

# PRODUCTION D'ETHANOL A PARTIR DES DECHETS DE FRUIT DE BANANIER

J. L. RASOANAIVO<sup>1</sup>, A.O.RAVONINJATOVO<sup>1</sup>, L. ANDRIANAIVO<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar

<sup>2</sup> Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie, Université d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar  
e-mail : [jeanlucnj@gmail.com](mailto:jeanlucnj@gmail.com)

## Résumé

En tant que pays tropical, Madagascar dispose un potentiel important en différentes variétés de fruits tels que : le litchi, le corossol, l'ananas, la goyave et la banane. Cette dernière est l'objet de ce travail de recherches car c'est un fruit qui existe toute l'année et où toutes les régions de l'île en disposent autant. La seule ville d'Antananarivo consomme en moyenne tous les ans 24000 t à 30000 t de banane pour un effectif minimum de 80 à 100 murisseries de la capitale, soit une production annuelle de 300 t par murisserie. Les déchets de fruits de bananiers enregistrés au niveau de chaque acteur ne sont pas pareils. Ils varient de 5 à 20% selon chaque acteur.

Pour la ville d'Antananarivo, le fruit de bananier dispose son propre circuit commercial qui a permis à ce travail de recherches de disposer des bases de données relatives à la potentialité en déchets au niveau des différents acteurs de cette filière tels que les collecteurs transporteurs, les grossistes transporteurs et les grossistes des murisseries.

Ce travail de recherches a permis de mettre en exergue les différentes étapes à suivre pour la production d'éthanol depuis les déchets bruts de fruit de bananier en passant par la fermentation, la distillation et la rectification. Plusieurs facteurs interviennent pour la production d'éthanol, mais de prime à bord, le plus important que le fruit en disposition dispose une teneur en sucre significatif. Une étude de préféabilité technico économique a été réalisée dans le cadre de ce travail de recherches permettant par la suite de conclure que la valorisation des déchets de fruits de bananier en éthanol est rentable financièrement car les indicateurs de rentabilité le confirment avec respectivement un taux de rentabilité TRI de 28,46%, un investissement sera récupéré au bout de 2ans 1mois 12 jours et un indicateur de rentabilité de 1,3, c'est-à-dire investir 1 MGA et on obtiendra 0,3 MGA de bénéfice.

*Mots clés : déchet, banane, éthanol, valorisation, biomasse, fermentation, distillation, rectification.*

## 1. INTRODUCTION

La protection de l'environnement est une préoccupation d'une importance capitale, partout dans le monde. Madagascar n'y est pas en reste et l'Etat Malagasy s'y engage. Pour notre pays l'une des causes la plus violente de la détérioration de l'environnement est due aux effets néfastes conjoints de la pratique de la culture sur brûlis et aux usages excessifs du bois énergie. L'énergie joue un rôle important pour le développement économique d'un pays en développement comme Madagascar. Actuellement, notre pays se trouve face à des problèmes énergétiques graves, notamment en énergie électrique et surtout en milieu rural.

L'une des solutions étant de faire recours aux potentiels en énergies renouvelables que notre pays dispose en quantité considérable. La promotion de leur exploitation pourrait générer des perspectives intéressantes en milieu rural dans la mesure où elle privilégie le développement local par l'utilisation de ressources endogènes.

Ce qui impose la recherche de technologies visant la valorisation des sous- produits et déchets agricoles comme source d'énergie, telles que les technologies innovantes de fabrication de l'éthanol à partir des déchets de fruits, des racines et tubercules de certains végétaux.

Compte tenu de ces enjeux et constatant que la culture de la banane, quasiment présente partout à Madagascar, génère une quantité importante de déchets, depuis son circuit d'exploitation jusqu'à sa consommation, nous avons initié ce projet de : « Production d'éthanol à partir des déchets de fruit de bananier».

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1. Zone d'études : commune urbaine d'Antananarivo

#### 2.1.1. Situation géographique

La commune urbaine d'Antananarivo (Figure) est située au centre de la région d'Antananarivo et s'étant sur une superficie de 78 km<sup>2</sup>. Elle renferme une importante zone d'agglomération et limitée par les districts à savoir :

- Antananarivo Avaradrano au Nord et à l'Est
- Antananarivo Atsimondrano au sud et à l'ouest
- Ambohidratrimo au Nord et à l'ouest

Etant la capitale de Madagascar, elle constitue le point de convergence des principales routes nationale telle que la RN1, RN 2, RN 4 et la RN 7 reliant la ville avec les autres régions.

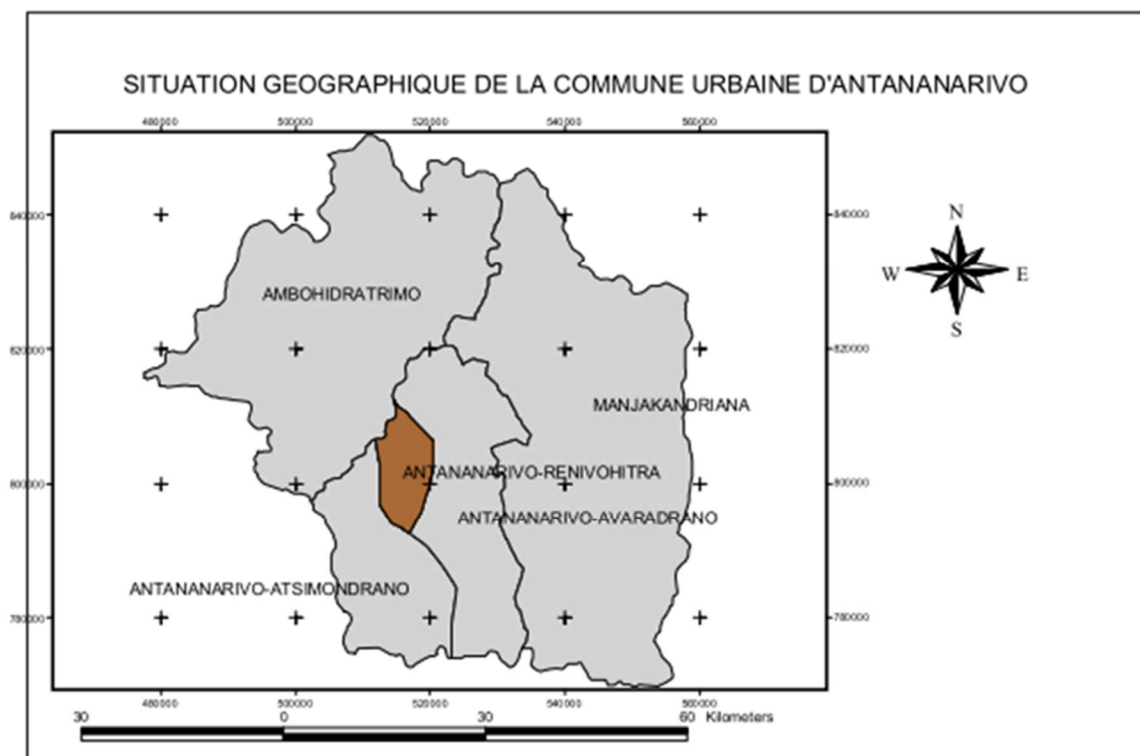


Figure 1 : Carte de la situation géographique de la CUA [21]

#### 2.1.2. Choix de la zone d'étude

On a choisi comme sites d'étude les quartiers d'Antananarivo et, notamment les principaux lieux de débarquement de la banane et les grossistes de murisserie.

Ce choix réside par le fait que la capitale de Madagascar est la plus peuplée de toutes les provinces. C'est, donc, la ville la plus polluée par les déchets. L'identification de ces sites permet de connaître le flux de banane qui alimente la ville et de déterminer l'importance de la quantité de déchet généré. Les acteurs de la filière banane ciblés pour les enquêtes sur la quantité de bananes et de déchets, étant les grossistes transporteur, les grossistes des murisseries, les revendeurs et les clients.

### 2.1.3. Approche adoptée pour la détermination des déchets de fruit de bananier à Antananarivo

#### *a) Méthode d'enquête*

Des enquêtes ont été effectuées pour collecter les renseignements généraux sur la commercialisation de la banane à Antananarivo. La méthode d'entretien adoptée consiste à discuter avec les acteurs œuvrant dans commerce de la banane. Des discussions et entretiens ont été faites auprès des grossistes transporteurs pour savoir la quantité de banane entrant dans la ville et auprès des grossistes de murisserie des différents quartiers de la ville pour évaluer le volume de déchets générés.

#### *b) Analyse des données*

Les recherches bibliographiques, la descente sur terrain et les données collectées auprès des acteurs de la filière banane, nous ont permis de connaître le circuit de commercialisation de la banane et d'estimer la quantité de déchet correspondant.

Les pertes physiques post-récolte sont liées à la durée de stockage dans le camion. Ces pertes sont principalement causées par l'évapotranspiration des régimes et leur écrasement dans les camions (hétérogénéité parfois de stades de coupe)

Pour un camion de 12 tonnes, entre le chargement et le déchargement (2 à 3 jours), on peut perdre 700 kilos de fruits (6% environ), mais au-delà de 3 jours, les pertes élèvent de 1 à 2 tonnes (16% environ).

La perte de tonnage que subit le grossiste des murisseries sur la quantité achetée peut atteindre jusqu'à 20% (une tonne achetée génère 200 kilos de déchets).

Pour les revendeurs et les clients, pour un « garrabe » de 20 kilos, on enregistre une perte de l'ordre de 1 kilo soit 5%.

#### *c) Circuit de commercialisation et potentialité des déchets de banane [8]*

- Acteurs

Les collecteurs/transporteurs constituent les éléments les plus dynamiques de la filière en ce sens qu'ils sillonnent toutes les régions productrices pour approvisionner les paysans agriculteurs en produits de première nécessité et en matériaux divers et remontent sur les Hauts-Plateaux avec des chargements en banane.

On différencie plusieurs opérateurs principaux : les grossistes transporteurs, les grossistes des murisseries de bananes, les revendeurs et les clients.

- Les grossistes transporteurs

Ils disposent de leur propre camion et s'approvisionnent principalement auprès des grossistes collecteurs au niveau des lieux de déchargement des radeaux. Les grossistes transporteurs ne disposent pas de lieu de stockage en ville. La banane est vendue immédiatement à leur arrivée auprès des acheteurs. Un chargement de 12 tonnes sera écoulé en moyenne auprès de 10 à 12 clients (grossiste de murisserie), soit une moyenne d'environ une tonne par client. Les grossistes transporteurs fixent le prix d'achat de la banane auprès des grossistes de murisserie.

- Les grossistes des murisseries ou «clients»

Les grossistes des murisseries sont en contact permanent avec les transporteurs d'une zone géographique donnée. Ils gèrent leur approvisionnement suivant la quantité de banane verte qu'ils peuvent stocker dans leur entrepôt

La quasi-totalité de la production consommée sur Antananarivo, soit environ 25 000 tonnes, transite par ces murisseries. Avec une capacité moyenne annuelle approximative de 300 tonnes par murisserie, on peut estimer leur nombre entre 80 et 100.

La banane verte se conserve entre 15 et 30 jours, en revanche, une fois mûre, la durée de leur conservation est de seulement 2 à 3 jours. Les murisseries doivent donc réguler l'approvisionnement des marchés de détails en bananes mûres suivant leur stock en vert.

Le grossiste des murisseries vend ensuite ses bananes mûres auprès de revendeurs. Le grossiste conditionne sa banane en « garrabes » (panier d'une capacité moyenne de 20 kg). Une tonne de mûre peut approvisionner cinq à six revendeurs situés sur des marchés différents de la ville.

## 2.2. Travaux de laboratoire

Des travaux de laboratoires ont été menés au sein du CNRIT, concernant plus particulièrement la fabrication d'éthanol à partir des déchets de banane. Le procédé comprend les trois grandes étapes suivantes :

- La fermentation
- La distillation
- La rectification

Ainsi divers travaux d'expérimentation relatifs à ces étapes ont été élaborés successivement avec

- la pulpe de banane
- la peau de banane
- le mélange pulpe et peau

### 2.2.1. Fermentation

*Mode opératoire pour la fermentation*

- Peser les déchets
- Mettre en petits morceaux les déchets
- Mixer les morceaux avec un robot électroménager pour maximiser le rendement d'extraction
- Ajouter de l'eau distillée et de la levure « *Saccharomyces cerevisiae* »
- Mesure du degré Brix du mélange

*Déroulement de l'expérience*

Les déchets sont d'abord pesés puis broyés pour faciliter le processus de la fermentation. Avant de mesurer le degré brix, le produit obtenu sera mélangé avec de l'eau distillée et additionné de levure ' *Saccharomyces cerevisiae*'. Enfin, le mélange obtenu sera enfermé en milieu anaérobie dans la cuve de fermentation.

Plusieurs essais ont été effectués au laboratoire. Les tableaux 1 à 3 suivants illustrent les étapes de ces expériences.

Tableau1 : Fermentation (1 000g)

Déchets	Quantité MP (g)	Levure (g)	Volume d'eau (L)	Taux de sucre avant fermentation (Brix)	Taux de sucre après fermentation (Brix)	temps du 1ere goutte (min)

Peau	1 000	22	1	2,5	1	42
Pulpe	1 000	22	1	4	1,5	52

Tableau 2 : Fermentation (1 500g)

Déchets	Quantité MP (g)	Levure (g)	Volume d'eau (L)	Taux de sucre avant fermentation (Brix)	Taux de sucre après fermentation (Brix)	temps du 1ere goutte (min)
Peau	1 500	33	1,5	2,5	1	79
Pulpe	1 500	33	1,5	4,5	1,5	155

Tableau 3 : Fermentation (2 000g)

Déchets	Quantité MP (g)	Levure (g)	Volume d'eau (L)	Taux de sucre avant fermentation (Brix)	Taux de sucre après fermentation (Brix)	temps du 1ere goutte (min)
Peau	2 000	44	2	3	1	65
Mélange	2 000	44	2	7	2	75

Lors des essais effectués, le pourcentage de la levure utilisé est 2% du volume de la matière première. Nous avons utilisé un bidon plastique de 10 l de volume comme cuve de fermentation. Cette dernière étant munie à son orifice d'ouverture, d'un petit tuyau plastique permettant d'évacuer les CO<sub>2</sub> généré durant la fermentation. L'extrémité de ce tuyau est plongée dans un récipient contenant de l'eau. La fermentation alcoolique commence après ajout de levures et se déroule dans un milieu anaérobie, à l'abri de la lumière et à température ambiante. Elle dure environs 6 jours. La transformation de sucre en éthanol produit un dégagement de CO<sub>2</sub>.

Toute la quantité de sucre présent dans le moût n'est pas fermentée totalement en éthanol. Le rendement de la fermentation peut être déterminé par la connaissance du taux de sucre initiale (avant la fermentation) et le taux de sucre restant après la fermentation.

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

Avec :

E : taux de sucre dans la solution initiale.

E<sub>a</sub> : Taux de sucre à l'état final.

Parmi ces trois expérimentations, on constate que la troisième est la meilleure soit un rendement de 66,66% et 71,42%.

### 2.2.2. Distillation

La distillation permet de séparer le bioéthanol de l'eau grâce à sa capacité à s'évaporer à une certaine température. Les paragraphes suivants décrivent les processus qui ont été adoptés durant la distillation.

#### *Mode opératoire*

- Mesurer le taux de sucre restant
- Préparer le distillateur

- Verser le moût fermenté
- Bien fermer le distillateur et bancher la prise (montage)
- Recueillir le distillat

#### *Préparation à la distillation*

Préparer d'abord le distillateur et verser le moût dans le bouillier. Vérifier ensuite l'herméticité des tuyauteries du distillateur pour éviter les éventuelles fuites de vapeur et démarrer la distillation.

### 2.2.3. Rectification

#### *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 formée traverse la colonne garnie 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*

- Mesurer le degré alcoolique et la température de l'alcool de la première distillation.
- Préparer l'alcool puis verser le dans le bouilleur par l'intermédiaire de l'entonnoir de chargement la quantité d'alcool à rectifier (minimum 1L, maximum 4.5 L).
- Après chargement, ouvrir le robinet de l'entonnoir puis quand toute le composant dans l'entonnoir serai évacué dans le bouilleur renfermé une seconde fois le robinet pour éviter la fuite surtout que l'alcool à haut degré est très volatil.
- Ouvrir le circuit eau de refroidissement, puis vérifier que tous les robinets de l'appareil soient hermétiquement fermés et brancher la prise
- Recueillir au fur et à mesure à l'aide d'un récipient gradué (verrerie) le distillat formé.
- A la fin du distillat, attendre que l'appareil se refroidisse et que le résidu soit froid puis ouvrir le robinet de déchargement et recueillir le résidu.

## **3. RESULTATS**

### **3.1. Résultat de la première distillation**

A l'issu de la première distillation, les degrés alcoolique de produit obtenu varie entre 5° à 68° pour chaque prélèvement de 120 ml de distillat. Toutefois la mesure des degrés alcooliques des premiers jets de distillats recueillis correspondants à chaque type de déchets expérimentés donne:

- 72° pour les pulpes bananes
- 52° pour les bananes meurtries (pulpe et peau)
- 35° pour les peaux de banane

C'est ainsi que nous avons optés pour utiliser exclusivement de la banane meurtrie (mélange pulpe et peau) afin de réduire les différents tâches de prétraitements avant la distillation. En effet la séparation de la pulpe et de la peau des déchets de la banane est loin d'être une opération commode. Les résultats issus des expérimentations sont illustrés dans les tableaux 4 à 11 suivants :

Tableau 4 : Distillation de 2 000g de matière première (3,5 litres de moût)

Rubriques	Pulpe de banane	Banane meurtrie	Peau de banane
-----------	-----------------	-----------------	----------------

1 <sup>er</sup> jet de distillat	68°	48°	30°
2 <sup>e</sup> jet de distillat	40°	34°	18°
3 <sup>e</sup> jet de distillat	28°	22°	8°
4 <sup>e</sup> jet de distillat	15°	12°	5°
5 <sup>e</sup> jet de distillat	9	7°	

Ces cinq jets on le même volume lors de la mesure du degré alcoolique soit 120 millilitre chacun avec 2 000g de matière première pour chaque essai.

### 3.2. Résultats de la rectification

Avant la rectification, nous avons rassemblé l'alcool obtenu par la première distillation en trois groupes de degré alcoolique : 10°, 20°, 30°.

#### 3.2.1 Premier groupe d'essai

Les conditions suivantes ont été optées :

- Degré alcoolique 10°
- Volume initial de l'alcool 1.5L par essai
- Température de consigne du régulateur du bouilleur ( $\theta_b$ ) : 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne ( $\theta_{tc}$ ) 78°C

A l'issue de ce premier groupe d'essai, nous avons obtenu les résultats suivants (tableau 5 à 6) :

Tableau 5 : Caractéristiques du distillat et résidu à 10

Rubriques	Température du bouilleur ( $\theta_b = 150\text{ °C}$ )
Degré d'alcool (en °)	69
Volume d'alcool (en L)	0,100
Volume du résidu (en L)	1,275
Degré du résidu (en °)	2
Durée de la distillation (en mn)	170

Tableau 6 : Température et temps d'apparition du premier jet de distillat pour 10°

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150\text{ °C}$
Température affichée par le régulateur du bouilleur (en °C)	131
Température affichée par le régulateur de la tête de colonne (en °C)	78
Temps d'apparition du premier jet de distillat (en mn)	138

Comme l'illustre ces tableaux, pour la rectification d'alcool à 10° le volume d'alcool distillé est minime par contre son degré alcoolique est satisfaisant.

Tenant compte du temps d'apparition du premier jet de distillat, lorsque la température affichée par le régulateur du bouilleur et la température affichée par le régulateur de la tête de colonne atteint son consigne il y a la présence du premier jet. Remarquons que si la température du bouilleur est élevée le

degré alcoolique diminue. Ainsi pour avoir un degré plus élevée, la température du bouilleur ne doit pas dépasser 150°C.

### 3.2.2. Deuxième groupe d'essai

Les conditions suivantes ont été optées :

- Degré alcoolique 20° Volume initial de l'alcool 1.5 L par essai
- Température de consigne du régulateur du bouilleur ( $\theta_b$  : 150°C)
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne ( $\theta_{tc}$  78°C)

A l'issue de ce deuxième groupe d'essai, nous avons obtenu les résultats suivants (tableaux 7 et 8) :

Tableau 7 : Caractéristiques du distillat et résidu à 20°

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150^\circ\text{C}$
Degré d'alcool (en °)	75
Volume d'alcool (en L)	0,288
Volume du résidu (en L)	1,146
Degré du résidu (en °)	4
Durée de la distillation (en mn)	168

Tableau 8 : Température et temps d'apparition du premier jet de distillat pour 20°

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150^\circ\text{C}$
Température affichée par le régulateur du bouilleur (en °C)	153
Température affichée par le régulateur de la tête de colonne (en °C)	78
Temps d'apparition du premier jet de distillat (en mn)	47

### 3.2.3. Troisième groupe d'essai

Les conditions suivantes ont été optées :

- Degré alcoolique 30° Volume initial de l'alcool 1.5L par essai
- Température de consigne du régulateur du bouilleur ( $\theta_b$ ) : 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne ( $\theta_{tc}$  78°C)

A l'issue de ce troisième groupe d'essai, nous avons obtenu les résultats suivants (tableaux 8 et 9):

Tableau 8 : Caractéristiques du distillat et résidu à 30°

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150^\circ\text{C}$
Degré d'alcool (en °)	79
Volume d'alcool (en L)	0,400
Volume du résidu (en L)	0,948
Degré du résidu (en °)	5
Durée de la distillation (en mn)	160



Tableau 9 : Température et temps d'apparition du premier jet de distillat pour 30°

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150\text{ °C}$
Température affichée par le régulateur du bouilleur (en °C)	151
Température affichée par le régulateur de la tête de colonne (en °C)	78
Temps d'apparition du premier jet de distillat (en mn)	41

On constate aisément que la durée de la rectification d'alcool à 30° est moindre, le degré alcoolique et le volume obtenu augmentent. Ce qui nous a incités, pour la suite des expérimentations, à rassembler les résultats issus de la première distillation de façon à constituer une seule solution de 30° degré alcoolique. Ce qui réduit non seulement la durée de la distillation mais alloue également des résultats satisfaisant tant au niveau degré alcoolique que volume du distillat produit.

Les résultats obtenus y afférents figureront dans les tableaux 10 et 11 suivants :

Tableau 10 : Caractéristiques du distillat et résidu à 30°

Rubriques	1 <sup>e</sup> jet	2 <sup>e</sup> jet	3 <sup>e</sup> jet	4 <sup>e</sup> jet	Résidu
Degré (en°)	89	87	82	70	5
Volume (L)	0,096	0,104	0,160	0,106	960

Tableau 11 : Température et temps d'apparition du premier jet de distillat pour 30

Rubriques	Température du bouilleur $\theta_b = 150\text{ °C}$
Température affichée par le régulateur du bouilleur (en °C)	155
Température affichée par le régulateur de la tête de colonne (en °C)	78
Temps d'apparition du premier jet de distillat (en mn)	40

Le volume total d'alcool rectifié obtenu à partir de 1,5 litre d'alcool à 30° est de 0,466 litre.

#### 4. DISCUSSIONS

Pour les pays développés ou en voie de développement, l'éthanol est déjà utilisé et considéré comme une nouvelle source d'énergie pouvant substituer les énergies non renouvelable ou le bois énergie. Pour les pays en voie de développement comme Madagascar, c'est le bois énergie qui tient la première place face aux autres énergies. Pourtant le bois énergie crée divers problèmes socio-économico-environnementaux.

La ville d'Antananarivo est classée comme la ville la plus insalubre, elle génère plus de 100 tonnes d'ordure par jour, tous types de déchets confondus (déchets ménagère, déchets de marché, déchets industrielle, ...) alors que les sites de décharge actuelle commence à manquer, cette dernière n'est plus suffisante devant l'accroissement rapide de la population. Ce qui devient un grand problème national vu

son impact néfaste sur la santé publique, vecteur principal de diverses maladies telles que la peste, la rougeole,...

La présente étude consiste à la valorisation des déchets de fruit de banane pour contribuer à la réduction. A l'issu de ce travail l'objectif principal a été atteint. Nous avons transformé les déchets en éthanol de 80° pouvant être utilisé non seulement comme combustible domestique alternative au bois énergie mais également à des fins pharmaceutiques. En effet, 200 Kg de déchet permettent d'obtenir 25 Litres d'éthanol à 80° ce qui correspond au besoin quotidien de 20 ménages de taille moyenne (5 personnes).

On outre le processus de transformation de ces déchets est très souple, facilement réalisable et son cout d'investissement est abordable, le prix des matières premières peuvent être à discuter avec les opérateurs pour une collecte en gros. Les travaux pratiques réalisés au laboratoire nous ont permis d'avoir des résultats satisfaisant de production d'éthanol.

Les indicateurs de rentabilité de ce projet nous montrent que le projet est rentable. Le VAN est positif 27 535 733 MGA, le capital investi est récupéré au bout 2ans 1mois 12 jours. Le projet peut supporter jusqu'à 28,46% de taux d'emprunt s'il faut recourir aux financements externes. Selon ces indicateurs, le projet génèrerait des avantages, et sa réalisation serait bénéfique pour la zone d'étude et aussi les industriels à Madagascar et dans les régions de l'océan indien.

## **5. CONCLUSION**

Ce travail a permis de mettre en exergue d'autre possibilité de production d'éthanol à partir des déchets. Pour ce travail, on a pris les déchets de fruit de banane comme matière première. L'élaboration de ce projet offre la possibilité de réduire la pollution et de protéger l'environnement contre la déforestation. Ayant un bilan positif sur l'environnement, le bioéthanol est recommandé par différents organismes mondiaux et allège également les demandes en énergie non renouvelable qui tendent en ce moment à se raréfier.

La réalisation de ce travail a permis de résumer les points essentiels relatifs à la production de bioéthanol, aux divers processus mis en jeu (fermentation, distillation, rectification) ainsi que l'étude de préfaisabilité technico-économique du projet. La partie expérimentale a pour finalité 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 a pu obtenir de l'alcool à 80°GL.

Ce projet, à l'échelle industrielle a répondu parfaitement aux conditions exigées par les outils d'évaluation économique pour juger sa rentabilité et sa viabilité d'un projet. Nous avons dégagé un Ip de 1,3 soit 1MGA de capitaux investi génère un marge bénéficiaire de 0,3 MGA. Il est constaté que la production d'alcool à partir des déchets de fruit de banane est un projet rentable avec un temps de remboursement très bref de 2 ans 1mois et 12 jours.

En bref, la réalisation de ce projet permet de disposer des retombées positives pour la commune urbaine d'Antananarivo afin de faire face à la problématique de la réduction de la pollution générée par les déchets de fruit de bananier. Le résultat issu de ce travail de recherches pourrait être appliqué à d'autre type de déchet de fruit tel que le litchi, l'ananas,...et aussi envisagé comme un modèle de valorisation à des fins énergétiques des déchets fermentescibles.

## **REFERENCES**

[1] MEEDDAT

(2008, p. 26) +A10

- [3] Andriantsimba N.S.« Contribution à l'étude de faisabilité technico-économique de réalisation d'un distillateur à colonne pour rectification de rhum artisanal » MIER (2017)
  
- [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
  
- [7] Rafanomezantsoa H.S.« Gestion des déchets dans la commune urbaine d'Antananarivo» DEGS, 2007
  
- [8] Claudine Picq . « Infomusa La revue internationale sur bananiers et plantains 1106 » Vol., 14 N° 2, p.5-6, Décembre 2005 ;
  
- [10] Favier J.C., Ireland J., Ripert, « Répertoire général des aliments- Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillettes d'Afrique ». Edition ORSTOMINRA (1993).
  
- [11] Filière banane . « Filières de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, et Actions du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche » ; Juillet 2004
  
- [13] Kamdem I, Tomekpe K. & Thonart Ph. « Production potentielle de bioéthanol, de biométhane et de pellets à partir des déchets de biomasse lignocellulosique du bananier (*Musa* spp.) au Cameroun ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2011
  
- [14] Kara Ali Mounira. « Isolement et caractérisation de souches levuriennes des milieux arides productrices de l'éthanol sur différents substrats » p 008, Université Constantine 1, 2014
  
- [15] Linden G, (1991) . « Techniques d'analyses et de contrôles dans les industries agroalimentaires-Principes des techniques d'analyses, volume 2, 2ème édition ». Lavoisier. Tech & doc-APRIA,
  
- [16] Makavelo Jesmurah J.E.« La banane et ses principales caractéristiques » . ENS (2011)
  
- [17] Mariller C. (1951). « Distillerie Agricole et industrielle : levure et sous-produit ». Ed. BALLIERE, Paris. 632 pp

- [18] Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la pêche. « Monographie de la région d'Antananarivo » juin 2003
- [19] Njatoarivelo T.A. Expérimentation d'une colonne, ESPA 2014
- [20] Rabarijaona F. Contribution à l'étude d'obtention d'alcool de la banane ». ESPA (2007)
- [21] Razafiarivao B.S. « Amélioration de la base de données existante et du système d'adressage des bâtiments dans la Commune urbaine d'Antananarivo » . ESPA 2009
- [23] [http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel\\_avenir-pour-les-biocarburants/La-fabrication-des-biocarburants-3-generations](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel_avenir-pour-les-biocarburants/La-fabrication-des-biocarburants-3-generations)
- [24] <https://pastel.archives-ouvertes.fr>
- [25] CNRIT : <http://cnrit.recherches.gov.mg>
- [26] [http://fr.wikipedia.org/wiki/AzÃ©otrope\\_consulté](http://fr.wikipedia.org/wiki/AzÃ©otrope_consulté)
- [27] <https://tel.archives-ouvertes.fr>
- [28] [https://www.arboschwin.com/index.php?page=disti\\_princip](https://www.arboschwin.com/index.php?page=disti_princip)
- [29] [https://www.atl-chaudronnerie.fr/qu-est-ce-que-la-distillation-d-alcool\\_ar356.html](https://www.atl-chaudronnerie.fr/qu-est-ce-que-la-distillation-d-alcool_ar356.html)
- [30] Types de biomasse.htm
- [31] wikipedia, [http : // distillerie-mette](http://distillerie-mette)
- [32] Principes de la fermentation alcoolique - LGS-TPE-VIN - La fermentation alcoolique - Cowblog.htm