

Potentialités En Déchets Rizicoles: Gage De l'Electrification Et Du Développement Durable. Cas De La Commune Rurale d'Ambohijanahary, District d'Amparafaravola, Région Alaotra Mangoro, Madagascar

RASOANAIVO Jean Luc ¹, ISSA Aziz², RAKOTOSON Rijalalaina³, RAVONINJATOVO Achille⁴,
ANDRIANAIVO Lala⁵

^{1,4}Chercheurs Enseignants, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Antananarivo

²Enseignant chercheur, Mention sciences de la matière et de la structure, Faculté des Sciences, de Technologie et de
l'Environnement, Université de Mahajanga.

^{3,5}Enseignants chercheurs, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.



Résumé - L'étude a été orientée sur la valorisation des déchets rizicoles de la commune rurale d'Ambohijanahary en les transformant en briquettes combustibles pour évaluer l'énergie électrique obtenue à partir de ces déchets rizicoles et solutionner le problème d'électrification de la commune. Des tests effectués au laboratoire du Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) ont permis de déterminer le Pouvoir calorifique inférieur des deux types de briquettes à base de balle de riz et paille de riz, déterminer l'efficacité énergétique des briquettes combustibles face aux autres combustibles existants et finalement évaluer l'énergie électrique annuelle obtenue chaque année pour la totalité de ces déchets rizicoles en proposant les scénarii de valorisation possible.

Mots clés – Déchets rizicoles, valorisation, briquettes combustibles, énergie.

Abstract – The study focused on the valorization of rice-growing waste in the rural commune of Ambohijanahary by transforming it into fuel briquettes in order to evaluate the electrical energy obtained from this rice-growing waste and to solve the commune's electrification problem. Tests carried out in the laboratory of the National Centre for Industrial and Technological Research (CNRIT) allowed to determine the lower calorific value of the two types of briquettes based on rice husk and rice straw, to determine the energy efficiency of the fuel briquettes compared to the other existing fuels and finally to evaluate the annual electrical energy obtained each year for the totality of this rice-growing waste by proposing the possible scenarios of valorization

Keywords – Rice waste, valorisation, fuel briquettes, energy.

I. INTRODUCTION

L'électricité contribue inéluctablement au confort et au bien-être de la société humaine. Son rôle est essentiel dans le développement d'une nation et il demeure indispensable à de nombreuses technologies. Les matières premières fossiles (pétrole, gaz naturel) sont largement disponibles dans certaines régions, elles sont stockables à un coût relativement bas et elles sont faciles à transporter. Ces matières énergétiques offrent la souplesse requise pour satisfaire les besoins énergétiques d'un pays. Néanmoins, cette dépendance vis-à-vis du pétrole et de ses dérivés n'est pas sans conséquences car l'inégalité naturelle de la répartition des

ressources fossiles, leur coût de transport et surtout la volatilité intrinsèque du mécanisme de fixation du prix du baril sont à l'origine des chocs pétroliers depuis des décennies à travers le monde.

Dans les pays en voie de développement, cette situation entraîne de graves crises énergétiques. Dans nos pays, l'insuffisance des moyens de production d'électricité et les difficultés de gestion des entreprises productrices, les difficultés de distribution d'électricité, la vétusté des réseaux de distribution et la vulgarisation très faible des énergies alternative et renouvelable limitent l'accès à l'électricité principalement dans les zones rurales. De surcroît, la population mondiale est estimée environ à 7,8 milliards et plus de la moitié vit en zone rurale. Il résulte de cette situation que les besoins fondamentaux d'éclairage des populations rurales sont à peine satisfaits. A l'échelle d'un pays, s'il est vrai que les énergies nouvelle et renouvelable ne sont en général pas compétitives par rapport aux sources d'énergie conventionnelle (pétrole, gaz naturel) et qu'elles ne peuvent les remplacer sans bénéficier de fortes subventions. Pourtant, la valorisation de ces énergies alternatives puisse réduire significativement la gravité du problème de l'accès à l'électricité. Cette solution peut s'inscrire dans le cadre d'une véritable stratégie de diversification des ressources énergétiques dans la visée de l'autonomie énergétique des zones rurales car l'énergie fossile non renouvelable utilisée jusqu'à présent va tôt ou tard finir par s'épuiser.

Ambohijanahary, est une des communes rurales du district d'Amparafaravola, située à 28 km du chef-lieu du district et à 98 km du chef-lieu régional. Elle s'étend sur une superficie de 280 km² avec 5453 ha de terrain rizicole. L'agriculture et l'élevage sont la source de revenu de la majorité de la population de ladite commune. La riziculture génère chaque année 12333,71 t de déchets rizicoles dont 7789,7 t de paille et 4544 t de balle de riz.

Le présent travail de recherches a pour but de valoriser la potentialité de la commune en déchets rizicoles dans l'optique de l'électrifier puisque jusqu'à ce jour elle n'a pas d'utilisation spécifique à part le foin pour une faible proportion seulement.

Zone d'étude : la commune rurale d'Ambohijanahary, district d'Amparafaravola, région Alaotra Mangoro

II. PRESENTATION DE LA ZONE DE RECHERCHE [B7], [W4]

II.1. La commune rurale d'Ambohijanahary

La commune rurale d'Ambohijanahary appartient au district d'Amparafaravola de la région Alaotra Mangoro. Elle se situe 28 km du chef-lieu du district et à 98 km du chef-lieu de région qui est Ambatondrazaka. Elle occupe une superficie totale de 280 km² et est délimitée par les communes suivantes :

- ***A l'Est par la commune rurale de Tanambe,***
- ***Au Nord par la commune rurale de Beanana,***
- ***A l'Ouest par la commune rurale de Sakoamadinika,***
- ***Au Sud par la commune rurale d'Ambohitrarivo, CR d'Andranobe, et CR Anororo.***

Du point de vue coordonné géographique, Ambohijanahary se situe à 17° 24' 00" latitude Sud et 48° 22' 00" longitude Est avec une altitude moyenne de 792 m. La commune rurale d'Ambohijanahary comprend quinze (15) fokontany dont le plus éloigné est le fokontany de Tanjokambana qui se trouve à 35 km du chef-lieu communal.

La figure 1 présente la localisation de la commune rurale Ambohijanahary par rapport à la région Alaotra Mangoro.



Figure 1 : Localisation géographique de la commune Ambohijanahary dans la région Alaotra mangoro

Source : Région Alaotra mangoro

Du point de vue démographie, le tableau 1 montre l'effectif de la population communale par fokontany :

Tableau 1 : Répartition démographique de la population d'Ambohijanahary

N°	FONKONTANY	Nombre de population
1	Ambohijanahary	4703
2	Morarano	4366
3	Tsarahonenana	1720
4	SODECA	1213
5	Bedamena	1619
6	Ambatomitsangana	1350
7	Tanambaolaina	1265
8	Ambatovola	883
9	Ambolomborona	2559
10	Vohitsivalana	1680
11	Manakana	1284
12	Miarinarivo	1121
13	Ambohipasika	1039
14	Ambatoarana	1422
15	Ambatokambana	729
	TOTAL	26962

Source : Monographie de la CR Ambohijanahary

II.1.2. Milieu physique

II.1.2.1. Climat

Un climat idéal à la riziculture avec des variations interannuelles significatives.

La commune rurale d'Ambohijanahary est caractérisée par un climat tropical, avec l'influence de l'alizé toute l'année et des températures moyennes comprises entre 18 à 20 °C. Puisqu'elle fait partie de la cuvette du lac Alaotra, la pluviométrie moyenne est de 1092 mm à 1200 mm et 100 jours de pluie par an.

La cuvette jouit d'un microclimat privilégié, le type tropical à hiver sec, tempéré par l'altitude, légèrement plus doux que celui des hautes terres et beaucoup moins arrosé.

D'une manière générale, l'escarpement de Betsimisaraka qui limite la zone du lac dans sa partie orientale est exposée aux vents de l'Est (alizé) et reçoivent plus de pluie, tandis que la cuvette située à l'ouest de l'escarpement subit l'effet de foehn : la masse d'air humide de l'alizé se dessèche en arrivant dans la zone de dépression. Cette situation géographique particulière de la région explique l'existence d'un climat tropical à longue saison sèche.

II.1.2.2. Hydrologie

La commune est desservie par de nombreux cours d'eau. Le débit des eaux est fortement lié à la pluviométrie et les rivières réagissent vite à celle-ci. Les crues sont soudaines et violentes pendant la saison de pluies. La plupart de ces cours d'eau se tarit pendant la saison sèche.

II.1.2.3. Relief et paysage

Le relief de la partie Est de la commune de Ambohijanahary est caractérisée par les cuvettes faisant partie de l'Alaotra qui sont de vastes plateaux intermédiaires occupées par un lac permanent, le lac Alaotra qui couvre environ 200 km² et situées au milieu des plateaux de la région centrale de Madagascar avec une altitude moyenne de 700 m. Des massifs latéritiques très friables.



Figure 2 : Vue panoramique de la périphérie du lac Alaotra

Source : ORTALMA

Tout autour de cet espace subhorizontal se dresse une zone collinaire situant au-dessus de 1000 m d'altitude et qui est suffisamment élevée pour former autour de la dépression une barrière continue. Les altitudes atteignent 1 373 m à l'Ouest d'Amparafaravola et dépassent 1 500 m dans le massif forestier d'Ambatosoratra. Par contre, au Nord et au Sud, les reliefs sont moins élevés avec une altitude moyenne qui ne dépasse pas 1 000 m.

D'après BESAIRIE et BRENON, une phase tectonique se serait manifestée violemment en provoquant au tertiaire l'effondrement de la cuvette. Le lac Alaotra s'est formé ainsi dans une fosse d'effondrement limitée à l'Ouest par des migmatites granitoïdes de l'Angavo et borde à l'Est par un matériel gneissique plus ou moins métamorphisé. [B11]

La présence d'escarpements relativement jeunes sur la bordure orientale s'explique par le fait que l'Alaotra correspond à une zone de faiblesse structurale caractérisée par un récent rejet de faille.

II.1.2.4. Agriculture

Le secteur primaire constitue la principale activité de cette localité où la riziculture est la plus pratiquée. Malgré la vocation agricole de cette commune, force est de constater que nombreux sont les gens qui pratiquent d'autres activités génératrices de revenus (AGR) telles que l'élevage et le commerce. Le tableau 2 résume la superficie cultivée et le volume annuel de production par type de produit.

Tableau 2 : La production annuelle agricole de la commune

Nature	Superficie cultivée (Ha)	Production (Tonne)
Paddy	5453	13 632
Manioc	180	171
Haricot	180	150
Arachide	430	150
Maïs	120	54

Source : [B7]

Ce tableau informe les produits cultivés localement avec la superficie exploitée par produit ainsi que leur production respective.

II.1.2.5. Adduction d'eau et électrification

L'étude faite permet de constater les problèmes d'eau potable au niveau de la commune rurale d'Ambohijanahary qui souffre actuellement un manque d'infrastructure d'adduction d'eau. La majeure partie de la population s'approvisionne ainsi en eau au près des rivières et des puits.

En ce qui concerne l'éclairage, la plupart de la population locale utilisent le plus souvent de la lampe à pétrole, et parfois de la bougie. Une minorité d'habitant dans le Fokontany ont la possibilité d'utiliser des panneaux solaires. Actuellement, la commune d'Ambohijanahary travaille avec l'ONG HERI Madagascar pour l'utilisation de l'énergie solaire. L'année dernière, 700 ménages ont bénéficié des équipements d'éclairage domestique.

II.1.3. La zone d'Alaotra : un milieu naturel favorable à la riziculture [B8],

La zone d'Alaotra est un milieu naturel favorable à la riziculture, le lac Alaotra est une région isolée à 250 km au Nord - Est de la capitale Antananarivo, qui comptait 750 000 habitants en 2011. C'est une plaine lacustre à 750 m d'altitude, entourée d'un ensemble de collines intercalées de petites vallées très sensibles à l'érosion. Terre d'immigration, sa population a explosé au XX^e siècle, imposant une mise en valeur des terres de plaine inondées puis de collines (tanety). Cette région est la principale zone de production rizicole de Madagascar, avec plus de 150 000 ha de rizières aquatiques selon la Direction Régionale De l'Agriculture et de l'Élevage Alaotra Mangoro (2016). Avec une surface totale cultivée de 56 731 ha, c'est le chef-lieu de district Amparafaravola qui possède la plus grande partie des surfaces rizicoles dans cette région.

C'est un lieu d'intervention publique privilégié depuis l'époque coloniale. En l'espace d'un siècle, la cuvette du lac Alaotra est devenue le plus important foyer rizicole de Madagascar.

La figure 3 montre les périmètres de cultures (PC) aménagés par la SOMALAC dans la région Alaotra, depuis l'année 1961.



Figure 3 - périmètres de culture de la région Alaotra

Source : Systèmes de production dans la cuvette du lac Alaotra (Madagascar)

II.2. Ressources forestières de la région Alaotra Mangoro [B12]

II.2.1. Couverture forestière

Les ressources forestières naturelles ont été évaluées à plus de 494 000 ha en 2005. Le district de Moramanga contient le plus de forêt naturelle avec plus de 170 000 hectares en 2005. Ces données ne comprennent pas les forêts de plantation évaluées à près de 57 359 ha pour le pin et 34 498 ha pour l'Eucalyptus.

Tableau 3 : Evolution de la couverture forestière de la région Alaotra Mangoro en 1990, 2000 et 2005.

District	Couverture des forêts naturelles (hectares)			Taux de déforestation (% par an)	
	1990	2000	2005	1990-2000	2000-2005
Ambatondrazaka	153 629	147 155	145 920	0,41	0,17
Amparafaravola	27 770	24 273	23 957	1,23	0,26
Andilamena	94 411	87 631	86 152	0,68	0,18
Anosibe an'ala	79 789	67 599	65 613	1,41	0,64
Moramanga	206 074	177 450	172 807	1,31	0,53
Total	561 673	504 108	494 449	0,97	0,37

Source : [B12]

Dans le cas de notre zone d'étude on trouve 7100 hectares de plantation d'eucalyptus à moins de 20 km de la commune , la réalisation communale sur le reboisement en 2007-2008 est de 38,5 ha.

Le tableau suivant montre la couverture forestière pour la commune rurale d'Ambohijanahary ainsi les autres communes situant dans le district Amparafaravola.

Tableau 4 : Evolution de la couverture forestière du district Amparafaravola en 1990, 2000 et 2005

COMMUNE	Couverture des forêts naturelles (hectares)			Taux de déforestation (% par an)	
	1990	2000	2005	1990-2000	2000-2005
Ambatomainity	7	7	7	-	-
Amboavory	33	25	25	1,49	-
Ambodimanga	-	-	-	-	-
Ambohijanahary	25	25	25	-	-
Ambohimandroso I	225	214	214	0,18	-
Ambohitravivo	184	181	181	-	-
Amparafaravola	355	322	332	0,12	-
Ampasikely	647	606	603	0,25	-
Andilana Nord	-	-	-	-	-
Andrebakely I	4 961	3675	3 636	2,58	0,12

Andrebakely II	257	257	257	-	-
Anororo	-	-	-	-	-
Beanana	7	7	7	-	-
Bedidy	1025	1 019	988	0,03	0,64
Morarano Chrome	3 933	3 118		2,05	0,18
Ranomainty Tsarahonenana	27	18	18	2,05	-
Sahamamy	62	59	59	-	-
Tanambe	-	-	-	-	-
Vohimenakely	16 021	14 730	14 514	0,80	0,30
Vohitsara	-	-	-	-	-
Total	27 770	24 273	23 957	1,23	0,26

Source : [B12]

II.2.2. Taux de déforestation

Entre 1990 et 2000, la dégradation des ressources forestières de la région Alaotra Mangoro a été de 0,97%, soit 0,14% au-dessus du taux moyen pour l'ensemble de Madagascar qui a été de 0,83%. Le taux de déforestation le plus élevé se trouve dans le district d'Anosibe An'Ala, avec un taux de 1,41% par an en 1990-2000 et 0,64% par an en 2005. On observe néanmoins une baisse généralisée du taux de la déforestation pendant la période 1990-2000 comparée à la période 2000-2005 pour chacun des districts et pour l'ensemble de la Région.

II.3. Matériels et matières

II.3.1. Matériels de laboratoire

Plusieurs matériels et équipements de laboratoire ont servi pour concrétiser les essais d'expérimentation. Parmi ces matériels, on peut citer respectivement :

- Les matériels de production de briquettes : ce sont : le pyrolyseur, le foyer amélioré, la balance de précision, la cocotte n°34 et la presse à brique,
- Les matériels servant à la détermination des caractères physico-chimiques : sont le broyeur, le creuset, l'étuve, le dessiccateur et le four à moufle.
- Les matériels pour le test d'ébullition d'eau et le test de cuisine contrôlé : le foyer cylindrique et le thermo couple type K.
- Les matières premières pour les essais d'expérimentation : la balle de riz, la paille de riz et la fécule de manioc et l'eau.

II.4. Méthodologies

La méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail de recherches est à la fois qualitative et quantitative. Sa concrétisation à termes nécessite à priori par le passage à travers l'ordre chronologique des différentes activités suivantes :

- Etudes bibliographique et webographie;
- Elaboration de fiche d'enquêtes : permettant de collecter des données au niveau de la zone d'étude relatives à la superficie de terrain rizicole cultivé, au rendement de production rizicole, au combustible domestique le plus consommé, au mode de cuisson des ménages, aux différentes utilisations des déchets rizicoles ;
- Descente sur terrain : pour réaliser l'enquête pour la collecte de données et la prise d'échantillon de matière première pour les différents essais d'expérimentation au niveau laboratoire;

- Travaux de laboratoire : en vue de :

- *Produire des échantillons de briquettes de balle de riz et de paille de riz,*
- *déterminer les caractères physicochimiques,*
- *réaliser différents Tests permettant de caractériser l'efficacité des briquettes fabriquées par rapport au bois énergie dont :*
 - *les Tests d'Ebullition d'Eau (TEE),*
 - *Drop test ;*
 - *Test de Cuisine Contrôlée (TCC) ;*
 - *Test d'efficience et d'efficacité énergétique des briquettes de balle de riz et de paille de riz par rapport au bois énergie (charbon de bois, bois de chauffe);*

- Rédaction de mémoire.

II.4.1. Etudes bibliographique et webographie

II.4.2. Le riz et son botanique

C'est une plante annuelle glabre à chaume (paille) dressé ou étalé de hauteur variable, allant de moins d'un mètre jusqu'à cinq mètres pour les riz flottants. C'est une plante prédisposée au tallage, formant un bouquet de tiges, à racines fasciculées. Les fleurs, en épillets uniflores, sont groupées en panicules de 20 à 30cm, dressées ou pendantes. Le fruit est un caryopse enveloppé dans deux glumelles grandes, coriaces et adhérentes, l'ensemble formant le riz complet. La masse volumique du riz blanc cru en vrac est d'environ 0,9 g/cm³.

Selon la texture du caryopse, on distingue les variétés ordinaires, à tégument blanc, le plus souvent, ou rouge ; ou glutineuses (ou riz gluant, sweet rice). Les variétés de riz africain sont généralement à tégument rouge.

II.4.2.1. Morphologie externe de la tige et de la racine :

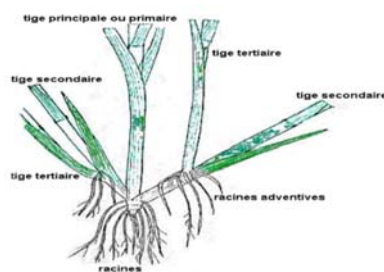


Figure 4 : Différents types de tiges et racines.

- Tige en forme cylindrique divisée entre-nœuds séparés par des nœuds renflés, les nœuds inférieurs de la tige donnent naissance à des racines adventives. Quant aux nœuds longs, ils donnent naissance aux feuilles.
- L'aisselle de feuille se forme un bourgeon et en contact avec le sol se développe en tige secondaire pouvant donner de tige secondaire. Les racines se forment tout au long de la vie de la plante.
- La racine principale issue de la radicule dégénérera rapidement. Elle est remplacée par des racines adventives qui apparaissent en couronne aux premiers nœuds de la tige.

a) Feuille

Une feuille est constituée de gaine et limbe

b) L'appareil reproducteur

Les fleurs sont groupées en une inflorescence qui est une panicule, longue de 20 à 40 cm, le fruit ou caryopse de couleur jaune, brun clair ou rouge.



Figure 5 : Graines en germination (sortie de la radicule).

La formation des tiges secondaires, elle commence de 3 à 5 semaines après le début de la germination. Le tallage est nul en sol pauvre et chaque tige est terminée par une panicule.

c) Structure du grain de riz.

Le grain de riz est composé de plusieurs éléments à savoir :

- *une enveloppe protectrice ;*
- *une couche externe du péricarpe ;*
- *un légume et le nucelle ;*
- *et un germe ou embryon (tissu maternel).*
- *L'albumen comprend : une couche de cellules à aleurone qui recouvre l'embryon et l'albumen proprement dit composé de la couche subaleurone et de la substance interne amylacée ; la pigmentation se limite au péricarpe.*

II.4.2.2. La pyrolyse

II.4.2.2.1. Principe

La pyrolyse, ou thermolyse est la décomposition chimique d'un composé organique par une augmentation importante de sa température pour obtenir d'autres produits (gaz et matière) qu'il ne contenait pas. L'opération est réalisée en absence d'oxygène ou en atmosphère pauvre en oxygène pour éviter l'oxydation et la combustion (l'opération ne produit donc pas de flamme). Il s'agit du premier stade de transformation thermique après la déshydratation. [B16]

Elle permet généralement d'obtenir un solide carboné, une huile et un gaz.



Photo 1 : Dégagement de fumée et mise en bouteille de l'huile durant la pyrolyse.



Photo 2 : Huile obtenu par la pyrolyse de balle de riz.

II.4.2.3. Carbonisation

- Principe

La carbonisation est ici un processus chimique de combustion incomplète des résidus de balles de riz et pailles de riz soumises à une chaleur élevée 100°C à 250°C en absence d'oxygène. Sous l'action de la chaleur, la carbonisation élimine l'hydrogène et l'oxygène du solide, de sorte que le charbon restant est composé principalement de carbone.



Photo 3 : Balle de riz avant carbonisation.



Photo 4 : Balle de riz après carbonisation.

II.4.2.4. La densification

- Principe [B17], [B18]

Très simplement, la densification peut être considérée comme étant une opération assurant le passage d'une matière de l'état particulaire à l'état consolidé à travers une presse à l'aide ou non d'un agent liant. Elle s'adresse de ce fait à des matières à l'état particulaire de nature (Balles de riz, paille de riz, sciure et copeaux de bois, etc.) ou résultant d'un broyage préalable en vue de leur valorisation énergétique (plantes herbacées).

Dans tout procédé de briquetage, un liant est nécessaire pour assurer la liaison entre les particules. Il peut s'agir d'un produit ajouté au processus ou inhérent à la matière mais libéré au cours du processus. Deux mécanismes se distinguent alors : la densification sans liant et la densification avec liant. Ils diffèrent par le niveau de pression utilisé, les presses et les caractéristiques des produits obtenus.

- La densification sans liant

La densification sans liant se caractérise par l'utilisation de pression de compactage élevée c'est-à-dire supérieure à 100 MPa selon Eriksson et Prior. En effet, cette pression élevée provoque une augmentation de chaleur due à la friction de la matière avec les parois du cylindre (moule) et favorise l'emboîtement mécanique des particules. De plus, elle libère la lignine, un polymère thermoplastique qui, à des températures supérieures à 100 °C se fluidifie et agit comme un liant in situ.

- *La densification avec liant*

Cette technique ressemble aux procédés ci-dessus mais leur différence comme son nom l'indique c'est au niveau de liants. Avec ce mécanisme, la liaison des particules est assurée par le liant.

- Presses

La plupart des presses sont manuelles, de conception simple et fabriquées localement. Ce sont généralement des presses à levier, développant des pressions de l'ordre de 5 à 20 bars (0.5 à 2 MPa). Certaines plus élaborées ont recours à des vérins, un cric de voiture par exemple, et peuvent fabriquer plusieurs briquettes à la fois, en discontinu.

- ***Liants utilisés pour la densification***

Les liants sont extrêmement nombreux et il faut les choisir en fonction des exigences de la qualité de la biomasse densifiées, de leur disponibilité locale, du coût et de la facilité d'utilisation. Le taux d'incorporation varie suivant le type de liant et le système utilisés.

II.4.3. Conception d'une presse manuelle

Une presse manuelle à quatre moules a été confectionnée au laboratoire de recherche du CNRIT. Elle est équipée d'une simple manche dont les résultats sont convaincants.



Photo 5 : Conception des moules



Photo 6 : Conception de la manche

Ayant terminé la conception de la presse briquette, nous avons fait un essai sur le mécanisme de la presse et la qualité des briquettes obtenus en utilisant comme matière pour le premier test les fines de charbon.



Photo 7 : Essai de briquetage

Comme l'on trouve sur la photo l'essai est réussi car le mécanisme de la presse manuelle fonctionne correctement et les briquettes sont intactes lors du démoulage.

Avec cette presse, on obtient des briquettes de 80 à 100 g suivant leurs compositions.

II.5. Les travaux de laboratoire :

II.5.1. Essais de production de briquettes de balles de riz et de paille de riz :

Pour transformer les balles et pailles de riz en briquette combustible (nouvelle source d'énergie), il faut passer à travers des travaux de laboratoire. Tous les travaux de laboratoire correspondants ont été effectués au sein du Département Energétique du CNRIT à Fiadanana Tsimbazaza. La confection des briquettes combustibles doit être précédée de divers traitements qui ont pour principaux objectifs de :

- disposer une nouvelle source d'énergie (combustible) écologique et hygiénique présentant le maximum de commodité d'emploi et acceptée par les ménages/industriels par le biais de leur équipement de cuisson (foyer) respectif et à un bon rendement thermique ;
- d'obtenir une nouvelle source d'énergie (combustible) de meilleure inflammabilité, sans fumée, sans odeur en adéquation avec le code de l'environnement dans le pays. Les différentes activités réalisées sont :

- Approvisionnement et préparation des résidus
- Séchage des résidus
- ***La carbonisation des matières premières***
- La Préparation du liant
- Le pesage
- Le malaxage
- Le pressage (ou compactage):

II.5.2. Essais de séchage des briquettes de balle de riz et de paille de riz fabriquées

Après avoir passé par le pressage, les briquettes contiennent encore de l'eau et doivent passer par un traitement thermique ou séchage à l'air libre ou par étuve qui vise à diminuer la quantité d'eau contenue dans les briquettes. L'évolution du séchage varie suivant le traitement employé.



Photo 8 : Séchage à l'ombre des briquettes



Photo 9: Séchage au soleil des briquettes

Les photos suivantes nous montre les résultats des briquettes de balle de riz et paille obtenues à la fin du séchage.



Photo 10 : Briquette de balle de riz



Photo 11 : Briquette de paille de riz

II.5.3. Détermination des caractères physico-chimiques des briquettes combustibles confectionnées

L'analyse des caractères physico chimiques d'un combustible permettra de disposer la spécificité technique voire énergétique d'un combustible par rapport aux combustibles usuels. Parmi ces spécificités, on peut citer : l'humidité, la Matière volatile, la teneur en cendre, le carbone fixe et le Pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un combustible.

II.5.3.1. L'humidité (h)

Le taux d'humidité d'un combustible solide représente sa teneur en eau par rapport à sa masse humide. Il est obtenu à partir de la perte en poids d'une prise de l'échantillon après chauffage dans l'étuve à 105°C pendant 24h heure.

$$TH = \frac{M_{humide} - M_{sèche}}{M_{humide}} \times 100 \quad (1)$$

Avec TH : taux d'humidité exprimé en (%)

M_{humide} : masse de l'échantillon

$M_{sèche}$: masse obtenue après chauffage à 105°C.

II.5.3.2. Indice de la matière volatile (MV)

La matière volatile du combustible est la matière qui s'échappe sous forme de gaz pendant sa combustion. Le taux de la matière volatile cautionne l'inflammabilité de la matière combustible.

Principe de la mesure :

Le même échantillon utilisé pour trouver le taux d'humidité est chauffé dans un four à moufle à une température allant jusqu'à 550°C. Sa détermination suit la norme française NF1985. Le taux de la matière volatile est déterminé par la perte de masse pendant ce chauffage. La formule suivant permet de calculer le taux de matière volatile.

$$MV = \frac{M_{105} - M_{550}}{M_{sèche}} \times 100 \quad (2)$$

Avec MV : taux de matière volatile exprimé en (%)

M_{105} : masse obtenue après chauffage à 105°C

M_{505} : masse obtenue après chauffage à 505°C

$M_{sèche}$: masse d'échantillon

II.5.3.3. Teneur en cendres (C):

Elle représente la qualité de matière minérale contenue dans le combustible. Il est important pour l'appréciabilité du combustible du fait que quand il est très élevé, ces cendres deviennent des obstacles à la combustion. Principe de la mesure : Le taux de cendre est obtenu par le chauffage de l'échantillon jusqu'au 850°C dans un four à moufle. Sa détermination suit la norme Européenne EN14775. . La formule suivant permet de calculer le taux de cendres.

$$C = \frac{M_{850}}{M_{sèche}} \times 100 \quad (3)$$

Avec C : taux de cendres exprimé en (%)

M_{850} : masse obtenue après chauffage à 805°C

$M_{sèche}$: masse d'échantillon

II.5.3.4. Teneur en Carbone fixe (CF) :

Le carbone fixe a un grand potentiel énergétique. C'est la quantité du carbone restante après élimination des matières volatiles, des cendres et d'humidité. Il différé du carbone totale qui est la somme du carbone fixe et la carbone contenue dans la partie volatilisée. Il est calculé avec la formule suivante :

$$CF = 100 - (TH + TMV + Tc) \quad (4)$$

Avec CF : taux de carbone fixe exprimé en (%)

TH : taux d'humidité exprimé en (%)

TMV : Taux d'humidité exprimé en (%)

TC : Taux d'humidité exprimé en (%)

II.5.3.5. Pouvoir calorifique inférieur (PCI) :

$$PCI = 80 (100 - C) \quad (5)$$

Avec PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur exprimé en kcal/kg

C : Taux de Cendre exprimé en (%)

II.5.4. Test d'efficiencia et d'efficacité énergétique des briquettes de balle de riz et de la paille de riz avec le bois énergie

Pour apprécier l'efficiencia / efficacité énergétique des briquettes à base de balle de riz ou à base de paille de riz confectionnées, plusieurs tests ont été réalisés avec ces briquettes pour pouvoir évaluer leur performance vis-à-vis des combustibles usuels tels que le charbon de bois et le bois de feu). Parmi ces tests, on peut citer respectivement :

- **le Drop test,**
- **Tests d'Ébullition d'Eau (TEE) et les Tests de Cuisine Contrôlée (TCC) moyennant un foyer amélioré bien défini. Le foyer amélioré utilisé dans ce cadre est le Foyer Mitsitsy du CNRIT ;**

De plus, l'efficiencia/efficacité énergétique des briquettes confectionnées exige respectivement :

- **La détermination de la consommation (kg/h) en combustible (briquettes à base de balle de riz ou à base de paille de riz) en utilisant le même foyer amélioré et dans les mêmes conditions (même lieu de combustion, même équipement de cuisson utilisé,...) ;**
- **L'évaluation de la puissance, du rendement du foyer amélioré employé en utilisant respectivement et dans les mêmes conditions les briquettes à base de balle de riz ou à base de paille de riz fabriquées ;**
- **L'évaluation de la quantité d'énergie émise lors de la combustion des briquettes à base de balle de riz ou à base de paille par l'utilisation du même foyer et dans les mêmes conditions qu'auparavant.**

II.5.4.1. Drop Test des briquettes de balle de riz et de la paille de riz

Ce test constitue une simulation des sollicitations subies par le combustible lors du transport et la manutention. C'est un test universellement reconnu pour apprécier la friabilité des combustibles.

• Objectif du test :

Ce test met en relief une nette corrélation entre la teneur en liant et l'aptitude du combustible à résister à l'effritement.

Le test consiste à laisser tomber à partir de plusieurs hauteurs tous les combustibles à tester et de déterminer le comportement de chaque combustible à partir de chaque hauteur de chute.

• Déroulement du test :

Le test a été réalisé selon l'ordre chronologique suivant :

- Choix de la hauteur de chute des combustibles : quatre hauteurs de chute ont été choisies : 0,5 m, 1 m, 1,5 m et 1,90 m
- On laisse tomber un à un les combustibles à tester à partir de chaque hauteur de chute

Après la chute, on apprécie le comportement de chaque combustible.

II.5.4.2. Test de Cuisine Contrôlé (TCC)

Le test de cuisine contrôlée (TCC) consiste à déterminer le temps de cuisson idéale pour tout type de plat de cuisson par l'utilisation de brique de balle de riz et paille de riz et du matériel de cuisson (foyer amélioré ou non, bouilloire).

Plusieurs types de plats y ont été cuits pour tester voire évaluer la performance de la brique de balle de riz et paille de riz face au charbon de bois et au bois de chauffe. Ces tests ont permis non seulement de comparer la durée de cuisson par type d'aliment ou de mets et par type de brique mais aussi la qualité de cuisson, c'est-à-dire la qualité des plats cuits afin de choisir le bon combustible utilisé.

II.5.4.3. Détermination de la consommation (kg/h) en combustible (briques à base de balle de riz ou à base de paille de riz)

La consommation moyenne en combustible (kg/h) sera déterminée à partir des valeurs moyennes issues des tests d'ébullition d'eau effectués.

La formule utilisée pour calculer la consommation moyenne en combustible [Kg/h] sera la suivante :

- **Consommation moyenne en Combustible** = $\frac{\text{Combustible consommé}}{\text{Durée de la combustion}}$

Où :

$$\text{Combustible consommé} = \text{Combustible initial} - \text{Imbrulé} \quad (7)$$

$$\text{Durée de la combustion} = \text{Durée d'ébullition de l'eau} + \frac{1}{4} \text{ d'heure} \quad (8)$$

La consommation moyenne en combustible (kg/h) est donc égale à la valeur du rapport entre la moyenne de la quantité du combustible consommé avec celle de la durée d'ébullition d'eau plus 15 minutes

II.5.4.4. Evaluation de la puissance du foyer par type de brique à base de balle de riz ou de paille de riz

La puissance est définie comme étant la dérivée de l'énergie par rapport au temps

$$P = \frac{dE(t)}{dt} \quad (9)$$

Pour notre cas, il s'agit de déterminer une valeur de puissance calorifique constante. On peut donc écrire ;

$$P = \frac{Q}{t} \quad (10)$$

Où : Q : représente l'énergie utile, c'est-à-dire l'énergie transmise par le foyer à la marmite,

t : le temps ou la durée totale du test

L'énergie utile est fonction de la quantité de chaleur accumulée par l'eau entre sa température initiale et sa température d'ébullition et de la chaleur latente de l'eau évaporée :

$$Q = C_{\text{eau}} \times M_{\text{eau initiale}} \times (T_{\text{ébullition}} - T_{\text{initiale}}) + L_{\text{eau}} \times (M_{\text{eau initiale}} - M_{\text{restante}}) \quad (11)$$

Et par suite :

$$P = \frac{C_{\text{eau}} \times M_{\text{eau initiale}} \times (T_{\text{ébullition}} - T_{\text{initiale}}) + L_{\text{eau}} \times (M_{\text{eau initiale}} - M_{\text{restante}})}{t} \quad (12)$$

Où :

Chaleur massique de l'eau (J/kg. °C)	C_{eau}	4180 J/kg. °C
Chaleur latent de vaporisation de l'eau (J/kg)	L'_{eau}	2260000 J/kg
Masse d'eau initiale	$M_{\text{eau initiale}}$	kg
Masse d'eau restante après le test	$M_{\text{eau restante}}$	kg
Energie transmise par le foyer à la marmite(J)	Q	Joule
Puissance du foyer(Watt)	p	Seconde
Rendement du foyer (%)	η	Watt

II.5.4.5. Evaluation de l'efficience de chaque type de brique à base de riz ou de paille de riz

L'évaluation de l'efficience du foyer s'effectue à partir du calcul du rendement. Par définition, le rendement c'est le rapport entre l'énergie transmise par le foyer à la marmite et l'énergie contenue dans le combustible brûlé.

Soit :

$$\eta = \frac{Q}{P_{\text{c combustible}} \times P_{\text{combustible}}} \quad (13)$$

Ou bien

$$\eta = \frac{C_{\text{eau}} \times M_{\text{eau initiale}} \times (T_{\text{ébullition}} - T_{\text{initiale}}) + L_{\text{eau}} \times (M_{\text{eau initiale}} - M_{\text{restante}})}{P_{\text{c combustible}} \times P_{\text{combustible}}} \quad (14)$$

PC combustible	Pouvoir calorifique du combustible (Charbon de bois), soit :	Kcal/kg
	PCCHB	
P combustible	Poids du combustible consommé (Charbon de bois), soit : PCHB	kg
η	Rendement du foyer	Pourcent (%)

II.6. Résultats

Cette partie présente respectivement les résultats des valeurs des caractères physicochimiques, l'évolution des masses des briquettes produites, les Tests d'Ébullition d'Eau (TEE), les tests d'efficience et d'efficacité énergétique et enfin les Tests de Cuisine contrôlée (TCC) relatifs aux différents plats les plus consommés des ménages malgaches. .

II.6.1. Les caractères physico-chimiques des briquettes de balle de riz et de paille de riz

II.6.1.1. Caractères physico-chimiques des briquettes de balle de riz

Cette partie fournit la valeur des caractères physico-chimiques des briquettes de balle de riz dont l'humidité, la teneur en Matière volatile, la teneur en cendre, la teneur en carbone fixe et le Pouvoir calorifique inférieur (PCI).

- Teneur en humidité (H)

Tableau 5 : Taux d'humidité

ESSAIS	Humidité (%)
n°1	16,33
n°2	16,44
n°3	14,29

Ce tableau informe le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination de la teneur en humidité.

La teneur en humidité du troisième essai est la plus basse en raison de la brique la plus sèche.

- Teneur en Matière volatile (MV):

Tableau 6 : Teneur en Matière volatile.

ESSAIS	MV (%)
n°1	21,27
n°2	21,74
n°3	23,04

Ce tableau illustre le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination de la teneur en matière volatile. Nous constatons pour l'essai n°3 que plus sa teneur en humidité est le plus faible plus sa teneur en matière volatile est le plus élevée.

- Teneur en Cendre (C) :

Tableau 7 : Teneur en Cendre.

ESSAIS	C (%)
n°1	45,90
n°2	45,50
n°3	48,07

Ce tableau illustre le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination de la teneur en Cendre. Nous constatons pour l'essai n°3 que plus sa teneur en humidité est le plus faible plus sa teneur en cendre est le plus élevée.

- Teneur en Carbone fixe (CF) :

Tableau 8 : Teneur en Carbone fixe.

ESSAIS	CF (%)
n°1	20,46
n°2	19,45
n°3	17,49

Ce tableau illustre le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination de la teneur en Carbone fixe. Nous constatons pour l'essai n°3 que c'est l'essai qui a la teneur plus élevée en matière volatile et en cendre donc sa teneur en carbone fixe est la plus faible.

- Détermination du Pouvoir calorifique inférieur (PCI) moyen :

Tableau 9 : PCI moyen des briquettes de balle de riz.

ESSAIS	(PCI) moyen
n°1	4487,61
n°2	4359,99
n°3	3994,39
Moyenne	4280,66

Ce tableau informe le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination du pouvoir calorifique moyen des briquettes de balle de riz évalué à 4280,66 kcal/kg.

II.6.1.2. Caractères physico-chimiques des briquettes de paille de riz

Cette partie informe les caractères physico-chimiques des briquettes de paille de riz dont l'humidité, la teneur en Matière volatile, la teneur en cendre, la teneur en carbone fixe et le Pouvoir calorifique inférieur (PCI).

- Taux d'humidité (H)

Tableau 10 : Taux d'humidité

ESSAIS	Humidité (%)
n°1	11,15
n°2	9,47
n°3	9,66

Ce tableau informe le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination de la teneur en humidité.

La teneur en humidité du premier essai est la plus élevée en raison de la briquette la plus humide.

- Teneur en Matière volatile (MV):

Tableau 11 : Teneur en Matière volatile.

ESSAIS	MV (%)
n°1	19,52
n°2	17,59
n°3	22,63

La paille de riz présente un taux de matière volatile plus faible par rapport à la balle de riz ce qui résulte que la paille de riz a une inflammabilité supérieure au balle de riz.

- Teneur en Cendre (C) :

Tableau 12 : Teneur en Cendre.

ESSAIS	C (%)
n°1	35,41
n°2	37,73
n°3	40,43

Le taux de cendre de la paille de riz est inférieur par rapport à la balle de riz. C'est dû à qualité de la matière minérale contenue dans la paille de riz.

- Teneur en Carbone fixe (CF) :

Tableau 13 : Teneur en Carbone fixe.

ESSAIS	CF (%)
n°1	28,27

n°2	29,20
n°3	22,92

Pour le carbone fixe, la paille de riz dispose d'un taux de carbone fixe plus élevé par rapport à la balle de riz. Ce qui montre que la paille de riz est plus intéressant par rapport à la balle de riz sur le plan purement énergétique.

- Détermination du Pouvoir calorifique inférieur (PCI) moyen :

Tableau 14 : PCI moyen des briquettes de paille de riz.

ESSAIS	(PCI) moyen
n°1	5167,28
n°2	4981,88
n°3	4765,24
Moyenne	4971,46

Ce tableau informe le résultat des trois essais d'expérimentation pour la détermination du pouvoir calorifique moyen des briquettes de paille de riz évalué à 4971,46 kcal/kg.

II.6.1.3. Comparaison du pouvoir calorifique des briquettes de balle de riz et briquettes de paille de riz avec les combustibles les plus connus

Tableau 15 : les valeurs moyennes du PCI des briquettes confectionnées et les autres combustibles

Combustibles	PCI (J/kg)	PCI (kcal/kg)
Balle de riz	17 893 174	4 280,66
Paille de riz	20 780 722,45	4 971,46
charbon du bois	28 006 000	6700
bois de chauffe	18 183 000	4 350

Source : Auteur, 2021

Les résultats obtenus dans le tableau montrent que la briquette la plus intéressante est la briquette de paille de riz dont le pouvoir calorifique est de 20 780 722,45 J/kg. Le PCI de cette briquette est encore plus élevé que celui du combustible usuel comme le bois de chauffe qui est de 18 183 000 J/kg.

II.6.2. Test d'efficience et d'efficacité énergétique

D'après les différents tests effectués au laboratoire du CNRIT, les briquettes à base de balle de riz ou de paille de riz sont aptes à cuire comme les autres combustibles usuels tels que le bois énergie. Ce qui reste à déterminer ce sont respectivement : les TEE, les TCC, la performance de chaque briquette produite vis à vis du feu et confirmée par le biais de la consommation en combustible du foyer considéré et enfin la puissance et l'efficience de chaque briquette par le biais du foyer amélioré utilisé pour la combustion des briquettes.

Nous essayons par la suite de calculer les TEE, les TCC, la performance, la puissance et l'efficience de chaque type de briquette à base de balle de riz ou paille de riz.

Le résultat du test d'efficience et d'efficacité énergétique des briquettes à base de balle de riz et à base de paille de riz est récapitulé dans les différents tableaux ci-dessous

II.6.2.1. TEE des briquettes de balle de riz

II.6.2.1.1. TEE des briquettes de balle de riz

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests d'Ebullition d'Eau (TEE) effectué et utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 16 : Résultat TEE briquette de balle de riz

TESTS	Tamb (°C)	Ti Eau (°C)	Pi (Eau) (kg)	Pi (Eau +B) (kg)	PAPEB(Eau + B) (kg)	Peau Volatilisée (kg)	Pi (CHB) (Kg)	P CHB imbrulé (kg)	P CHB consommé (kg/h)	Durée ébullition			
										T _{EB(mn)}	T _{F(mn)}	T _{F(sec)}	T _{F(h)}
TEST 1	19,4	16,8	2,5	3,752	3,622	0,13	0,5	0,34	0,16	40	55	3300	0,917
TEST 2	18,8	16,8	2,5	3,752	3,668	0,084	0,5	0,276	0,224	45	60	3600	1
TEST 3	17,8	16,1	2,5	3,752	3,614	0,138	0,5	0,26	0,24	43	58	3480	0,967
Valeur moyenne	18,667	16,567	2,5	3,752	3,6347	0,1173	0,500	0,292	0,208			3460	0,961
Consommation moyenne (kg/h)									0,216				

Source : Auteur, 2021.

Ce tableau montre que la consommation moyenne en briquette de balle de riz est de 0,216 kg/h par l'utilisation de foyer mitsitsy du CNRIT. La durée totale du test est de 0,9 heure.

II.6.2.1.2. Energie transmise, Puissance et Efficience de briquette de balle de riz

Le tableau suivant récapitule respectivement l'énergie transmise au foyer par l'utilisation de briquette de balle de riz ainsi que la puissance et l'efficience de la briquette.

Tableau 17 : Energie transmise, Puissance et Efficience de la briquette de balle de riz

Désignations	Résultats
Energie transmise par le foyer à la marmite Q [J]	1 084 722,85
Puissance du foyer P [Watt]	313,50
Rendement du foyer [%]	29,15

Source : Auteur, 2021.

- *Du point de vue énergie transmise par le foyer à la marmite par l'utilisation de ces combustibles, c'est le charbon de bois est le plus intéressant par rapport à ces autres combustibles car il dispose une énergie de 1 943 824 J qui est la plus supérieure.*
- *Du point de vue en rendement, la brique de paille de riz est la plus rentable par rapport à tous les autres combustibles.*

II.6.2.2. Briquettes de paille de riz

II.6.2.2.1. TEE brique de paille de riz

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests d'Ebullition d'Eau (TEE) effectué et utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 18 : Résultat TEE briquettes de paille de riz

TESTS	Tamb (°C)	Ti Eau (°C)	Pi (Eau) (kg)	Pi (Eau +B) (kg)	PAPEB(Eau + B) (kg)	PEau Volatilisée (kg)	Pi (CHB) (Kg)	P CHB imbrulé (kg)	P CHB consommé (kg/h)	Durée ébullition			
										TEB(mn)	TF(mn)	TF(sec)	TF(h)
TEST 1	17,6	15,4	2,5	3,616	3,466	0,15	0,5	0,316	0,184	34	49	2940	0,817
TEST 2	17,1	16,6	2,5	3,616	3,486	0,13	0,5	0,286	0,214	29	44	2640	0,733
TEST 3	18,7	16,1	2,5	3,616	3,486	0,13	0,5	0,298	0,202	35	50	3000	0,833
Valeur moyenne	17,800	16,03	2,500	3,616	3,4793	0,1367	0,500	0,300	0,200			2860	0,794
Consommation moyenne (kg/h)									0,252				

Source : Auteur, 2021.

Ce tableau montre que la consommation moyenne en brique de paille de riz est de 0,252 kg/h par l'utilisation de foyer mitsitsy du CNRIT. La durée totale du test est de 0,794 heure.

II.6.2.2.2. Energie transmise, Puissance et Efficience de brique de paille de riz

Le tableau suivant récapitule respectivement l'énergie transmise au foyer par l'utilisation de brique de paille de riz ainsi que la puissance et l'efficience de la brique.

Tableau 19 : Energie transmise, Puissance et Efficience de la brique de paille de riz

Désignations	Résultats
Energie transmise par le foyer à la marmite Q [J]	1 134 178,50
Puissance du foyer P [Watt]	396,57
Rendement du foyer [%]	27,29

Source : Auteur, 2021.

Du point de vue en rendement, la brique de paille de riz est la plus intéressante par rapport au charbon de bois et bois de chauffe.

II.6.2.3. Charbon de bois

II.6.2.3.1. TEE du charbon de bois

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests d'Ebullition d'Eau (TEE) effectué et utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 20 : Résultat TEE brique de paille de riz

TESTS	T amb (°C)	Ti Eau (°C)	Pi Eau (Kg)	Pi (Eau +M) (Kg)	Pf (Eau + M) (kg)	P Eau volatilisée (kg)	Pi CHB (kg)	P CHB imbrulé (kg)	P CHB consommé (kg/h)	Durée Ebullition			
										T EB (mn)	T F(mn)	T F (sec)	T F(h)
TEST 1	23	21,2	2,5	3,284	2,844	0,44	0,5	0,158	0,342	38'23	53'23	3203	
TEST 2		21,7	2,5	3,284	2,762	0,522	0,5	0,127	0,373	35'10	50'10	3010	
TEST 3		21,9	2,5	3,284	2,724	0,56	0,5	0,257	0,243	35'03	50'03	3003	
TEST 4		22,1	2,5	3,284	2,658	0,626	0,5	0,269	0,231	35'02	50'02	3002	
TEST 5		22,5	2,5	3,284	2,822	0,462	0,5	0,227	0,273	35'58	50'58	3058	
VALEUR MOYENNE		21,88	2,5	3,284	2,762	0,522			0,2924			3055,2	0,8
Consommation moyenne (KG/h)									0,345				

Source : Auteur, 2021.

Ce tableau montre que la consommation moyenne en charbon de bois qui est de 0,345 kg/h par l'utilisation de foyer mitsitsy du CNRIT. La durée totale du test est de 0,8 heure.

II.6.2.3.2. Energie transmise, Puissance et Efficience du charbon de bois

Le tableau suivant récapitule respectivement l'énergie transmise au foyer par l'utilisation du charbon de bois ainsi que la puissance et l'efficience du charbon de bois.

Tableau 21 : Energie transmise, Puissance et Efficience du charbon de bois

Désignations	Résultats
Energie transmise par le foyer à la marmite Q [J]	1943824
Puissance du foyer P [W]	636,23
Rendement du foyer [%]	23,74

Source : Auteur, 2021.

Le charbon de bois est le combustible le plus puissant par rapport aux autres combustibles avec une puissance de 636,23 W

II.6.2.4. Bois de chauffe

II.6.2.4.1. TEE du bois de chauffe

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests d'Ebullition d'Eau (TEE) effectué et utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 22 : Résultat TEE du bois de chauffe

TESTS	la consommation en bois de chauffe avec du foyer amélioré									Durée Ebullition			
	T amb (°C)	Ti Eau (°C)	Pi Eau (Kg)	Pi (Eau +M) (kg)	Pf (Eau + M) (kg)	P Eau volatilisé (kg)	Pi BCH (kg)	P BCH imbrulé (kg)	P BCH consommé (kg/h)				
										T EB (mm)	T F(mm)	T F (sec)	T F(h)
TEST 1	23	20,4	2,5	3,284	2,662	0,622	0,5	0,055	0,445	35'02	50'02	3002	
TEST 2	23	20,6	2,5	3,284	2,794	0,49	0,5	0,044	0,456	35'50	50'50	3050	

Potentialités En Déchets Rizicoles : Gage De l'Electrification Et Du Développement Durable. Cas De La Commune Rurale d'Ambohijanahary, District d'Amparafaravola, Région Alaotra Mangoro, Madagascar

TEST 3	23 ,4	21,1	2,5	3,284	2,912	0,372	0,5	0,044	0,456	35'38	50'38	3038	
TEST 4	23,1	21,5	2,5	3,284	2,986	0,298	0,5	0,041	0,459	35'32	50'32	3032	
TEST 5	23	21,4	2,5	3,284	2,918	0,366	0,5	0,036	0,464	35'52	50'52	3052	
VALEUR MOYENNE		21	2,5	3,284	2,8544	0,4296			0,456			3035	0,8
Consommation moyenne (Kg/h)									0,541				

Source : Auteur, 2021.

Ce tableau montre que la consommation moyenne en bois de chauffe qui est de 0,541 kg/h par l'utilisation de foyer mitsitsy du CNRIT. La durée totale du test est de 0,8 heure.

1.1.1.1.1 II.6.2.4.2. Energie transmise, Puissance et Efficience bois de chauffe

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests d'Ebullition d'Eau (TEE) effectué et utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 23 : Energie transmise, Puissance et Efficience du bois de chauffe

Désignations	Résultats
Energie transmise par le foyer à la marmite Q [J]	1744196
Puissance du foyer P [W]	574,73
Rendement du foyer [%]	21,04

Source : Auteur, 2021.

Parmi tous les combustibles, le bois de chauffe est le plus faible en rendement avec une valeur de 21,04 %.

II.6.3. Tableau récapitulatif de l'efficience/efficacité énergétique des briquettes de balle de riz et paille de riz par rapport au bois énergie

Afin de classer les quatre combustibles (briquettes de balle de riz et paille de riz, charbon de bois et bois de chauffe) étudiés après les différents tests réalisés, le tableau 36 récapitule tous les résultats y obtenus.

Tableau 24 : Récapitulatif de l'efficience/efficacité énergétique des briquettes de balle de riz et paille de riz par rapport au bois énergie

Caractéristiques techniques	briquettes de balle de riz	Brique de paille de riz	Charbon de bois	Bois de chauffe
Consommation moyenne (kg/h)	0,216	0,252	0,345	0,541
Pouvoir calorifique inférieur (J/kg)	17 893 174,44	20 780 722,45	28 006 000	18 183 000
Energie transmise par le foyer à la marmite (J)	1 084 722,85	1 134 178,50	1 943 824	1 744 196
Puissance (Watt)	313,50	396,57	636,23	574,73
Rendement (%)	29,15	27,29	23,74	21,04
Observations	Brique la plus intéressante			

Source : Auteur, 2021.

Ce tableau présente les cinq paramètres permettant de classer l'efficience/efficacité d'un combustible. Du point de vue consommation moyenne en combustible, la brique de balle de riz est la plus économique avec une faible consommation de l'ordre de 0,216 kg/h par rapport à celle de paille de riz avec 0,252 kg/h. Le charbon de bois tient la troisième place avec une consommation de 0,345 kg/h suivi par le bois de chauffe avec 0,541 kg/h. En tenant compte de ces résultats, les briquettes de déchets rizicoles sont aptes à concurrencer le bois énergie.

Du point de vue rendement thermique, ce sont les briquettes des déchets rizicoles qui sont les plus intéressantes face au bois énergie.

II.6.4. Test de Cuisine Contrôlée (TCC) avec les briquettes de balle de riz et de la paille de riz et étude comparative avec le bois énergie

Pour évaluer l'efficience /efficacité des briquettes de balle et de paille de riz, des Tests de cuisine contrôlée ont été effectués pour la cuisson des plats préférés de la population Malgache dont la cuisson de riz pour un ménage de taille égale à 4,9.

II.6.4.1. TCC avec les briquettes de balle de riz

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests de Cuisine Contrôlée (TCC) effectués en utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 25 : Résultat des Tests de Cuisine Contrôlée (TCC) des briquettes de balle de riz

Désignation	Valeur	Unité
poids du riz	860	g
poids eau	1500	g
Poids total aliments	2360	g
Poids charbon	424	g
Ajout charbon		g
Imbrulés	240	g
combustible consommé	180	g
Début de cuisson riz	8 : 00	heure
Fin de cuisson riz	8 : 49	heure
Temps de cuisson riz	49	Minute

Source : Auteur, 2021.

II.6.4.2. TCC avec les briquettes de paille de riz

Le tableau suivant récapitule le résultat des Tests de Cuisine Contrôlée (TCC) effectués en utilisant le foyer Mitsitsy du CNRIT.

Tableau 26 : Résultat des Tests de Cuisine Contrôlée (TCC) des briquettes de paille de riz

Désignation	Valeur	Unité
poids du riz	860	g
poids eau	1500	g
Poids total aliments	2360	g
Poids charbon	330	g
Ajout charbon		g
Imbrulés	140	g
combustible consommé	190	g
Début de cuisson riz	8 : 15	heure
Fin de cuisson riz	9 : 02	heure
Temps de cuisson riz	47	Minute

Source : Auteur, 2021.

Pour les cuissons des plats énergétivores tels que les haricots et manioc secs, la brique de balle de riz et paille de riz dispose d'une performance significative et incomparable avec les combustibles usuels. Par contre, pour la cuisson des plats habituels comme le riz ou le bouillon, les combustibles usuels sont les plus importants. En bref, les briquettes de balle de riz et paille de riz sont intéressantes pour les plats énergétivores et présentant un avantage particulier sur le plan économique et écologique. Ces briquettes ne polluent pas l'atmosphère et son utilisation contribuera largement à la diminution de la déforestation.

III. CONCLUSION

Ce travail de recherches a confirmé que la commune rurale d'Ambohijanahary, district d'Amparafaravola, région Alaotra Mangoro, dispose beaucoup de ressources valorisables. Les déchets rizicoles sont parmi ces ressources. La transformation de ces déchets rizicoles ; balles de riz et paille de riz sous forme de brique est possible et faisable techniquement. La technologie appropriée est la densification. Les résultats issus de ce travail de recherches sont probants entre autres :

- La commune rurale d'Ambohijanahary dispose 5453 ha de terrain rizicole avec une production annuelle en paddy de 13 632 t/an qui génère 12 333,71 t/an de déchets rizicoles dont 4544 t/an de balle de riz et 7789,71 t/an de paille de riz ;
- La détermination des caractères physico chimiques de ces briques combustibles a permis de disposer le pouvoir calorifique inférieur de 4280,66 kcal/kg pour la brique de balle de riz et 4971,46 kcal/kg pour celle de la paille de riz ;
- La puissance fournie par les briques est de 313,50 w pour la balle de riz et 396,57 w pour la paille ;
- La consommation horaire en combustible est de 0,216 kg/h pour la balle et 0,252 kg/h pour la paille ;
- Les déchets rizicoles sont suffisants pour électrifier annuellement la commune rurale d'Ambohijanahary, car 12,84% de l'énergie totale générée par les déchets suffisent pour la satisfaction des besoins énergétiques de la commune et les 87,16% peuvent être employés à d'autres options importantes de la commune.

Pour clore ce travail de recherches, la commune rurale d'Ambohijanahary n'a pas besoin d'autres ressources énergétiques pour électrifier ladite commune. Ses ressources en déchets rizicoles suffisent pour leur besoin énergétique. Ainsi, le développement local n'a pas de problème pour se lancer car l'énergie est déjà disponible en permanence qui est le moteur de tout développement.

RÉFÉRENCES

- [B1]-AHMED Said « Contribution à l'étude de potentialité et valorisation de la biomasse à Madagascar. Application de gazéification sur les résidus de riz » Diplôme d'Etudes Approfondies en Génie Minéral, (2007-2008)
- [B2]-Assemblée Parlementaire, « les systèmes énergétiques et l'environnement », Déc, 10486, 30 mars 2005.
- [B3]-Association Française pour l'hydrogène et les piles à combustible « Mémento de l'hydrogène » Fiche 2.1, Octobre 2017.
- [B4]-Bhattacharya, S.C, Augustus Léon, M and Mizanur Rahman, Md, 2002, A study on improved biomass briquetting, Energy for sustainable development, 6 n°2, pp67-77.
- [B5]-Biomasse Energie et Electrification Rurale, Projet FED 9 ACP RPR 49± 31, BIOENERGELEC, 3 Novembre 2020.
- [B6]-Bois International, 2008, Plaquettes et granulés de bois pour le chauffage domestique et le petit collectif, cahier du bois énergie n°37, Biomasse Normandie, pp45-56.
- [B7]-CATTENEO, D, 2003, Le briquetage : une technique à redécouvrir, Bois énergie n°2, pp 43-45.
- [B8]-CHIN, O.C and SIDDIQUI, K.M, 2000, characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures, Biomass and bioenergy, 18, pp 223-228.
- [B9]- CIRAD (2019), "La recherche agronomique pour le développement"
- [B10]-Coubert c (2007), Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés : production de gaz de synthèse (Doctorat dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines Paris)
- [B11]-Dénis Babusiaux et Jean Coiffard, « l'effet de serre » Magazine N°555 Mai 2000
- [B12]-EIA International energy Outlook, novembre 2017.
- [B13]-ERIKSSON, S and PRIOR, M. ,1990, The briquetting of agricultural wastes for fuel, FAO Environment and Energy Paper 11, FAO of the UN, Rome, Italy, Available on www. Fao. org

Webographies

[W1]-http://www.iea.org/publications/publications/kew_worl_2017.pdf

[W2]- http://www.cea.fr/multimédia/Documents/publications/ouvrages/memento-sur_énergie2016.pdf

[W3]- <http://www.lea.org/Textbase/npsun/resources2013SUM.pdf>

[W4]- <http://www.Ambohijanahary-wikipedia> (juillet 2021)

[W5]-<http://www.pelletclub.org>