mélanger les résidus avec le liant (manioc). Par la suite, le compactage se fait une presse manuelle à quatre moules.



Prototype de compacteur

Il est à noter que la pression a un effet sur la densité des briquettes. Plus la pression appliquée est importante, plus la briquette est dense et a une bonne résistance.

Le compacteur présente les caractéristiques suivantes:

- Quatre moules;
- Presseurs en fer;
- Capacité: environ 6 kg par heure.

## B. Etude qualitative de charbons verts à base d'écorces de maïs

### ▪ La teneur énergétique

La teneur énergétique des combustibles constitue également une propriété chimique inhérente. Les écorces de maïs contiennent un teneur de 43,1% de carbones [2]. Cependant, les valeurs calorifiques varient de manière plus large entre les types de déchet parce qu'elles sont en fonction de la composition des liaisons chimiques à l'intérieur du combustible.

### ▪ Capacité calorifique massique

La capacité calorifique de charbon produit dépend de la température fournie lors de la combustion d'une quantité choisie. Il existe une formule empirique pour calculer la capacité calorifique d'un combustible. Il suffit de mesurer la température donnée par un kilo de combustible [2].

$$C_{pm} = 0,131 + 0,003867 \cdot T \quad (3)$$

Avec :

- $C_{pm}$  : chaleur spécifique massique en kJ/kg/K
- $T$  : température en °K

### ▪ Energie de combustion de brique

L'énergie de combustion est l'énergie qu'un combustible peut transférer à son environnement ou à un milieu, sous forme de chaleur  $Q$ . L'énergie thermique transférée par une combustion permet, le plus souvent, d'élever la température d'un corps. On a la relation de calcul suivante:

$$Q = m_{\text{corps}} \cdot C_{p\text{corps}} \cdot (T_f - T_i) \quad (4)$$

Avec:

- $m_{\text{corps}}$  : masse du corps à chauffer
- $C_{p\text{corps}}$ : capacité calorifique massique du corps à chauffer exprimée en  $J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$
- $T_i$  : température initiale du corps exprimée en °C
- $T_f$  : température finale exprimée en °C

En ce qui concerne notre étude, on a considéré l'eau comme corps à chauffer. Ceci nous permet d'avoir la formule suivante:

$$Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \cdot C_{p\text{eau}} \cdot (T_{\text{eau}} - T_{i\text{eau}}) \quad (5)$$

La capacité calorifique massique de l'eau  $C_{p\text{eau}}$  est  $4,18 J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ .

Pour déterminer l'énergie calorifique des briquettes, on peut aussi se référer aux résultats des recherches déjà publiés. En effet, le pouvoir calorifique inférieur des résidus agricoles, comme, des peaux de maïs sec se situe entre  $15 MJ \cdot kg^{-1}$  et  $17 MJ \cdot kg^{-1}$  comme tous les dérivés de céréales [3]. De ce fait, la briquette obtenue par pyrolyse lente possède une densité énergétique plus importante que la biomasse initiale: son Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) est d'environ  $30 MJ \cdot kg^{-1}$  [4].

### ▪ Rendement de conversion des déchets en charbon

Le déchet sec, à brûler, contient environ 37% de matières volatiles. Après la carbonisation, les briquettes sèches ont une teneur de 2 % de matières volatiles. En écrivant que le carbone fixe, hors matière volatile, s'est conservé pendant la pyrolyse, on en déduit que le rendement de pyrolyse [5] est de:

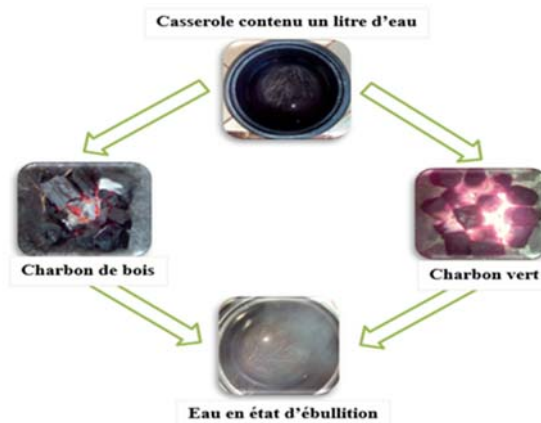
$$\eta_{\text{pyro}} = \frac{1-0,37}{1-0,02} = 0,64 \quad (6)$$

On peut estimer que le rendement maximal de la pyrolyse lente est donc de 64,3%.

### ▪ Comparaison entre charbon de bois et charbon vert

On a comparé la quantité de chaleur dégagée par la combustion de 500g de charbon de bois et de charbon vert. Cela nous a permis de savoir la différence entre ces deux types de charbon et surtout de comprendre le potentiel de ce nouveau charbon vert.

Après la mise à feu, deux marmites de nature casseroles, contenant un litre d'eau chacune, sont placées sur deux réchauds différents. Le temps que l'eau met à atteindre l'ébullition, et la durée de l'ébullition sont chronométrés. Pour une bonne comparaison, on attend que les feux atteignent tous les combustibles présents.



Comparaison du charbon d'écorce de maïs avec le charbon de bois

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### D. Charbon vert obtenu

En se basant sur le prototype d'unité de production de charbon d'écorce de maïs, on a:

- Des briquettes cylindriques: 5cm<sup>2</sup> de base et 6 cm de longueur
- Une tonne d'écorces de maïs donne 667 kg de charbon vert.
- Une unité de fabrication peut produire 50 kg par jour
- Un foyer consomme en moyenne 2kg de charbon par jour et que 500g de charbon d'écorce de maïs suffit pour cuire le riz de 4 personnes.



Briquettes de charbon d'écorce de maïs

Il est à noter qu'on peut utiliser la même installation pour produire des charbons issus de la valorisation des résidus agricoles: banane, arachide, etc.

#### E. Impacts sur l'environnement

Les résultats des investigations menées permettent d'apprécier:

- La rentabilité énergétique et environnementale de la récupération des résidus agricoles: écorces de maïs. En effet, l'option "charbon d'écorce de maïs" permettrait de réduire la déforestation et contribuerait au processus de restauration des forêts.
- La capacité de production d'une installation de transformation d'écorce de maïs en charbon vert: environ 15 tonnes de charbon par an.

Comparaison du charbon d'écorce de maïs avec le charbon de bois

Le tableau 1 fournit des informations relatives à la comparaison de deux types de charbons susmentionnés:

Tableau 1: Résultat de comparaison

Combustible	Temps de début d'ébullition	Température prise à 15mn du début de la combustion en °C	Durée d'ébullition de l'eau	Observation
Charbon vert (500g)	10mn	89,4	15mn	Petite quantité de fumée observée au début de la combustion
Charbon de bois (500g)	12mn	84,5	20mn	Quantité de fumée (variable) observée au courant de l'expérience

D'après cette comparaison, la différence de temps de mise en ébullition de l'eau marque la différence de capacité calorifique entre ces deux charbons. Cela veut dire que le charbon vert est plus puissant énergétiquement que le bois.

La durée d'ébullition de l'eau permet d'évaluer la résistance du charbon.

#### IV. Conclusion et perspective

Le présent article est une contribution au processus d'instauration d'une économie verte à Madagascar. En effet, on a pu identifier et caractériser la biomasse à valoriser sur base de concepts scientifiques. On a pu proposer une technique de production de charbon vert à base d'écorce de maïs. Autrement dit, la solution proposée consiste à récupérer des résidus agricoles issus de la récolte de maïs inutilisés afin de les transformer en briquettes de charbon vert utilisées de la même manière que du charbon de bois. Avec ce nouveau charbon biologique, nous pouvons cuire des aliments sans dépenser trop d'argent et assurer encore la conservation de la nature en recyclant tout simplement les déchets que nous jetons partout auparavant.

Le processus n'est composé que de trois étapes : séchage, carbonisation et compactage. A la suite d'une étude qualitative des charbons obtenus, on a pu démontrer que d'une part, au moins 64% des déchets sont transformés en charbons verts et que d'autre part, ces derniers présentent un meilleur rendement énergétique que les charbons de bois. Au niveau environnemental, la production de charbon d'écorce de maïs pourrait contribuer à la réduction de la déforestation.

L'une des limites de notre étude est la qualité de compactage des briquettes. Celle-ci nous oriente vers l'étude concernant le séchoir solaire.

D'autres formes de déchets végétaux peuvent être exploités pour la production de charbon vert (bois gâtés, feuilles mortes, papier-carton, coques d'arachide, balles de riz, etc.). Pour la suite, les travaux de recherche consisteront à faire l'étude financière du projet.

#### BIBLIOGRAPHIE

[9] Maybelline Escalante-Ten Hoopen & Abdou Maïga, *production et transformation du maïs*, collection pro-agro, 2012. [En ligne]. Disponible sur: <https://books.google.mg/>

[10] Núñez-Regueira, *Determination of calorific values of forest waste biomass by static bomb calorimetry*, *Thermochemica*, 2001, page 23.

[11] Christian de Gromard et Roland Louvel, *approvisionnement en énergie des populations d'Afrique non raccordées au réseau*, article:063, 2015, pp.1-11.

[12] Simon Eibner, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, *Pyrolyse flash de biomasse lignocellulosique*, 2015, page 25.

[13] JAMES R.K., MILLS A.F., *Analysis of coal particle pyrolysis*, *Letters in Heat and Mass Transfer*, 1976, vol 3.

[14] Munalula and Meincken, *an evaluation of south African fuel wood with regards to calorific value and environmental impact*. *Biomass and bioenergy*, 2009, page 415.

[15] Le journal des énergies renouvelables N° 188, Baromètre de la biomasse solide, décembre 2008.

[16] ONESIAS Gup-pens, Université Catholique de Louvain, master en sciences et gestion de l'environnement, *valorisation de la biomasse-énergie en Haïti: analyse de la situation et perspectives d'amélioration*, juin 2009, page 10.

[17] Syndicat des énergies renouvelables, dernière révision du document, juin 2012, . [En ligne]. Disponible sur: <https://www.enr.fr/>

Pierre Meerts, *L'énergie dans l'écosystème*, laboratoire de génétique et écologie végétales, Faculté des Sciences, Université libre de Bruxelles, 2002.