

Economie Circulaire Par Valorisations Energétique Et Nutritive Des Déchets D'exportation De Fruits Et Ses Sous-Produits A Haute Valeur Ajoutée : Cas Des Noyaux De Litchi Et De Mangue De La Société Madagascar Premium Exotica (MPE,SA) Toamasina

[Circular Economy Through Energy And Nutritional Recovery Of Fruit Export Waste And Its High Value-Added By-Products: The Case Of Lychee And Mango Kernels From Madagascar Premium Exotica (MPE,SA) Toamasina]

¹RAVAOARIMALALATIANA Miora Vatosoa, ²RAMAMONJISOA Mamitiana, ³RASOANAIVO Jean luc, ⁴RAVONINJATOVO Achille, ⁵ANDRIANAIVO Lala

¹EDSTII, Email: miora.vatosoa@gmail.com ²CNTRIT, Email: mtr.mamitiana@gmail.com ³EDSTII, Email: jeanlucnj@gmail.com ⁴EDSTII, Email: achillegc@yahoo.fr

⁵EDSTII, Email: andrianaivo.andri@gmail.com



Résumé : La Société Madagascar Premium Exotica (MPE, SA), Toamasina, exporte des fruits tropicaux comme le litchi, la mangue, le fruit de la passion, la goyave, l'ananas, le corossol et le gingembre. Ces fruits d'exportation génèrent beaucoup de déchets de conditionnement ou de transformation au niveau de l'usine. Ces déchets sont pour le moment mis en décharge et aucune politique de valorisation n'a été mise en œuvre. Ce travail de recherche a contribué au développement de solutions durables pour la valorisation des déchets de fruits et de leurs sous-produits dans les domaines énergétique, agronomique, alimentaire et des soins. Plusieurs pistes de valorisation ont été identifiées telles que le biocombustible : bioéthanol, charbon vert et biogaz pour le domaine énergétique, la potentialité en complément alimentaire pour la nutrition et enfin la richesse en composants minéraux de soins de visage. Ce travail a été focalisé seulement à la valorisation des noyaux de litchi en biochar en tant que combustible alternatif au bois énergie et les noyaux de mangue en valeurs nutritives et en huile de mangue pour les soins de visage.

Mots clés : noyaux de fruits, litchi, mangue, valorisation, biochar, soins de visage, société MPE, Toamasina.

Abstract: Madagascar Premium Exotica (MPE, SA), Toamasina, exports tropical fruits such as lychee, mango, passion fruit, guava, pineapple, soursop and ginger. These export fruits generate a lot of packaging and processing waste at the plant. This waste is currently landfilled, and no recovery policy has been implemented. This research has contributed to the development of sustainable solutions for the valorization of fruit waste and its by-products in the energy, agronomic, food and healthcare sectors. Several avenues of valorization were identified, such as biofuel: bioethanol, green charcoal

and biogas for the energy sector, the potential as a food supplement for nutrition, and finally the richness in mineral components for facial care. This work focused solely on the valorization of lychee kernels into biochar as an alternative fuel to wood energy, and mango kernels into nutritional values and mango oil for face care products.

Keywords: fruit kernels, lychee, mango, valorization, biochar, facial care, MPE company, Toamasina.

1. Introduction

Le programme de coopération intitulé « Fit for Market : Strengthening competitiveness & sustainability of the ACP horticultural sector (FFM) a été élaboré par l'Union Européenne pour les groupes des Etats de l'ACP (Afrique, Pacifique et Caraïbe). Madagascar fait partie de ce groupe de l'ACP depuis plusieurs années. Ce programme s'inscrit dans le cadre du soutien européen aux politiques à moyen et long termes visant à renforcer les capacités de production, à stimuler l'innovation et à améliorer la durabilité et la compétitivité du secteur privé ACP.

L'objectif global de ce Programme est de contribuer à réduire la pauvreté, améliorer la sécurité alimentaire et assurer une croissance inclusive et durable par le renforcement du secteur des exportations agroalimentaires des pays ACP.

L'objectif spécifique de FFM est, dans un cadre durable, de garantir aux petits producteurs, groupes et organisations d'agriculteurs ACP, l'accès aux marchés de fruits et légumes internationaux et nationaux, en les aidant à tenir compte des exigences de ces marchés, notamment en matière de sécurité des aliments.

Plusieurs sociétés malgaches bénéficient le soutien financier de ce programme dont l'entreprise Madagascar Premium Exotica (MPE) SA sise à Toamasina et travaillant dans le domaine du conditionnement et de la transformation de fruit en jus et purées. Les fruits transformés par l'usine sont l'ananas, le litchi, le fruit de la passion, la goyave rosée, la mangue, le corossol et le gingembre. L'année 2019, 2020 et 2021, les déchets issus du conditionnement et de la transformation de fruit en jus et purée sont respectivement de 776,5 T, 1009, 6 T et 1312,6 T. Ces déchets sont pour le moment mis en décharge.

L'objectif à long terme de l'entreprise est de permettre à l'usine mais également aux producteurs de réutiliser tous les déchets produits, que ce soit pour produire de l'énergie, des sous-produits et/ou de la matière organique du sol (engrais) ou des aliments pour animaux/bétail ou parapharmaceutiques.

C'est dans ce cadre qu'a été né ce travail de recherche intitulé : « Economie circulaire et valorisation des déchets d'exportation de fruits et ses sous-produits à haute valeur ajoutée : cas de la société Madagascar Premium Exotica (MPE, SA), Toamasina ». Les résultats issus de ce travail de recherches permettront d'apporter des solutions durables à la gestion des déchets des fruits d'exportation non seulement pour MPE mais pour toutes les sociétés exportatrices de légume ou de fruit conditionné ou transformé dans le pays.

Diverses questions se posent entre autres :

- Par rapport à la potentialité en déchets de fruits de l'entreprise, quels sont les déchets potentiels identifiés et valorisables ?
- Quels sont les pistes de valorisation des déchets potentiels et de ses sous-produits ont-elles déjà identifié ?
- Quels sont les sous-produits issus de la valorisation de ces déchets de fruit pouvant déboucher vers des produits à haute valeur ajoutée ?

La réponse à ces diverses questions permettra d'apporter des solutions pérennes à la gestion rationnelle de ces déchets de fruits pour les sociétés exportatrices de fruit et légumes mais aussi pour une perspective de développement des ressources naturelles du pays.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels : Zone d'étude : Région Atsinanana

2.1.1. Localisation et cadre administratif de la ville de Toamasina

La ville de Toamasina se trouve à l'Est de Madagascar, parmi les sept Districts de la Région Atsinanana. Elle se trouve à 358 Km de la Capitale Antananarivo, et reliée à cette dernière par la Route Nationale N°2. Elle s'étend sur une superficie d'environ 28 km². La Commune Urbaine de Toamasina I (CUT) est administrativement divisée en cinq (05) arrondissements et 138 fokontany ou quartiers.

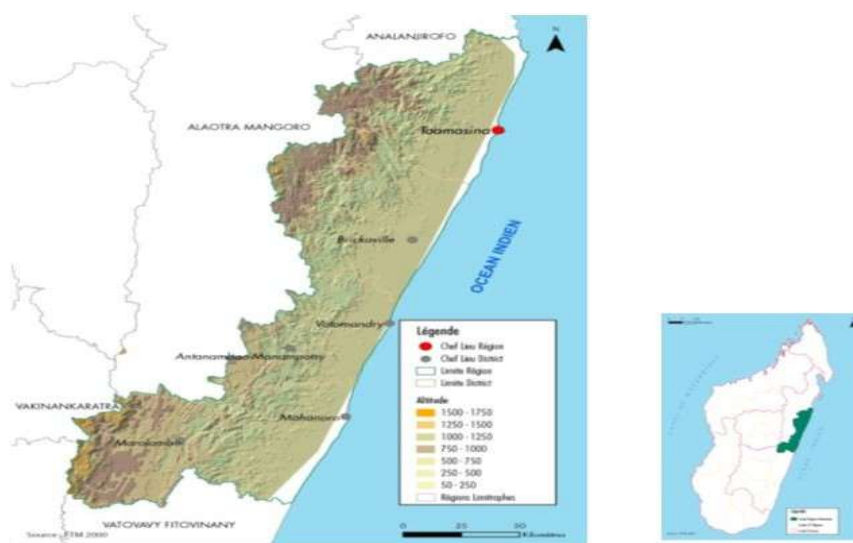


Figure 1 : Carte de localisation de Toamasina [1]

b. Cadre physique

De par sa position géographique délimitée par l'Océan Indien à l'Est, le climat de Toamasina I, site de notre étude, est en général celui de la Région Atsinanana. Ce climat est du type tropical humide avec une forte pluviométrie annuelle [1]. Selon les données recueillies auprès du service de la météorologie, en 2014, les précipitations mensuelles moyennes s'élèvent à 290,13 mm. L'influence de l'Alizé tout au long de l'année entretient des températures dont la moyenne se situe entre 18 à 31,3°C.

La pédologie est surtout marquée par un sol sédimentaire. Il s'agit d'alluvions, de sables, de dunes vives, de grès peu solidifiés, bordant la côte. Les terrains cristallins avec prédominance de type graphite [2] sont également présents.

c. Population

Deuxième grande ville après Antananarivo, Toamasina rassemble actuellement près de 400 000 habitants. Il existe une assez grande diversité ethnique dans la ville, qui s'explique par l'arrivée de migrants attirés par des opportunités de travail. Composée au départ très majoritairement de Betsimisaraka (de l'ordre de 80% en 1990), la population de la ville est maintenant fortement multiethnique, par ordre d'importance : Betsimisaraka, Merina, Antandroy, Antesaka, Betsileo, Antanosy, Sakalava, communautés chinoises, françaises et indiennes.

d. Economie

Chef-lieu de la Région Atsinanana, et regroupant plus de 900 opérateurs économiques, Toamasina est baptisée capitale économique de Madagascar en 2009. La ville s'ouvre au Canal des Pangalanes, axe majeur de transport des marchandises le long

de la côte Est malgache. Elle héberge le premier port maritime de Madagascar qui assure l'essentiel des importations et exportations de l'île et donc, fait entrer la quasi-totalité des recettes douanières. Les exportations sont principalement les produits des cultures locales de la région telles que la vanille, le girofle, le café, et le litchi. Depuis 2007, le grand projet minier d'exploitation de Nickel et de Cobalt, Ambatovy Minerals S.A. (AMSA), a métamorphosé l'économie de la région. Le projet a réduit sensiblement le taux de chômage, a réhabilité plusieurs infrastructures, et est en passe de devenir le premier exportateur du pays et ce, pour les trente années à venir.

2.1.2. Présentation du cadre d'étude : la société Madagascar Premium Exotica SA

La société MPE ou «Madagascar Premium Exotica» est une entreprise industrielle du groupe SCRIMAD œuvrant pour le développement de l'agroalimentaire.

MPE est une entreprise créée en 2014 par deux entreprises renommées et reconnues dans leurs secteurs, en réponse à la demande croissante d'ingrédients à base de fruits de qualité.

D'abord SCRIMAD SA [3] une entreprise leader dans le secteur agricole basée à Madagascar depuis 1993 et travaillant exclusivement avec les organisations de producteurs sur toute l'île. Elle a été la première entreprise à obtenir le certificat de Commerce Equitable à Madagascar dans la filière litchi.

Par ailleurs, ETHIQUABLE, [4] une coopérative française dont tous les produits sont certifiés équitables et biologiques.

MPE SA est depuis devenue la première entreprise du genre à Madagascar. S'engager à fournir à ses clients un produit sur mesure basé sur le respect de la nature, la préservation des saveurs authentiques avec un haut niveau de service et de qualité. Les valeurs du « Développement durable, équitable et inclusif » sont illustrées par notre politique de développement responsable des producteurs paysans partenaires.

Ainsi, SCRIMAD est devenu un Groupe regroupant actuellement trois (03) sociétés :

- SCRIMAD exporte du litchi, des grains secs (haricot, pois du cap...) ainsi que des épices (poivre, baie rose, cannelle...),
- MPE (Madagascar Premium Exotica) collecte des fruits (grenadelle, mangue, tamarin, corossol, litchis, fruit de la passion...) et les transforme en jus concentré et de la purée pour exclusivement l'exportation [5] .
- AGRITRADE conditionne et exporte de la vanille.

Par son savoir-faire et son expérience, le Groupe fait figure de leader et de pionnier sur plusieurs points, notamment dans les labels « commerce équitable » ainsi que dans les certifications et normes du « Développement durable ».

Au fil des années, SCRIMAD S.A a su s'adapter aux réalités locales ainsi qu'à la demande internationale :



Photo 1 : Siège de la société "MPE" SA à Toamasina

2.1.3. Matières

Dans le cadre de ce travail de recherche, deux matières ont été l'objet de l'étude :

- le litchi et ses noyaux,
- la mangue et ses noyaux

2.1.3.1. Le litchi et ses noyaux

Depuis l'année 2019 à 2023, les déchets de fruits de litchi de la société MPE sont récapitulés dans le tableau1.

Tableau 1 : Types de déchets de litchi de 2019 à 2023

Répartition déchets (t)	2019	2020	2021	2022	2023	Coeff
Litchi : écorce	78,9	102,6	133,4	173,4	225,4	0,13
Litchi : noyau	242,9	315,7	410,5	533,6	693,7	0,4
Litchi: machine	30,4	39,5	51,3	66,7	86,7	0,05

Ce tableau montre que les déchets de litchi comprennent l'écorce, les noyaux et les déchets obtenus après la transformation par la machine. Ce tableau montre la quantité de noyaux à valoriser dans le cadre de cette recherche, soit 242,9 t en 2019 et 693,7 t en 2023.



Photo 1:Noyau litchi

2.1.3.2. La mangue et ses noyaux

Depuis l'année 2019 à 2023, les déchets de mangue et ses noyaux de la société MPE sont récapitulés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Types de déchets de mangue de 2019 à 2023

Répartition (t)	déchets	2019	2020	2021	2022	2023	Coeff
Mangue : peau		24,7	32,1	41,8	54,3	70,6	8,18
Mangue : Noyau		27,4	35,7	46,4	60,3	78,4	0,2
Mangue : machine		9,6	12,5	16,2	21,1	27,4	0,07

Ce tableau montre que les déchets de mangue comprennent la peau, les noyaux et les déchets obtenus après la transformation par la machine. Ce tableau montre la quantité de noyaux à valoriser dans le cadre de cette recherche, soit 27,4 t en 2019 et 78,4 t en 2023.



Photo 3: Noyau de mangue

2.1.3.3. Matières pour déterminer les valeurs nutritionnelles dans les noyaux de mangue

Parmi ces matières, on peut citer respectivement :

- Poudre de noyau de mangue
- Acide sulfurique 98%
- Catalyseur : sulfate de potassium et sulfate de cuivre
- Soude caustique
- Acide borique
- Indicateur coloré : éthanol à 95°C, rouge de méthyl et bleu de méthyl
- Eau distillée

2.1.4. Matériels de laboratoire

2.1.4.1. Pour la production de biochar

a. Séchoir solaire

Avant toute transformation du noyau de litchi en biochar, il faut passer au séchoir solaire pour le séchage. IL en est de même pour le noyau de mangue.

• Principe

Un séchoir solaire, aussi appelé déshydrateur solaire, est un appareil qui utilise l'énergie du soleil et en la diffusant sur les produits à sécher.

• Fonctionnement

- Capteur Solaire : une surface vitrée ou translucide qui permet de capter les rayons du soleil et de convertir cette énergie en chaleur.
- Chambre de Séchage : Un compartiment où les produits à sécher sont placés. La chaleur absorbée par le capteur solaire est dirigée vers cette chambre.
- Circulation de l'Air : La conception permet une bonne circulation de l'air chaud à travers les produits, évacuant ainsi l'humidité.

b. Matériels pour la carbonisation, le broyage et le compactage

C'est un fût de récupération qui a été utilisé dans le cadre de ce travail pour faciliter le déroulement des activités.



Photo 4: Fût de Récupération



Photo 5: Broyage manuel



Photo 6 : Presse manuelle

Les photos 5 et 6 montrent le matériel de broyage manuel et la presse de compactage qui a pour rôle de donner une forme le biochar.

c. Matériels pour la transformation des noyaux de mangue

● **Pour la détermination des valeurs nutritionnelles dans les noyaux de mangue** Pour pouvoir déterminer les valeurs nutritionnelles dans les noyaux de mangue, différents matériels sont utilisés tels que :

- Pour déterminer la teneur en cendre
 - Ce sont : Etuve : séchage de la capsule en porcelaine
 - Balance de précision : utilisé pour peser
 - Dessiccateur : Objet du refroidissement
 - Capsules en porcelaine : utilisé pour mettre l'échantillon à analyser
 - Four d'incinération : matériel utilisé pour transformer l'échantillon brut en cendre
- Pour déterminer la teneur en lipide
 - Balance de précision
 - Cartouche d'extraction : utilisé pour mettre la matière première à l'intérieur du soxlet .
 - Papier joseph : utilisé pour mettre la matière première au-dessus de la balance.
 - Soxhlet : Unité d'extraction
 - Ballon de 250 ml : Objet qui contient l'hexane d'extraction et qui permet de récupérer le mélange : huile + hexane après l'extraction.
 - Chauffe ballon : utilisé pour chauffer l'hexane dans le ballon
 - Rotavapor : utilisé pour évaporer l'hexane dans le mélange
- Etuve : Séchage des matériels
- Dessiccateur : pour refroidir les ballons
- Pour déterminer la teneur en Protéine
 - Minéralisateur : utiliser pour la transformation de la matière organique en matière minérale

- Distillateur : Matériel de distillation de la matière minérale pour condenser l'ammoniac.
- Tubes de digestion : Utiliser pour contenir les mélanges.
- Papier joseph : pour mettre les échantillons à peser
- Burette : Matériels de titration
- Agitateur magnétique : Agiter la solution piège qui contient l'ammoniac pendant la titration.
- Bêcheur : Pour mettre la solution piège
- Etuve : séchage des matériels

2.2. Méthodes

La méthode adoptée dans le cadre de ce travail de recherche est répartie en deux méthodes différentes : la première méthode consiste à la production de biochar à partir des noyaux de litchi et la seconde concerne la méthode pour la détermination des valeurs nutritionnelles de la poudre de mangue ainsi que l'extraction d'huile de poudre de noyau de mangue et sa caractérisation

2.2.1. Méthode pour la production de biochar à partir de noyaux de litchi

L'approche adoptée consiste respectivement à : sécher d'abord les noyaux, les carboniser, les broyer, les tamiser, les malaxer avec les liants, les agglomérer dans la presse pour donner de la forme aux produits agglomérés et enfin les sécher pour pouvoir déterminer ses caractères physico chimiques. Parmi ses caractères physico chimiques, on peut citer : l'humidité, la teneur en Matière volatile, la teneur en cendre, la teneur en carbone fixe et enfin le Pouvoir calorifique Inférieur (PCI).

2.2.2. Méthode pour la détermination des valeurs nutritives des poudres de noyaux de mangue et la caractérisation de l'huile extraite dans la poudre de noyau de mangue

a) Détermination des valeurs nutritives des poudres de noyaux de mangue

La méthode adoptée pour déterminer les valeurs nutritives des poudres de noyau de mangue et la caractérisation de l'huile extraite de ces poudres de noyau de mangue consiste respectivement à :

- Peser les noyaux de mangue ;
- Sécher pour avoir la teneur en Matière sèche après 4 jours de séchage;
- Broyer et tamiser les produits séchés ;
- Détermination des valeurs nutritives du poudre de noyau de mangue en déterminant respectivement : son humidité, sa teneur en lipide, sa teneur en cendre brute, la teneur en lipide, la teneur en protéine, la teneur en glucide et la valeur énergétique.

- Formules pour déterminer :

$$L(\%) = \frac{M3 - M1}{M2}$$

○ Le lipide

Avec : M1 : Masse du ballon vide M2 : Masse de la prise d'essai

M3 : Masse du ballon + prise d'essai après étuvage

○ **La Protéine**

Pour déterminer la teneur en Protéine dans un aliment, il faut d'abord déterminer la teneur en Azote dans l'aliment par méthode Kedjal et après on multiplie cette teneur en Azote par un coefficient de conversion de l'Azote qui est : 6,25.

Ainsi, $P(\%) = N(\%) \times 6,25$

○ **Mode de calcul de la teneur en Glucide**

Pour connaître la teneur en glucide d'un aliment, il faut connaître respectivement : la teneur en eau, en protéine, en lipide et en cendre. On peut calculer directement la teneur en glucide par la relation suivante :

$$G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)]$$

Avec G(%) : Teneur en glucide, L(%) : Teneur en lipide ; P(%) : Teneur en protéine ; H(%) : Teneur en eau et C(%) : Teneur en cendre

○ **Mesure de la valeur énergétique dans la poudre de noyau de mangue**

La valeur énergétique d'un aliment provient de l'énergie libérée par ses nutriments au cours de leur métabolisme. D'après les travaux d'Atwater [6], on admet que l'énergie libérée par le métabolisme est de 4 kcal/g pour les glucides et les protéines, 9 kcal/g pour les lipides et 7 kcal/g pour l'alcool.

Les compilateurs de tables de composition ont pendant longtemps affecté aux teneurs d'un aliment en glucides, protéines, lipides et alcool ces fameux coefficients et calculé la somme des résultats pour obtenir sa valeur énergétique. Le tableau 2 informe les Coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme.

Tableau 2 : Coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme.

	kcal/g	kJ/g
Protéines	4,00	17,0
Lipides	9,00	37,0
Glucides disponibles	3,75	16,0
Ethanol	7,00	29,0
Acide acétique	3,50	15,0
Acide citrique	2,50	10,0
Acide lactique	3,60	15,0
Acide malique	2,40	10,0

En appliquant la relation suivante :

Valeur Energétique (VE) dans poudre de noyau de mangue = $G(\%) \times 4 + L(\%) \times 9 + P(\%) \times 4$ et en tenant compte de la valeur de la teneur en glucide, en lipide et en protéine dans les noyaux de mangue.

b) Extraction de l'huile dans la poudre de noyaux de mangue et détermination de ses caractères physico chimiques.

L'extraction de l'huile se fait par soxhlet, c'est-à-dire extraction de l'huile par solvant qui est l'hexane. Il faut passer par la distillation de l'hexane qui n'est pas pure pour avoir de l'hexane pure, puis à l'évaporation pour séparer le mélange liquide (huile+hexane).



Photo 7 : Mélange liquide (Huile + hexane)

• **Evaporation**

Afin de séparer ce mélange liquide (Huile + hexane), il faut passer à l'évaporation de ce mélange.

A la fin de cette opération, l'hexane et l'huile sont bien séparés. On obtient 02 variétés d'huile : l'huile claire et l'huile trouble.

c) **Caractères physico chimiques de l'huile de poudre de noyau de mangue**

La caractérisation physico chimique de l'huile des poudres des noyaux de mangue dans ce travail est focalisée à la détermination de l'indice de réfraction et la détermination de la densité relative.

• **Indice de réfraction**

C'est à partir des essais d'expérimentation, qu'on peut tirer la relation entre la température et l'indice de réfraction.

• **Densité relative (NFT 75-11)**

La densité relative de l'huile peut être obtenue en appliquant la ci-dessous :

$$d = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} + 0,0007 (t-20)$$

Mo : Masse du pycnomètre vide

M1 : Masse du pycnomètre + eau distillée M2 : Masse du pycnomètre + huile

2.2.3. Analyse chromatographie de l'huile de la poudre des noyaux de mangue

L'analyse chromatographie de l'huile de poudre de noyau consiste à déterminer les composants majeurs de l'huile de poudre de noyau de mangue.

3. Résultats

Les résultats de ce travail sont classés en deux parties :

- 1^{ère} partie : Résultats de la valorisation du noyau de litchi pour :
 - la production de biochar,
 - la détermination des caractères physico chimiques du biochar ;
- 2^{ème} partie : Résultat de la valorisation du noyau de mangue pour :
 - La détermination des valeurs nutritives de poudre de noyau de mangue,
 - l'extraction de l'huile de poudre de noyau de mangue,
 - la détermination des caractères physico chimiques de l'huile ;

○ la détermination des composants en produits cosmétiques de l'huile

3.1. Résultats des caractères physico chimiques du biochar

3.1.1. Taux d'humidité

Le tableau 3 informe la teneur moyenne en humidité

	Taux d'humidité (TH)
	Noyau du litchi
N° 01	7,03
N° 02	8,65
Moyenne	7,84

En moyenne, le taux d'humidité est de 7,84%

3.1.2. Taux de Matière Volatile

Le tableau 4 informe la teneur moyenne en Matière volatile

	Teneur en matière volatile (MV%)
	Noyau du litchi
N° 01	20,6
N° 02	21,49
Moyenne	21,045

En moyenne, le taux de Matière Volatile est de 21,045%

3.1.3. Taux en Cendre

Le tableau 5 informe la teneur moyenne en Cendre

	Teneur en cendres (%)
	Noyau du litchi
N° 01	20,37
N° 02	21,2
Moyenne	20,785

En moyenne, le taux de Cendre est de 20,78%

3.1.4. Taux en carbone fixe

Le tableau 6 informe la teneur moyenne en Carbone fixe

	Teneur en carbone fixe (%)
	Noyau du litchi
N° 01	50,33
N° 02	51,05
Moyenne	50,69

En moyenne, le taux de Cendre est de 50,69%

Selon les différents essais effectués des briquettes des déchets de fruit, la valeur du PCI moyen est appliquant la formule de CASSAN suivante : $PCI = 80 (100 - C)$. Où : C = teneur en cendre (%) et PCI (Kcal/kg).

3.1.5. Pouvoir calorifique Inférieur (PCI)

Le tableau 7 informe le Pouvoir calorifique Inférieur (PCI)

	PCI moyen (Kcal/kg)
	Noyau du litchi
N° 01	6370,4
N° 02	6304
Moyenne	6337,2

La valeur du pouvoir calorifique inférieur (PCI) du biochar de noyau de litchi de 6337,2 kcal/kg montre que ce biochar peut concurrencer le charbon de bois d'eucalyptus avec son PCI de 6700 kcal/kg. Son adoption au niveau des ménages aura certainement un impact sur la réduction de la pression sur les ressources forestières.

3.2. Résultats de la valorisation du noyau de mangue

3.2.1. La détermination des valeurs nutritives de poudre de noyau de mangue

La détermination des valeurs nutritives de poudre de noyau de mangue consiste respectivement à déterminer : la teneur en humidité, la teneur en cendre, la teneur en lipide, la teneur en protéine et la teneur en glucide. C'est à partir de la détermination de ces différentes teneurs qu'on peut connaître la valeur nutritive de la poudre de noyau de mangue

3.2.1.1. Teneur en humidité

Deux essais d'expérimentation ont été réalisés pour déterminer l'humidité des deux échantillons et évidemment la teneur en Matière sèche (MS)

Tableau 8 : Résultat de la teneur en Matière sèche (MS)

Capsule	MS(%)
1	6,12
2	6,14
Moyenne	6,13

Les deux prises d'essai de cette analyse montrent que la teneur en matière sèche de la poudre de noyau de la mangue est environ 6,13%.

3.2.1.2. Teneur en Cendre

Calcul de la teneur en cendre C(%) est obtenu en appliquant la formule suivante:

$$C(\%) = \frac{C3 - C1}{C2} \times 100$$

C1 : Masse de la capsule vide en g C2 : Masse de l'échantillon en g

C3 : Masse de la capsule + échantillons après étuvage en g

Tableau 9 : Résultat de la teneur en cendre des deux échantillons incinérés

Echantillon	C(%)
1	2,1321
2	2,135
Moyenne	2,13355

D'après ces procédés, on trouve que la teneur en cendre brute de la poudre du noyau de la mangue est 2,1335%.

3.2.1.3. Teneur en Lipide

Après pesage à vide et pesage avec échantillon dans la capsule Tableau 10 : Résultat de mesure ballon vide et prise d'essai

	Masse (en g)
Ballon vide	11,7635
Prise d'essai	5,3037

On pèse ce ballon après étuvage. On trouve 112,2383g (ballon + après étuvage)

Calcul du pourcentage du lipide est obtenu en appliquant la formule :

$$L (\%) = \frac{M3 - M1}{M2} \times 100$$

M1 : Masse du ballon vide M2 : Masse de la prise d'essai

M3 : Masse du ballon + prise d'essai après étuvage

Ainsi, la teneur en matière grasse (lipide) contenue dans la poudre du noyau de mangue est de 8,9522%.

3.2.1.4. Teneur en Protéine

L'objectif de cette analyse est de chercher la teneur en protéine contenu dans la poudre de noyau de mangue. Pour savoir la teneur en protéine, il faut d'abord chercher la teneur en azote N dans la poudre par la méthode Keidjall et après on multiplie par le coefficient de conversion de l'azote qui est : 6,25. Lecture de la burette : Détermination du volume de la solution utilisée durant la période de la titration (Volume de la chute de burette)

Tableau 11 : Résultat du volume de chute de burette

Echantillon	Volume de la chute de burette (ml)
1	3,7
2	4

On applique la relation suivante :

$$N(\%) = \frac{V \times M \times 100 \times 0.001 \times n}{m}$$

Avec : N(%) : Teneur en azote

V : Volume de la chute de burette M : Masse molaire de l'azote

n : Normalité de la solution d'acide sulfurique (0,109N) m : Masse de la prise d'essai

Tableau 12 : Résultat de la teneur en Azote

Echantillon	N(%)
1	1,1087
2	1,1155
Moyenne	1,1121

Alors, la moyenne de la teneur en azote est 1,1121%

Donc, on peut calculer la teneur en protéine par la relation suivante :

$$P(\%) = N(\%) \times 6,25 = 6,9506\%$$

P(%) : Teneur en protéine

6,25: C'est le coefficient de conversion de l'azote

3.2.1.5. Teneur en Glucide

Une fois qu'on connaît la teneur en lipide, en protéine, en eau et en cendre, la teneur en glucide est connue en appliquant la relation suivante :

$$\text{Formule : } G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)]$$

Après calcul, la teneur en glucide est de :

$$G(\%) = 100\% - [L(\%) + P(\%) + H(\%) + C(\%)] = 75,8337\%$$

La teneur en glucide contenu dans la poudre de noyau de mangue est 75,8331%

3.2.1.6. Détermination de la valeur énergétique dans la poudre de noyaux de mangue

En tenant compte de la valeur des coefficients de conversion en énergie applicables à tous les aliments, en kilocalories et kiloJoules par gramme ci-dessous :

- 1g de lipide = 9 Kcal
- 1g de protéine = 4 Kcal
- 1g de glucide = 4 Kcal

Ainsi, on a pu obtenir la valeur énergétique : (VE) = 411,7046/100 g. Ce qui signifie que la valeur énergétique dans la poudre de noyaux de mangue est de 411,7046 kcals dans 100 g de poudre du noyau de mangue.

3.2.2. Résultat de l'Extraction de l'huile de poudre de noyau de mangue

Afin de séparer ce mélange liquide (Huile + hexane), il faut passer à l'évaporation de ce mélange. A la fin de cette opération, l'hexane et l'huile sont bien séparés. On obtient 02 variétés d'huile :

- L'huile claire qui représente 75 à 80% d'huile totale

- L'huile trouble qui représente 20 à 25% d'huile totale Ainsi, le rendement d'huile totale varie entre 7 à 9%.

3.2.3. Résultat de la détermination des caractères physico chimiques de l'huile

La caractérisation physico chimique de l'huile des poudres des noyaux de mangue dans ce travail est focalisée à la détermination de l'indice de réfraction et la détermination de la densité relative.

3.2.3.1. Indice de réfraction

Après des essais d'expérimentation, les résultats sont récapitulés dans le tableau 13 après avoir appliqué la relation suivante :

$$n = n_t' + 0,0004(t' - 20)$$

Tableau 13 : Résultat des essais de calcul des indices de réfraction

Essais	Indice de réfraction (n)	(t')Température (°C)
1	1,4622	28°C
2	1,4628	26°C
3	1,4629	27°C
Moyenne	1,4626	

Après ces opérations, on a obtenu 3 résultats plus ou moins semblables de l'indice de réfraction avec une moyenne de 1,4626 pour une température de 26°C à 28°C.

3.2.3.2. Densité relative (NFT 75-11)

C'est le Rapport de la masse d'un certain volume de l'échantillon d'huile à 20°C et la masse d'un égal volume d'eau distillée à 20°C. La mesure de la densité relative a été effectuée en utilisant un pycnomètre de 10ml.

En appliquant la relation permettant de calculer la densité, on a :

$$d = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} + 0,0007(t - 20)$$

Mo : Masse du pycnomètre vide

M1 : Masse du pycnomètre + eau distillé M2 : Masse du pycnomètre + huile

Tableau 14 : Résultats des essais d'expérimentation

Essais	m (g)	t(°C)	d_{20}^{20}
1	6,0286	27	0,9222
2	6,0248	28	0,9068
3	6,0242	28	0,9057

3.2.4. Résultat de la détermination des composants chimiques en produits cosmétiques de l'huile de poudre de noyau de mangue

L'analyse chromatographique des échantillons d'huile de poudre de noyau de mangue a informé les composés chimiques dans l'échantillon de poudre de noyau de mangue. Le tableau 15 récapitule les différents composés chimiques dans l'huile de la poudre de noyau de mangue.

Tableau 15 : Récapitulatif des composants de l'huile de noyau de mangue par analyse chromatographie

Acide gras	Symbole	Echantillon (%)	Valeur indicative (1) (%)	Valeur indicative (2) (%)
Acide palmitique	16 :0	7,15	8,55	5 à 8
Acide palmitoléique	16 :1w9	0,17		
Acide stéarique	18 :0	38,97	41,61	30 à 40
Acide oléique	18 :1w9	42,87	41,03	30 à 45
Acide linoléique	18 :2w6	7,91		
Acide linolénique	18 :3w3	0,56		
Acide arachidique	20 :0	1,64		
Acide Gandoleique	20 :1w9	0,17		

(1) Beurre végétale de mangue, AROMA-ZONE-2015

(2) Beurre de mangue : COMPAGNIE DES SENS

3.2.4.1. Résultat plus approfondi des éléments majeurs dans l'huile de poudre de noyau de mangue

Après analyse chromatographique plus approfondie, on a obtenu la figure 2.

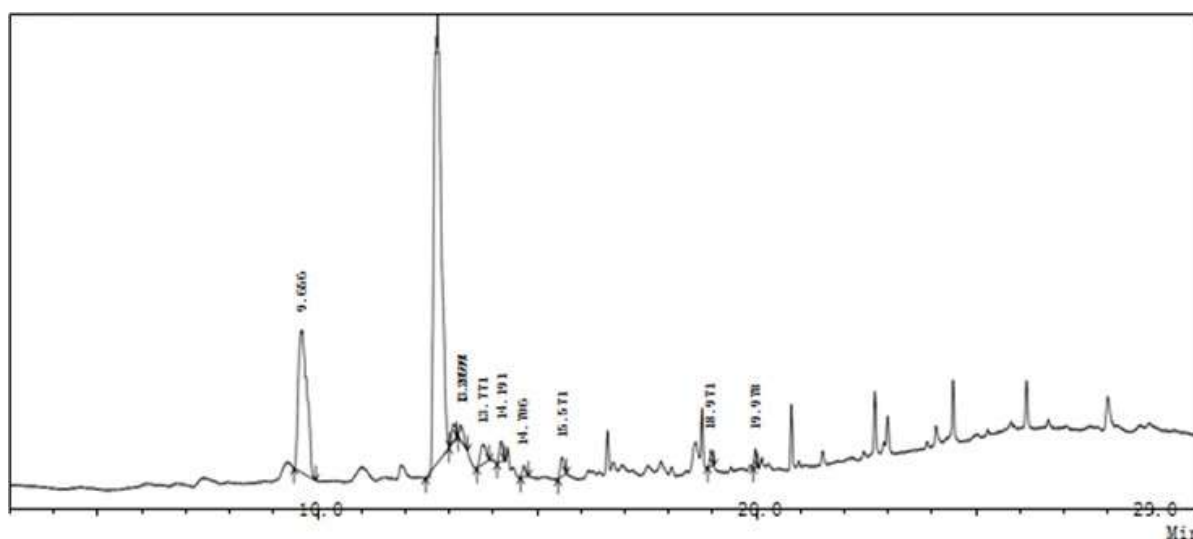


Figure 2 : graphe analyse chromatographique de l'huile de poudre de noyau de mangue

Cette figure montre la courbe obtenue après analyse chromatographie de l'huile de poudre de noyau de mangue. Ce graphe montre les composés majeurs dont :

- Le linoléate de méthyle ou ester méthylique de l'acide linoléique ($C_{19}H_{34}O_2$) représente l'élément majoritaire (65,65%) dans cet extrait ;
- La Palmitate de méthyle ester méthylique de l'acide palmitique ($C_{17}H_{34}O_2$) est le 2^{ème} composant majeur de l'extrait 24,33%.

Ces deux extraits montrent la richesse en lipide du noyau de mangue. Utilisation en cosmétique et nutritionnel.

4. Discussion

Les résultats issus de ce travail de recherches ont mis en évidence l'importance de l'économie circulaire à travers la valorisation des déchets de litchi et de mangue en l'occurrence leur noyau respectif. La transformation des noyaux de litchi en biochar a permis d'avoir un Pouvoir calorifique Inférieur de 6337,2 kcal/kg d'une part et d'autre part l'obtention de l'huile de poudre de noyau de mangue pour un rendement de 7 à 9% par rapport au poudre de noyau de mangue. Ainsi, des questions se posent entre autres :

- Quels impacts peut-on attendre à l'adoption du biochar au niveau domestique ?
- Quel est le volume d'huile de poudre de noyau de mangue attendu chaque année en valorisant les déchets de noyaux de mangue générés par la société MPE de Toamasina ?

4.1. Impacts de l'adoption du biochar au niveau domestique et environnemental

Selon le journal Madagascar Matin en date du 17 décembre 2025, les besoins énergétiques domestiques sont très majoritairement couverts par le charbon de bois. Une famille malgache en consomme de 50 à 100 Kg par mois. Moins cher par rapport aux autres énergies comme le gaz. En 2017, d'après Global Forest Watch, Madagascar se classe 4^{ème} pays en terme de déforestation avec 510 000 hectares détruits en une année, soit la disparition de 3,8% des forêts à Madagascar.

En tenant compte de ces réalités, il est primordial d'adopter l'utilisation du biochar au niveau des ménages dans l'optique de réduire la consommation en charbon de bois des ménages d'une part et d'autre part de réduire la pression sur la déforestation.

4.1.1. Evaluation de réduction de consommation en charbon de bois par l'utilisation de biochar Selon les résultats de ce travail de recherche, le PCI du biochar est de 6337,2 kcal/kg et celui du charbon d'eucalyptus est de 6700 kcal/kg. En se basant sur la consommation mensuelle en charbon de bois d'un ménage de 100 kg/mois, on peut calculer le volume de charbon préservé par ménage en adoptant le biochar.

Ainsi, En appliquant la loi d'équivalence énergétique suivante :

$$M_{\text{éqbio}} \times \text{PCI biochar} = M_{\text{charbon}} \times \text{PCI charbon de bois}$$

Avec : $M_{\text{éqbio}}$ = Masse équivalente de biochar PCI biochar = 6337,2 kcal/kg M_{charbon} = Masse charbon de bois
PCI charbon de bois=6700 kcal/kg

En prenant les données du journal Madagascar Matin que : $M_{\text{charbon de bois}} = 100 \text{ kg/mois}$ On obtient :

$$M_{\text{éqbio}} = \frac{M_{\text{charbon}} \times \text{PCI charbon de bois}}{\text{PCI biochar}}$$

Méquivalente de biochar est de : 105,72 kg/mois

Ainsi, l'adoption de biochar au niveau d'un ménage permettra d'utiliser seulement : 5,72 kg/mois seulement de charbon de bois au lieu de 100 kg antérieurement. Dans ce cadre, l'adoption du biochar au niveau ménage permettra de réduire la pression sur les ressources forestières en réduisant :

100- 5,72 kg = 94,28 kg par mois de charbon de bois, soit 942,8 kg de bois vert pour un rendement de carbonisation de 10%.

4.1.2. Evaluation de ressource forestière préservée par ménage

En tenant compte des données de la Station forestière de Morondava montrant que : 1 ha de forêt d'eucalyptus contient 70 000 kg

de bois vert. Donc, pour 942,8 kg de bois vert, il y aura une préservation de 0,0135 ha par ménage par mois, soit $0,0135 \times 12 \text{ mois} = 0,1616 \text{ ha/ménage/mois}$.

4.2. Volume d'huile de poudre de noyau de mangue

En tenant compte du flow-sheet de production d'huile à partir de la poudre de noyau de mangue suivant :

Pour 8 kg de noyau de mangue, on a obtenu 2,9 kg de poudre de noyau de mangue. Et pour un rendement en huile de 7 à 9% d'huile à partir de poudre de noyau de mangue, on pourra obtenir le volume d'huile de noyau de poudre de mangue par campagne de production.

Selon Bally I.S.E [7], la proportion du noyau par rapport au fruit de mangue varie beaucoup selon la variété mais se situe fréquemment entre 10% et 25%. En tenant compte de ce résultat et en raisonnant par hypothèse basse (c'est-à-dire que la proportion du noyau par rapport au fruit de mangue est de 10%), les résultats issus de l'expérimentation s'expriment comme suit :

Pour 80 kg de mangue, on a obtenu 8 kg de noyau de mangue et 2,9 kg de poudre de noyau de mangue.

Ainsi, en tenant compte de la quantité annuelle de mangue traitée par la société MPE pour les 3 campagnes, le tableau 16 récapitule cette situation.

Tableau 16 : Quantité moyenne annuelle de mangue (kg) pour les trois campagnes : 2017, 2018 et 2019.

Type de Fruits	Cumul 3 ans (kg)	Moyenne Annuelle (kg)
Mangue	291920	97 306,66

Ce tableau montre que la société MPE. SA transforme en moyenne 9,306, 66 kg de mangue pour les trois campagnes antérieures. si on prend donc une hypothèse basse et à partir des 97306,66 kg de fruit de mangue de MPE, on pourrait avoir 9730,66 kg de noyau de mangue et 3527, 37 kg de poudre de noyau de mangue et 246,91 kg d'huile de noyau de mangue en tenant compte d'un rendement de 7% à partir de poudre de noyau de mangue.

En bref, pour une transformation de 97306,66 kg de fruit de mangue de la société MPE, on pourrait avoir 246,91 kg d'huile de poudre de noyau de mangue.

Le tableau 17 récapitule tous ses résultats

Tableau 17 : Récapitulatif de production de poudre et d'huile à partir des noyaux de mangue de MPE (moyenne de 3 campagnes)

Type de Fruits	Cumul 3 ans (kg)	Moyenne Annuelle (kg)	Noyau de mangue (kg)	Poudre de mangue (kg)	Huile de noyau de mangue (kg)
Mangue	291920	97 306,66	9730,67	3527,37	246,916

5. Conclusion

Ce travail de recherche a mis en évidence l'importance de la valorisation des déchets des noyaux de litchi et de mangue extraits des déchets de fruit d'exportation de la Société MPE SA de Toamasina. Les résultats issus des essais d'expérimentation sont probants puisque ces noyaux de litchi ou de mangue sont déjà considérés comme des déchets pourtant de nouvelles ressources à haute valeur ajoutée y ont été obtenues : le biochar et l'huile végétale. Le biochar, grâce à son Pouvoir calorifique Inférieur (PCI) de 6337,2 kcal/kg est apte à concurrencer le charbon de bois. Son adoption au niveau d'un ménage peut préserver 0,1616 ha par mois, soit 1,9392 ha/an/ménage.

En ce qui concerne les noyaux de mangue, les résultats des essais d'expérimentation au laboratoire ont montré que pour 8 kg de

noyau de mangue on pourrait obtenir 2,9 kg de poudre de noyau de mangue et 0,203 kg d'huile pour un rendement de 7% par rapport à la poudre de noyau de mangue. En faisant une projection par rapport à 97306,66 kg de mangue traitée par MPE pendant trois campagnes, on pourrait obtenir donc 246,91 kg d'huile.

En bref, ce travail de recherche confirme l'importance de l'économie circulaire par valorisation des déchets de fruit d'exportation.

Référence

- [1] : Carte des 22 Régions, FTM2000, modifiée par H. Ratsimba 2015
- [2] MEI/CREAM, 2009- Monographie Atsinanana
- [3] www.scrimad.com, consulté le 19/03/23
- [4] : Répartition du commerce équitable www.ethiquable.com
- [5] Barles S. ,2005 L'invention des déchets urbains France 1790-1970 Paris, Champ-Vallon
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2004). *Calculation of the energy content of foods – Energy conversion factors*. FAO.
- [7] Bally I.S.E., 2006, *Mangifera indica* (mango), Species profiles for pacific island agroforestry, 1- 25.