

# *Production De Bioéthanol À Partir De La Betterave: Cas De La « Metallica Chenopodiaceae » De Madagascar*

Randriamahefa N.R.<sup>1</sup>, Andriamifidisoa M.V.<sup>2</sup>, Ravoninjatovo A. O.<sup>3</sup>, Rasoanaivo J. L.<sup>4</sup>, Andrianaivo L.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Département Ingénierie Pétrolière, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA),  
Université d'Antananarivo

<sup>3,4</sup> Département énergétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique,

<sup>2,3,4,5</sup> Laboratoire Exergie et Géoingénierie, STII

École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA)

Université d'Antananarivo



**Résumé** - Le présent travail de recherche a pour objet de produire du bioéthanol à partir de la betterave rouge « *Metallica Chenopodiaceae* » de Madagascar. Les méthodologies suivantes ont été optées pour arriver à cette fin. D'abord, les prétraitements de la matière première avant fermentation, puis la fermentation suivie de la distillation et se termine par la rectification. Pour tester l'efficacité du bioéthanol obtenu des essais en milieu réel sur un groupe électrogène ont été élaborés. Une fermentation de 3 jours avec une quantité de levure de 5% du poids du mélange constitue le couple des paramètres optimales de cette dernière. Les degrés alcooliques obtenus lors de la première distillation varient de 6 à 62°GL tandis que ceux issus de la rectification oscillent autour de 87 à 92°GL. A l'issue de ces expérimentations force et de constater que les résultats obtenus sont satisfaisants.

**Mots clés** - betteraves rouges, fermentation, distillation, rectification, bioéthanol, biocarburants.

**Abstract** - The present research work aims to produce bioethanol from the red beet « *Metallica Chenopodiaceae* » of Madagascar. The following methodologies have been chosen to achieve this goal. First, the pre-treatment of the raw material before fermentation, then the fermentation followed by distillation and ends with the rectification. To test the efficiency of the bioethanol obtained, tests in real environment on a generator were elaborated. A fermentation of 3 days with a quantity of yeast of 5% of the weight of the mixture constitutes the couple of optimal parameters of the latter. The alcoholic degrees obtained during the first distillation vary from 6 to 62°GL while those resulting from the rectification oscillate around 87 to 92°GL. At the end of these experiments, it is clear that the results obtained are satisfactory.

**Keywords** - red beets, fermentation, distillation, rectification, bioethanol, biofuels.

## I. INTRODUCTION

La situation socio-économique et environnementale actuelle est fortement marquée par la hausse du prix du pétrole, aggravée par le réchauffement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre. Les combustibles d'origine fossiles restent la principale source énergétique utilisée dans le monde pour combler les besoins des populations en énergie même si les impacts environnementaux liés à leur utilisation sont nombreux et en lien direct avec la problématique des changements climatiques et l'émission des gaz à effet de serre.

A l'instar d'autres pays en développement, pour Madagascar, l'énergie joue un rôle important pour le développement économique. Face à la poussée démographique et le développement du secteur des transports, les besoins énergétiques ne font que croître.

Ainsi, pour des raisons de sécurité énergétique, dans le cadre de politique de réduction des gaz à effet de serre (GES), Madagascar s'est fixé l'objectif de diversification des sources d'énergies. 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.

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 possède notre pays. En effet 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.

C'est dans cette optique que nous avons initié ce projet de « *Production de bioéthanol à partir de la betterave : cas de la « Metallica Chenopodiaceae » de Madagascar.* »

L'objectif principal de ce travail sera donc de contribuer à la réduction de l'usage du pétrole en utilisant du bioéthanol. En effet, l'actuelle instabilité de l'approvisionnement en carburants lié aux efforts de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, considère le recours au bioéthanol et /ou le biodiesel comme une alternative, à court et moyen terme, aux carburants fossiles. Vue que l'utilisation du bioéthanol ne se limite pas non seulement sur le carburant mais également comme combustible domestique.

## **II. METHODES ET MATERIELS**

### **II.1. Synthèses bibliographiques**

#### **II.1.1. Biocarburants**

Les biocarburants sont les carburants qui sont produits à partir de la biomasse, issus de la transformation des matériaux organiques non fossiles. [1]

Les principaux pays producteurs de biocarburant sont respectivement [2] :

- Les Etats Unis
- Le Brésil
- Et l'Union Européenne

Toutefois Le continent Africain n'est pas en reste mais entre dans la course au développement des biocarburants.

À Madagascar, l'exploitation du biocarburant face au développement durable reste improbable. La première condition de développement durable du pays est l'autosuffisance alimentaire. La promotion de la filière biocarburant est déterminée par celle-ci. Les matières premières pour la production de biocarburant sont très diversifiées dans le pays. [3]

#### **II.1.2. Ethanol**

##### *a* Propriétés physiques de l'éthanol

L'éthanol est un composé incolore, volatil, hygroscopique, miscible à l'eau. Ses principales propriétés physiques sont résumées dans le tableau 1 : [4]

Tableau 1 : Propriétés physiques de l'éthanol

Paramètres	Caractéristiques, propriétés
Formule moléculaire	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Masse moléculaire	46,07g/mol
Etat physique	Liquide incolore
Point de fusion	-114°C
Température d'ébullition	78,5°C (173°F)
Densité	0,789kg/l
Densité gaz/vapeur	1,59kg/l
Point d'éclair	13°C (ethanol pure)
Capacité thermique massique	2,438 kJ·kg <sup>-1</sup> /K
Pouvoir calorifique inférieur massique	26 805 kJ/kg
Pouvoir calorifique inférieur volumique	21 285 kJ/l

Source : INRS, Éthanol, Fiche toxicologique n°48

L'éthanol est un composé qui est chimiquement stable. Il possède toutes les propriétés qui caractérisent les alcools notamment une réaction d'oxydation lorsqu'il est maintenu à l'air libre pour former de l'acide acétique. Par contre ; dans des conditions d'oxydation extrême, il se transforme en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et en eau (H<sub>2</sub>O). [4]

### II.1.3. Betteraves à Madagascar

La betterave est une plante cultivée pour sa racine charnue, adapté à tous les types de climats, utilisée comme légume dans l'alimentation humaine, comme plante fourragère et pour la production du sucre. [5]

La betterave sucrière est, certes, la matière première de la fabrication du sucre mais aussi du bioéthanol grâce à sa teneur élevée en saccharose, mais elle n'existe pas à Madagascar. Or, la betterave rouge contient également une proportion pondérale en saccharose non négligeable. [5]

Après leur identification au Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza d'Antananarivo, les betteraves rouges de Madagascar ont été identifiées comme « *Beta vulgaris* », variété « *Metallica Chenopodiaceae* ». [6]

## II.2. Travaux de laboratoire

Ce travail de recherche s'est focalisé à la production de bioéthanol à partir de la betterave rouge de Madagascar, variété « *Metallica Chenopodiaceae* ». L'objectif étant d'utiliser le bioéthanol produit comme biocarburant en vue de contribuer à la réduction de l'utilisation des énergies fossiles.

Pour arriver à cette fin, l'approche méthodologique adoptée a nécessité le passage à l'ordre chronologique des activités suivantes :

- L'étude bibliographique
- Descente sur terrain pour la collecte de différentes données relatives aux types des betteraves et choix de la variété de betterave à étudier.
- Les travaux de laboratoire :
  - Le prétraitement des betteraves avant fermentation

- La fermentation
- La distillation
- La rectification
- Le test d'efficacité du bioéthanol sur un groupe électrogène.

Le procédé de production de bioéthanol réalisé dans cette étude est le prétraitement des betteraves fraîches ou betteraves séchées, la fermentation, la distillation et la rectification.

## II.2.1. Prétraitements

### II.2.1.1. Prétraitement avant fermentation des betteraves fraîches

Pour le prétraitement direct des betteraves fraîches, elles sont découpées en lamelles, sont ensuite broyées puis mélangées avec de l'eau et de la levure, après le mélange obtenu sera enfermé dans la cuve de fermentation.

### II.2.1.2. Prétraitement avant fermentation des betteraves séchées

Pour le prétraitement par séchage, les betteraves découpées en lamelles seront séchées puis broyées pour donner de la poudre de betterave qui sera à son tour mélangé avec de l'eau et de la levure.

Un échantillon de betterave (100g) a fait l'objet de suivi systématique et périodique de la variation de leur masse respective. Le suivi s'arrête lorsque son poids ne présente plus aucune variation c'est-à-dire jusqu'à poids constant.

## II.2.2. Fermentation

Les mélanges obtenus après prétraitement seront introduits et enfermés dans la cuve de fermentation durant 3 jours.

Le schéma ci-dessous montre l'étape de la fermentation réalisée :



Photo 1 : étapes de la fermentation

Après fermentation le paramètre à contrôler est l'atténuation, donnée par la formule suivante traduisant le rendement de la fermentation

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

Avec : E : taux de sucre avant fermentation

E<sub>a</sub> : Taux de sucre après fermentation

### II.2.3. Distillation

Après fermentation, le moût passera l'étape de la distillation comprenant :

- La Mesure du taux de sucre restant après fermentation,
- Le Chargement dans le bouilleur et le démarrage du distillateur,
- Et enfin collecte des distillats et éventuel mesure du degré alcoolique de chaque jet collecté



Chargement du moût dans le bouilleur



Distillateur en fonctionnement



Distillats obtenus



Mesure du degré alcoolique

Photo 2 : étapes de la distillation

### II.2.4. Rectification

Afin d'avoir du bioéthanol de haut degré, le distillat issu de la première distillation passera par la rectification selon les étapes suivantes :

- Le regroupement du distillat de degré voisin pour former un mélange de degré unique moyen
- Le chargement du mélange dans le rectificateur
- Le démarrage de la rectification
- Et le collecte de l'alcool rectifié.



Regroupement des distillats



Mesure du degré alcoolique du mélange de distillat de la première distillation



Chargement dans le rectificateur



Déchargement des résidus à la fin de l'opération



Collecte de l'alcool rectifié

Photo 3 : étapes de la rectification

### II.2.5. Test d'efficacité du bioéthanol : essai sur un groupe électrogène

Pour déterminer l'efficacité du bioéthanol obtenu, des tests en milieu réel sur un groupe électrogène ont été réalisés.

Les mélanges bioéthanol-essence sélectionnés ont été évoqués dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Proportions bioéthanol-essence

Rubriques	Essence	Bioéthanol
SP 95	100 %	0 %
E 2,5	97,5 %	2,5 %
E 5	95 %	5 %

Ainsi en plus de l'essai avec de l'essence pure SP 95, deux proportions de mélange de 200 mL essence SP 95 – bioéthanol : E 2,5 et E 5 ont été élaborées, permettant ainsi d'effectuer des comparaisons entre les résultats obtenus

Les différentes étapes des tests sont la préparation du mélange bioéthanol-essence et la mise en marche et contrôle du fonctionnement du moteur.



Les figures suivantes illustrent les différentes étapes des tests :



Mesurer la quantité d'essence



Diluer l'essence par du bioéthanol



Agiter l'essence et le bioéthanol

Photo 4 : Préparation du mélange bioéthanol-essence



Chargement du biocarburant



Démarrage du groupe électrogène



Mesure de la tension à la sortie du groupe

Photo 5 : Mise en marche et contrôle du fonctionnement du moteur

Les paramètres contrôlés pendant les tests sont :

- La Variation de la tension au sortie du groupe électrogène
- Le Régime de fonctionnement du moteur
- La Fumée échappement (couleur, quantité)
- La Durée de fonctionnement (consommation L/h)
- Et la Tension de la charge

### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### III.1. Résultats du séchage des betteraves

Tableau 3 : Résultats du séchage des betteraves

Temps en h	0	2	4	6	8	10	12	14
Poids en g	100	63	49	35	21	15	12	12
Humidité relative en %	90	84,1	79,6	71,4	52,4	33,3	16,7	16,7

Selon le tableau 3, l'humidité relative est représentée en pourcentage (%) qui est le rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon ( $Me = Mt - Ms$ ) avec une matière sèche  $Ms$  de 10 g, par sa masse totale mesurée au même instant ( $Mt$ ). Elle est obtenue par la formule suivante :

$$HR = \frac{Mt - Ms}{Mt} (\%)$$

Avec :  $Ms$  : masse de la matière sèche

$Mt$  : masse totale du corps humide

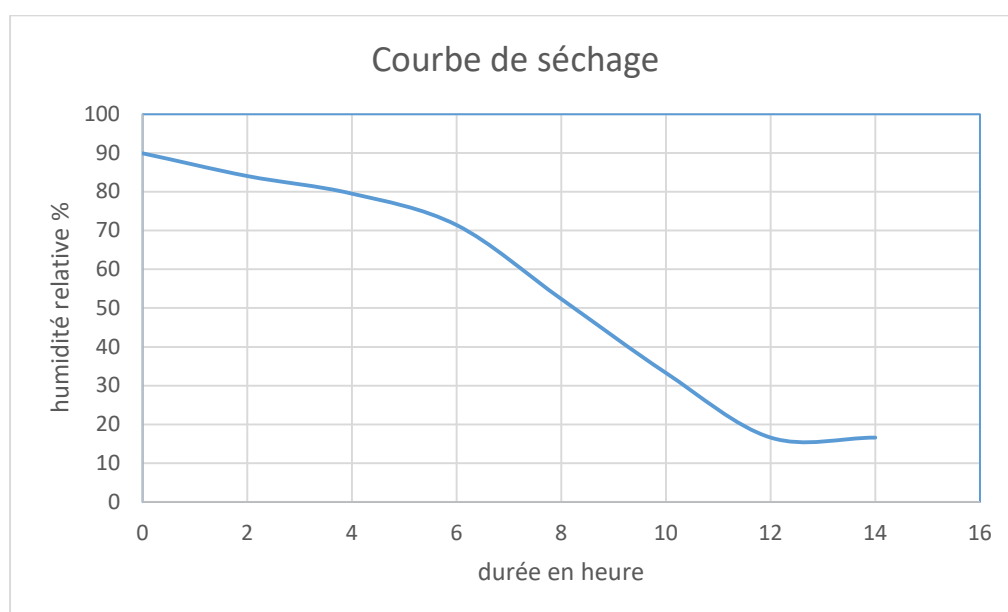


Figure 1 : Courbe de séchage

Ce graphique met en évidence l'évolution de l'humidité relative par rapport au temps. Elle décroît progressivement pour une température de consigne 45°C. Après 14 heures passé au séchoir, la masse de l'échantillon reste constante. Ce qui indique la fin du processus de séchage.

Il s'avère être utile de procéder au passage au séchoir pour une conservation des betteraves pour pallier à leurs caractères saisonniers et pour éviter la pérennité de ce dernier. Les betteraves séchées peuvent être conservées pendant plusieurs mois, à condition qu'elles soient gardées dans des endroits ou lieu de stockage appropriés. Les pertes dues à des phénomènes se produisant lors du stockage des produits comme le développement de moisissures et la prolifération d'insectes seront maîtrisés.

Outre la conservation, l'élimination d'eau convient en vue de diminuer la masse et le volume des aliments de façon conséquente, permettant ainsi de réaliser des économies au niveau du transport et de l'accumulation.

Le prétraitement par séchage augmente la concentration de sucre de la poudre de betterave. Les betteraves sont séchées après 14 heures passées au séchoir solaire.



### III.2. Résultats de la fermentation

#### III.2.1. Fermentation des betteraves fraîches

Plusieurs essais au laboratoire ont été réalisés. Avant de procéder aux essais suivants, quelques essais avec une variation de levure de 5 %, 7,5 % et 10 % ont été effectués pour obtenir la quantité de levure optimale qui est de 5 %.

Tableau 4 : Résultats de la fermentation des betteraves fraîches

N° Essai	Poids g	Qté eau mL	Levure en %	E (Brix)	E <sub>a</sub> (Brix)	Atténuation en %
1	2500	750	5	10	5	50
2	2500	750	5	9	5	44,4
3	2500	750	5	10	6	40
4	2500	750	5	8	5	37,5

Le tableau 4 montre qu'à partir de la fermentation des betteraves fraîches, l'atténuation varie de 37,5 à 50 %. La valeur moyenne est de 42,9 %. L'atténuation maximale est de 50 % celle de l'essai 1.

La formule de la moyenne arithmétique est de :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum x_i = \frac{1}{4} (50 + 44,4 + 40 + 37,5)$$

$$\mu = 42,9 \%$$

Son écart-type est de :

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2\right)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4} (50 - 42,9)^2 + (44,4 - 42,9)^2 + (40 - 42,9)^2 + (37,5 - 42,9)^2}$$

$$\sigma = 4,75$$

#### III.2.2. Fermentation des betteraves séchées

Tableau 5 : Résultats de la fermentation des betteraves séchées

N° Essai	Poids g	Qté eau mL	Levure en %	E (Brix)	E <sub>a</sub> (Brix)	Atténuation en %
5	300	1200	5	13	5	61,5
6	300	1800	5	10	6	40
7	300	2400	5	8	5	37,5
8	300	3000	5	7	4	42,8

La variation de l'atténuation est de 37,5 à 61,5 %, dont la moyenne étant 45,4 %. L'atténuation maximale est celle de l'essai 5 qui est de 61,5 %.

Son écart-type est de :  $\sigma = 9,45$

La levure joue un rôle très important dans la fermentation alcoolique. Pour une meilleure rendue, le pourcentage de la levure de 5% se confirme après plusieurs essais être l'idéal.

Au début de la fermentation, le dégagement de CO<sub>2</sub> est éminent d'où la présence de bulle dans le barboteur. La durée de fermentation était de 3 jours. Une durée de fermentation plus longue favorise de meilleurs résultats.

Une quantité insuffisante d'eau entraîne une brûlure du moût dans le bouilleur pendant la phase de distillation.

### III.3. Résultats de la distillation

Afin d'obtenir une meilleure condition dans la rectification; les distillats de plus de 10°GL sont collectés. La température d'apparition du 1<sup>er</sup> jet est dans les 60°C.

#### III.3.1. Résultats de la distillation des betteraves fraîches

Les courbes de variations du degré alcoolique en fonction du numéro du jet des betteraves fraîches sont évoquées par la figure 2 :

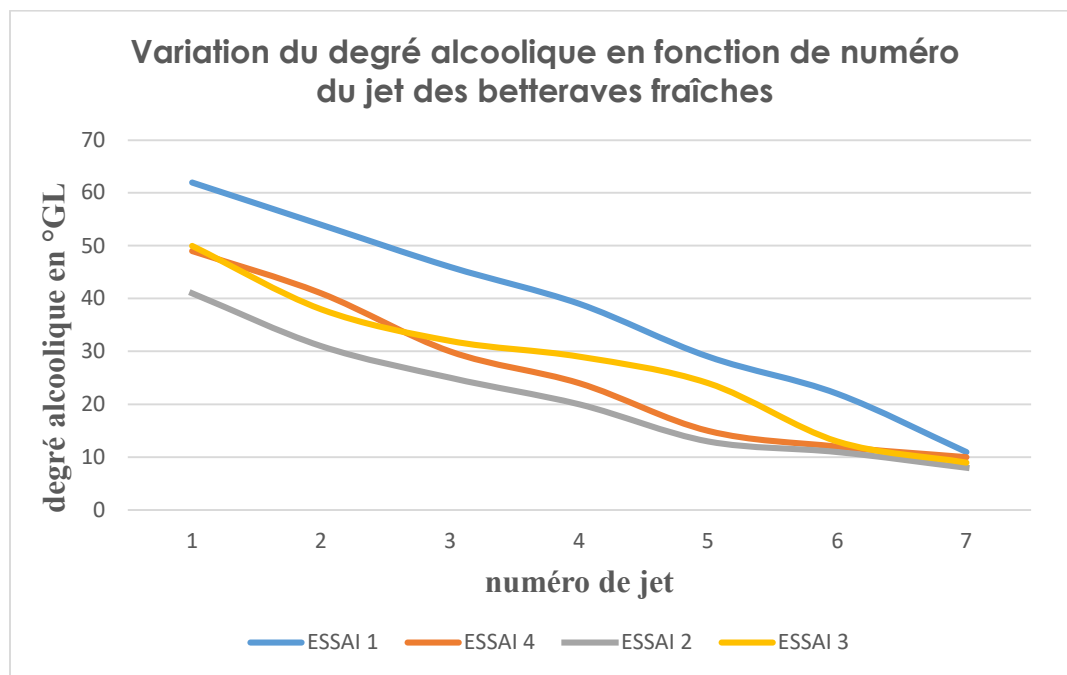


Figure 2 : Variation du degré alcoolique en fonction de numéro du jet des betteraves fraîches

D'après de la figure 2, le premier essai s'avère être le meilleur résultat, puisque son premier jet est de l'ordre de 62°GL. Au fur et à mesure que la distillation se prolonge, le degré alcoolique obtenu se décroît.

#### III.3.2. Résultats de la distillation des betteraves fraîches

Les mêmes démarches que celles adoptées par la distillation des betteraves fraîches ont été suivies.

Les courbes de variations du degré alcoolique en fonction du numéro du jet des betteraves séchées sont représentées par la figure 3 :

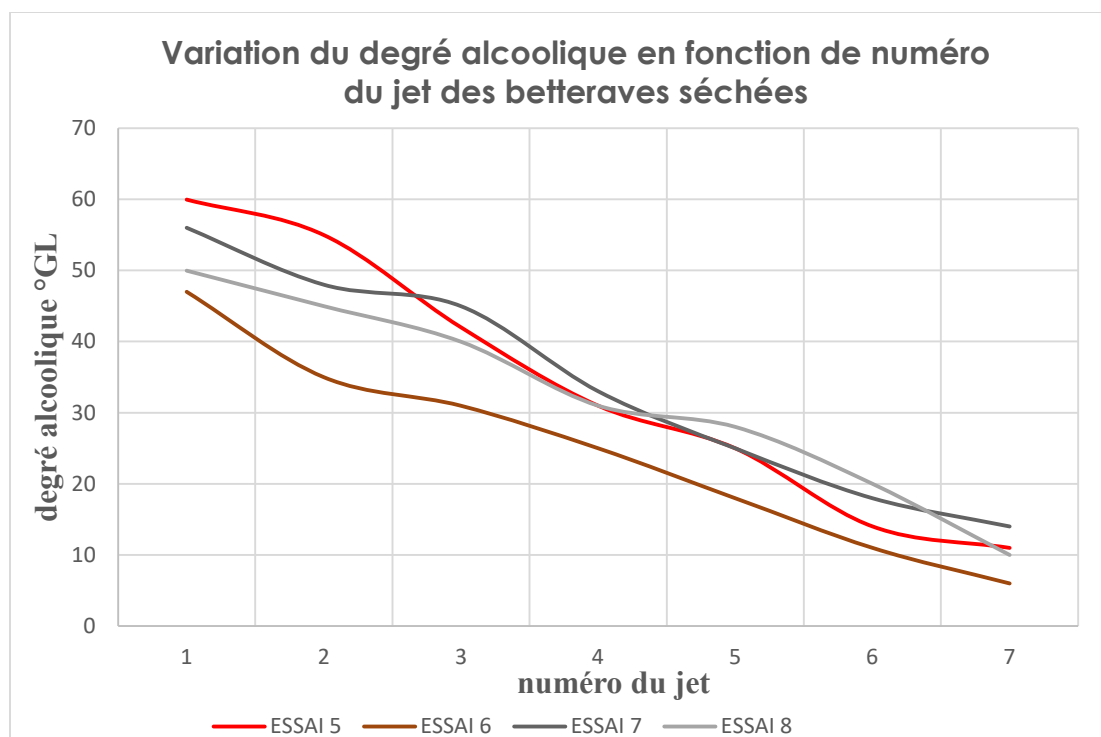


Figure 3 : Variation du degré alcoolique en fonction de numéro du jet des betteraves séchées.

La figure 3 indique qu'à l'essai 5 correspond au plus haut degré d'alcool (60°GL) et le plus faible est celui de l'essai 6 (47°GL).

A l'issue de la première distillation, les degrés alcooliques de produit obtenu varient entre 6° à 62° pour chaque prélèvement de 50 mL de distillat.

Les distillats de plus de 10°GL sont collectés pour tirer une meilleure condition dans la rectification. La température d'apparition du 1<sup>er</sup> jet est dans les 60°C.

Le volume de distillat obtenu est important si le mélange contient une quantité d'eau plus considérable. Au fur et à mesure que la distillation se prolonge, le degré alcoolique obtenu se décroît puisque l'alcool se dissipe peu à peu.

Il est nécessaire de rappeler qu'après une première distillation, les alcools obtenus font objet de rectification.

#### III.4. Résultats de la rectification

Afin d'aboutir à un meilleur résultat, les distillats obtenus seront rassemblés par groupement d'alcool de degré voisin. La température devra être contrôlée toutes les 5 minutes.

##### III.4.1. Première rectification

Tableau 4 : Conditions opératoires de la première rectification

Distillat	20 à 40°GL
Volume initial	1200ml
Degré d'alcool du mélange du distillat	26°GL
Température de consigne du régulateur du bouilleur $\theta_b$	150 °C
Température de consigne du régulateur de la tête de colonne $\theta_{tc}$	70°C

Tableau 5 : Résultats obtenus après rectification du 1er groupe d'essai

N° jet	Volume du bioéthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	50	86	25
2	50	86	33
3	50	84	45
4	50	83	60
5	50	82	80
6	50	77	107
7	50	65	155

Le volume du bioéthanol obtenu est de 350 m L dont le degré d'alcool varie de 65 ° à 86 °GL. Le résidu représente un degré d'alcool c de 5°GL avec un volume de 800mL.

#### III.4.2. Deuxième rectification

Tableau 6 : Conditions opératoires de la deuxième rectification

Distillat	40 à 62°GL
Volume	1050mL
Degré d'alcool du mélange	50°GL
θb	150 °C
θ tc	70°C

Tableau 7 : Résultats obtenus après rectification du 2eme groupe d'essai

N° jet	Volume du bioéthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	50	84	35
2	50	87	40
3	50	89	60
4	50	90	80
5	50	90	97
6	50	90	118
7	50	90	145
8	50	90	178
9	50	85	237
10	50	65	271

Le degré alcoolique varie de 65° à 90° GL dont le volume du bioéthanol obtenu est de 500 mL. Le résidu représente un degré d'alcool de 1°GL avec un volume de 500mL.

### III.4.3. Troisième rectification

Tableau 8 : Conditions opératoires de la troisième rectification

Distillat	10 à 20°GL
Volume	1150mL
Degré d'alcool du mélange	20°GL
$\theta_b$	150 °C
$\theta_{tc}$	70°C

Tableau 9 : Résultats obtenus après rectification du 3eme groupe d'essai

N° jet	Volume du bioéthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	50	78	49
2	50	88	105
3	50	85	140
4	50	66	205
5	50	55	240

Le volume du bioéthanol obtenu est de 250mL dont le degré alcoolique varie de 55 à 88°GL. Son résidu contient 1°GL d'alcool et une quantité de 500mL.

### III.4.4. Quatrième rectification

Les bioéthanols de moins de 90°GL sont regroupés pour faire une nouvelle rectification afin d'obtenir du bioéthanol de plus degré.

Tableau 10 : Conditions opératoires de la quatrième rectification

Distillat	57 à 89 GL
Volume	900 ml
Degré d'alcool du mélange	76°
$\theta_b$	125 °C
$\theta_{tc}$	70°C

Tableau 11 : Résultats obtenus après rectification du 4eme groupe d'essai

N° jet	Volume du bioéthanol obtenu (ml)	Degré alcoolique (°GL)	Temps (min)
1	100	87	48
2	100	91	80
3	100	91	120
4	100	92	163

5	100	91	211
6	100	90	275

Le bioéthanol recueilli est de 600mL avec un degré alcoolique variant de 87 à 92°GL.

Le premier jet apparaît à peu près après 40 min du démarrage du rectificateur lorsque la température de la tête de colonne atteint les 60°C (consigne 70°C) et celle du régulateur du bouilleur atteint la température de consigne (150°C).

A mesure que la température du bouilleur augmente, le degré alcoolique de l'alcool obtenu diminue.

Le distillat qui a le plus haut degré d'alcool est la plus satisfaisante pour la production du bioéthanol, ceci réduit non seulement la durée de la rectification mais augmente également le volume d'alcool recueilli.

Le résidu restant dans le bouilleur après rectification contient encore un faible taux d'alcool.

Pour une température de consigne du bouilleur de 125 °C et celle de la tête de colonne à 70 °C, permettent d'aboutir à des résultats prometteurs, à savoir l'obtention d'un degré alcoolique de plus de 90 °GL.

Réflexion faite, les paramètres optimaux à utiliser sont résumés dans le tableau 13 :

Tableau 13 : Les paramètres optimaux pour la fermentation et la rectification

Rubriques	paramètres
Levure	5 %
Durée de fermentation	3 jours
Température de consigne du bouilleur	125 °C
Température de consigne de la tête de la colonne	70 °C

### III.5. Résultats du test efficacité

Les vérifications de la tension au sortie du groupe et le temps de fonctionnement ont été appliquées.

Tableau 14 : Résultats de l'essai du bioéthanol sur le groupe électrogène

Paramètres	SP 95	E 2,5	E 5
Quantité (essence – bioéthanol) en mL	200 - 0	195 - 5	190 - 10
Tension à vide en V	260 - 280	260 - 280	220 - 270
Temps de fonctionnement	40 min 15s	21 min 56s	20 min 28 s
Puissance de la charge	500 W	500 W	500 W
Tension à charge en V	200 – 250	200 - 250	220-260

Les tensions produites par SP 95 et E 2,5 sont identiques tandis que celle de l'E 5 est inférieure. Le temps de fonctionnement diminue au fur et à mesure que le taux de bioéthanol dans le mélange augmente, c'est-à-dire que la consommation accroît.

Selon l'essai effectué sur le groupe électrogène, l'écart de consommation entre un biocarburant et l'essence pure est minime. La tension produite pour chaque mélange utilisé (SP 95, E 2,5 et E 5) est dans les normes. Elle présente une variation remarquable variant de 200 à 300 V.

A mesure que le taux de bioéthanol dans le mélange croît, la fumée dégagée par l'échappement diminue et de couleur claire. Le moteur fonctionne à régime normale, un léger ratage a été détecté



### III.6. Etudes comparatives

#### III.6.1. Comparaison des variétés de betterave

La betterave sucrière possède des racines blanches qui sont très enterrées. La teneur en sucre est plus élevée que pour les betteraves fourragères. Entre 15 et 21 % de sucres qui sont principalement solubles (saccharose).

La betterave fourragère possède des racines blanche, rose, jaune, rouge ou orange et elles sont plus ou moins enterrées. En fonction des variétés, elles peuvent être rondes, ovales, coniques... Entre 5 à 10 % de sucres solubles et plus de cellulose et d'hémicellulose que la betterave sucrière.

La betterave rouge de Madagascar a un teneur en sucre dans les 6 à 7% de son poids. Elle possède la caractéristique d'avoir des glucides qui constituent presque exclusivement par du saccharose.

#### III.6.2. Comparaison des résultats de la production de bioéthanol à partir de la betterave

Plusieurs études ont été faites sur la fabrication de bioéthanol à Madagascar. Nous allons tirer les résultats de quelques une pour comparer par rapport aux résultats que nous avons obtenus.

La comparaison avec les résultats obtenus par RATSIMBASON Ntsoa Nirina [5] sur « Proposition de travaux pratiques utilisant les produits courants : fermentation alcoolique à partir de la fécule de riz et de la betterave rouge préparation d'indicateur coloré » pour a été fait.

Tableau 15 : Résultats obtenus par RATSIMBASON Ntsoa Nirina

Rubriques	Résultats
Poids de la betterave en g	1000
Volume d'eau ajouté en mL	500
Prétraitement	Hydrolyse par chauffage
Levure en g	5
Durée de fermentation en jours	15
Volume d'alcool obtenu en mL	171
Degré d'alcool obtenu °GL	3,42

Tableau 16 : Nos résultats

Rubriques	Prétraitement avant fermentation des betteraves fraîches	Prétraitement avant fermentation des betteraves séchées
Poids de la betterave en g	5000	5000
Volume d'eau ajouté en mL	750	1200, 1800, 2400, 3000
Prétraitement	Prétraitement des betteraves frais	Prétraitement des betteraves séchées
Levure en %	5	5
Durée de fermentation en jours	3	3
Volume total de l'alcool obtenu (mL)	350	350
Degré d'alcool obtenu °GL	92	92

D'après les tableaux 15 et 16, nos résultats sont plus optimisés que celui obtenus par RATSIMBASON Ntsoa Nirina.

Au niveau du prétraitement, il est plus facile de traiter directement les betteraves à frais ou par séchage puis on ajoute l'eau et la levure avec un taux de 5% de son volume. Puisque la betterave hydrolysée par chauffage par bain marie nécessite un long prétraitement et une source d'énergie supplémentaire.

Avec une durée de fermentation plus courte le degré d'alcool est plus élevé comparé à celui obtenu selon le procédé par hydrolyse mentionné dans le tableau 15.

### III.6.3. Comparaison des résultats obtenus et celles de biocarburants issus des déchets d'ananas

Le tableau suivant représente le résultat obtenu par RAKOTONDRINA Iandoharilala Rinah [7] sur « *Essais de fabrication de bioéthanol à Madagascar* ».

Tableau 17 : [7]

Rubriques	Ep (essence pure)	E 5
Puissance	Les appareils branchés fonctionnent normalement, ainsi, nous supposons que le générateur fournit une puissance d'au moins 750 W	
Tension	220 V	220 V
Quantité en mL	62,5	62,5
Temps de fonctionnement	10 min 05s	09 min 45s

- Pour le mélange bioéthanol-essence E 5 et l'essence pure

Tableau 18 : Nos résultats

Paramètres	SP 95	E 5
Quantité (essence – bioéthanol) en mL	200 - 0	190 - 10
Tension en V	260 - 280	220 - 270
Temps de fonctionnement	40 min 15s	20 min 48 s
Puissance de la charge en W	500	500
Tension à charge en V	200-250	220-260

Dans les deux résultats représentés par le tableau 17 et 18, concernant la consommation, elle est inversement proportionnelle au temps de fonctionnement du groupe.

Peu importe le carburant utilisé, que ce soit de l'essence pure ou l'E5, la puissance et la tension produites par le groupe sont dans les normes prescrites par le fabricant. Dans notre cas, nous avons obtenus une tension plus élevée au niveau de la sortie.

#### IV. CONCLUSION

A l'issue de ce travail de recherches, les études réalisées nous ont permis d'attester qu'il est faisable de produire de bioéthanol issus des betteraves rouges « *Metallica Chenopodiaceae* » de Madagascar et de le mettre en exergue en tant que biocarburant.

Le bioéthanol à Madagascar reste encore marginal, il demeure encore comme une source de production domestique et n'atteint pas encore le stade d'une production commerciale. Cependant, le bioéthanol pourra être utilisé non seulement comme combustible alternatif ou à des fins pharmaceutiques mais aussi substituer comme biocarburant et dispose d'une valeur ajoutée.

En effet, nous avons suivi les trois étapes classiques des procédés de fabrication du bioéthanol, à savoir : la fermentation, la distillation ainsi que la rectification. Ce sont des processus faisables techniquement, adaptables dans le contexte de développement durable et écologique.

La méthodologie adoptée pour la concrétisation de ce travail de recherches nécessite à priori par le passage à travers l'ordre chronologique des activités suivantes : après une étude bibliographique sur le bioéthanol et le biocarburant, nous avons penché par la partie expérimentale qui a consisté en la transformation des sucres fermentescibles présentés dans les betteraves en alcool par l'action de la levure, nous avons effectué des essais de laboratoire et un test sur un groupe électrogène pour l'analyse du biocarburant sur un moteur essence.

Les paramètres optimaux pour la production de bioéthanol à partir de la betterave rouge « *Metallica Chenopodiaceae* » sont : en premier lieu la durée de fermentation qui est de 3 jours, ensuite la quantité de levure de 5 %, et enfin durant la rectification, la température de consigne du régulateur de bouilleur ne dépasse pas les 125 °C et celle du régulateur de la tête de colonne de rectification est de 70 °C. Ces paramètres amènent à des résultats de bioéthanol de plus de 90° GL.

A propos du test d'essai sur le groupe électrogène, le groupe électrogène fonctionne avec le biocarburant (bioéthanol-essence) toutefois il consomme un peu plus que l'essence pure.

Pour clore ce travail de recherche, des études peuvent être réalisées sur d'autres utilisations bénéfiques de bioéthanol et les autres mélanges bioéthanol-essence à prendre en compte.

#### REFERENCES

- [1] PERSPECTIVES AGRICOLES DE L'OCDE ET DE LA FAO 2019-2028 © OCDE/FAO 2019, Statistiques agricoles de l'OCDE
- [2] Amine A., (2013). Les implications du développement des biocarburants : Quel impact sur les pays en développement? Economies et finances. Université Nice Sophia Antipolis.
- [3] Raobelina A. M., (2014). La production durable du biocarburant et le développement à Madagascar, maîtrise es-sciences économiques, Université d'Antananarivo
- [4] Raoeliniaina R. D., (2018). Production d'éthanol à partir des déchets de fruit de bananier, Master en ingénierie minière, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
- [5] Ratsimbason N., (2009). Proposition de travaux pratiques utilisant les produits courants : fermentation alcoolique à partir de la fécule de riz et de la betterave rouge préparation d'indicateur colore, CAPEN, Université d'Antananarivo.
- [6] Rakotoarinirina N., (2014). Caractérisation et utilisation des indicateurs couleurs naturels dans quelques dosages acido-basiques étudiés dans les classes secondaires : cas de Beta Vulgaris, variété Metallica (Chenopodiaceae) et de Bougainvillea Blabra, variété Sanderiana (Nyctaginaceae), Certificat d'Aptitude Pédagogique de l'Ecole Normale Supérieure (C.A.P.E.N), Université d'Antananarivo.
- [7] Rakotondrina I. R., (2019). Essais de fabrication de bioéthanol à Madagascar, Master en Ingénierie Pétrolière, Université d'Antananarivo.