

OPTIMISATION DE FABRICATION D'ETHANOL A PARTIR DE RACINES DE PLANTES A TUBERCULE : CAS DU MANIOC

L. ANDRIANAIVO¹, J. L. RASOANAIVO², A.O.RAVONINJATOVO²

¹ Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Petroleum Engineering Department, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie, Université d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

² Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT), BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar

e-mail : aandrianaivoo@gmail.com

Résumé

Madagascar dispose plusieurs variétés de plantes à tubercule telles que le manioc, la patate douce, le tarot. Ces tubercules peuvent être valorisés à des fins énergétiques pour être utilisés comme source d'énergie renouvelable, telle que le bioéthanol.

Des études et recherches menées au laboratoire du CNRIT ont permis de contribuer à l'optimisation du processus de fabrication d'éthanol à partir du manioc.

Ainsi des expérimentations d'amélioration ont été apportées sur le processus de fabrication, entre autres:

- les techniques de prétraitement du manioc avant la fermentation
- le choix de la durée optimale de la fermentation
- le contrôle de la température de l'opération de la rectification

Ce qui a permis d'identifier les paramètres optimums à opter pour la fabrication d'éthanol à base de manioc tels que :

- les maniocs non épluchés, frais, broyés sont les matières premières utilisées;
- la durée de la fermentation est de 3 jours ;
- la quantité de levure est de 5% ;
- la température de la rectification ne doit pas dépasser respectivement 125°C pour la température de consigne du régulateur de bouilleur et 78°C pour la température de consigne du régulateur de la tête de colonne de rectification.

Mots clés : manioc, fermentation, distillation, rectification, éthanol optimisation, processus de fabrication, paramètres optimum.

1. INTRODUCTION

L'accès à l'énergie constitue le fer de lance du développement économique et social d'un pays. La soif d'énergie au niveau mondial va de pair avec l'augmentation de la population entraînant par la suite à une diminution inquiétante des ressources fossiles et, en conséquence à une hausse et instabilité du prix du pétrole sur le marché international. L'énergie est indispensable aux activités humaines. Sans énergie, les entreprises ne peuvent pas produire et, par conséquent, elles ne sont pas en mesure de créer de l'emploi. Elle permet en outre de communiquer et de se déplacer dans le monde entier.

Madagascar dispose d'un potentiel considérable en énergies renouvelables qui est resté jusqu'à présent sous-exploité car sa source énergétique actuelle est dominée par le bois énergie et les produits pétroliers. 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. Cependant, 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, le faible rendement de carbonisation et aux usages excessifs du bois énergie.

Ce qui impose la recherche de technologies visant la valorisation des produits agricoles comme sources d'énergie, telles que les technologies innovantes de fabrication de l'éthanol à partir des racines et tubercules de certains végétaux. Ce travail de recherches essaie d'apporter des améliorations sur le processus de fabrication d'éthanol nous permettant par la suite d'identifier les paramètres à optimiser dont la qualité (fraicheur, ...) de la matière première à traiter, la durée de fermentation, la quantité de levure à utiliser et la température de rectification relative à la température de consigne au niveau du bouilleur et celle de la tête de colonne. Il met aussi en évidence la fiabilité de ces paramètres optés ainsi le stade où on peut intervenir dans le processus.

2. METHODES

2.1. Zone d'études : Commune rurale d'Analavory

2.1.1. Choix du site

La culture de manioc se répand partout à Madagascar, notamment dans la région Alaotra Mangoro, dans la partie Sud – Ouest de Madagascar, et surtout dans la région d'Itasy Toutefois, nous allons focaliser notre étude sur cette dernière et notamment, la commune d'Analavory pour diverses raisons :

- Elle est réputée par sa rentabilité en variété de produit agricole. En effet, le principal secteur d'activité de cette commune reste l'agriculture.
- Elle a une grande superficie de terres arables de structure volcanique.
- On y rencontre diverses variétés de culture telles les cultures céréalières, tubercule, etc.
- Le cycle de la production du manioc est très réduit, la récolte peut s'effectuer après six mois.
- Elle se trouve sur la RN 1 non loin de la ville d'Antananarivo

2.1.2. Localisation

La commune rurale d'Analavory est l'une des communes qui constitue le district de Miarinarivo dans la région de l'Itasy. Elle se situe à 22km à l'ouest de Miarinarivo qui est le Chef-lieu de la région de l'Itasy. En suivant la route vers la route nationale numéro N°1(RN1), qui relie la ville d'Antananarivo et celui de Tsiroanomandidy, elle se trouve à une distance de 111km. Elle est limitée au Nord, à l'Est, au Sud, et à l'Ouest par quelques communes rurales :

- Au Nord : AnosibeIfanja, SarobaratraIfanja, et Ambatomanjaka.
- A l'Est : Miarinarivo II, et Manazary.
- Au Sud : Ampefy, et Ankaranana.
- A l'Ouest: Alatsinainikely, Ankadinondry Sakay.

Selon les données d'Ampandrianomby, la commune rurale d'Analavory se localise sur la latitude : 18°58'42.01''S et la longitude : 46°42'45.35''E

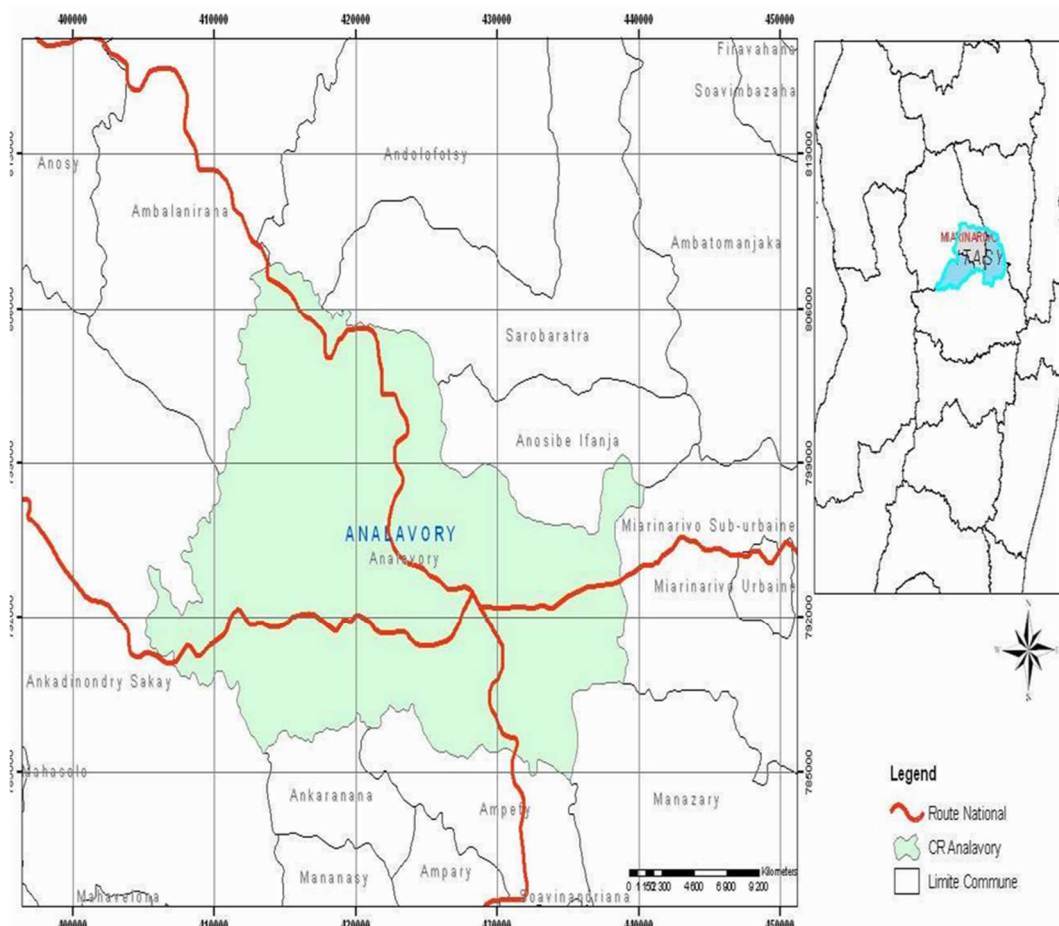


Figure 1 : Carte de localisation de la commune rurale d'Analavory

2.1.3. Température

Le tableau 1 suivant montre la moyenne des températures mensuelles de la région des Hauts plateaux durant les cinq dernières années, dont la commune d'Analavory.

Tableau 1 : Moyenne des températures mensuelles en °C des cinq dernières années (2005-2010)

Mois T°	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
T° max (°C)	26,38	26,4	26,76	25,52	23,65	21,7	20,42	32,45	31,43	25,66	35,7	26,86
T° min (°C)	17,74	17,52	17,18	16,02	14,1	11,67	11,02	11,03	12,47	13,73	16,32	17,06
T° M (°C)	22,6	21,96	21,97	20,77	18,87	16,68	15,72	21,74	21,95	19,7	26,01	21,96

T° max : Température maximale en degré Celsius

T° min : Température minimale en degré Celsius

T° M : Moyenne mensuelle des températures en degré Celsius

La température moyenne annuelle varie entre 18 et 26°C, le mois le plus chaud se situe en Novembre avec une température moyenne de 26°C, le mois le plus froid se trouve en Juillet avec une température

moyenne de 15°C. Suivant cette donnée, on observe bien au cours d'une année, l'alternance de deux saisons : chaud et pluvieuse et sèche et froide.

2.1.4. La géologie de l'Itasy

Du point de vue géologique, la Région de l'Itasy se trouve dans une zone qui se révèle d'une grande monotonie ou absence de variété. En effet, la zone se localise dans « un ensemble monotone de roches migmatitiques ».

Les migmatites (du grec : "migma", mélange) sont des roches métamorphiques composées par des gneiss plissés et finement veinés de granite. Les veines claires (leucosome) de granite représentent la partie fondue ; les feuillets plus sombres riches en micas noirs, parfois en grenats ont résisté à la fusion. Néanmoins, une étude exhaustive de la pétrographie montre que la région présente une grande diversité du point de vue pétrographique.

2.1.5. Situation économique

En tant que commune rurale, ce sont les activités agricoles qui prédominent l'économie d'Analavory. Les autres activités les plus fréquentes sont l'élevage et l'exploitation des forêts d'eucalyptus, ainsi que les commerces et l'artisanat.

2.1.6. Agriculture

En ce qui concerne l'agriculture, ce sont les cultures rizicoles, maraîchères, et fruitières qui dominent à Analavory et c'est presque le cas des communes limitrophes : d'Ampefy, Anosibe Ifanja et enfin Andolofotsy. Les cultures contre saison sont dominées par le manioc, le maïs, et sorgho. Les cultures fruitières les plus utilisées sont entre autres la papaye et la banane. En général, les facteurs qui alourdissent le secteur agricole, à une faible productivité sont les suivants :

- La non maîtrise des techniques agricoles, on assiste encore à la prédominance des anciennes techniques utilisant des matériels archaïques. Ce phénomène est causé par le manque de technicien agricole dans la commune et le suivi non effectif des formations déjà dispensées.
- Le manque, la vétusté, ainsi que la destruction progressive des infrastructures

Tableau 2 : Production agricole dans la commune Analavory

Types	Cultures	Surface agricole utile (Ha)	Surface agricole utilisée (Ha)	Productivité (T/ha)	Production (T/an)
Céréales	Riz fluvial	3 436	2 804	3	8 258
	Riz pluvial	2 232	1 011	2,5	2 150
	Maïs	2 805	1 904	3	4 985,5
Légumes	Haricots	1 678	739	2	1 702,5
	Tomates	705,5	292,5	10	4 116
	Melons	600	230	6,5	536,1
	Pomme de terre	131	8,1	8	290
	Poids de bambara	530	29	2	57
	Cressons	10	10	2	20
	Autres	186	37,85	2	127,63
	Manioc	6 034	4 524	4	24 028
Tuberculeuses Racines	Patate douce	1 570	515,3	3,5	3 070,30
	Tarot			3	250
	Canne à sucre	200	12	10	250
Cultures industrielles	Pistache	510	126	1,5	123
	Tabac	604	10	2	18
	Papaye	601,8	50,4	20	312,25
Fruits	Melon	10	5	5	50
	Bananes	305	10	5	70
	Autres	300	50	5	80

(Source : Monographie de la commune Analavory)

La productivité moyenne de la riziculture est encore de l'ordre de 3t/ha. Parmi les céréales, ce résultat est le même chez le maïs. Mais la production du maïs en t/an dépasse en une moitié de plus la production en t/an du riz pluvial.

Les paysans s'attellent également à la diversification de leurs activités agricoles pour développer leurs revenus. La culture de papaye est un exemple concret de cette initiative. Les Fokontany qui s'adonnent à cette pratique sont ceux d'Analavory, Ankotrabe, Amparaky, Tsarazaza et ce d'Ambatomitsangana.

Une famille de ces Fokontany gagne en effet en moyenne entre 1 000 000 Ar à 5 000 000 Ar/an en fonction de la taille des exploitations.

Les cultures maraichères méritent également une attention particulière à travers les cultures de pois de bambara et les haricots.

Les cultures industrielles sont de moindre importance, et la culture de canne à sucre n'a pas encore l'envergure de satisfaire les besoins d'une industrie quelconque.

2.1.7. Elevage

Parmi les activités du secteur primaire, l'élevage tient une place non négligeable dans la commune. L'élevage de bovidés est très estimé au sein de la commune, viennent ensuite les élevages porcins et enfin les volailles. En premiers lieu la viande alimente les bouchers locaux. Pour les porcins, ils sont vendus hors de la commune, voire hors de la région. L'élevage rencontre aussi quelques problèmes au sein de la commune à savoir :

- le non maîtrise des nouvelles techniques.
- l'absence d'investissement par le non accès au système de micro-finance.
- le non-respect des normes sanitaires.
- la fréquence des maladies.

- le banditisme qui se manifeste par le vol de zébus ...

Ces problèmes sont dus en grande partie au manque d'encadrement et de personnel au niveau de la commune malgré la présence de vétérinaires privés qui viennent en appui à ceux qui sont employés par la commune.

2.2. Travaux d'expérimentation

Afin d'atteindre l'objectif fixé, la démarche méthodologique suivante a été adoptée :

- identification du mode de prétraitement et technique d'hydrolyse adéquat
- détermination de la quantité de levure et la durée de fermentation optimales
- Identification de la température de consignes limites respectives du bouilleur et de la tête de la colonne.

Ainsi, des études expérimentales relatives à cette démarche ont été menées au laboratoire du Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT).

2.2.1. Prétraitement et technique d'hydrolyse

Prétraitements

C'est une étape préalable cruciale du processus de production d'alcool de manioc. En effet, sa réussite conditionne les résultats des étapes suivantes. Cette étape comprend :

Le triage : pour éliminer les produits de mauvais état (présentant par exemple d'énormes traces de moisissure)

Lavage : pour enlever les diverses saletés et souillures (boue etc...)

Epluchage : pour enlever l'écorce extérieure

Découpage en morceau et broyage : pour obtenir un mélange fin homogène d'amidon et de manioc, prêt pour l'opération d'hydrolyse.

La figure 2 montre les différentes étapes des prétraitements :

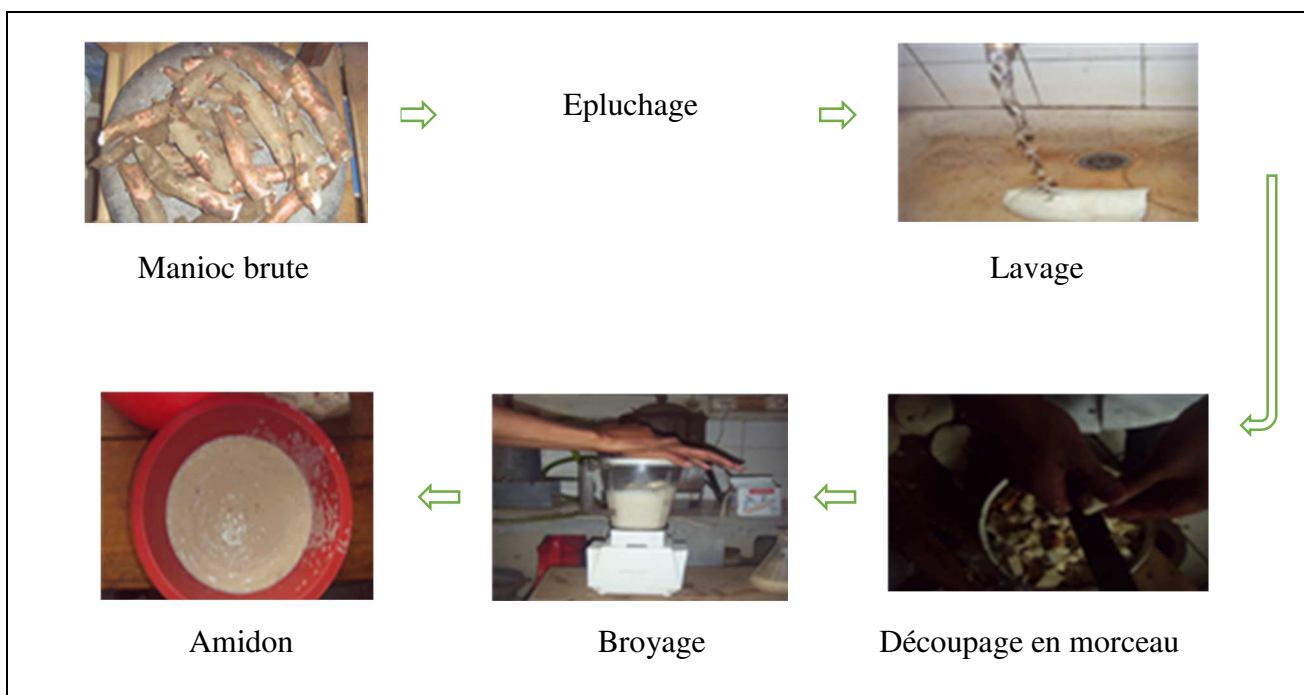


Figure 2 : Prétraitements

Préparation de l'amylase

Les principales étapes de préparation de ces graines de paddy pour obtenir l'enzyme sont les suivantes :

- Trempage : Humidification de grains de paddy et conditionnement dans un endroit chaud et humide durant 24 à 48h pour faciliter et accélérer la germination.
- La germination : C'est la période pendant laquelle l'orge commence à germer et donc produit les enzymes telles que l'amylase. Cette étape dure quatre à six jours. Ce qui donne naissance à ce qu'on appelle 'malte vert'. La figure 3 suivante montre la germination du grain de paddy :



Figure 3 : Germe de grain de paddy

La figure 4 montre les différentes étapes de la préparation de l'enzyme

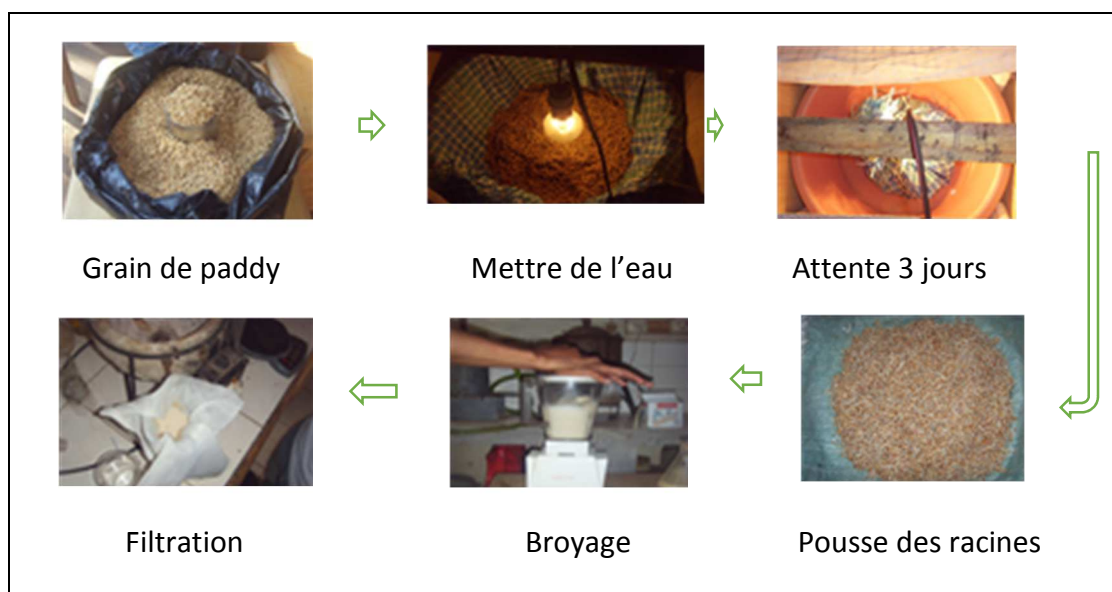


Figure 4 : Préparation de l'enzyme

2.2.2. Hydrolyse

L'hydrolyse est la transformation de l'amidon en sucre fermentescible sous l'action des enzymes à une température donnée et sous agitation permanente. L'hydrolyse comporte deux étapes.

La gélification :

La gélification est la cuisson de manioc à la température de 75°C pendant 45 minutes environ, couplée avec une agitation. La gélification consiste à modifier la structure de l'amidon par l'action de chaleur et de l'eau. En effet de par sa structure semi-cristalline l'amidon est pratiquement insoluble dans l'eau froide et porté à la température de 75°C, il devient amorphe et miscible à l'eau. La gélification préalable de l'amidon de manioc facilite l'action des enzymes présents dans le malt.

La proportion adoptée pour cette opération étant 1,5 litre d'eau pour 1 kg de manioc.

La liquéfaction

La liquéfaction consiste à l'activation de l'enzyme au jus de manioc gélifié. Ainsi nous avons mélangé 1 Kg de manioc gélifié avec 0,25Kg de lait de malt. Ce dernier étant obtenu par dilution de la poudre provenant de la germination du paddy avec de l'eau. Cette étape s'effectue à la température de 55°C pendant 40 minutes sous agitation permanente.

L'opération de gélification et hydrolyse est illustrée par la série de photographies suivantes (Figure 5):

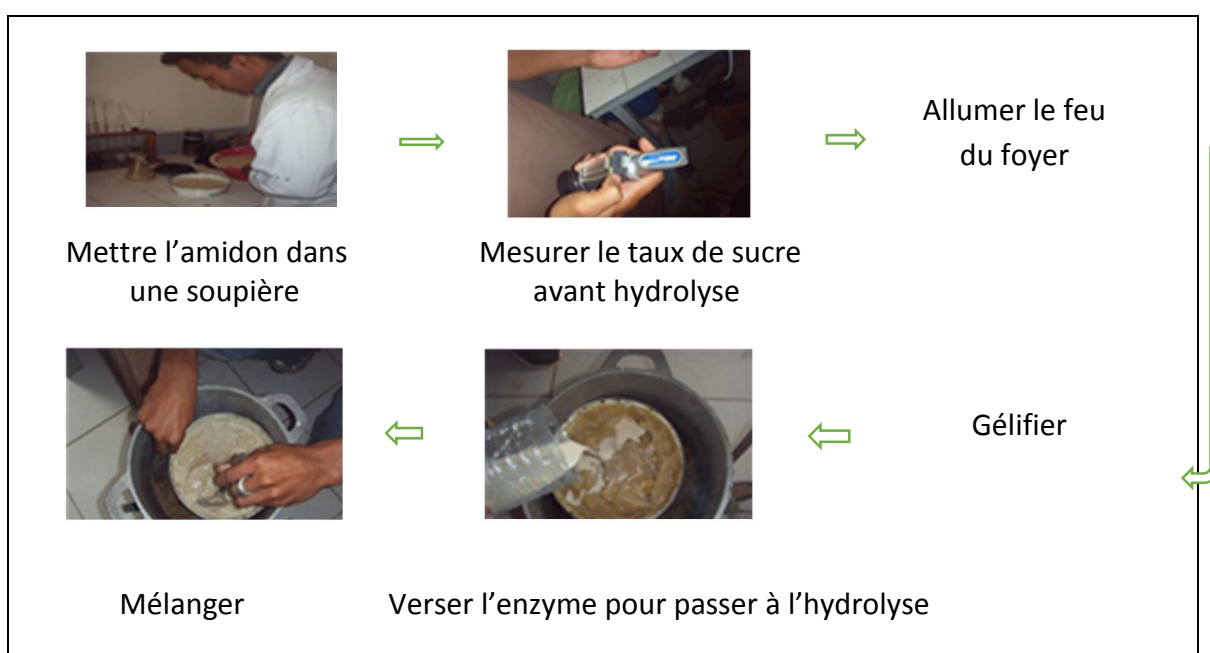


Figure 5 : Gélification et hydrolyse

2.2.3. Quantité de levure et durée de fermentation

Fermentation

La fermentation est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone (souvent du glucose) en une autre forme d'énergie directement utilisable par la cellule en l'absence de dioxygène (milieu anaérobie). 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. La fermentation alcoolique doit s'effectuer en anaérobiose, à une température entre 15°C et 35°C. Le milieu anaérobique permet à la levure de changer l(Figure 6) :

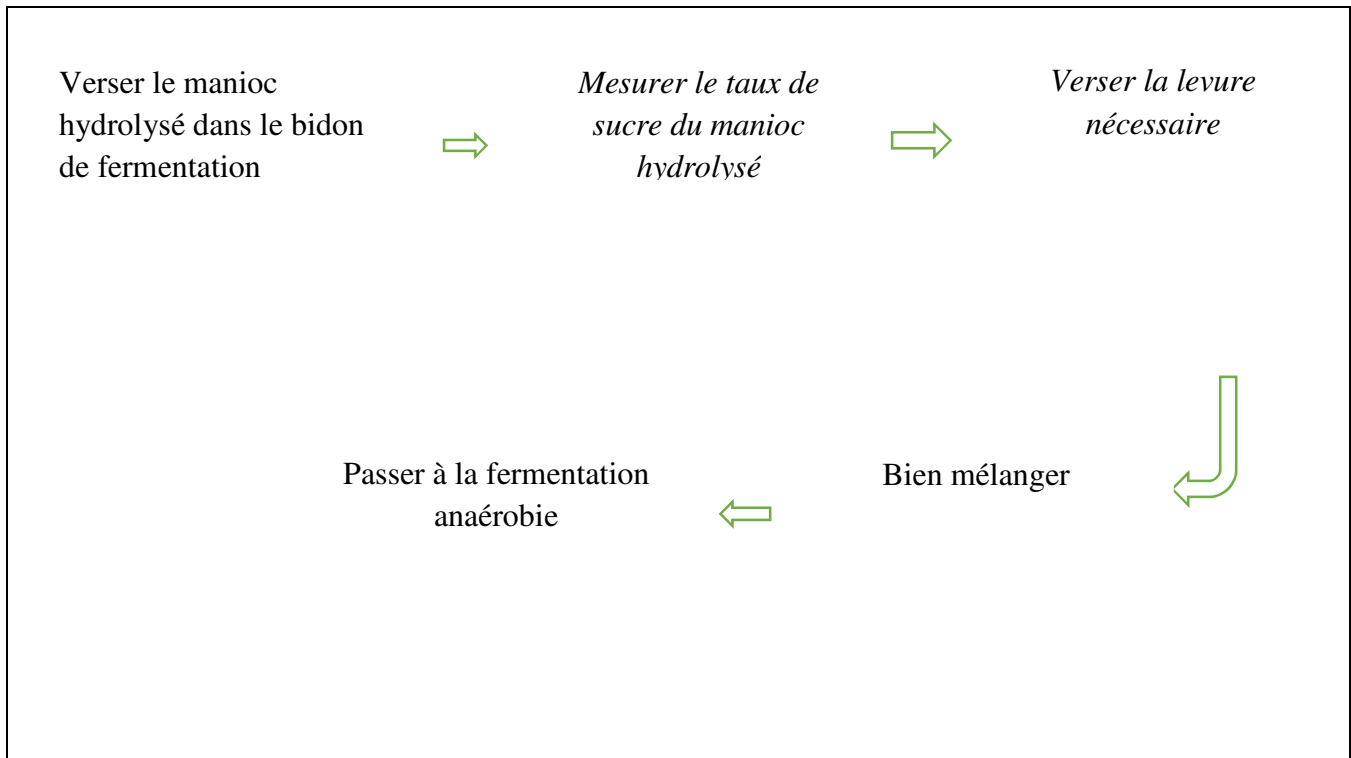


Figure 6 : Préparation à la fermentation

2.2.4. Température de consignes limites respectives du bouilleur et de la tête de la colonne.

Distillation

Juste après la fermentation, on obtient ce que l'on appelle un moût, on prépare ensuite le distillateur puis on charge le moût dans le bouilleur. Vérifier l'herméticité des tuyauteries du distillateur pour éviter les éventuelles fuites de vapeur et démarrer la distillation.

Les étapes de la distillation sont les suivantes (Figure 7):

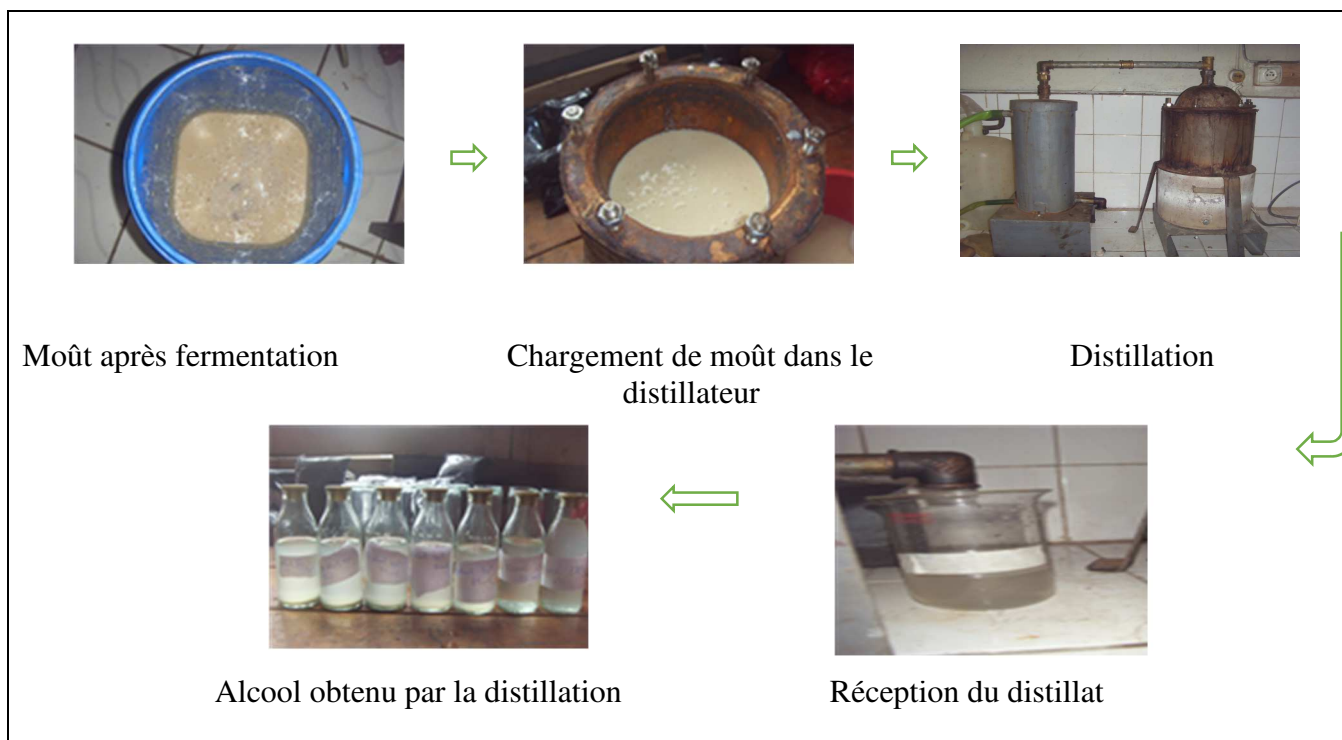


Figure 7 : Distillation

Rectification

La rectification, aussi appelée distillation fractionnée, est un procédé de séparation par fractionnement. Son but est de séparer les différents constituants d'un mélange de liquides miscibles, possédant des températures d'ébullition différentes. Pour cela, elle exploite le même principe que la distillation classique mais se distingue par l'utilisation d'une colonne de séparation, qui permet une meilleure discrimination des constituants du mélange.

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.

Déroulement de la rectification

L'alcool obtenu par la 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

- Rassembler les alcools issus de la distillation, puis mesurer le degré alcoolique du mélange obtenu.
- Préparer l'alcool puis le verser dans le bouilleur par l'intermédiaire de l'entonnoir de chargement, la quantité d'alcool à rectifier minimum est de 1L et maximum 4,5L ;
- Après chargement, bien fermé le robinet pour éviter la fuite ;
- Ouvrir le circuit eau de refroidissement, puis vérifier que tous les robinets de l'appareil soient fermés ;
- Démarrer la rectification ;

- Au cours de l'opération de rectification, recueillir, au fur et à mesure à l'aide d'un récipient gradué le distillat formé, puis mesurer et enregistrer chaque degré alcoolique correspondant ;
- A la fin de la rectification, attendre que l'appareil se refroidisse puis ouvrir le robinet de déchargement et recueillir le résidu.

Les étapes de la rectification sont les suivantes (Figure 8):

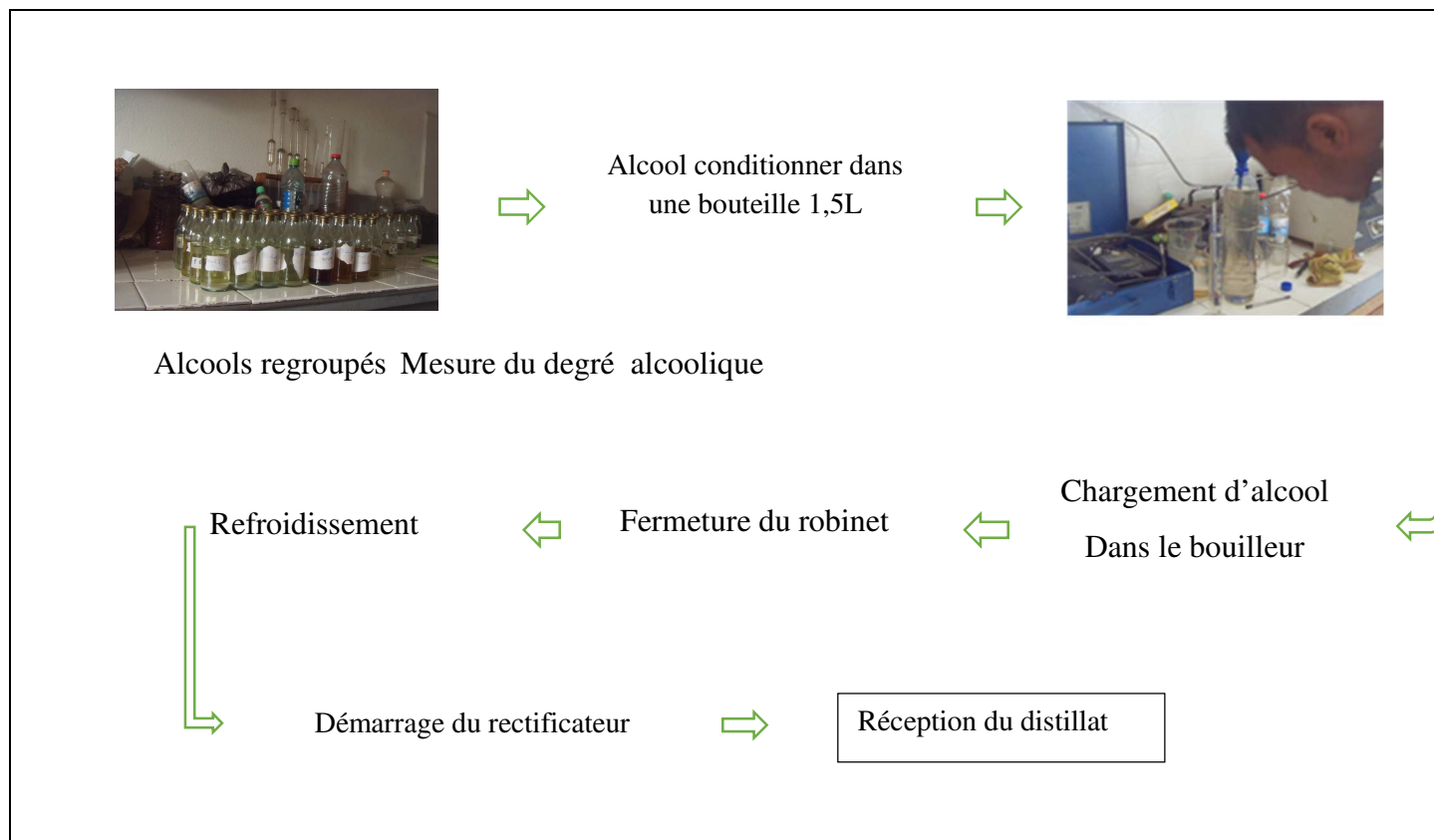


Figure 8 : Etapes de la rectification

3. RESULTATS

3.1. Résultats de la fermentation

La fermentation se déroule en milieu non renouvelé, en faisant varier le pourcentage de la levure et la durée de la fermentation pour une même masse de manioc hydrolysée. Les résultats de la fermentation seront résumés dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Résultats de la fermentation

N° essai	Manioc hydrolysé(g)	Levure (%)	Levure (g)	Durée fermentation (jrs)	Sucre avant fermentation (°Brix)	Sucre après fermentation (°Brix)	Atténuation (%)
1	8000	5	400	3	16	6	62,50
2	8000	7	560	4	14,5	8	44,83
3	8000	8	640	5	14	8	42,86
4	8000	9	720	6	13	8	38,46

5	8000	10	800	7	11	7	36,36
---	------	----	-----	---	----	---	-------

Ce tableau 4 montre aisément que l'essai numéro 1, réalisé avec un taux de levure de 5%, pendant une durée de fermentation de 3 jours aboutit à un rendement de fermentation le plus élevé de 62,50%. Ce qui constitue un meilleur rendement de fermentation. Force est donc d'admettre que les paramètres optimums de la fermentation seront :

- taux de levure de 5%,
- durée de fermentation de 3 jours

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

$$\text{Atténuation} = \frac{E - E_a}{E}$$

E : Taux de sucre dans la solution initiale

E_a : Taux de sucre à l'état final

Le rendement de la fermentation peut être déterminé par la connaissance du taux de sucres initiaux (avant la fermentation) et le taux de sucre à l'état final (après fermentation).

3.2. Résultats de la distillation

Il est à remarquer que le volume du distillateur du laboratoire du CNRIT étant trop petit, si bien que la distillation du moût issu d'une opération de fermentation s'est déroulée en deux vagues.

En outre, les séries de distillation se sont passées dans les mêmes conditions. Le contrôle de la température à la tête du distillateur s'est opéré par l'intermédiaire d'un thermomètre à mercure.

La distillation issue des 5 fermentations a été donc effectuée en 5 séries :

3.2.1 Première série de distillation

Tableau 5 : Première série de distillation

Numéro de jet	1	2	3	4	5	6	7
Volume alcool (ml)	89	90	90	90	92	90	91
Degré (°GL)	64	72	72	70	61	61	54
Numéro de jet	8	9	10	10	11	13	14
Volume alcool (ml)	90	89	90	92	90	95	90
Degré (°GL)	45	41	35	28	19	18	13

Le volume total d'éthanol obtenu est de 1268 ml dont le degré alcoolique varie de 13° à 72°.

3.2.2. Deuxième série de distillation

Tableau 6 : Deuxième série de distillation

Numéro de jet	1	2	3	4	5	6	7	
Volume alcool (ml)	90	92	94	90	92	92	92	

Degré (°GL)	71	71	71	67	65	60	55	
Numéro de jet	8	9	10	10	11	13	14	15
Volume alcool (ml)	91	99	99	92	92	105	88	95
Degré (°GL)	54	47	40	40	28	24	14	10

Le volume total d'éth

anol obtenu est de 1403 ml dont le degré alcoolique varie de 10 à 71°.

3.2.3. Troisième série de distillation

Tableau 7 : Troisième série de distillation

Numéro de jet	1	2	3	4	5	6	7	
Volume alcool (ml)	90	93	92	89	85	92	92	
Degré (°GL)	70	70	65	61	56	54	54	
Numéro de jet	8	9	10	10	11	13	14	15
Volume alcool (ml)	91	96	93	96	97	105	84	84
Degré (°GL)	46	41	35	31	25	20	15	15

Le volume total d'éthanol obtenu est de 1385 ml dont le degré alcoolique varie de 15 à 70°.

3.2.4. Quatrième série de distillation

Tableau 8 : Quatrième série de distillation

Numéro de jet	1	2	3	4	5	6
Volume alcool (ml)	90	92	91	90	93	92
Degré (°GL)	59	59	55	54	50	48
Numéro de jet	7	8	9	10	11	12
Volume alcool (ml)	90	89	94	100	91	133
Degré (°GL)	41	31	25	25	12	11

Le volume total d'éthanol obtenu est de 1145 ml dont le degré alcoolique varie de 11 à 59°.

3.2.5. Cinquième série de distillation

Tableau 9 : Cinquième série de distillation

Numéro de jet	1	2	3	4	5	
Volume alcool (ml)	95	96	95	96	95	
Degré (°GL)	56	55	50	41	40	

Numéro de jet	6	7	8	9	10	11
Volume alcool (ml)	97	97	103	100	60	93
Degré (°GL)	35	29	21	20	15	10

Le volume total d'éthanol obtenu est de 1027 ml dont le degré alcoolique varie de 10 à 56°. La figure 9 suivante met en évidence l'évolution du degré alcoolique du distillat en fonction du rang d'apparition du jet, pour les cinq séries d'essai.

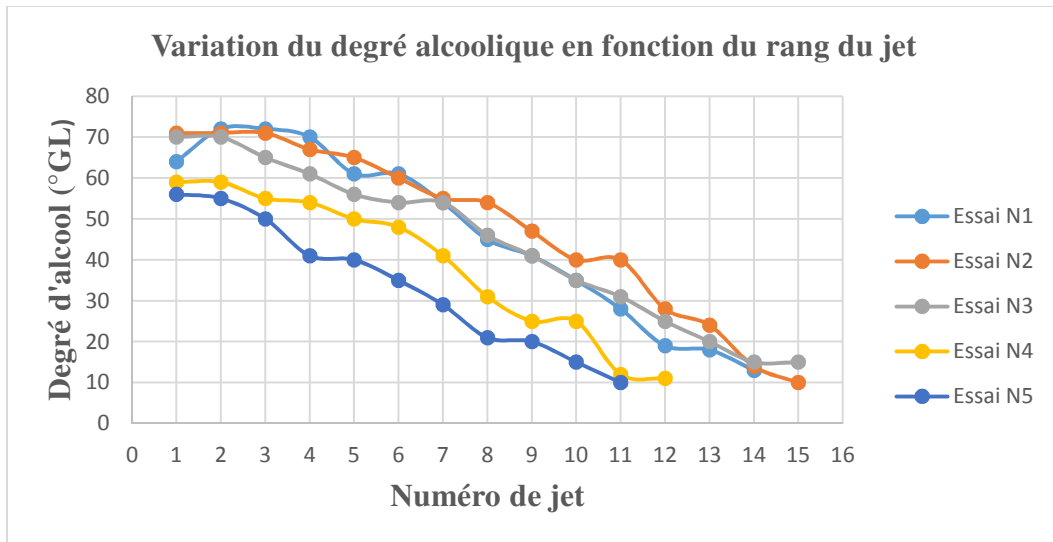


Figure 9 : Variation du degré alcoolique du distillat en fonction du rang du jet

On constate en général à l'exception du premier et du deuxième jet une diminution du degré alcoolique du distillat obtenu, suivant le rang du jet.

3.3. Résultats de la rectification

Avant la rectification, nous avons rassemblé l'alcool obtenu par la première distillation en 4 groupes de degré alcoolique : 66° ; 51° ; 33° , 19°.

3.3.1. Premier groupe de rectification

Les conditions opératoires :

- Degré alcoolique 66 °GL
- Volume initiale de l'alcool 1,5L
- Température de consigne du régulateur de bouilleur (Θ_b) : 125°C puis 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne (Θ_{tc}) : 78°C

Nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 10):

Tableau 10 : Premier rectification

Rubriques						
N de jet	1	2	3	4	5	6
Volume (ml)	150	150	148	150	150	135

Degré (°GL)	92	91	90	88	86	85
Durée (mn)	50	34	43	40	21	25
Θ_b (°C)	127	129	127	157	151	158
Θ_{tc} (°C)	71	70	70	71	71	79

Le volume total d'éthanol obtenu est de 883 ml dont, les trois premiers distillats recueillis avec une température de consigne du bouilleur de 125°C présentent des degrés alcooliques variant de 90 à 92°, tandis que ceux des trois autres, opérés sous 150°C varient de 85 à 88°.

En outre, on remarque que la durée d'apparition du premier jet de la rectification faite à la température de consigne de 125°C est supérieure à celle sous 157°C (50 mn > 40 mn)

3.3.2. Deuxième groupe rectification

Les conditions opératoires :

- Degré alcoolique 51 °GL
- Volume initiale de l'alcool 1,5L
- Température de consigne du régulateur de bouilleur (Θ_b) : 125°C puis 150°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne (Θ_{tc}) : 78°C

A l'issue de ce deuxième groupe de rectification, nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 11):

Tableau 11 : Deuxième rectification

Rubriques						
N de jet	1	2	3	4	5	6
Volume (ml)	150	150	140	150	130	146
Degré (°GL)	90	90	90	88	84	75
Durée (mn)	67	53	58	60	86	131
Θ_b (°C)	129	124	132	156	158	156
Θ_{tc} (°C)	78	70	79	72	79	72

Le volume total d'éthanol obtenu est de 866 ml dont, les degrés alcooliques des trois premiers distillats recueillis avec une température de consigne du bouilleur de 125°C restent constante 90° tandis que ceux des trois autres, opérés sous 150°C varient de 75 à 88°.

Comparé à la première rectification, on constate que plus le degré alcoolique du mélange initial est bas, plus le temps mis pour l'apparition du premier jet augmente.

3.3.3. Troisième groupe d'essai

Les conditions opératoires :

- Degré alcoolique 33 °GL
- Volume initiale de l'alcool 1,5L
- Température de consigne du régulateur de bouilleur (Θ_b) : 125°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne (Θ_{tc}) : 78°C

Nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 12):

Tableau 12 : Troisième rectification

Rubriques			
N de jet	1	2	3
Volume (ml)	150	150	100
Degré (°GL)	90	89	82
Durée (mn)	93	81	123
Θ_b (°C)	122	127	129
Θ_{tc} (°C)	76	79	79

Le volume d'alcool obtenu est de 400 ml dont le degré alcoolique est de 90 pour le premier jet tandis que les deux derniers jets varient de 82 à 89°.

3.3.4. Quatrième groupe d'essai

Les conditions opératoires :

- Degré alcoolique 19 °GL
- Volume initiale de l'alcool 2,345L
- Température de consigne du régulateur de bouilleur (Θ_b) : 125°C
- Température de consigne du régulateur de la tête de colonne (Θ_{tc}) : 78°C

A l'issue de ce quatrième groupe d'essai, nous avons obtenu les résultats suivants (Tableau 13):

Tableau 13 : Quatrième rectification

Rubriques			
N de jet	1	2	3
Volume (ml)	150	150	62
Degré (°GL)	88	80	69
Durée (mn)	147	112	220
Θ_b (°C)	122	126	128
Θ_{tc} (°C)	78	76	79

Le volume d'alcool obtenu est de 362 ml dont le degré alcoolique varie de 69 à 88.

Il est à noter que pour ces deux dernières rectifications (3^{ème} et 4^{ème}) nous avons fixé les températures de consigne respectivement à $\Theta_{tc} = 78^\circ\text{C}$ et $\Theta_b = 125^\circ\text{C}$. En effet, l'application de ces paramètres lors des deux premières rectifications a abouti à des résultats prometteurs, à savoir : degré alcoolique de distillat entre 90 à 92°.

4. DISCUSSIONS

Les travaux de recherche menés au laboratoire du CNRIT dans l'optique d'optimiser les processus de fabrication à partir du manioc ont permis d'acquérir des résultats satisfaisants. Nous sommes ainsi, en mesure de suggérer la fiche protocolaire de fabrication d'éthanol à base de manioc suivante :

4.1. Protocole de fabrication d'éthanol à partir du manioc

4.1.1. Les prétraitements

- *Le triage* : éliminer les produits de mauvais état
- *Lavage* : enlever les diverses saletés et souillures (boue etc...)
- *Epluchage* : enlever l'écorce extérieure
- *Découpage en morceau et broyage* : pour obtenir un mélange fin homogène

4.1.2. Hydrolyse

Hydrolyse enzymatique à base de grain de paddy comprenant les étapes suivantes :

4.1.3. Préparation de l'amylase

- *Trempage* : Humidification de grains de paddy et conditionnement dans un endroit chaud et humide pour faciliter et accélérer la germination.
- *La germination* : période qui dure quatre à six jours pendant laquelle l'orge commence à germer et donne naissance à ce qu'on appelle 'malte vert.

4.1.4. Hydrolyse proprement dite

L'hydrolyse proprement dit comporte deux étapes :

- *La gélification* :

Ayant pour but de modifier la structure de l'amidon par l'action de chaleur et de l'eau. La gélification de l'amidon de manioc facilite l'action des enzymes présents dans le malt.

- *La liquéfaction* :

- La liquéfaction améliore et accélère l'activation de l'enzyme au jus de manioc gélifié.
- Paramètres optimums de fermentation et rectification
- Les paramètres optimums à utiliser pour les opérations de fermentation et rectification sont résumés dans le tableau 14 suivant :

Tableau 14 : Paramètres optimums pour les opérations de fermentation et de rectification

Rubriques	Paramètres
Quantité de levure	5%
Durée de la fermentation	3 jours
Température de consigne du bouilleur	125°C
Température de consigne de la tête de la colonne	78°

Ce tableau 14 récapitule les Paramètres optimums à considérer pour toutes les opérations de fermentation et de rectification.

5. CONCLUSION

Au terme de cette étude, force est de constater que l'objectif initialement fixé est atteint. L'« optimisation du processus de fabrication d'éthanol à partir du manioc » a été étudiée sur tous ses aspects.

La partie expérimentale consistant à la transformation des sucres fermentescibles présents dans les maniocs en alcool passe par l'hydrolyse enzymatique de l'amidon, suivi de la fermentation et se termine par la distillation et la rectification.

Ce qui a permis d'obtenir les paramètres optimum de production d'éthanol à partir du manioc suivant :

- les matières premières utilisées sont des maniocs non épluchés frais broyés;
- la durée de la fermentation est de 3 jours ;
- la quantité de levure est de 5% ;
- la température de la rectification ne doit pas dépasser respectivement 125°C pour la température de consigne du régulateur de bouilleur et 78°C pour la température de consigne du régulateur de la tête de colonne de rectification.

L'utilisation de ces paramètres optimums nous a conduit à l'acquisition de résultats de rectification satisfaisants, à savoir de l'éthanol de degré alcoolique de plus de 90° pour les trois premiers jets de distillat.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Akpingny Kanga Lea Epe Dali. Novembre 2017. « Fiche technicoéconomique du manioc ». Agence National d'Appui au Développement Rural. P 8 (juin 2019)
- [2] 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, (juillet 2019)
- [3] André Charrier. « L'amélioration des plantes tropicales ». 1994. P 451 (Mars 2019)
- [4] Derbali M. El-Amine. Juin 2012. « Conception d'une bio raffinerie de seconde Génération ». Université Kasdi Merbah Ouargla. P 46 (juin 2019)
- [5] Hervé Nifenecker. « La problématique énergétique mondiale ». EDP Sciences. P 70 (juin 2019)
- [6] Herinandrasana M.N.. « Pratique de la maïsiculture (zeamays) chez quelques paysans de la commune rurale d'Analavory de la région d'Itasy ». juin 2014. Mémoire en vue de l'obtention du certificat d'aptitude pédagogique de l'Ecole Normale. P 111 (Mars 2019)
- [7] Rafitson K.. « La lente marche vers la transition énergétique à Madagascar : état des lieux et perspectives ». Décembre 2017. Friedrich-Ebert-Stiftung. P 44 (juin 2019)
- [8] Marie Hélène Dabat. « Aperçu des utilisations agro-industrielles du manioc à Madagascar ». Septembre 2001. Projet FOFIFA. P 50 (Mars 2019)
- [9] Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. « Plan directeur de la recherche sur les énergies renouvelables 2014-2018». 2015. P 66 (Mars 2019)
- [10] Ambassade de France à Madagascar service économique. « le secteur de l'énergie à Madagascar ». Août 2016. P 33 (Mars 2019)
- [11] Philippe Marty. « Cours de transferts thermiques ». 09 juillet 2012. University's Joseph Fourier, Grenoble. P45 (juin 2019)
- [12] Rafanomezantsoa H.. « Microbiologie et industrie alimentaire : fermentation lactique, alcool, protéines et génie génétique » 1979 Tome 4 (juillet 2019)
- [13] Ramilison R.. « Agronomie du manioc ». 24 mai 1994. Stage de formation sur l'agronomie et la multiplication du manioc. P 34 (Mars 2019)
- [14] Timothe Bongompasi Muzama. « Opportunités d'utilisation des biocarburants et leur impact sur l'environnement socio-économique de la RDC ». Décembre 2011. Institut Supérieur de Technique Appliqué. Ingénieur en Génie Environnement. P 120 (Mars 2019)
- [15] Jannot Y.. « Transferts thermiques ». Janvier 2012. Ecole des Mines Nancy. P 163 (juin 2019)

• WEBOGRAPHIES

- [16] www.thiers.stephane.free.fr/energieB1.html(Ministère français de l'Industrie et des Finances) consulté le 25/05/19
- [17] www.eners.ch consulté le 25/05/15
- [18] <http://www.nature.com/nature/journal/v457/n7231/full/457800a.html> consulté le 12/06/19
- [19] http://www.palabresculturellesinternationales.com/madagascar_ecologie.php consulté le 12/06/19
- [20] <http://www.cop21.fr> : L'accord de Paris en 4 points clés, Ministère des Affaires étrangères et du Développement international, 2015) consulté le 12/06/19
- [21] <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> consulté le 12/06/19
- [22] <http://www.inrs.fr/hm/ethanol.html> consulté le 12/06/19
- [23] Institut national de recherche et de la sécurité 12/06/19
- [24] Fiche toxicologique n°48, Édition 1997 de l'INRS. Cahiers de notes documentaires. [RE-005509], consulté le 12/06/19

- [25] <http://www.strw.leidenuniv.nl/astrochem/molecules.html>, consulté le 12/06/19
- [26] http://www.ifp.fr/IFP/fr/evenement/panorama/IFP-Panorama07_08, consulté le 12/06/19
- [27] <http://www.fao.org/docrep/009/j7927f/j7927f11.htm>, consulté le 12/06/19
- [28] www.eners.ch, consulté le 12/06/19