

PRODUCTION D'ETHANOL A PARTIR DES DECHETS DE PASTEURISATION DE JUS DE FRUITS TROPICAUX. CAS DE LA SOCIETE MADAGASCAR PREMIUM EXOTICA (MPE) TOAMASINA.

A.O. RAVONINJATOVO¹, L. ANDRIANAIVO², J. L. RASOANAIVO³

¹ *Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), BP 6294 Antananarivo 101 Madagascar*

² *Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie, Université d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar*
e-mail : achillegc@yahoo.fr

Résumé

La côte Est de Madagascar est une zone riche en fruits tropicaux très prisés sur le marché Européen. Parmi ces fruits, on peut citer : le fruit de la passion, le corossol, la goyave, le litchi et l'ananas. Plusieurs sociétés interviennent dans la transformation de ces fruits tropicaux, dont la société MPE ou «Madagascar Premium Exotica» qui produit du jus et purée de fruits tropicaux par la pasteurisation. La production de jus et purée de fruits génère beaucoup de déchets représentant en moyenne 6% à 10% du fruit brut. La problématique de MPE est la gestion rationnelle de ces déchets.

Le présent travail de recherches a été focalisé sur les déchets de litchi et d'ananas. Il a pour finalité : primo, la production de bioéthanol par la valorisation énergétique des déchets de pasteurisation de ces fruits; secundo, la contribution à la résolution du problème de gestion rationnelle de déchets de MPE. Le bioéthanol est une source d'énergie renouvelable, écologique et alternative au bois énergie.

La méthodologie adoptée pour la concrétisation de ce travail de recherches est à la fois qualitative et quantitative et nécessite à priori par le passage à travers les activités suivantes : la collecte des données bibliographique et webographie, la descente au niveau de la société MPE pour voir de visu la réalité sur les déchets à traiter, les travaux d'expérimentation au laboratoire, l'analyse et les traitements des données et la rédaction de ce travail de recherches.

Les résultats issus de ce travail ont montré que les déchets de fruits présentent un énorme potentiel en sucres. Pour gérer rationnellement ces déchets, la solution est l'application de la technologie de fermentation suivie de celle de la distillation puis de la rectification afin de les transformer en bioéthanol. L'étude de faisabilité économique relative à la mise en place d'une unité de distillerie de transformation de déchets au sein de la société est intéressante avec un indice de profitabilité de 1,33, c'est-à-dire l'investissement de 1 MGA permettra d'obtenir un bénéfice net de 0,33 MGA. De plus, le Taux de Rentabilité Interne est de 28,45% qui est nettement supérieur au taux bancaire.

Mots clés : déchets, fruits tropicaux, pasteurisation, bioéthanol, distillation

1. INTRODUCTION

Les activités industrielles génèrent des quantités importantes de déchets qui constituent à la fois une certaine nuisance pour l'environnement et une perte de matières recyclables.

Les déchets riches en matières organiques sont des produits nobles et constituent de nouvelles matières pour de nombreuses industries, on parle alors de matière première secondaire. Leur valorisation par les procédés biotechnologiques représente une solution de choix dans la mesure où elle contribue non seulement à l'élimination de la pollution que subit l'environnement, mais également permet de produire des substances à forte valeur ajoutée et de la bioénergie.

La société Madagascar Premium Exotica (MPE), une usine de pasteurisation de jus de fruits tropicaux est confrontée à un problème de gestion de déchets. En effet, les déchets générés par cette usine ne font objet ni de ramassage systématique, ni de traitement avant rejet. La société ne possède pas de lieu spécifique de dépôt mais les déchets sont déposés à l'extérieur de l'usine de pasteurisation. Ce qui entraîne certainement une pollution grave qui pourrait ternir l'image de la société. Face à cette situation, un protocole d'accord ayant pour objet de contribuer à résoudre ce problème, a été établi entre la société MPE et le Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT). C'est dans cette optique que nous avons initié ce projet de: «Production d'éthanol à partir des déchets de pasteurisation de jus de fruits tropicaux».

Ainsi, plusieurs questions se posent:

- comment peut-on gérer ces déchets?
- existe-t-il des méthodes appropriées pour la valorisation écologique de ces déchets?
- Ces méthodes sont-elles faisables et rentables?

Le présent travail de recherches essaie d'apporter des réponses à ces questions à travers les différentes parties de ce document.

2. METHODOLOGIE

2.1. Zone d'études :

Cette section consiste à localiser la MPE SA, notre lieu d'étude, et à prendre connaissance de ses principales activités.

2.1.1. Localisation et situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude (Figure 1) se trouve dans le Fokontany d'Analamalotra, sur la route d'Ivoloina RN5, à 5km de la commune urbaine de Toamasina:

- district de Toamasina II (Latitude Sud: 18°5'' et 11°65'' Sud et longitude Est: 49°23'' et 28°81'' Est)
- région Antsinanana

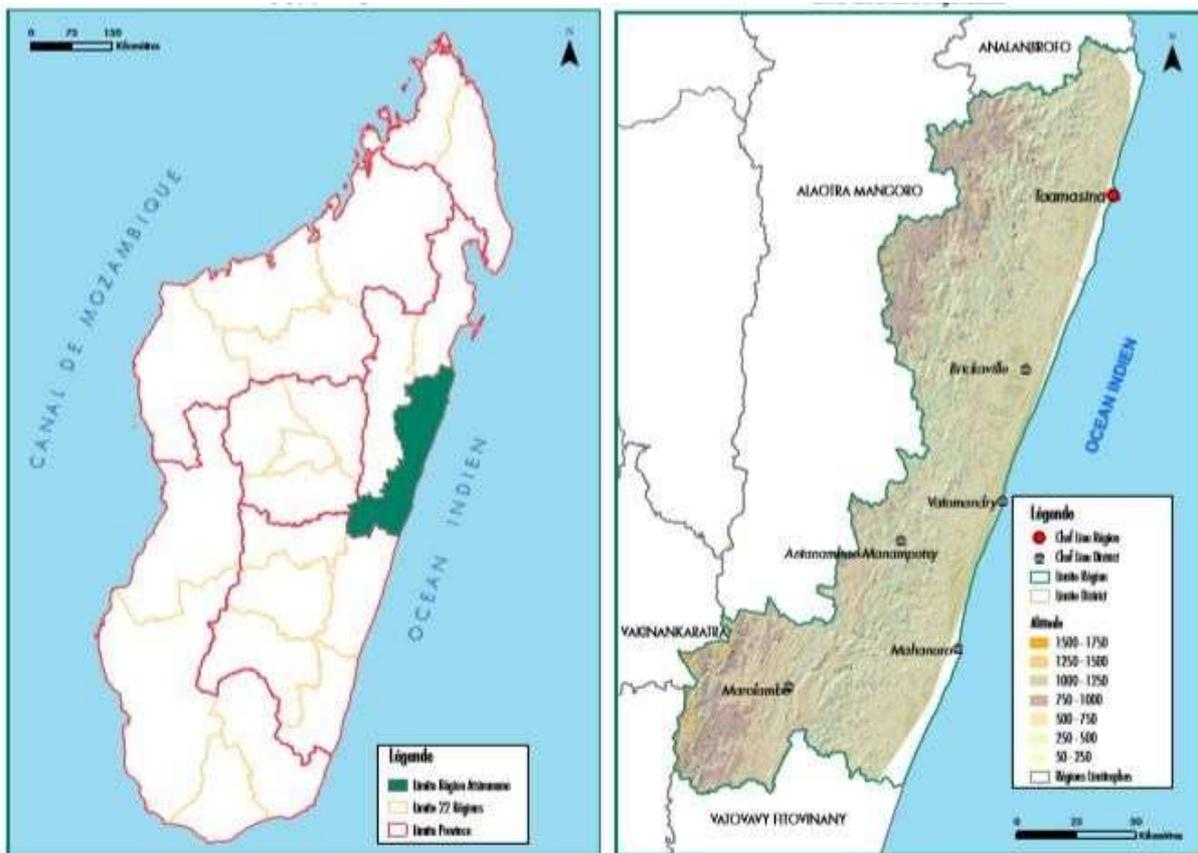


Figure 1: Localisation géographique et le relief de la région Antsinanana

2.1.2. La MPE SA

La société MPE ou «Madagascar Premium Exotica» (Figure 2) est une entreprise industrielle du groupe SCRIMAD œuvrant pour le développement de l'agro-alimentaire. La création de la MPE permet à SCRIMAD d'avoir une activité qui s'étale désormais tout au long de l'année grâce à la transformation et l'exportation de variantes fruits tropicaux saisonniers.



Figure 2: Présentation de la "MPE" SA

2.2. Activité et problématique de la MPE SA

La MPE SA, est une société agro-alimentaire qui produit du jus et purée de fruits tropicaux par la pasteurisation. La production a débuté depuis le mois de décembre 2015.

L'unité de production enregistre actuellement une forte croissance de demande en jus et/ou purée pasteurisés malgré les problèmes de produit sentant l'odeur et le goût de brûlé constatés, après analyse d'échantillons pris durant la production. En outre, la

MPE souffre aussi d'énorme problème de gestion de ses déchets.

Pour satisfaire les besoins du client qui demande un produit meilleur en qualité et de grande quantité, l'usine a décidé de faire réaliser une étude et des travaux de recherche qui lui permettent d'avoir des paramètres optimaux. C'est dans ce cadre que MPE SA a sollicité le CNRIT par le biais de ses chercheurs dry intervenir.

2.3. Ligne de production de l'usine

Le procédé de fabrication comprend respectivement :

- le lavage: pour enlever les souillures et une grande partie des microorganismes superficiels. L'eau doit être propre et assainie sans quoi le résultat sera inverse de celui escompté.
- le triage: pour séparer les produits en bon état de ceux défectueux, pas murs ou présentant de trace de pourriture
- le pelage: pour enlever l'écorce ou la coque des fruits
- le dénoyautage: pour séparer les noyaux de la pulpe
- le raffinage: passage par un appareil permettant de séparer le jus à pasteuriser
- la pasteurisation: passage par deux séries d'échangeurs de chaleurs tubulaires assurant l'opération de pasteurisation du jus.

2.4. Travaux de laboratoire

Parallèlement aux traitements des déchets provenant de l'usine de Toamasina, des recherches de simulation avec des déchets locaux ont été menés au laboratoire du CNRIT.

Production de bioéthanol

La transformation en éthanol étant la méthode jugée adéquate pour valoriser les déchets de fruit de l'usine de pasteurisation MPE SA.

Ce procédé est réalisable en procédant par la fermentation en milieu anaérobique, permettant de transformer le sucre en éthanol, puis par une distillation suivi d'une rectification.

Lla figure 3 (diagramme) ci-dessous, met en évidence les différentes étapes de fabrication de l'éthanol.

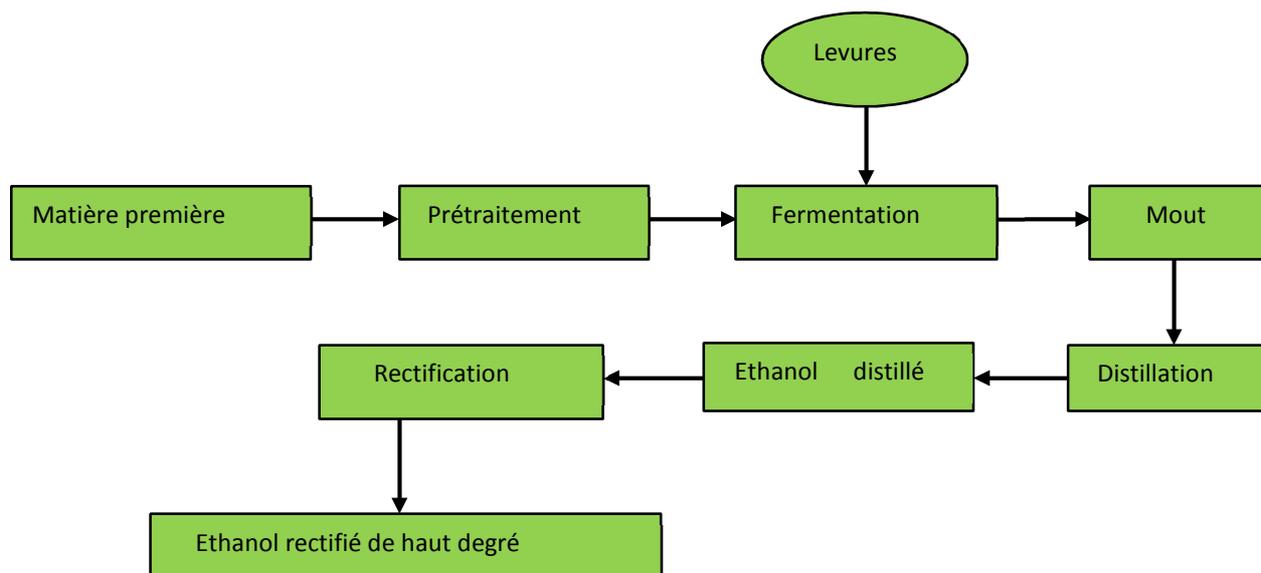


Figure 3 : Diagramme de fabrication de l'éthanol

2.4.1. Fermentation

Principe

La fermentation consiste à transformer le glucose en éthanol. Pour ce faire, l'ajout de levures au mélange est nécessaire. La durée de la fermentation est d'environ une semaine [19]. La fermentation alcoolique doit être dans un milieu anaérobique, une température entre 15°C et 35°C. Le milieu anaérobique permet à la levure de changer le glucose en éthanol.

Mode opératoire

a) Litchi

Avant l'opération de fermentation, les déchets de fruits de litchi doit passer par les prétraitements tels que le lavage, le dénoyautage et le broyage. Et après avoir mesuré le degré brix, la quantité de levure nécessaire pour la fermentation sera versée dans le mélange.

b) Ananas

Après pesage, les déchets collectés ont été rincés puis découpés et broyés dans un mixeur, afin d'obtenir un mélange quasi homogène dont on mesure le degré brix. Le mélange ainsi formé sera introduit dans la cuve de fermentation après ajout de levure préalablement dosée.

La fermentation a été effectuée selon la procédure décrite sur les figures suivantes.

Paramètres à contrôler

Les principaux paramètres dont l'évolution doit être suivie et contrôlée sont :

- Le degré brix avant et après la fermentation. Ce paramètre se mesure à l'aide d'un réfractomètre
- L'atténuation du taux de sucre après la fermentation, donné par la formule suivante

$$Attenuation = \frac{E - E_a}{E} * 100$$

Avec: E =Taux de sucres dans la solution avant la fermentation;

E_a =Taux de sucres dans la solution après la fermentation.

En effet, la quantité totale de sucre présent dans le moût n'est pas complètement transformée en éthanol. L'atténuation traduit donc le rendement de la fermentation.

2.4.2. Distillation

La distillation est une opération permettant de séparer l'éthanol de l'eau par la différence de leur température d'ébullition.

Mode opératoire

- Préparer le distillateur;
- Filtrer le mout;
- Charger le moût filtré dans le bouilleur;
- Bien fermer le distillateur et bancher la prise (montage); □ Recueillir le distillat.

Préparatifs de la distillation

- Préparer d'abord le distillateur et verser le moût dans le bouiller. Vérifier ensuite herméticité des tuyauteries du distillateur pour éviter les éventuelles fuites de vapeur et démarrer la distillation.
- Filtrer le mout fermenté afin de se débarrasser des débris solides et par suite d'obtenir une solution plus fluide.
- Démarrer la distillation, surveiller la température, récupérer le distillat

2.4.3. Rectification

La rectification ou la distillation fractionnée est un procédé de purification d'une solution de bas degré alcoolique, permettant d'obtenir un alcool de degré élevé.

L'opération devra s'effectuer à une température bien contrôlée car la température d'ébullition de l'eau étant 100°C et celle de l'éthanol 78°C.

Principe de fonctionnement

L'alcool obtenu par la première distillation sera introduit dans le bouilleur du rectificateur et chauffé par la résistance électrique. La vapeur ainsi formé traverse la colonne garni de matériau structuré (plateau). La température s'abaisse quand on monte dans la colonne. La vapeur constituée de composant le moins volatile (eau) se refroidit et se condense au niveau des plateaux de la colonne pour retomber dans le bouilleur. La vapeur riche en composant le plus volatile (alcool) continue sa montée dans la colonne de distillation, puis traverse la tuyauterie (circuit vapeur) et passe par le condenseur pour donner de l'alcool liquide distillé.

Mode opératoire

- Rassembler les alcools issus de la distillation, puis mesurer le degré alcoolique du mélange obtenu.
- Charger le mélange dans le bouilleur du rectificateur.
- Démarrer la rectification après avoir branché le système de refroidissement.
- Recueillir, au cours de l'opération de rectification, des échantillons de distillats, puis mesurer et enregistrer chaque degré alcoolique correspondant.

3. RESULTATS

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus.

3.1. Résultats de la fermentation

La fermentation se déroule en milieu non renouvelé. Maatallah (1970) suggère 7 jours pour une fermentation totale, alors que Boughnou (1988) évoque trois à quatre jours. Dans notre cas, on a opté pour une durée de fermentation de 5 jours.

Plusieurs essais ont été effectués au laboratoire. Les tableaux 1 et 2 suivants résumant les résultats issus de ces expériences.

Tableau 1: Fermentation des essais du litchi

N° essai	Déchets pulpe+jus (g)	Levure (g)	Temps (jrs)	Taux de sucre avant fermentation (°Brix)	Taux de sucre après fermentation (°Brix)	Atténuation (%)
1	250	12,5	5	17	5	70,59
2	500	25,0	5	17	6	64,71
3	750	37,5	5	18	7	61,11

4	1000	50,0	5	19	5	73,68
---	------	------	---	----	---	-------

Tableau 2: Fermentation des essais de l'ananas

N° essai	Déchets pulpe+écorce (g)	Levure (g)	Temps (jrs)	Taux de sucre avant fermentation (°Brix)	Taux de sucre après fermentation (°Brix)	Atténuation (%)
1	1000	50	5	12,5	3	76,00
2	1300	65	5	13,0	5	61,54
3	1500	75	5	15,0	7	53,33
4	1700	85	5	12,5	6	52,00

Rappelons que l'atténuation du taux de sucre après la fermentation est donnée par la formule suivante:

$$Attenuation = \frac{E - E_a}{E} * 100$$

Avec:

E = Taux de sucres dans la solution avant la fermentation;

E_a = Taux de sucres dans la solution après la fermentation

Les résultats illustrés dans les tableaux ci-dessus montrent que sur différents masses initiales de déchets utilisés lors de la fermentation, on a enregistré:

- Pour le litchi, une variation de l'atténuation de 61,11% à 73,68% dont la moyenne étant 67,52%
- Pour l'ananas, une variation de l'atténuation de 52% à 76% dont la moyenne étant 60,72%

3.2. Résultats de la distillation

Plusieurs essais de distillations ont été élaborés avec le mout provenant de la fermentation des deux types de déchets étudiés.

A la fin de fermentation, nous serons en présence d'un jus d'ananas ou litchi, qu'il faut distiller pour pouvoir extraire l'éthanol. Le but est donc d'avoir un distillat riche en éthanol et de grande pureté. A la partie supérieure de la colonne, nous avons recueilli le distillat. La température de distillation est de l'ordre de 78°C. Le début de l'opération jusqu'au soutirage de la première goutte dure entre 30mn à 120min.

3.2.1. Litchi

Les tableaux 3 à 6 ci-dessous présentent les quantités d'éthanol obtenu de chaque jet de distillat et leur temps de distillation, ce qui a permis de déterminer le degré alcoolique.

Tableau 3: Résultats obtenus après distillation du 1er essai de litchi

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	32	125	72
2	38	125	60
3	66	125	53
4	124	125	40

Pour ce premier essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 40° à 72°.

Tableau 4: Résultats obtenus après distillation du 2ème essai de litchi

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	45	125	75
2	72	125	63
3	82	125	54

4	128	125	45
---	-----	-----	----

Pour ce deuxième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 45° à 75°.

Tableau 5: Résultats obtenus après distillation du 3ème essai de litchi

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	55	125	53
2	87	125	25
3	116	125	10
4	174	125	4

Pour ce troisième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 4 à 53°.

Tableau 6: Résultats obtenus après distillation du 4ème essai de litchi

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	29	125	69
2	48	125	51
3	75	125	31
4	124	125	16

Pour ce quatrième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 16 à 69°.

3.2.2. Ananas

Le début de l'opération jusqu'au soutirage de la première goutte d'alcool d'ananas dure environ 100 mn. Après soutirage, nous avons pu regrouper les distillats obtenus dans les tableaux 7 à 10 ci-dessous.

Tableau 7: Résultats obtenus après distillation du 1er essai de l'ananas

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	39	125	73
2	87	125	51
3	131	125	32
4	161	125	10

Pour ce premier essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 10 à 73°.

Tableau 8: Résultats obtenus après distillation du 2ème essai de l'ananas

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	113	125	65
2	153	125	44
3	299	125	27
4	320	125	10

Pour ce deuxième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 10 à 65°.

Tableau 9: Résultats obtenus après distillation du 3ème essai de l'ananas

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	76	125	25
2	116	125	22
3	140	125	19
4	166	125	5

Pour ce troisième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 5 à 25°.

Tableau 10: Résultats obtenus après distillation du 4ème essai de l'ananas

N° jet	La durée de distillation (min)	Le volume d'éthanol obtenu (ml)	Le degré alcoolique (°GL)
1	71	125	55
2	147	125	53
3	182	125	45
4	203	125	35

Pour ce quatrième essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 35 à 55°.

3.3. Résultats de la rectification

Afin d'aboutir à un résultat meilleur, la rectification des alcools obtenus par la distillation s'est déroulée en deux étapes et par groupement d'alcools de degré voisin.

a) Litchi

3.3.1. Première rectification

Premier groupe d'essai

Conditions opératoires

- Degré alcoolique 50°
- Volume initial de l'alcool 1000ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 11: Résultats obtenus après rectification du 1er groupe d'essai de l'alcool de litchi

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	84	40
2	100	84	75
3	100	84	100
4	100	82	137
5	50	79	190

- Pour cette rectification, on a obtenu un volume d'éthanol de 450ml dont le degré alcoolique varie de 79 à 84°.

Deuxième groupe d'essai

Conditions opératoires :

- Degré alcoolique 15°
- Volume initial de l'alcool 1000ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 12: Résultats obtenus après rectification du 1er groupe d'essai de l'alcool de litchi

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	77	56
2	25	50	194

Le volume d'éthanol obtenu est de 125ml dont le degré alcoolique varie de 50 à 77°.

3.3.2. Deuxième rectification

Conditions opératoires :

- Degré alcoolique 80°
- Volume initial de l'alcool 575ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 13: Résultats obtenus après la 2ème rectification du litchi

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)
1	100	89
2	100	88
3	100	84
4	100	83

La deuxième rectification a permis d'obtenir 575ml d'éthanol élevé de 83 à 89°.

b) Ananas

Avant la rectification, nous avons rassemblé l'alcool obtenu par la première distillation en quatre groupes dont:

- Trois groupes de degré alcoolique : 35°;
- Un groupe de degré alcoolique: 15°

3.3.3. Première rectification

Premier groupe d'essai

Conditions opératoires

- Mélange de l'alcool de degré alcoolique 35°
- Volume initial de l'alcool 600ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

A l'issue de ce premier groupe d'essai, nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 14):

Tableau 14: Résultats obtenus après rectification du 1er groupe d'essai de l'alcool de l'ananas

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	74	38
2	50	69	116
3	25	45	216

Le volume d'éthanol obtenu est de 175ml dont le premier distillat (après 38mn) présentait un degré d'éthanol de 45° tandis que le dernier était à 74°.

Deuxième groupe d'essai

Conditions opératoires :

- Mélange de l'alcool de degré alcoolique 35°
- Volume initial de l'alcool 650ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 15: Résultats obtenus après rectification du 2ème groupe d'essai de l'alcool de l'ananas

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	80	54
2	50	73	116
3	25	61	293

Pour ce deuxième groupe d'essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 175ml dont le degré alcoolique varie de 61 à 80°.

Troisième groupe d'essai

Conditions opératoires :

- Mélange de degré alcoolique 35°
- Volume initial de l'alcool 750ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 16: Résultats obtenus après rectification du 3ème groupe d'essai de l'alcool de l'ananas

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	86	63
2	100	76	106
3	25	63	185

Pour ce troisième groupe d'essai, la quantité d'éthanol obtenu est de 225ml dont le degré alcoolique varie de 63 à 86°.

Quatrième groupe d'essai

Conditions opératoires :

- Mélange de l'alcool de degré alcoolique 15°
- Volume initial de l'alcool 1000ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C

Tableau 17: Résultats obtenus après rectification du 4ème groupe d'essai de l'alcool de l'ananas

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	60	133
2	25	56	151

Le volume total d'éthanol obtenu est de 125ml dont le degré alcoolique obtenu varie de 56° à 60°.

3.3.4. Deuxième rectification

Conditions opératoires :

- Degré alcoolique 75°
- Volume initial de l'alcool 700ml
- Température de consigne du régulateur du bouilleur 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne 78°C.

Tableau 18: Résultats obtenus après la 2ème rectification de l'ananas

N° jet	Volume d'éthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	83	37
2	100	86	55
3	100	85	76

4	100	87	100
5	50	86	136
6	50	84	175

Le volume total d'alcool obtenu est de 500ml dont le degré alcoolique varie de 83° à 87°.

4. DISCUSSION

Pour les pays développés comme pour les pays en développement, l'éthanol est déjà utilisé et considéré comme une nouvelle source d'énergie qui peut remplacer l'énergie non renouvelable ou la dendroénergie. Pour les pays en développement comme Madagascar, le bois-énergie occupe la première place par rapport aux autres énergies. Cependant, le bois-énergie crée divers problèmes socio-économiques et environnementaux.

La ville d'Antananarivo est classée comme la ville la plus insalubre, elle génère plus de 100 tonnes de déchets par jour, tous types de déchets (ordures ménagères, déchets du marché, déchets industriels, ...) alors que les décharges actuelles commencent à s'épuiser, ces dernières ne sont plus suffisantes face à la croissance rapide de la population. Cela devient un problème national majeur en raison de son impact négatif sur la santé publique, principal vecteur de diverses maladies telles que la peste, la rougeole, ...

La présente étude consiste en la valorisation des déchets de fruits de banane pour contribuer à la réduction. A l'issue de ce travail, l'objectif principal a été atteint. Nous avons transformé les déchets en éthanol à 80° qui peut être utilisé non seulement comme combustible domestique alternatif au bois-énergie mais aussi à des fins pharmaceutiques. En effet, 200 kg de déchets nous permettent d'obtenir 25 litres d'éthanol à 80°, ce qui correspond aux besoins quotidiens de 20 ménages de taille moyenne (5 personnes).

Outre le fait que le processus de transformation de ces déchets est très flexible, facilement réalisable et que son coût d'investissement est abordable, le prix des matières premières peut être à discuter avec les opérateurs pour une collecte en vrac. Le travail pratique effectué en laboratoire a permis d'obtenir des résultats satisfaisants en matière de production d'éthanol.

Les indicateurs de rentabilité de ce projet nous montrent que le projet est rentable. La VAN est positive de 27.535.733 MGA, le capital investi est récupéré après 2 ans 1 mois 12 jours. Le projet peut supporter un taux de prêt allant jusqu'à 28,46% si un financement externe est nécessaire. Selon ces indicateurs, le projet générerait des bénéfices, et sa mise en œuvre serait bénéfique pour la zone d'étude ainsi que pour les industriels de Madagascar et des régions de l'Océan Indien.

5. CONCLUSION

Ces travaux ont mis en évidence d'autres possibilités de production d'éthanol à partir de déchets. Pour ce travail, des déchets de bananes ont été utilisés comme matière première. Le développement de ce projet a le potentiel de réduire la pollution et de protéger l'environnement de la déforestation. Avec un bilan environnemental positif, le bioéthanol est recommandé par divers organismes mondiaux et permet également de réduire la demande d'énergie non renouvelable, qui tend actuellement à se raréfier.

Ce travail a permis de synthétiser les points essentiels relatifs à la production de bioéthanol, aux différents procédés impliqués (fermentation, distillation, rectification) et à l'étude de préfaisabilité technique et économique du projet. Le but de la partie expérimentale est de transformer les sucres fermentescibles contenus dans les déchets en alcool sous l'action de la levure. Après la première distillation de cette dernière, suivie d'une rectification, on obtient de l'alcool à 80°GL.

Ce projet, à l'échelle industrielle, répondait parfaitement aux conditions requises par les outils d'évaluation économique pour juger de la rentabilité et de la viabilité d'un projet. Nous avons généré un P.I. de 1,3 ou 1MGA de capital investi, générant une marge bénéficiaire de 0,3 MGA. Il est à noter que la production d'alcool à partir de déchets de bananes est un projet rentable avec un délai de récupération très court de 2 ans 1 mois et 12 jours.

En bref, la réalisation de ce projet apporte des retombées positives pour la commune urbaine d'Antananarivo afin de faire face au problème de la réduction de la pollution générée par les déchets de bananes. Le résultat de ce travail de recherche pourrait être appliqué à d'autres types de déchets de fruits tels que le litchi, l'ananas,...et également être considéré comme un modèle de récupération des déchets fermentescibles à des fins énergétiques.

REFERENCES

- [1]: MEEDDAT (2008, p. 26) +A10
- [2]: Suisse Energie, « Énergie biomasse, énergie de la biomasse parce que les déchets organiques et le bois sont Précieux » p. 7
- [3]: Andriantsimba N.S., « Contribution à l'étude de faisabilité technico-économique de réalisation d'un distillateur a colonne pour rectification de rhum artisanal » MIER (2017)
- [4]: APICAN « Fiches variétés foire de Koumac »
- [5]: APRIA (1979), « Microbiologie et industrie alimentaire : fermentation lactique, alcool, protéines et génie génétique » Tome 4
- [6]: Cheesman E.E, « Classification of the bananas II: the genus Musa L »« Classification of the bananas III: Critical notes on species » Kew Bulletin 2, 1947,Kew Bulletin 2, 1950