

Valorisation Energétique De Déchets Des Filtres Oléophiles Et Roche Carbonée Sans Huile Pyrolytique En Briquette Combustible Ecologique : Cas De Galana Raffinerie Terminale Toamasina Et Tourbe De Belazao

[Energy Recovery From Oleophilic Filter Waste And Pyrolytic Oil-Free Carbonaceous Rock Into Ecological Fuel Briquettes: The Case Of Galana Raffinerie Terminale Toamasina And Belazao Peat]

Ramamonjisoa Mamitiana¹, Ravoninjatovo Achille², Rasoanaivo Jean Luc³, Andrianaivo Lala⁴

¹Centre National de Recherches Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar
Email : mtr_mamitiana@yahoo.fr
mtr.mamitianar@gmail.com

²Centre National de Recherches Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar
Email : achillegc@yahoo.fr

³Centre National de Recherches Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar
Email : jeanlucnj@gmail.com

⁴Ecole supérieure Polytechnique Antananarivo
Antananarivo, Madagascar
Email : aandrianaivoo@gmail.com



Résumé – En tant que pays non producteur de pétrole, Madagascar a axé sa nouvelle politique énergétique (NPE) vers la pratique de la politique de diversification des sources d'énergie. C'est dans ce cadre que ce travail de recherche a été focalisé sur la valorisation des ressources énergétiques non exploitées ou faiblement exploitées telles que la tourbe dans la commune rurale de Belazao de la région Vakinankaratra et les déchets issus des filtres oleophiles de la Galana Raffinerie de Toamasina (GRT). La tourbe et les déchets issus des filtres oleophiles de GRT, sont toutes des ressources potentielles mais non exploitées. L'objectif de notre étude est de trouver une nouvelle formule permettant de fabriquer des briquettes combustibles à partir de ces ressources. L'atteinte de l'objectif doit passer à travers les différentes activités suivantes : collecte des informations sur la tourbe dans ladite commune et sur les déchets de GRT ; extraction par voie sèche le jus pyrolytique de la tourbe ; recherche d'une meilleure composition en tourbe dépourvue de jus pyrolytique et en déchets issus des filtres pour la production de meilleure briquette combustible ; réalisation respectives d'essais de compactage, de résistance à la compression et détermination des caractères physico chimiques. Des essais de cuisson ont été réalisés avec du foyer avec cheminée par

rapport au foyer ouvert utilisé couramment par les ménages. Ce dernier essai a pour finalité de réduire voire éliminer la fumée provenant de la combustion. Les résultats sont probants montrant que les briquettes produites sont compactes et efficaces énergétiquement.

Mots Clés – Tourbe, Huile Pyrolytique, Déchets GRT, Briquette Combustible, Caractère Physico Chimiques, Efficience Energétique, Test De Cuisson, Foyer A Cheminée.

Abstract – As a non-oil-producing country, Madagascar has focused its new energy policy (NPE) on diversifying its energy sources. It is within this framework that this research work focused on the valorization of untapped or poorly exploited energy resources, such as peat in the rural commune of Belazao in the Vakinankaratra region, and waste from the oleophilic filters of the Galana Raffinerie de Toamasina (GRT). Peat and waste from GRT's oleophilic filters are all potential but untapped resources. The aim of our study is to find a new formula for making fuel briquettes from these resources. To achieve this objective, the following activities had to be carried out: gathering information on peat in the said commune and on GRT waste; extracting pyrolytic juice from peat using a dry process; finding a better composition of peat free of pyrolytic juice and filter waste for the production of better fuel briquettes; carrying out respective compaction and compressive strength tests and determining physico-chemical characteristics. Cooking trials were carried out using a fireplace with a chimney, as opposed to the open hearth commonly used by households. The aim of the latter was to reduce or even eliminate the smoke produced by combustion. The results are conclusive, showing that the briquettes produced are compact and energy-efficient.

Key Words – Peat, Oil Pyrolytic, GRT Waste, Briquette Fuel, Physical-Chemical Properties, Energy Efficiency, Cooking Test, Fireplace With Chimney.

1. INTRODUCTION

Madagascar connu depuis longtemps par ses richesses aussi bien en sous-sol, marine et terrestre. Pourtant ces ressources ne sont pas exploitées pour diverses raisons dont l'inexistence de personnel expérimenté dans ces domaines, l'investissement initial trop élevé, il n'y a pas de bailleur de fond pour l'exploitation. Parmi ces ressources, on peut citer respectivement : Le potentiel hydroélectrique à Madagascar [1], est estimé à environ 7 800 MW, mais seulement 2% de ce potentiel correspondant à 127 MW qui est exploité (WWF, 2012). En ce qui concerne le potentiel solaire, presque toutes les régions de Madagascar reçoivent plus de 2 800 heures de soleil par an, un des taux les plus élevés au monde, soit une énergie solaire incidente moyenne de l'ordre de 2 000 kWh/m²/an[1], [2].

Du point de vue gisement éolien, Madagascar figure parmi les 15 pays africains présentant de grands gisements éoliens, en particulier dans le Nord et le Sud du pays. Dans la partie Nord, autour d'Antsiranana, les vents forts appelés *Varatraza* soufflent plus de la moitié de l'année, enregistrant une moyenne de 6 à 8 m/s à 50 m de hauteur, tandis qu'au Sud, autour de Taolagnaro, le *Tsioka atsimo* souffle, à une vitesse moyenne de 8 à 9 m/s. Au centre du pays, des vents constants ont été enregistrés à une vitesse de 6 à 6,5 m/s. La capacité potentielle est d'environ 2 000 MW pour la production d'électricité.

-En géothermique et marémotrice, Madagascar possède un potentiel géothermique estimé à plus de 350 MW [2], [3], et présente un certain nombre de zones géothermiques intéressantes de basse à moyenne enthalpie. Des températures souterraines pouvant atteindre 250°C ont été relevées sur 8 zones du pays ;

-En biomasse, Plus de 80% de la population malagasy vit de l'agriculture, un secteur qui produit de nombreux déchets végétaux non exploités. Le potentiel varie, selon les sites et les matières premières, de quelques kW à plus de 150 MW [1], [4].

Ces ressources sus-énumérées sont exploitées ou faiblement exploitées et n'arrivent pas à satisfaire les besoins quotidiens de la population. De plus, l'offre énergétique à Madagascar est dominée à 92% par le bois-énergie [2], favorisant non seulement une diminution rapide de la couverture forestière de la Grande Ile mais émet des Gaz à effet non hygiéniques et nocifs à l'environnement en général. Une telle consommation est due essentiellement aux besoins des ménages (cuisson...), des commerçants (restaurateurs...) et des artisans (forgerons...).

Par ailleurs, Madagascar pratique la politique de diversification des sources d'énergie pour assurer la satisfaction de ses besoins énergétiques quotidiens car elle est parmi les pays non producteurs de pétrole. C'est dans ce cadre que ce travail de recherche a été focalisé à la recherche de nouvelles sources d'énergie à travers la production de brique combustible à base de tourbe et de déchets issus des filtres oléophiles de la Galana Raffinerie de Toamasina. (GRT). Que ce soit la tourbe ou les déchets issus des filtres, ce sont toutes des ressources stockées et non exploitées mais qui méritent d'être valorisées puisque nous connaissons que l'énergie est le moteur de développement. Des questions se posent entre autres :

- Le pays dispose-t-il de ressources suffisantes en tourbe et en déchets issus des filtres oléophiles de GRT ?
- La production de brique combustible est-elle la solution la plus appropriée pour la valorisation des tourbes et des déchets issus des filtres oléophiles de GRT ?
- La brique à base de tourbe et de déchets issus des filtres est-elle hygiénique et écologique ?
- Cette brique à base de tourbe et de déchets issus des filtres est-elle apte à concurrencer le bois énergie ?

Le présent article essaie d'apporter des éclaircissements sur les diverses questions posées.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Zone d'étude : commune rurale de Belazao région Vakinankaratra et Galana Raffinerie Toamasina (GRT)

2.1.1 Commune rurale de Belazao région Vakinankaratra

Belazao est un ancien canton de 1960 à 1978. Elle est devenue Fihaisampokotany en 1979 jusqu'à 1992. 1992- 1996, c'était en 1996 que Belazao est devenue une Commune rurale. Belazao est une Commune rurale qui se trouve à l'intérieur de la Région de Vakinankaratra, district d'Antsirabe II, qui se trouve à 12 km d'Antsirabe I, à l'Ouest. Limitée par la commune rurale d'Antanimandry au Nord. Par Triteriva à l'Ouest. Au Sud par la commune rurale de Mangarano et à l'Est par la commune urbaine d'Antsirabe.

2.1.1.1 Présentation administrative de la commune rurale Belazao

Belazao a une superficie de 38.89 km² et se divise en 7 Fokontany qui sont :

- Anjanamiakatra à l'Est, avec une superficie de 7 km² ;
- Miadakofeno au Sud, 8 km² de superficie ;
- Ambohinapetraka, 4.20 km² au centre sud- ouest ;
- Tsarahasina, 5.89 km² à l'Ouest ;
- Amboniavaratra, 2.300 km² à l'Est ;
- Andranonandriana, 6 km² au sud-est ;
- Belazao, 6km² au centre et c'est le capital de la commune.

2.1.1.2 Ressources naturelles

Tableau 1: Ressources naturelles

Désignation	Long. /surf.	Localisation	Dénomination
Rivières	5 km 6 km 7 km	Tsarahasina	Sahalombo Mahatory Tatamahitsy
Forets	4 km /12Ha		Marohondry

Source : commune rurale Belazao

2.1.1.3 Géographie économique

Belazao est une commune à vocation agricole et élevage. Ces secteurs occupent l'essentiel de la population active. L'artisanat est un troisième secteur qui se favorise de plus en plus.

• Agriculture

L'agriculture est la principale activité de la commune de Belazao avec la prédominance de la culture vivrière : riz, manioc, maïs, pomme de terre, carotte et fruits et des cultures industrielles telles que l'orge.

• Elevage

L'élevage des volailles est le plus dominant par rapport à l'élevage bovin et porcin.

Peu de gens élèvent des moutons et des chèvres.

2.1.1.4 La localisation des sites de prise d'échantillon

Le tableau 2 montre la localisation des zones de prélèvement d'échantillon

Tableau 2: Localisation des prises d'échantillons

Echantillons	Commune Rurale	District	Coordonnées GPS
Tourbe de Belazao	Belazao	Antsirabe II	S 19°53'00" E 46°58'00"

Source : auteur



Fig. 1: Localisation de la zone d'étude et les prises d'échantillons (source : Google earth)

2.1.2 Galana Raffinerie Toamasina

La Galana Raffinerie Terminal S.A est une société opérant dans la réception, le stockage et la distribution des produits pétroliers importés à sa clientèle.

Créé en 1991, le groupe pétrolier indépendant GALANA était un des principaux fournisseurs de la SOLIMA. Le groupe GALANA a acquis deux lots parmi quatre lors du processus de privatisation en 2000, dans le but de lancer une stratégie d'intégration industrielle

- Le lot « distribution ». C'est ainsi qu'est née la Société Anonyme Galana Distribution Pétrolière (GDP);
- Le lot « raffinerie » qui est à l'origine de la Société Anonyme Galana Raffinerie Terminal (GRT).

A cause des impacts de la crise politique dans le pays qu'a subi la GRT en novembre 2002, le Président de la République a prévu la libéralisation du secteur pétrolier. Depuis 2003, la raffinerie a cessé de fonctionner, ne laissant ainsi que les premières unités de traitements, les bacs de stockage, les postes de chargement des camions et wagon-citerne et les installations portuaires opérationnelles.

En 2004, lors de la libéralisation du secteur pétrolier aval, la majorité des distributeurs, clients de GRT, ont décidé d'importer directement les produits pétroliers raffinés. L'introduction de nouvelles spécifications à Madagascar a été faite dont l'Essence Sans Plomb et la réduction de la teneur en soufre dans le Gasoil. En Août, un arrêt provisoire du raffinage a fait surface. La Direction a effectué des tentatives de redémarrage, mais sans résultat. Une période de transition a eu lieu et l'activité du raffinage a définitivement cessé en 2006. Par conséquent, la société a dû être réorganisée.

En 2017, la GALANA a été acquise par le groupe RUBIS. Comme produits, elle stocke principalement l'essence Sans Plomb 95, le Gasoil (500 ppm de soufre), le Jet A-1, le Fuel Oil, le pétrole lampant et le naphtha.

2.1.2.1 Identification

Ci-dessous les coordonnées administratives de la société:

- NIF: 100 000 4418
- STAT: 19 201 31 2006 0 00624
- RS: 1999 B 00 764
- Adresse: BP 433 Routes des Hydrocarbures Manangareza- Toamasina -Madagascar

2.1.2.2 Localisation

La société Galana Raffinerie Terminal (GRT) se situe sur la Côte Est de Madagascar, dans la ville de Toamasina. Elle a une superficie de 30 hectares. Au Nord, elle est limitée par le canal des Pangalanes, au Sud par une voie ferrée et à l'Ouest par des installations commerciales et une centaine d'habitations.

2.1.2.3 La réception des produits importés

Tous les produits pétroliers consommés par Madagascar sont importés et reçus une autre société du même Groupe Galana: Plateforme Terminal Pétrolière S.A. Des analyses des échantillons de ces produits à décharger sont indispensables, avant déchargement des navires, dans le but de conserver les normes et spécifications exigées. Un planning de déchargement doit être fait avant, afin de prévoir les éventuels interfaces. [5]



Fig. 2: Plateforme pétrolière (Source :_GRT)

2.1.2.4 La gestion du stockage des produits

Les produits pétroliers déchargés et analysés sont envoyés dans des bacs de stockage au sein de GRT à l'aide d'un réseau de 6 km de pipelines. La société possède actuellement 27 bacs et un, en cours de construction. Ces bacs sont répartis dans deux zones de stockages différents :

- Zone A : La zone A est composée de 5 réservoirs avec une capacité de stockage de $125\,000\text{ m}^3$. Le bac en cours de construction, destiné au stockage du fioul, se trouve également dans la zone A.
- Zone B : Celle – ci est composée de 22 réservoirs avec une capacité de stockage de $110\,000\text{ m}^3$.



Fig. 3 : de gauche à droite : Zone A, Zone B

2.2 Matériels de terrain

Les descentes au niveau des zones d'études ont permis d'utiliser les matériels suivants :

- Un appareil GPS (Global Position System) qui a permis de prendre les coordonnées géographiques pour localiser les lieux de prise d'échantillon ;
- Un appareil photo.
- Google Map permettant de voir :
 - la carte routière, topographique et Image satellitaire ont été nécessaires pour les différents déplacements sur terrain dans la zone d'études.
- Des sachets en plastique pour collecter les échantillons de sol pris dans la zone d'études.

2.3 Matériels utilisés

Les matériels utilisés sont nombreuses entre autres : pour la préparation des ingrédients, on a le broyeur artisanal, le tamis, des moules pour la production d'échantillon. Pour le compactage, on a une presse semi-hydraulique et une étuve pour le séchage de brique fabriquée.

Pour l'analyse des briquettes fabriquées, on a un four à moufle, une balance de précision.

Pour la détermination de l'efficacité des briquettes, on a utilisé une Presse hydraulique TESTWELL pour mesurer la résistance, une marmite Ambatolampy n°34

2.4 Matières premières

Le choix des matières premières se porte principalement sur sa disponibilité, sa facilité d'extraction et de récupération et sa rentabilité.

Dans notre étude, nous avons opté pour l'utilisation des matières premières suivantes :

- La tourbe ;
- Les filtres oléophiles souillées ;
- La farine de manioc.

Ils sont représentés dans la photo 1



Photo 1: De gauche à droite : Filtres oléophiles souillées, Tourbe, Farine de manioc

Comme combustible, nous avons utilisé les filtres oléophiles souillées de la GRT et la tourbe qui sert également de

support ; tous les deux, préalablement séchés à l'air libre. Ceux-ci présentent la plus haute teneur en énergie dans les briquettes. Les déchets de matières oléophiles jouent également le rôle d'accélérateur, ce qui donne aux briquettes le pouvoir de brûler rapidement contrairement au charbon de bois. La farine de manioc est le liant utilisé afin de lier les combustibles de sorte à maintenir une consistance uniforme.

2.5 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 ;
- Descente sur terrain : collecte de données et prise d'échantillon de tourbe à Belazao et des déchets issus des filtres oléophiles à la GRT Toamasina
- Détermination des caractères physico chimiques de la tourbe brute
- Extraction d'huile pyrolytique de la tourbe brute par distillation à voie sèche
- Broyage des déchets issus de filtres oléophiles en petits morceaux pour faciliter le mélange avec la tourbe broyée et dépourvue d'huile pyrolytique et le liant ;
- Recherche de meilleure composition en tourbe broyée et en déchets issus de filtres oléophiles de GRT broyés en petits morceaux
- Travaux de laboratoire : détermination des caractères physico-chimiques de briquette fabriquée à base de tourbe de Belazao et de déchets issus des filtres oléophiles de GRT Toamasina
- Test d'efficience et d'efficacité énergétique des briquettes à base de tourbe sans huile pyrolytique et de déchets issus des filtres oléophiles de GRT Toamasina par rapport au bois énergie (charbon de bois, bois de chauffe) ;
- Etude financière du projet.

2.5.1 Détermination des caractères physico chimiques de la tourbe brute

2.5.2 Extraction huile pyrolytique dans la tourbe par distillation à voie sèche

La distillation est une opération qui consiste à débarrasser un solide de ses divers composants. On a enlevé l'huile pyrolytique dans la tourbe pour bien voir l'effet des déchets issus des fibres oleophiles.

Procédure à suivre : Il s'agit de cuire les minerais bruts (1000g) à une température de 500°C à 600°C pendant quelques heures en absence d'eau et d'oxygène pour extraire l'huile pyrolytique ainsi que d'autres éléments composants la tourbe comme : le soufre, le gaz, l'alcool, le goudron dans les minerais bruts.

-7 essais ont été effectués où à chaque essai, on a utilisé 1000 g de tourbe brute



Photo 2 : Etapes de la distillation à voie sèche de la tourbe

2.5.3 Détermination de la meilleure composition (en tourbe sans huile pyrolytique et déchets issus de GRT)

Les matières premières utilisées sont :

- tourbe sans huile pyrolytique broyée pour avoir trois compositions telles que :
 - tourbe fine granulométrie;
 - tourbe moyenne granulométrie ;
 - tourbe grosse granulométrie
- matières oleophiles en petits morceaux ;
- liant composé de : farine de manioc et de l'eau

Le tableau 3 présente les différentes compositions possibles la variation en masse de toutes les matières premières et de l'eau ajoutée au liant.

Tableau 3 : Variation en masse (g) de tous les ingrédients

	TOURBE			MATIERES OLEOPHILES	LIANT	EAU
	Fine	Moyenne	Grosse			
Essai 1	60	10	10	15	5	15
Essai 2	50	10	10	25	5	35
Essai 3	50	5	5	25	15	90
Essai 4	50	5	5	20	15	75
Essai 5	50	15	10	15	10	60

2.5.4 Détermination des caractères physico chimiques de tourbe brute et de brique fabriquée (meilleure composition)

Pour caractériser les briquettes, on déterminera un à un les paramètres suivants :

- L'humidité (TH)
- Le taux de cendre (Ce)
- La teneur en matière volatile (MOV) ;
- La teneur en Carbone fixe (CF)
- La détermination du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) et le Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS)

2.5.4.1 Humidité (Th)

Principe de mesure : L'échantillon est chauffé dans une étuve à 105°C et on effectue une pesée dans un intervalle de temps de 30mn jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Sa détermination suit la norme européenne EN 14774. Le taux d'humidité est obtenu par la formule suivante :

$$Th = \frac{m_0 - mn}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Avec : m_0 = masse à l'état initial [g]

mn = masse obtenu après chauffage à 105°C à l'étuve. [g]

2.5.4.2 Indice de Matière volatile (MOV)

Principe de mesure : Le même échantillon utilisé pour trouver le taux d'humidité est chauffé dans un four à moufle Nabertherm B180 (Photo 8) à une température allant jusqu'à 550 °C. Sa détermination suit la norme française NF, 1985. Le taux de matières volatiles est déterminé par la perte de masse pendant ce chauffage. La formule suivante permet de calculer le taux de matières volatiles :

$$MOV = \frac{m_1 - m_4}{m_1 - m_c} \times 100 \quad (2)$$

MOV : matière volatile [%]

m_1 : masse du creuset [g]

m_c : masse du creuset avec échantillon avant l'opération [g]

m_4 : masse du creuset avec échantillon à la fin de l'opération [g]

2.5.4.3 Teneur en cendre (Ce)

Principe de mesure : Le taux de cendres est obtenu par le chauffage de l'échantillon jusqu'à 850°C dans un four à moufle Nabertherm B180. Sa détermination suit la norme européenne EN 14775. Le taux de cendres est déterminé par la masse des résidus après incinération. Le résultat est obtenu avec la formule suivante :

$$A(\%) = 100 - \left(\frac{m1 - m5}{m1 - mc} \times 100 \right) \quad (3)$$

A : taux de cendres (%)

m1 : masse du creuset (g)

m5 : masse du creuset avec échantillon à la fin de l'opération (g)

mc : masse du creuset avec échantillon avant l'opération (g)

2.5.4.4 Teneur en carbone Fixe (CF)

Généralement, si la carbonisation est bien conduite, le charbon contient environ 80% de carbone fixe. Élément indispensable dans la composition des briquettes et autres combustibles, le carbone fixe a un grand potentiel énergétique. C'est la quantité de carbone restante après élimination des matières volatiles, des cendres et de l'humidité. Il est différent de carbone total qui est la somme du carbone fixe et le carbone contenu dans la partie volatilisée.

Le taux de carbone fixe a été déterminé en suivant la norme ASTM et il est calculé avec la formule suivante :

$$CF (\%) = 100 - (MOV + Ce) \quad (4)$$

MOV : matière volatile (g)

Ce : teneur en cendre (g)

2.5.4.5 Pouvoir calorifique Inférieur (PCI)

Le P.C.I indique la quantité de la chaleur effectivement utile dans la pratique. Autrement dit, c'est la quantité de chaleur dégagée par Kg d'un combustible solide lorsque les produits de la combustion sont refroidis à la température et que la vapeur d'eau n'est pas condensée. Le P.C.I d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par Kg de combustible dans le cas d'une combustion parfaite et complète, c'est-à-dire que tout le carbone est transformé en CO₂, l'hydrogène en H₂O, tous les soufres en SO₂.

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

Avec PCI 'kcal/kg) ; Tc : Teneur en cendre

3. RESULTATS

3.1 Résultats caractères physico chimiques tourbe brute de Belazao

Tableau 4 : caractères physico chimiques tourbe brute de Belazao

Taux d'humidité (en %)	Taux de Matière volatile (en %)	Taux de cendres (en %)	Taux de carbone fixe (en %)	Pouvoir Calorifique Inférieur (P.C.I) (en Kcal/kg)	Densité
45,22	35,80	7,52	11,46	3341,75	1,28 (pycnomètre) 1,32 (calcul direct)

3.2 Résultats de l'extraction de l'huile pyrolytique de tourbe par distillation à voie sèche

Tableau 5 : caractères physico chimiques tourbe brute de Belazao

N° de l'essai	Masse de la tourbe utilisée (g)	Masse cendre obtenu (g)	Temps d'apparition de la 1ère goutte d'huile (mn)	Température d'apparition de la 1ère goutte (°C)	Quantité totale de l'huile obtenue (ml)	Durée de distillation
Essai n°1	1 000	338	12	173	50	1h 58
Essai n°2	1 000	311	10	191	30	2h 05
Essai n°3	1 000	320	10	171	22	1h 55
Essai n°4	1 000	412	10	185	70	1h 55
Essai n°5	1 000	330	10	207	82	1h 55
Essai n°6	1 000	506	12	240	32	1h 40
Essai n°7	1 000	455	4	190	34	1h 55

3.3 Résultats d'analyse de l'huile pyrolytique dans la tourbe brute

Tableau 6 : Récapitulatif des résultats en moyenne de l'Analyse physico-chimique de l'Huile pyroligneuse de la tourbe

Échantillon	Densité spécifique	Point d'éclair (en °C)	Point d'inflammabilité (en °C)	Teneur en eau et sédiment (en %)	Teneur en eau par distillation (en %)	Viscosité cinématique (en Cst)
Huile pyroligneux	1,0060	79	90,5	2	0,5	0,9357

3.4 Résultats de recherche de brique de meilleure composition en tourbe sans huile pyrolytique et en Matière oléophile

Neuf essais de compactage de brique à base de tourbe sans huile pyrolytique et de déchets de matière oléophile ont été confectionnés et à partir de ces neuf essais de compactage, on a pu relever trois essais le plus intéressant, ce sont l'Essai (E4), l'Essai (E7) et enfin l'Essai (E9).

Les observations qui ont été faites après leur séchage à l'air libre sont mentionnées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Observations après séchage à l'air libre des briquettes

Essais	Observations	Essais	Observations
1	Fragile, Fissuré, Rugueuse à la partie supérieure	6	Fragile, Fissuré
2	Compact, Fissuré, Lisse	7	Compact, Peu Fissuré

3	Compact, Peu Fissuré, Lisse	8	Compact, Peu Fissuré, Rugueuse
4	Compact, Fragile, Moins fissuré, Lisse	9	Compact, Lisse, Non Fissuré
5	Compact, Fissuré		

3.5 Caractères physico chimiques des deux briquettes les plus compacts et peu fissurés E7 et E9

3.5.1 Humidité (TH)

Tableau 8 : Humidité de l'essai E7 et E9

	M0	M1	M2	TH
E7	32,2967	37,029	36,8445	3,898%
E9	32,0343	35,6141	35,538	2,125%

3.5.2 Matière Volatile (MOV)

Tableau 9 : Matière volatile de l'essai E7 et E9

	M'0	M'1	M'2	MV
E7	33,096	37,2401	34,376	30,91%
E9	27,9092	29,9275	28,9339	31,16%

3.5.3 Teneur en cendre (Ce)

Tableau 10 : Teneur en cendre de l'essai E7 et E9

	M''0	M''1	M''2	Ce
E7	33,0963	37,2309	35,0925	48,28%
E9	27,9102	31,9554	30,0189	52,12%

3.5.4 Teneur en Carbone Fixe (CF)

Le taux de carbone fixe contenu dans les briquettes a été calculé par la formule 4 et les résultats sont représentés ci-dessous

$$CF (E7) = 100 - (TH + MOV + Ce) = 16,912\%$$

$$CF (E9) = 100 - (TH + MOV + Ce) = 14,595 \%$$

3.5.5 Pouvoir calorifique Inférieur (PCI)

Les résultats obtenus pour le PCI, sont calculés à partir de la formule de CASSAN et sont représentés ci-dessous :

PCI (E7) = 4137,6 kcal/kg

PCI (E9) = 3830,4 kcal/kg

D'après ces résultats, on constate que les briquettes ont un faible taux d'humidité allant de 2,125% à 3,898%, des teneurs en cendres et en matières volatiles assez élevées qui ont, respectivement, une valeur moyenne de 31,035% et de 50,2%. Leur teneur en carbone fixe varie de 14,595 à 16,912%.

3.6 Efficacité et efficacité énergétique de briquette à base de tourbe sans huile pyrolytique et de déchets de Matière oleophile

3.6.1 Résistance de briquette à la compression

Le tableau 11 récapitule le résultat obtenu après compression

Tableau 11 : Résultat à la compression Essai E4, E7 et E9

	E7			E9			E4		
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Matières oléophiles (g)	25	25	25	20	20	20	3	3	3
Masse des briquettes (g)	88	85	88	90	92	86	88	87	75
Farine de manioc (%)	15	15	15	10	10	10	0	0	0
Force de rupture (daN)	3650	2800	2200	2570	1830	2000	750	1100	530
Section (cm²)	207,12	207,12	207,12	207,12	207,12	207,12	207,12	207,12	207,12
Observation	Fissurée			Fissurée			Complètement écrasé		
Résistance σ (daN/cm²)	17,62	13,51	10,62	12,40	8,83	9,65	3,62	5,31	2,55

La valeur moyenne des résistances trouvées est de 9,62 mais cette valeur varie entre 2,55 et 17,62.

3.6.2 Résultat Test Ebullition d'Eau

Afin de connaître la performance de la briquette fabriquée avec le charbon de bois, des Tests d'ébullition d'eau ont été effectués avec les mêmes conditions (même bouilleur cocotte n°34, même endroit, même opérateur).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 12 pour la briquette et tableau 13 pour le charbon de bois à eucalyptus

Tableau 12 : Observations au cours du TEE avec la brique fabriquée

Temps	Opérations	Observations
14h 03	Allumage du feu	-
14h 13	Démarrage de la combustion des combustibles	- Emanation de beaucoup de fumées : jaunâtre et noirâtre - Odeur désagréable persistante
14h 28	Début de l'ébullition de l'eau	Diminution d'émanation de fumées et d'odeur désagréable
14h 34	-	Disparition des flammes
14h 36	-Fin de l'ébullition de l'eau - Arrêt de l'opération	

Tableau 13 : Timing du test d'ébullition d'eau

	Mesure initiale		Mesure finale		Résultats	
	Brique	Charbon	Brique	Charbon	Brique	Charbon
Durée de combustion des briques	14h 13	6h 42	14h 36	7h 45	23 min	63 min
Temps d'ébullition (min)	14h 13	6h 42	14h 28	6h 57	15 min	15 min
Ignition time (min)	14h 03	6h 30	14h 13	6h 42	10 min	12 min

A propos du temps de démarrage de la combustion de la brique, on constate qu'il est plus facile à faire et donne du feu rapidement que le charbon. Les deux types de combustible mettent, cependant, 15 min à bouillir la même quantité d'eau. Ce temps d'ébullition de l'eau de 15 min constitue une bonne performance de la brique.

Tableau 14: Consommation de combustible et d'eau

	Début		Final		Résultat	
	brique	charbon	brique	charbon	brique	charbon
Masse de combustible(g)	536	343	210	103	326	240
Durée d'ébullition de l'eau (min)	14h 28	6h 57	14h 36	7h 45	8 min	48 min
Masse marmite, eau et couvercle (g)	1539	1539	1357	289	182	711

Ce tableau confirme que la brique de tourbe ne peut fournir une quantité de chaleur suffisante à bouillir l'eau que pendant 8 min au lieu de 48 min pour le charbon de souche d'eucalyptus, malgré le fait que la masse initiale de brique utilisée est supérieure à celle du charbon.

Tableau 15: Synthèse des résultats de la consommation spécifique durant le TEE

	Masse de Combustible consommé (g)	Volume d'eau évaporée (ml)	Consommation spécifique (g/ml)
Brique	326	182	1,79
charbon	240	711	0.33

Ce tableau nous indique qu'il nous faut 1,79 g de briques pour évaporer totalement 1 ml d'eau. Cependant, pour le charbon, on en a besoin que de 0,33 g.

Tableau 16: Synthèse des résultats sur la consommation moyenne

	Durée de Combustion des briques (min)	Masse de Combustible consommé (g)	Consommation moyenne (kg/h)
Brique	2	3	0,85
Charbon	6	2	0,228

Les résultats affichés dans ce tableau nous montrent que notre brique consomme 4 fois plus que le charbon de bois

3.6.3 Comparaison par rapport à d'autres combustibles

Le tableau 17 récapitule les résultats relatifs aux analyses physico-chimiques de la brique fabriquée et celles d'autres combustibles.

Tableau 17: Récapitulatif des paramètres physico-chimiques de la brique fabriquée et celles d'autres combustibles

	H (%)	MV (%)	Ce (%)	C (%)	PCI (kcal/kg)
E7	3,898	30,91	48,28	16,912	4137,6
E9	2,125	31,16	52,12	14,595	3830,4
Brique de tourbe brute [6]	8,04	23,91	60,62	7,47	2510,4
Charbon de bois [7]	5 à 15	7 à 25	0,5 à 5	72 à 92	6700 à 7402,007

D'après ce tableau, on constate que la brique fabriquée a un pouvoir calorifique plus petit que celui du charbon de bois, mais qui est supérieure par rapport à une brique de tourbe brute. Néanmoins, nous pouvons dire que notre brique est plus ou moins un bon combustible face à d'autres. Son PCI présente en effet une valeur de 4137,6 kcal/kg qui est supérieure à d'autres combustibles domestiques comme la brique de tourbe ou les briques de granulés de bois qui ont un PCI allant

de 2510,4 jusqu'à 4015,29 kcal/kg.[2] Ces valeurs semblent être excessives pour une brique ayant comme support la tourbe ; mais en tenant compte de la fonction de la matière oléophile auprès de la GRT, on se rend compte qu'elles sont normales. En effet la présence de trace d'hydrocarbures au sein des matières oléophiles explique cette valeur exceptionnellement élevée. On peut également en conclure que ce taux de cendres inférieur à celui de la brique de tourbe s'explique par la présence des matières oléophiles qui pourraient avoir un taux de cendres faibles au cours de son incinération. Cependant, notre brique ne peut pas encore concurrencer le charbon de bois qui est le combustible le plus utilisé, doté d'un PCI de 6700 à 7402 kcal/kg.

3.7 Etude conception Foyer à cheminée

3.7.1 Introduction

Un des objectifs de ce travail de recherche est la recherche de nouveaux combustibles domestiques écologiques et hygiéniques adoptés par les ménages. Les différents essais ont montré l'apparition de fumée durant l'utilisation des briquettes à bases de tourbe sans huile pyrolytique et de déchets de matières oléophiles.

Pour faire face à cette problématique de fumée lors de sa combustion, notre approche consiste à étudier et concevoir un foyer amélioré à cheminée présenté par la figure 4.

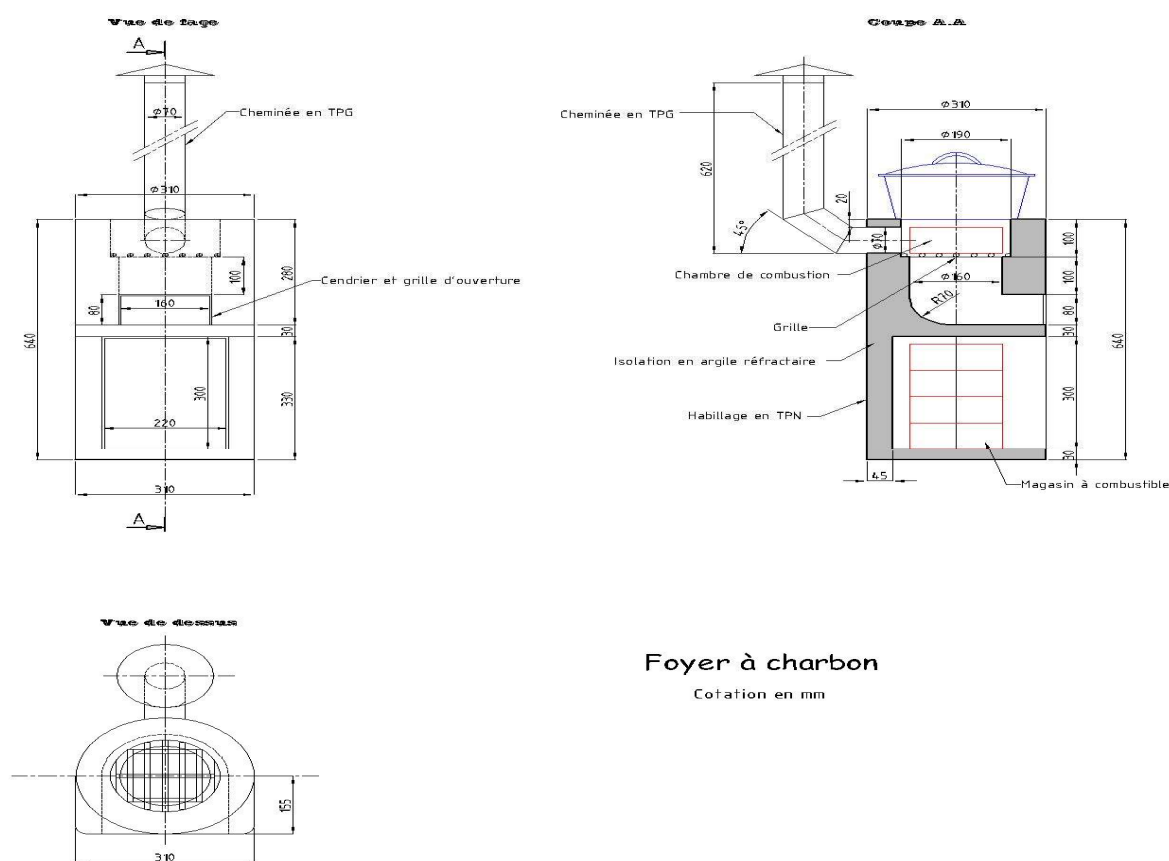


Fig. 4 : Conception de Foyer améliorée à cheminée (vue en coupe)

4. CONCLUSION

Madagascar est connu depuis longtemps de par sa richesse en ressources naturelles mais qui, dans la majorité, ne sont pas exploitées ou faiblement exploitées. Ce travail de recherche a pour objectif de chercher de nouveaux combustibles domestiques écologiques capables de concurrencer le bois énergie, qui est non seulement la source d'énergie la plus utilisée dans les ménages.

Le travail a été focalisé à l'utilisation de tourbe de la commune rurale de Belazao de la région Vakinankaratra et les déchets issus des matières oleophiles de la Galana Raffinerie de Toamasina. Ces deux ressources sont potentielles dans ces localités et ne sont pas valorisées. C'est dans ce cadre qu'a été optée l'idée de les transformer en brique à bases de tourbe et de déchets de matières oleophiles. Les briques produites présentent en général de bons résultats au niveau de leur compacité et de leur efficacité énergétique. Les matières oléophiles en y sont pour principaux facteurs. Malgré le fait qu'ils consomment plus que les charbons de bois, ils présentent quand même une combustion vive, éphémère. Nous pouvons donc les valoriser comme briques combustibles en ajoutant un liant pour renforcer encore plus leur dureté. Lors de leur combustion, les briques dégagent encore beaucoup de fumées et d'odeurs nauséabondes, d'où la proposition d'utilisation d'une cheminée spécialisée pour l'absorption de ces fumées.

Pour conclure, beaucoup restent encore à faire même si les résultats obtenus par l'utilisation de briques fabriquées sont probants mais dans la perspective, il faudra approfondir les recherches sur les méthodes pour diminuer les fumées et l'odeur nauséabonde à travers le développement de foyer améliorée à cheminée.

REFERENCES

- [1] EDBM, «Madagascar, l'île aux réserves d'énergie,» Antananarivo, 2017.
- [2] A. Georgelin, Le secteur de l'énergie à Madagascar : Enjeux et opportunités d'affaires, Antananarivo: Service Economique, Ambassade de France à Madagascar, 2016.
- [3] L. Andrianaivo, «Geothermal Energy in Madagascar: Assessment Development Update,» Mada-Hary, vol. 1, 2013, Antananarivo, 2013.
- [4] Maroson, «Le secteur de l'énergie de la Madagascar : Vision, Aperçu du secteur, Plan d'Actions et Opportunités stissement,» 2019.
- [5] V. Z. MAHASANDRATRA FRANK, "Le fonctionnement du département mouvement de produit dans une entreprise pétrolière : Cas de la Galana Raffinerie Terminal S.A. Toamasina,," Mémoire de Master II, Gestion: Finances - Comptabilité, Université de Toamasina, 2011.
- [6] H. Z. RANDRIANANRIMALALA, "Contribution à l'étude de la production d'un combustible domestique alternatif à base de tourbe,," Mémoire de Licence, Science et Ingénierie des Matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, 2017.
- [7] V. K. RANDRIANARISOA, "Projet d'installation d'une unité de construction de biocombustibles solides,," Mémoire d'Ingénieur, Science et Ingénierie des matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, 2019.