



UNIVERSITÉ DES  
MASCAREIGNES  
SAVOIR, C'EST POUVOIR

Journées de Recherche des ISTs et de leurs partenaires internationaux - 2 et 3 décembre 2020, Antsiranana  
« **L'innovation et le développement durable : perspectives, enjeux et défis sociétaux** »

## **Article 20 : Etude de faisabilité de confection de briquettes à base des déchets agro-industriels, alternatives aux bois énergies**

**R. H. Randimbiarivelo<sup>1</sup>, E. Rasoanandrasana<sup>1</sup>, A. O. Ravoninjatovo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation (EDGVM), Université de Mahajanga

<sup>2</sup>Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), Université  
d'Antananarivo

Correspondant : ronald\_arison@yahoo.fr

### **Résumé**

Les briquettes sont parmi les énergies renouvelables, à la fois écologiques et économiques. A Madagascar, le taux d'utilisation de ces biocombustibles est faible par les ménages voire les industriels qui présentent de petit et de grand foyers. Les sociétés Madacompost et SOCTAM produisent des briquettes combustibles qui sont encore à des fins industrielles, et elles disposent à chaque fin de campagne des déchets agro-industriels non valorisés. Ce travail de recherches a pour objectif d'évaluer la faisabilité technique et sociale de la production des briquettes valorisées énergétiquement dans l'optique de substituer ultérieurement les combustibles pour la production d'énergie. Les travaux d'expérimentation ont été menés sur les sites Mangatokana de Madacompost et Labandikely de SOCTAM, et comprennent respectivement la confection des briquettes combustibles à base de ces déchets disponibles, l'analyse de coût de production et la réalisation des différents tests de combustion. Quatre échantillons de briquettes biomasse ont été obtenus. Leur contenu énergétique a été entre 4.700 à 5.000kcal/kg. Les coûts de production pour la presse manuelle et la presse à vis mécanisé ont été respectivement 784.200Ar et 19.728.940Ar. Le résultat des tests de combustion de trois types de combustibles (bois de chauffe, charbon et briquettes) a montré la performance énergétique des briquettes de la vis mécanisé car son utilisation en

combustion a permis de réduire à 40,62% la consommation en bois énergie. Sur le plan environnemental, l'utilisation des briquettes à la place du bois énergie a permis de préserver 3ha/an de la forêt d'*Eucalyptus* de SOCTAM. Sur le plan économique, à part le bénéfice net annuel quantifiable que la société a pu tirer, il y a également le bénéfice non quantifiable grâce à l'adoption de cette technologie de briquetage au niveau de la société mais aussi à travers plusieurs ménages environnant la société.

**Mots clés :** Bois énergie, briquettes, confection, déchets agro-industriels

## 1. INTRODUCTION

L'avantage de la conversion énergétique de la biomasse, par rapport aux autres sources énergétiques renouvelables, réside dans le fait qu'en plus de la production d'énergie, elle participe activement au traitement des déchets organiques [4]. La valorisation énergétique des déchets agro-industriels en briquettes est nécessaire pour avoir des combustibles solides et de bonne combustion.

La densification représente donc une technologie de conversion de la biomasse en combustible [8]. Lorsque seules les forces physiques entrent en jeu, on utilise plutôt le terme compactage. S'il y a usage de liants, on parle d'agglomération [2]. Même si la pratique de cette technologie connaît des difficultés dues à des mauvaises planifications et aux problèmes de marketing en Afrique, plusieurs pays comme l'Ouganda, le Kenya, le Malawi, le Mali ont déjà fait des études sur les briquettes à partir des déchets solides [7].

L'essentiel des besoins de bois de chauffe des populations provient des formations forestières naturelles [5]. Donc, il y a la déforestation. A Madagascar, la Société de la Culture de Tabac à Madagascar (SOCTAM) produit et achète des briquettes de la société Mada compost. Les produits restent encore à des fins industrielles et ne satisfont pas son besoin. Des tas de déchets de culture sont stockés, non valorisés et aucune solution n'y a été envisagée pour les gérer antérieurement. Ainsi, notre objectif principal était d'évaluer la faisabilité technique et sociale du projet de production des briquettes combustibles afin d'améliorer la production.

## 2. CONTENU

### 2.1. Matériels et méthodes

#### 2.2.1. Matériels

Les matériels essentiels utilisés pour la préparation des matières premières pour la production de briquettes ont été le séchoir, le broyeur, la presse manuelle et la presse à

vis mécanisée. Pour le test de combustion, fatapera, balance et thermocouple ont été utilisés.

#### 2.2.2. Méthodes de traitement des DAI par densification

Voici les processus de production de briquettes qui ont été faits au sein de la société Madacompost et SOCTAM, suivant le type de technologie utilisé.

Le triage, la dilacération manuelle, le trempage et le broyage ont été effectués pour les déchets de carton et de papier. Le broyage a été fait également pour les résidus forestiers. Puis, les matières premières ont été mélangées avec l'eau (20 litres pour 30kg du mélange) ou avec l'huile de vidange utilisée comme additif (4 litres pour 100kg du mélange).

Ensuite, les mélanges ont été comprimés. L'opérateur exerce une pression de 200kg par briquette, soit environ 3kg/cm<sup>2</sup> avec la presse manuelle et 80 à 90kg/cm<sup>3</sup> avec la presse à vis mécanisé). Après démoulage, le séchage naturel a été fait dans des aires bien aérées.

#### 2.2.3. Utilisation des méthodes intégrées dans la composante briquettes

L'analyse financière a été décrite en détail sur le calcul des coûts d'exploitation qui se composent des coûts des intrants requis (coût de la matière première, coût du liant, de l'eau, et de la consommation d'électricité), des coûts de la main d'œuvre et des coûts

$$\text{Coût de production total [Ar/mois]} = \text{Total des coûts d'exploitation} + \text{Coût}$$

de transport. La formule utilisée sur le coût total de la production mensuelle est la suivante [3] :

Où Total des coûts d'exploitation = Coût (des intrants + des mains d'œuvre) + frais de transport

#### 2.2.4. Tests sur l'utilisation des briquettes obtenues

Pour le test d'aptitude des briquettes à la combustion, plusieurs essais ont été réalisés. Par exemple, trois briquettes ont été déposées dans le feu avec du bois et des feuilles de maïs [6]. Le test d'acceptabilité des briquettes a été réalisé dans les conditions réelles au village Tsangambato à Mampikony. Des questionnaires ont été répartis en 2 grandes parties.

D'abord, l'identification du ménage : 30 utilisateurs dont 25 ménages, 04 consommateurs spéciaux (restauratrice, vendeur de petit déjeuner, femme qui fume du poisson) et 01 ménage (au site Labandikely de SOCTAM) ont été choisis ; la détermination de la pratique énergétique habituelle : consommation et dépenses en combustibles ont été déterminées. Ensuite, le déroulement du test d'acceptabilité : 20kg de briquettes par ménage pour les premiers 4 jours (plus pour les consommateurs spéciaux et SOCTAM) ont été distribués ; puis distribution de plus de briquettes selon les besoins ; les tests ont

été suivis journalièrement pendant 8 jours ; deux évaluations (au 4ème et au dernier jour) ont été faites pour suivre l'évolution des attitudes et des comportements des ménages vis-à-vis des briquettes et leurs suggestions ont été recueillies.

Le potentiel des échantillons de briquettes a été comparé avec les bois de chauffe pour le séchage de tabac de la société SOCTAM pendant 6 jours. Il consiste de déterminer les biovolumes des combustibles consommés (m<sup>3</sup>) dans le foyer du four.

## 2.2. Résultats

### 2.2.1. Briquettes fabriquées

Quatre échantillons de briquettes ont été obtenus. Les photo 1 et 2 suivantes montrent les briquettes de forme cubique (issues de la presse manuelle) et de forme cylindrique (issues de la presse à vis), confectionnées au sein la société Madacompost : a) la Briquette N°1 composée de Résidu de carton 40% et Sciure de bois 60% ; b) la Briquette N°2 composée de Sciure de bois 100% et au sein de la SOCTAM ; c) la Briquette N°3 composée de Résidu forestier 50%, Balle de riz 30% et Poudre de tabac 20% ; d) la Briquette N°4 composée de Balle de riz 60% et Poudre de tabac 40%.



**Photo 1 :** a) Briquette N°1



b) Briquette N°2



**Photo 2 :** c) Briquette N°3



d) Briquette N°4

### 2.2.2. Résultats de calculs de coûts de production de briquettes

Le tableau 1 suivant représente les résultats sur le produit de briquettes et le coût de production total de briquettes.

**Tableau 1 :** Coût de production totale de briquettes produites

Paramètres	Presse manuelle	Presse à vis mécanisée
------------	-----------------	------------------------

Capacité de production [kg/h]	25	400
<b>Produit de briquettes [kg/mois]</b>	5 000	50 000
Quantité de matière première [kg/mois]	5 263	52 631
Quantité de liant : huile de vidange [litre/mois]	Néant	2 127
Consommation d'eau [m³/mois]	536	Néant
Consommation d'électricité [kWh/mois]	15	100
Coût total des intrants [Ar/mois]	8 250	5 372 500
Coût total du travailleur non qualifié [Ar/mois]	375 000	900 000
Coût total des travailleurs qualifiés [Ar/mois]	175 000	200 000
Coût divers [Ar/mois]	137 500	275 000
Coût total de la main d'œuvre [Ar/mois]	687 500	1 375 000
Transport de matières premières (point de collecte à l'usine) [Ar/mois]	84 200	12 631 440
Transport de briquettes (usine de marché) [Ar/mois]	Néant (vente sur place)	Néant (produits utilisés sur place)
Total des coûts d'exploitation [Ar/mois]	779 200	19 378 940
Coût mensuel d'entretien	5 000	350 000
<b>Coût de production total [Ar/mois]</b>	784 200	19 728 940

Le coût de production du kilogramme de briquettes a varié en fonction du matériel de briquetage utilisé. Pour la presse manuelle : avec 4 mains d'œuvres, la production estimée pour 8h de fonctionnement par jour et 25 jours de travail par mois a été de 5t de briquettes, soit 40t de briquettes par an (en considérant une activité de 8 mois sur 12). Pour le cas de la presse à vis : avec 7 mains d'œuvres, la production estimée pour 5h de fonctionnement par jour et 25 jours de travail par mois a été de 50t de briquettes, soit 400t/an.

Le prix de vente à l'unité de production a été de 200Ar/kg pour la presse manuelle et 400Ar/kg pour la presse à vis. Ainsi, les bénéfices respectifs pour la presse manuelle et pour la presse à vis ont été 215.050Ar et 271.060Ar par mois.

### 2.2.3. Résultats du Test de combustion

Le tableau 2 suivant montre la différence de la combustion pour les quatre échantillons de briquettes avec la masse 262g utilisée pour la Briquette N°1 et 250g pour les autres briquettes (température maximale : T°max).

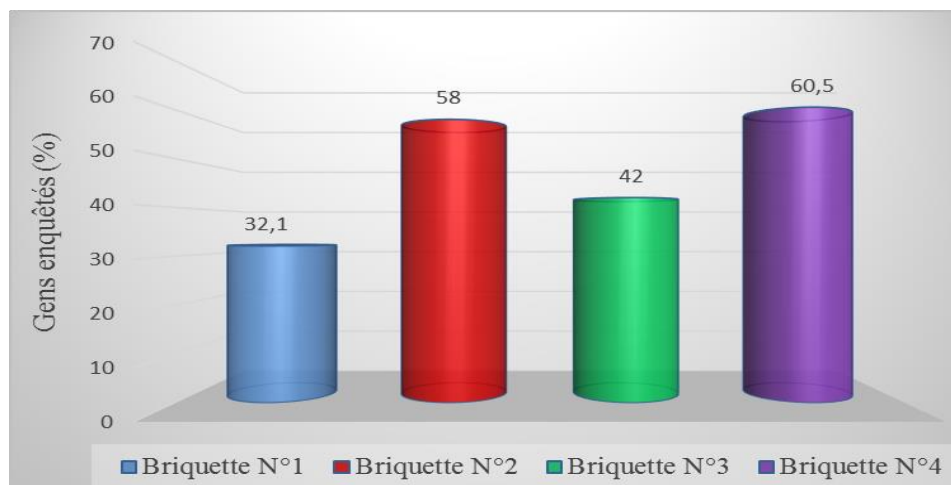
**Tableau 2 :** Résultats des tests de combustion des briquettes

Types de briquettes	Durée de Chauffe > 500°C (min)	Temps d'allumage (min)	Durée de combustion (min)	T°max [°C]	Observations et Remarques
Briquette N°1	35	50	90	540	Allumage facile, beaucoup de fumées
Briquette N°2	47	60	100	730	Allumage facile, bonne combustion, faible émission de fumées
Briquette N°3	41	55	100	712	Allumage difficile, besoin d'un feu préalable, combustion étouffante
Briquette N°4	52	62	105	760	Allumage mieux, faible émission de fumées

A partir de 2015, l'utilisation des briquettes par la société SOCTAM pour le séchage des feuilles du tabac a accentué leur besoin en bois énergie. La consommation en combustibles a diminué de 34,37% en absence de bois. Plus l'utilisation des briquettes a été augmentée (250 à 411m³), plus la déforestation a diminué, plus la forêt a été sauvegardée (2 à 3ha/an). Cela prouve l'efficacité écologique et la forte valeur énergétique de ces briquettes.

### 2.2.4. Résultats du Test d'acceptabilité

La figure suivante illustre le pourcentage des utilisateurs des briquettes combustibles selon leur appréciation envers les quatre échantillons après combustion.



**Figure 1 :** Appréciation des utilisateurs sur les quatre types de briquettes

Ces résultats ont montré que les utilisateurs ont apprécié le plus la Briquette N°4, avec un taux d'appréciation moyen de 60,5%, à cause de son efficacité énergétique, suit la Briquette N°2 avec 58%. En effet, la quantité des biocombustibles consommés lors du test d'ébullition d'un litre d'eau, pour le bois de chauffe a été 463g, pour le charbon 229g, contre 171g pour la Briquette N°4. Les deux autres produits n'ont pas été très appréciés à cause de la dimension (pour Briquette N°1) qui n'a pas été compatible au petit fourneau « fatana toko telo » des ménages, et la présence du poudre de tabac, qui ont dégagé de la fumée et de l'odeur lors de la combustion (pour Briquette N°3). Les 80% des ménages enquêtés sont prêts à utiliser les briquettes, comme combustible principal, qui peuvent facilement être accepté sur le marché.

### 2.3. Discussions

Diverses raisons ont motivé l'étude des quatre échantillons de briquettes. D'abord, l'étude vise à optimiser la valorisation des déchets agro-industriels disponibles aux environs du site de production. Toutefois, cette option nécessite les résidus forestiers pour approvisionner le processus de production, comme le cas de Briquette N°3. Ensuite, la Briquette N°1 a servi de matrice pour les produits obtenus par la presse manuelle pour pouvoir connaître sa rentabilité face à la technologie plus moderne. Enfin, la maîtrise sur les divers analyses et les tests sur ces produits facilite davantage le savoir faire pour avoir l'idée de production d'autres produits.

Le choix du liant est aussi un élément essentiel en ce qui concerne la qualité des briquettes mais le choix est limité par plusieurs contraintes : disponibilité sur place, accessibilité du coût et toxicité pendant la combustion [9]. Pour le cas de Briquette N°1 issue de la presse manuelle, les résidus de carton ont été considérés comme liants. Pour les autres produits issus de la presse à vis mécanisé, l'huile de vidange assure la compaction des particules de briquettes. En plus, l'ajout d'huile de vidange aux déchets

permet d'accroître la valeur calorifique des briquettes. Pourtant, parfois il peut y avoir de la nuisance olfactive.

En démarrant un nouveau projet de la production des briquettes combustibles, il est essentiel de connaître ce que les gens pensent des ressources en déchets combustibles, des attitudes de la population locale à l'égard de l'innovation, ainsi que des aspects économiques. Les combustibles ne sauraient être envisagés séparément des fourneaux dans lesquels ils doivent être brûlés. Donc, c'est nécessaire d'améliorer les modèles de fourneaux et les types de combustible existants pour les adapter à la cuisine locale.

Les bénéfices nets quantifiables sur la production de briquettes ont été peu par rapport à ceux des autres projets. Pourtant, c'est le côté écologique que les briquettes combustibles peuvent nous procurer qui nous incite à les produire, à les améliorer et à les utiliser.

La briquette se présente généralement sous forme cylindrique, de longueur et de diamètre variables [1]. La Briquette N°1 de forme cubique n'a pas été appréciée par certains ménages à cause de sa dimension qui n'a pas été compatible au petit fourneau. Cependant, son temps d'inflammabilité a été faible par rapport aux autres.

### **3. CONCLUSION**

La briquette est considérée comme l'énergie renouvelable qui peut fournir de l'énergie nécessaire aussi bien industrielle que domestique. Sa production est faisable en tenant compte de la disponibilité des matières premières et de la performance des matériels de briquetage à part les études des paramètres caractéristiques des combustibles.

Certaines industries s'intéressent à la valorisation des déchets agro-industriels en briquettes pour satisfaire leur besoin en combustibles. En plus, leurs coûts d'approvisionnement en énergie seront réduits. A part la production des sources de revenus, elles contribuent également à la protection de la forêt.

Le test de combustion sur les différents biocombustibles ont relevé que les briquettes ont été plus efficace par rapport au bois et au charbon. Elles présentent une efficacité élevée. La forme ou la dimension des briquettes issues de la presse à vis mécanisé a été idéale pour une combustion complète. La briquette N°4 a été la plus appréciée par les utilisateurs. Les analyses faites ont servi de matrice pour identifier les points sur lesquels il faut travailler pour renforcer : l'acceptabilité, la viabilité et la compétitivité des briquettes.

La maîtrise de la technologie de production de briquettes est nécessaire pour avoir des produits de bonne qualité et socialement acceptable, pour diminuer le coût de production et les rendre concurrentiel, en développant des stratégies pour leur



vulgarisation. Il faut qu'il y ait la considération par l'Etat pour qu'il ait de la compétition avec le bois et le charbon.

## Références

- [1] Centre pour le Développement Industriel (CDI) - Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux (CRA-Belgique), Briquettes à base de déchets végétaux, les guides du CDI - Série Technologies-N°1, 61 p, 1993
- [2] C. José, C. Pascal, C. C. Ha, G. Philippe, C. Paul, K. Smail, M. Corinne, R. Arthur, S. Yves, S. Youba, T. Philippe, V. Louis-François et V. Pierre, Guide biomasse-énergie. IEPF-ADEME- CQVB. Editions ACADEMIA. Collection Etudes et filières, 317 p, 1994
- [3] FAO, Bioénergie Et Sécurité Alimentaire, Evaluation Rapide (BEFS Ra), Manuel d'utilisation, Briquettes, p 40, 2014
- [4] F. Mancini, Traitement des déchets issus de la biomasse pour la génération d'énergie, thèse pour obtenir le grade de Docteur, spécialité : Génie des procédés, Ecole doctorale des Sciences Chimiques, l'Université Bordeaux I, 2006
- [5] K. Ouedraogo, J. Somda, I. Tapsoba et A. J. Nianogo, Energie traditionnelle au Burkina Faso : Etudes sur le bois énergie, UICN, 195p, 2006
- [6] L. Koala, Fabrication manuelle de briquettes de balles de riz et évaluation des performances du foyer amélioré à balles de riz, Mémoire de Fin de cycle du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option : Eaux et Forêts, Institut du Développement Rural /Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 103 p, 2012
- [7] M. S. Dusabe, Etude de faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers organiques, papiers et cartons pour la fabrication des briquettes combustibles a Bujumbura, Burundi, Mémoire pour l'obtention du Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2IE, Ouagadougou, 2014
- [8] P. D. Grover et S. K. Mishra, Biomass Briquetting : Technology and Practices. Regional Wood Energy Development Programme in Asia GCP/RAS/154/NET. Field Document No.46. FAO, Bangkok, 48p, 1996
- [9] P. Mfouapon, Etude de faisabilité d'une unité de production de charbon vert, projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en génie électromécanique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar/Ecole Supérieure Polytechnique, Centre de Thiès, 82p., 2007



Journées de Recherche des ISTs et de leurs partenaires internationaux - 2 et 3 décembre 2020, Antsirana  
 « *L'innovation et le développement durable : perspectives, enjeux et défis sociétaux* »

## **Article 38 : Réglage manuel d'un paramètre de commande dans la stabilisation d'un réseau électrique simplifié**

**L. F. Rafanotsimiva<sup>1,2</sup>, J. M. Razafimahenina<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Groupe de Recherche pour le Développement Durable de Diégo-Suarez, Institut Supérieur de Technologie d'Antsirana

<sup>2</sup>Ecole Doctorale Thématique Energies Renouvelables et Environnement, Université d'Antsirana

<sup>3</sup>Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antsirana

Correspondant : [liva.rafanotsimiva@ist-antsiranana.mg](mailto:liva.rafanotsimiva@ist-antsiranana.mg)

### **Résumé**

Les réseaux d'énergie électrique, appelés aussi systèmes PTDU (Production – Transport – Distribution et Utilisation) ne sont pas à l'abri de différentes perturbations provenant soit des conditions climatiques où ils sont exposés, soit des manœuvres effectuées par les opérateurs. Suite à ces perturbations, ils peuvent sortir de leur point de fonctionnement initial, et au pire ne plus y revenir et perdent leur synchronisme. D'où l'intérêt de la synthèse de lois de commande en automatique pour faire revenir le système à son point de fonctionnement initial ou retrouver un autre point de fonctionnement stable. Dans ce travail, nous travaillons avec un réseau électrique simplifié, dénommé sous la terminologie SMIB (de l'anglais Single Machine Infinite Bus), modélisé sous la forme multimodèle avec la loi de commande PDC (de l'anglais Parallel Distributed Compensation) associée. Nous avons intégré un degré de liberté en plus que nous avons réglé manuellement pour bien piloter le système. Des résultats de simulations sont présentés en conséquence.

**Mots clés :** Réseau électrique, système SMIB, approche multimodèle, lois de commande PDC, Inégalités Linéaires Matricielles.