



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO

Département : GENIE CHIMIQUE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR INTITULE :**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE D'OBTENTION
D'ALCOOL DU BANANE**

Présenté par :

Monsieur RABARIJAONA Falinirina

Promotion 2007



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO

Département : GENIE CHIMIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR INTITULE :

CONTRIBUTION A L'ETUDE D'OBTENTION
D'ALCOOL DU BANANE

Présenté par :

Monsieur RABARIJAONA Falinirina

Date de Soutenance : 21 Décembre 2008

Membres du Jury

Président du jury : **Monsieur RANDRIANOELINA Benjamin**

Professeur titulaire à l'E.S.P.A

Rapporteur : **Monsieur RAKOTOMAMONJY Pierre**

Maître de Conférences à l'E.S.P.A

Examinateurs : **- Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine**

Professeur à l'E.S.P.A

- Monsieur RABIBISOA Daniel

Maître de Conférences à l'E.S.P.A

- Monsieur RANDRIANA Richard

Maître de Conférences à l'E.S.P.A

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

- Mes parents qui m'ont toujours soutenu moralement et financement tout au long de mes études.
- Mes frères et mes sœurs qui m'a toujours aidé et encouragé à réaliser ce mémoire.
- Toute ma famille.
- Tous mes amis.

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage a été effectué au laboratoire de Chimie Minérale et Chimie Organique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo Vontovorona avec collaboration du laboratoire de Département de Recherches Technologies (D.R.T) FOFIFA (Foibe Fikarohana sy Fampandrosona ny eny Ambanivohitra) Ambatobe.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à :

- ❖ **Monsieur RAMANATSIZEHENNA Pascal**, Directeur de l'E.S.P.A, qui nous a permis de présenter ce mémoire.
- ❖ **Monsieur RANDRIANOELINA Benjamin**, Professeur titulaire de l'E.S.P.A, qui, malgré ses lourdes responsabilités, m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.
- ❖ **Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine**, Professeur à l'E.S.P.A, qui a accepté de siéger parmi les membres de jury, malgré ses multiples obligations.
- ❖ **Monsieur RAKOTOMAMONJY Pierre**, Maître de Conférences à l'E.S.P.A qui m'a encadré et dirigé tout au long de la réalisation de ce travail. Il m'a constamment aidé par ses conseils et ses instructions. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma haute et parfaite considération.
- ❖ **Monsieur RABIBISOA Daniel**, Maître de Conférences à l'E.S.P.A, qui a bien voulu accepter d'être parmi les membres de jury.
- ❖ **Monsieur RANDRIANA Richard**, Maître de Conférences à l'E.S.P.A, qui a aimablement accepté d'examiner ce travail.
- ❖ **Monsieur RANAIVOSON Lalao Roger**, Chef de Département de Recherches Technologies, qui m'a accueilli dans leur laboratoire. Veuillez trouver ici l'expression de mes hommages les plus respectueux.
- ❖ Tous les personnels de laboratoire Génie Chimique et de laboratoire D.R.T FOFIFA, qui, par leurs collaborations, leurs précieux conseils, nous avons été parvenus au bout de ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à mes très chers parents, frères et sœurs, proches qui n'auraient jamais cessé de soutenir la morale pour accomplir mes études.

Tous mes amis et à tous ceux qui de près ou de loin ayant participé à la réalisation de ce travail, je vous remercie infiniment.



SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION..... **1**

PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA PLANTE **2**

I.1 GENERALITES ET HISTORIQUES DE LA BANANE 2

I.2 SYSTEMATIQUE DE LA BANANE 2

I.3 VARIETES DE BANANES EXISTE A MADAGASCAR 3

I.4 ECOLOGIE..... 4

I.5 REPARTITION GEOGRAPHIQUE..... 4

I.6 PRODUCTION MONDIALE DE LA BANANE DESSERT..... 8

I.7 VALEUR NUTRITIONNEL ET COMPOSITION CHIMIQUE 8

I.8 MULTIPLES USAGES DES BANANES..... 9

CHAPITRE II : HYDROLYSE..... **11**

II.1 GLUCOSE 11

II.2 HYDROLYSE DE L'AMIDON 12

CHAPITRE III : FERMENTATION **17**

III.1 DEFINITION..... 17

III.2 FERMENTATION ALCOOLIQUE 17

III.3 BIOCHIMIE DE LA FERMENTATION CHEZ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* 19

III.4 FACTEURS AFFECTANT LA FERMENTATION ALCOOLIQUE 21

III.5 PRODUIT DE LA FERMENTATION..... 22

CHAPITRE IV : DISTILLATION..... **25**

IV.1 DEFINITION 25

IV.2 PRINCIPE 25

IV.3 TYPES DE DISTILLATION..... 25

IV.4 NOTIONS FONDAMENTALES SUR LA DISTILLATION 27



PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE I : OPERATION PRELIMINAIRES.....	28
I.1 FABRICATION DE LA FARINE DE BANANE DESSERT	28
I.2 DETERMINATION DU TAUX D'HUMIDITE DE LA FARINE DE BANANE	30
I.3 DETERMINATION DE L'ACIDITE DE LA FARINE	31
I.4 DETERMINATION DE LA TENEUR EN AMIDON DE LA FARINE	31
CHAPITRE II : HYDROLYSE ENZYMATIQUE DE LA BANANE.....	33
II.1 PRINCIPE	33
II.2 MATERIELS.....	33
II.3 METHODE	33
II.4 DOSAGE DES SUCRES PAR LIQUEUR DE FEHLING	35
II.5 OPTIMISATION DES PARAMETRES D'HYDROLYSE ENZYMATIQUES.....	36
II. 6 RENDEMENT D'HYDROLYSE	36
II.7 TRAITEMENT DES PRODUITS D'HYDROLYSE.....	36
CHAPITRE III : FERMENTATION ALCOOLIQUE	37
III.1 MATERIELS.....	37
III.2 MILIEU CULTURE	37
III.3 DETERMINATION DU TITRE ALCOOLIMETRIQUE	38
III.4 CONDITION DE FERMENTATION	38
III.5 EVOLUTION DE LA FERMENTATION.....	39
CHAPITRE IV: QUALITES DE PRODUITS OBTENUS.....	40
IV.1 DETERMINATION DE L'ACIDITE TOTAL ET DE L'ACIDITE VOLATIL.....	40
IV.2 ETUDE DE LA COMPOSITION EN ALCOOLS.....	40

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUE DU FARINE	42
I.1 MESURE DE L'HUMIDITE	42
I.2 MESURE DE L'ACIDITE EN H_2SO_4	43
I.3 MESURE DU TENEUR EN AMIDON	43



CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION SUR L'OPTIMISATION DE L'HYDROLYSE.....	44
II.1 EFFET DU PH SUR L'HYDROLYSE	44
II.2 EFFET DE LA TEMPERATURE SUR L'HYDROLYSE	47
II.3 EFFET DE LA CONCENTRATION SUBSTRAT.....	51
II.4 RENDEMENT DE L'HYDROLYSE	53
II.5 CONCLUSION SUR L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE	53
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA FERMENTATION	54
III.1 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA DENSITE DU MOUT.....	54
III.2 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU MOUT.....	55
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA DISTILLATION.....	56
IV.1 CARACTERISTIQUE DU PRODUIT FINI.....	56
IV.2 RESULTATS DE L'ANALYSE DE L'ACIDITE TOTALE ET DE L'ACIDE VOLATILE	56
IV.3 RESULTAT D'ANALYSE PAR C.P.G	56
PARTIE IV : ETUDES FINANCIERES DU PROJET	
CHAPITRE I : CAPACITE DE PRODUCTION ENVISAGEE.....	59
I.1 PLANNING DE PRODUCTION	59
I.2 POLITIQUES DE REMUNERATION	62
CHAPITRE II : LES INVESTISSEMENTS.....	63
II.1 NATURE ET COUTS DES INVESTISSEMENTS	63
II.2 TABLEAU D'AMORTISSEMENT	65
II.3 REMBOURSEMENT DES DETTES	66
II.4 COMPTES DE GESTION	67
CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE FINANCIERE DU PROJET	69
III.1 COMPTE DE RESULTAT PREVISIONNEL	69
III.2 EVALUATION DU PROJET	71
CONCLUSION GENERALE.....	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	78
ANNEXES	



LISTES DES ABREVIATIONS

A.D.P	: adénosine diphosphate
Ar	: ariary
A.T.P	: adénosine triphosphate
C.P.G	: chromatographie en phase gazeuse
Cu₂O	: oxyde de cuivre
D.R.T	: direction de recherches technologie
FOFIFA	: foibe fikambanana ho fampadrosoana eny ambanivohitra
g/l	: gramme par litre
H	: heure
H₂SO₄	: acide sulfurique
kcal	: kilocalorie
KH₂PO₄	: acide phosphorique mono potassique
L.S.A	: levure sèche active
mg	: milligramme
mm	: millimètre
mmHg	: millimètre de mercure
M.S	: matière sèche
MgSO₄	: sulfate de magnésium
N.A.D	: nicotinamide adénine dinucleotide
(NH₄)₂SO₄	: sulfate d'ammonium
pH	: potentiel hydrogène
R.c	: rendement de conversion
rpm	: rotation par minute
S.R	: sucre réducteur
μ	: micro

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Répartition de culture de banane dans les différentes zone	5
Tableau 02 : Production mondiale de banane (1995-2000)	8
Tableau 03 : Valeur nutritionnel et composition chimique de la banane.....	8
Tableau 04 : Principales utilisation de glucose	12
Tableau 05 : Condition optimales des enzymes dégradant l'amidon	16
Tableau 06 : Caractère courant pour identifier des <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	18
Tableau 07 : Mesure de l'humidité et la matière sèche de la farine	42
Tableau 08 : Résultats de l'acidité de la farine de banane.....	43
Tableau 09 : Résultats de la teneur en amidon de banane.....	43
Tableau 10 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 45°C	44
Tableau 11 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 50°C	44
Tableau 12 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 55°C	45
Tableau 13 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 4	47
Tableau 14 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 4,5	48
Tableau 15 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 5	48
Tableau 16 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 5,5	49
Tableau 17 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la concentration en substrat en 55, 60 et 65 g/l.....	52
Tableau 18 : Résultat du rendement de l'hydrolyse	53
Tableau 19 : Evolution de la densité du moût.....	54
Tableau 20 : Température de l'évolution pendant la fermentation.....	55
Tableau 21 : Chronogramme de la première production	58

Liste des tableaux

Tableau 22 : Production envisagée pendant les 5 années d'exploitation.....	59
Tableau 23 : Evolution du chiffre d'affaire prévisionnel de l'éthanol	60
Tableau 24 : Evolution du chiffre prévisionnel de la drêche	60
Tableau 25 : Evolution du chiffre d'affaires prévisionnel du gaz carbonique anhydre.....	61
Tableau 26 : Evolution du chiffre d'affaires total des activités de l'entreprise.....	61
Tableau 27 : Rémunération mensuelles du personnel.....	62
Tableau 28 : Charges annuelles du personnel	62
Tableau 29 : Evaluation du coût du terrain	63
Tableau 30 : Coût de construction de bâtiments	63
Tableau 31 : Coût équipements et matériels	64
Tableau 32 : Récapitulation des investissements	64
Tableau 33 : Tableau d'amortissement.....	65
Tableau 34 : Remboursement des dettes	66
Tableau 35 : Achats des matières premières et des réactifs	67
Tableau 36 : Autres approvisionnements.....	67
Tableau 37 : Charges externes	67
Tableau 38 : Récapitulation des charges	68
Tableau 39 : Compte de résultat prévisionnel par nature	70
Tableau 40 : Compte de résultats par fonction	71
Tableau 41 : Calcul de la VAN	72
Tableau 42 : Calcul du TRI	73
Tableau 43 : Calcul de la DRCI	74

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Structure moléculaire de l'amylose	12
Figure 02 : Structure moléculaire de l'amylopectine	13
Figure 03 : Processus de l'hydrolyse acide	14
Figure 04 : Processus de dégradation de glucose en éthanol par voie d'Embden – Meyerhof	20
Figure 05 : Formation de glycérol au cours de la fermentation alcoolique	23
Figure 06 : Biosynthèse des alcools supérieurs selon ERLICH.....	24
Figure 07 : Distillation discontinu avec reflux	27
Figure 08 : Cliché d'un broyeur	28
Figure 09 : Processus de l'obtention de la farine	29
Figure 10 : Germination du paddy	34
Figure 11 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour $T = 45^{\circ}\text{C}$	45
Figure 12 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour $T = 50^{\circ}\text{C}$	46
Figure 13 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour $T = 55^{\circ}\text{C}$	46
Figure 14 : Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour $\text{pH} = 4$	49
Figure 15 : Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour $\text{pH} = 4,5$	50
Figure 16: Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour $\text{pH} = 5$	50
Figure 17: Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour $\text{pH} = 5,5$	51
Figure 18 : Effets de la concentration en substrat sur l'hydrolyse enzymatique pour $\text{pH} = 4,5$ et $T = 55^{\circ}\text{C}$	52
Figure 19 : Courbe représentant la densité de mout en fonction du temps	54
Figure 20 : Courbe représentant la température de mout en fonction du temps.....	55
Figure 21 : Chromatogramme de l'alcool de banane dessert	57
Figure 22 : Evolution du chiffre d'affaires de la société pendant les 5 années d'exploitation	61

INTRODUCTION



INTRODUCTION

De nos jours, le principal utilisation de l'alcool éthylique se repartit dans divers domaines pharmaceutiques, cosmétiques et de parfumerie ; également il sert en tant que solvant et produits de base pour la synthèse des produits chimiques.

A Madagascar, la production de l'alcool par fermentation occupe une place importante car elle influe sur l'économie nationale bien que les débouchés soient non seulement restreints aux besoins alcooliques et mais aussi dans l'industrie chimiques. Jusqu'à présent, il y a deux types d'alcool produit à Madagascar : l'alcool artisanal produit par les paysans malgaches et l'alcool produit industriellement.

Sur le plan international, de nombreux pays s'intéressent à la recherche et à la production industrielle du produit de remplacement à haut rendement énergie. Et l'éthanol constitue une opportunité intéressante comme produit de remplacement, d'où l'importance de sa production à partir des matières diverses (betterave, canne à sucre...).

La production de l'alcool éthylique se fait en deux grands procédés :

- Par voie chimique où l'alcool est obtenu par synthèse des produits hydrocarbonés (oxydation de butane, hydratation d'éthylène...)
- Par voie fermentation des sucres en utilisant un agent ferment

Et sur ce dernier procédé que nous oriente notre étude en utilisant comme matière première la banane dessert pour la raison de son abondance et sa disponibilité durant toute l'année. Dans ce cas, son prix est moins cher à cause de son abondance ; le coût de production de l'éthanol dépend essentiellement au prix de la matière première.

Notre travail se subdivisera en quatre grandes parties :

- Dans la première partie, nous allons voir la revue bibliographique sur la banane, sur l'hydrolyse, sur la fermentation alcoolique et sur la distillation.
- La deuxième partie constitue la partie expérimentale qui comportera la méthode de préparation de la farine de banane, l'hydrolyse enzymatique pour l'obtention des sucres fermentescibles, puis la fermentation alcoolique par la levure *Saccharomyces cerevisiae* et enfin la distillation du produit finale.
- Dans la troisième partie, nous évoquerons les résultats obtenus avec des discussions.
- Et la dernière partie constituera l'étude financière de notre projet.

PARTIE I :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA PLANTE [3, 4, 6, 7, 8, 10, 12]

I.1 Généralités et historiques de la banane

D'une manière générale, le bananier est une herbe géante de longueur 2 à 8 m, originaire d'Asie. En 327 avant J.C, dans la vallée de l'Indus Alexandre le Grand fut dégusté sa première banane. Et vers 633 après J.C, les commerçants arabes commercialisèrent en Afrique, Ch Line lui donna le nom de *Musa* inspiré de « mouz-maouz » qui désigne le bananier dans la langue arabe.

En XV siècle, les premiers explorateurs européens furent observés la banane dans les côtes africaines. En revanche, c'est par l'ouest que les bananes auraient accédés au continent américain, depuis l'Asie. Les portugais amenèrent les premières bananerais dans îles canarie vers les caraïbes et l'Amérique central du 1502 et la popularisation de la banane en France a été faite par Joséphine Baker.

Par contre à Madagascar, elle aurait été introduite par les Indo-malais et Grandidier fait rapprochement entre le nom malgache et certaine appellation océanique. L'Amiral Hatmann et Flacomt en 1596 ont été cités de plusieurs variétés de banane.

I.2 Systématique de la banane

Le bananier appartient au :

- Règne : Végétal
- Embranchement : ANGIOSPERNES
- Classe : MONOCOTYLEDONES
- Sous-classe : ZINGIBERIDAE
- Ordre : SCINTAMINALES
- Famille : MUSACEAE
- Sous- famille : MUSOÏDEAE
- Genre : *Musa*

Le genre *Musa* comprend un grand nombre d'espèces. Quelques uns donnent des bananes qui possèdent des graines et les autres donnent des bananes sans graines, mais elles ne sont pas tous consommables directement.

Les bananes se présentent sous plusieurs formes et couleurs :

Formes : courtes, carrées, rondes, droites et courbées.

Couleurs : vertes, jaunes roses, tachetés, dorés et rayé.



❖ Les bananiers à fruits non comestibles qui donnent des fruits remplies de graines, entourés d'une pulpe très réduite. Son mode de multiplication se fait à partir de ces graines, et non pas de la tige.

❖ Les bananiers à fruits comestibles. Le groupe *Musa* se classe en :

-*Musa textile* venant Philippines est cultivé pour l'extrait des fibres de graines foliaires.

-*Musa Accuminata* et *Musa Balbisiana* qui sont des espèces communément consommables.

I.3 Variétés de bananes existe à Madagascar

I.3.1 Les bananiers à fruit consommables crus

Ce bananier correspond au genre du *Musa Sapientum*. L'attribution du nom de cette banane varie selon la région de Toamasina et Antsiranana ; on la désigne Katakata et le terme Fontsy peut emploie à Toamasina, Kida ou Fontsy à Mahajanga ; l'appellation Akondro est utilisé sur les hauts plateaux et à Toliara. Les variétés les plus connus sont :

- les figues sucrées de type diploïde AA sont principalement de petite bananes sucrés avec de peau très fine. Cette variété correspond au Akondro mavokely et ranjaly qui sont abondamment dans plusieurs régions de Madagascar, mais surtout Toamasina, Mahajanga et Antsiranana.

- les figues roses qui correspondent à une variété de banane à peau rouge Menaloky, que l'on trouve dans la région du Lac Alaotra et de Moramanga.

- le Gros Michel : variété très répandu à Madagascar et on l'appelle Akondro Taiparasy.

Mais, il existe des variétés commerciales de bananes qui sont classés dans le groupe « Cavendish » ou « Sinensis ». Cet groupe comprend quatre types principaux : le « Lactan », le « Poyo », la grande Naine et la « Naine » dont la description et les correspondances à Madagascar sont à rechercher.

I.3.2 Les bananiers plantains

Ces bananiers donnent des bananes à cuire correspondant au genre *Musa paradisiaca*. Ils sont cultivés dans toutes les régions chaudes et humides. On les rencontre surtout dans les régions du Boina, de Midongy de l'ouest, dans la bassin de Fiherenana et dans la partie Est de l'île.

- le plus connu est la banane créole ou « French » Plantain des Antilles qui correspondrait aux Akondro telo rirany de Madagascar.



I.4 Ecologie

En Afrique, on distingue deux grands systèmes de culture de banane. Les bananiers peuvent être cultivés en plantations industrielles pour l'exportation. Si le rendement de certaines de ces plantations atteigne 30 à 50 tonnes par hectares et par an ; les moyennes nationales se situent autour de 20t/hectares. Les bananiers sont également et surtout cultivés dans les systèmes traditionnels de types villageois, pour l'auto consommation.

Le bananier est une des plus importants en production tropicales fruitières dont sa culture dépend de certaines conditions tels que :

I.4.1 Besoin en chaleur

C'est le besoin le plus important pour la conduite des bananiers sur la côte Est de Madagascar. Le bananier demande une température moyenne si possible constante dont 25°C est généralement considérée comme optimale.

I.4.2 Besoin en eau

Le bananier a besoin une teneur en eau élevée et constante. Il lui faut de 2m à 3m d'eau par an tombant très régulièrement tout au long de l'année. Donc, sa résistance à la sécheresse est faible.

I.4.3 Besoin en lumière

Dans le monde, le bananier est cultivé dans des conditions d'éclairements très variés. L'insolation est favorable à sa végétation et on doit supprimer les arbres d'ombrages s'il existe. Cependant, les régimes sont très sensibles aux rayons de soleil donc il est nécessaire d'avoir un ombrage léger.

I.4.4 Besoin en sol

Le bananier aime les sols à pH neutre bien drainé et riches en matières organiques avec un taux d'humus d'au moins 2%. Tous les sols soumis à une inondation de plus de deux jours provoquent l'asphyxie des racines ; donc ils sont à rejeter

I.4.5 Besoin en altitude

Le bananier végète en altitude surtout à cause des températures qui sont très basses.

I.5 Répartition géographique

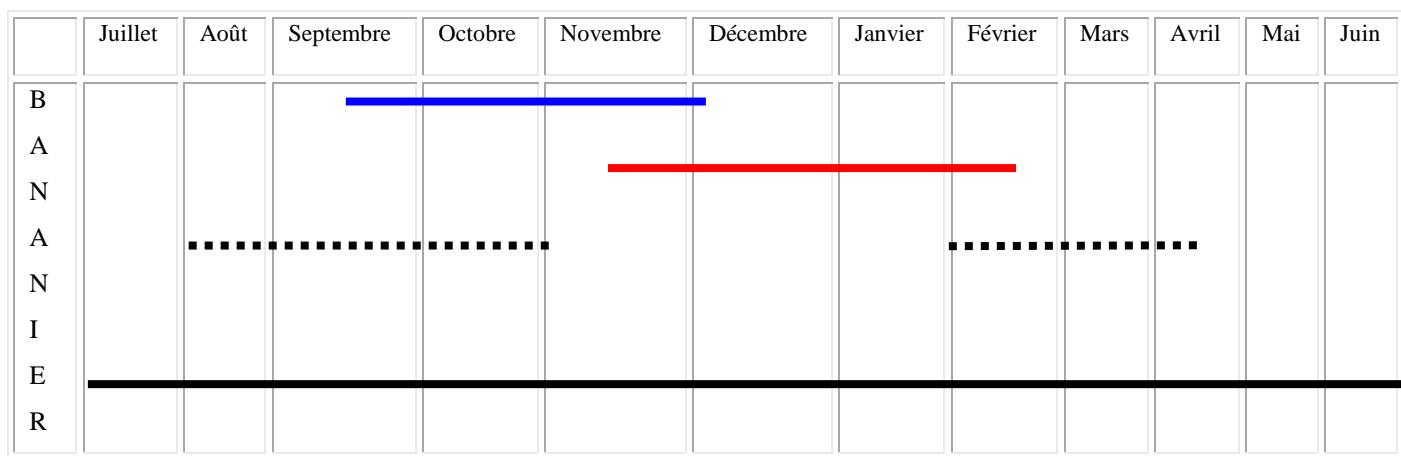
La banane est l'un des fruits le plus cultivé dans la zone humide intertropicale. Elle occupe le premier rang dans le monde des fruits tropicaux. Les bananes africaines, dont 92%

proviennent d'Afrique Subsaharienne, représentent 15% de la production mondiale, alimenté principalement par les républiques d'Amérique du Sud et Centrale, et l'Asie (41%).

A Madagascar, le bananier se repartit dans toute l'île mais, on se trouve surtout le long de la côte Est. Mais, pour sa culture industrielle, sa limite Sud semble être la région de Brickaville car plus on descend vers le sud, plus la saison fraîche devient marquée. Voici alors quelques tableaux de répartitions dans la zone :

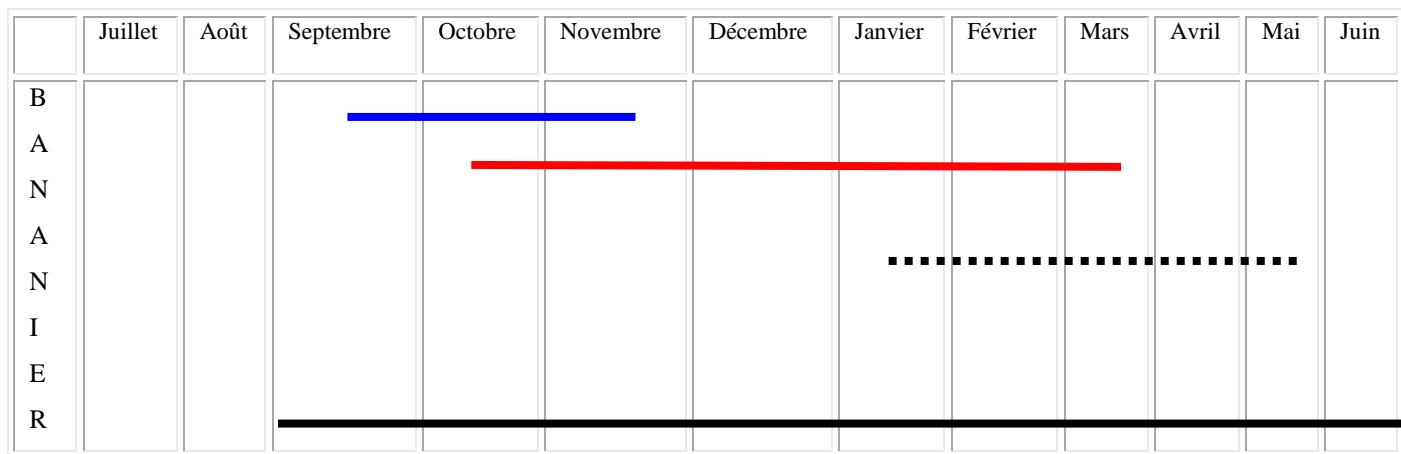
Tableau 01: Répartition de culture de banane dans les différentes zone

Zone Nord : Antsiranana, Ambanja, Ambilobe, Antalaha, Maroantsetra, Nosy-Be, Sambava, Vohémar



Source : [12] Document M.A.E.P

Zone Nord Est : Mananara Avaratra, Soanierana Ivongo, Fenerive Est, Vavatenina Toamasina I et II, Ampasimanolotra, Vatomandry, Sainte Marie, Antanambao Manampotsy, Mahanoro et Marolambo



Source : [12] Document M.A.E.P

Zone Moyen Est : Ambatondrazaka , Amparafaravola , Andialamena , Moramanga et Anosibe an'Ala

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
B												
A												
N												
A												
N												
I												
E												
R												

Source : [12] Document M.A.E.P

Zone Sud Est : Nosy Varika, Mananjary, Ifanadiana , Fort Carnot, Manakara, Vohipeno, Farafagana , Vondrozo , Midongy du Sud , Befotaka, Iakora et Talognaro

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
B												
A												
N												
A												
N												
I												
E												
R												

Source : [12] Document M.A.E.P

Zone Hauts plateaux Nord : Andapa, Bealanana, Mandritsara et Befandriana Nord

	Juillet et	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
B												
A												
N												
A												
N												
I												
E												
R												

Source : [12] Document M.A.E.P

Zone Nord Ouest : Ananalava, Antsohihy, Port Bergé, Mampikomy, Ambato Boeni, Marovoay, Mahajanga I et II, Mitsinjo, Antsalova, Ambatomainty, Besalampy, Maintirano, Morafenobe et Soalala

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
B												
A												
N												
A												
N												
I												
E												
R												

Source : [12] Document M.A.E.P

- : Préparation sol
- : Repiquage/ plantation
- : Entretien
- : Récolte

I.6 Production mondiale de la banane dessert

Le tableau suivant nous montre la production des bananes exportées dans le monde du 1995-2000.

Tableau 02 : Production mondiale de banane (1995-2000)

Continent	Production en pourcentage
Amérique Latine	80
Afrique	4
Far East	13
Caraïbe	3

Source : [10] Document M.A.E.P

I.7 Valeur nutritionnel et composition chimique

La banane se caractérise par leur richesse en énergie soit 92 kcal pour 100g, contre 50kcal pour l'orange, selon le tableau ci-après :

Tableau 03 : Valeur nutritionnel et composition chimique de la banane

Composition	Valeur	unité
Eau	74,260	g
Energie	92	kcal
Protéine	1,030	g
Matières grasses	0,480	g
Carbohydrates	23,430	g
Ca	6	mg
Fe	0,310	mg
K	396	mg
Na	1	mg
Vitamine C	9,100	mg
Vitamine B1 (Thianine)	0,045	mg

Vitamine B2 (Riboflavine)	0,100	mg
Niacine	0,540	mg
Vitamine A	81	IU
Graisses saturés	0,185	g
Acides Gras monoinsaturés	0,041	g
Acides Gras polyinsaturés	0,089	g

Source : [06]

I.8 Multiples usages des bananes

I.8.1 Dans l'alimentation classique de l'homme

Chez l'adulte, l'utilisation de la banane dans l'alimentation varie selon les circonstances et la situation financière du consommateur. En général, les bananes sont utilisées pour le supplément de menu comme dessert.

Dans certaines régions, elle peut servir en tant que plat de résistance simplement cuit à l'eau pour le cas de banane plantain. Le plus souvent, la banane à cuire constitue la base de l'alimentation pour les pays en voie de développement, mais par contre ce régime expose la population à un déséquilibre alimentaire.

La banane, avec une légère transformation peut s'introduire aussi dans l'alimentation au nourrisson : la farine de banane, purée de banane, compote de banane...

I.8.2 Dans le domaine thérapeutique de l'homme

En plus de son rôle alimentaire, la banane peut avoir une valeur thérapeutique non négligeable dans certains états pathologiques grâce à ses nombreux constituants. Elle joue un rôle thérapeutique dans quelques maladies : les maladies de nutrition (diabète, goutte, obésité), du tube digestif (constipation, diarrhée, colites, perturbation gastro-intestinale, vomissement...) et de rein (néphrite...).

I.8.3 Autre utilisation du bananier et de la banane

D'une part, le bananier entier peut servir dans l'alimentation des bétails. Les grandes feuilles et le tronc dont lesquelles ils sont déjà coupés et hachurés sont mélangés avec d'autres éléments comme maïs, le manioc, la patate douce. Ce mélange est surtout destiné aux bovins et aux porcs.

D'autre part, les bananiers fournissent des fibres très utilisées dans la fabrication de cordages, de tissus grossiers, de sacs, de l'abat jour, des paniers et des jouets. Et dans l'industrie de transformation, la banane sert de base de l'élaboration d'une boisson traditionnelle tels que bière de banane et vin de banane dans certains pays comme Rwanda. Par distillation, la couche interne de la banane peut donner un arôme utilisé en pharmacie ou en parfumerie.

CHAPITRE II : HYDROLYSE [1, 5, 9, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 27]

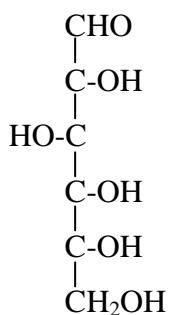
II.1 Glucose

II.1.1 Généralités

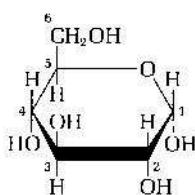
Le glucose est un polyalcool comportant une fonction aldéhyde ou cétone. Ces polyalcohols sont appelés sucres ou hydrates de carbone qui sont très répandues aussi bien dans la règne végétal que le règne animale. Mais l'obtention du glucose à partir de l'amidon (forme polymère de glucose) se fait par la méthode d'hydrolyse.

II.1.2 Structures et propriétés

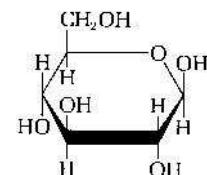
Le glucose ou bien le D-glucose est un sucre aldéhyde en C₆ possédant quatre carbone asymétriques. Sa formule développée est représentée comme suit :



Après l'organisation du pont osidique, cette forme aldéhyde n'existe qu'en faible quantité en équilibre avec les formes cycliques selon la projection de HAWORTH suivant



α D glucopyranose



β D glucopyranose

La détermination de formes cristallines de glucose se fait par la méthode de rayon X dont on obtient deux formes pyranique ou hemiacetylique α D glucose et β D glucose

Lorsque le β D glucose dissout dans l'eau et après établissement de l'équilibre entre les différentes formes, le pouvoir rotatoire spécifique est de +18,5°. Mais on arrive à une valeur limite jusqu'à +52,5°. L'autre isomère qui est α D glucose trait de la même manière montre que son pouvoir rotatoire est de +112°C qui diminue jusqu'à + 52,5°.

Dans ce cas, on peut dire qu'en solution, un équilibre s'établisse entre ces deux formes dont la teneur est :

- 64 % en forme β
- 36 % en forme α

Le glucose réduit la liqueur de Fehling mais ne réagit avec le réactif de Schiff.

II.1.3 Application de glucose

L'intérêt porté de glucose s'est récemment accru par le fait qu'on utilise en association avec des plusieurs techniques pour produire du sirop de glucose, du glucose cristallin et du glucose massé. Le tableau suivant nous montre les principales utilisations du glucose :

Tableau 04 : Principales utilisation de glucose

Produits	Application
Sirop de glucose	Confiserie, alimentation infantile, brasserie, industrie de fermentation, excipient pharmaceutique.
Glucose cristallisé	Confiserie, confiture, sirop et liqueur, excipient pharmaceutique, industrie de fermentation, fructose, sorbitol, acide organique, vitamine C.
Glucose massé	Boissons rafraîchissantes, jus de fruit, sirop, confiture, arômes glacés

II.2 Hydrolyse de l'amidon

II.2.1 Généralités sur l'amidon

L'amidon est un polysaccharide constituant la principale réserve glucidique végétale. Il renferme deux constituants principaux en proportion variables :

- L'amylose : molécule flexible de structure linéaire contenant de 250 à 300 unités de α D glucopyranose unis par des liaisons α (1-4). Elle représente environ 10 à 30 % du total de l'amidon selon la plante racine.

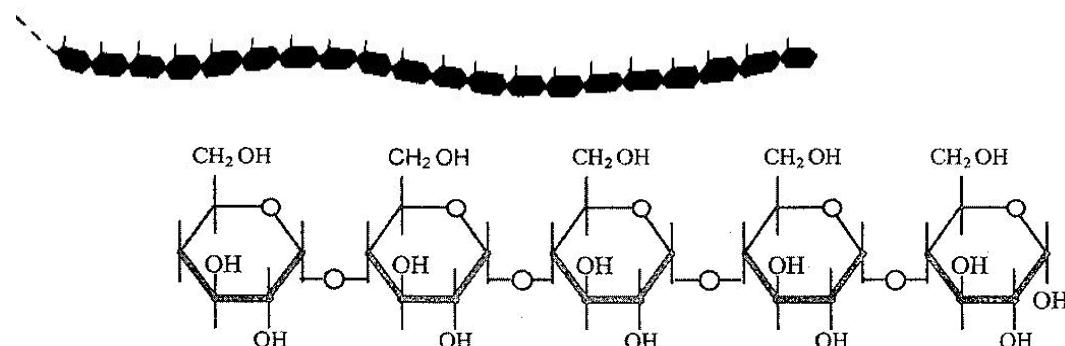


Figure 01: Structure moléculaire de l'amylose

- L’amylopectine est aussi un polymère de glucose environ 1000 unités de glucose dont une chaîne de 20 à 25 unités associés en α (1-4) se fixe à une autre unité de glucose appartenant à une autre chaîne par la liaison α (1-6). Il y a 4 % de liaison α (1-6) pour 96 % de liaison α (1-4).

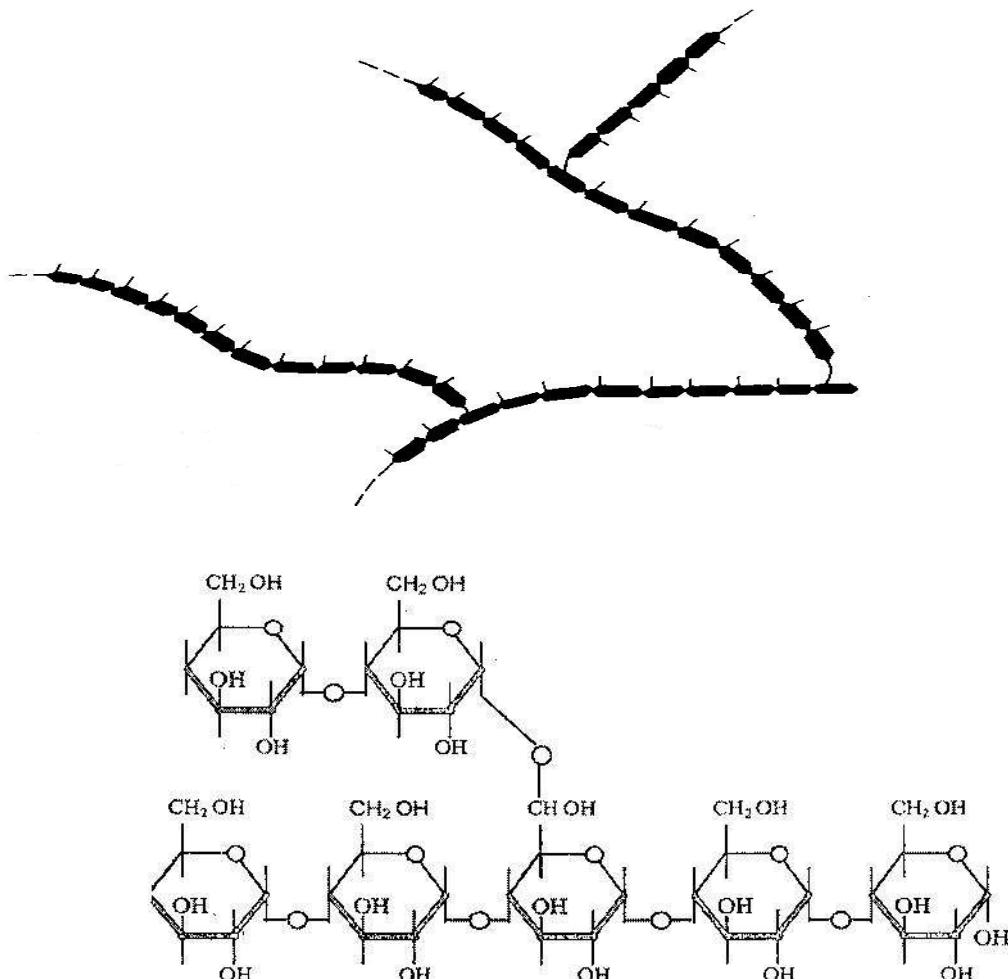


Figure 02 : Structure moléculaire de l’amylopectine

II.2.2 Méthode d’hydrolyse

Elle est basée par l’éclatement des grains d’amidon afin de libérer l’amylose et l’amylopectine sous un traitement hydro thermique appelé « gélification ».

Ce procédé doit être nécessaire pour permettre l’action des agents d’hydrolyse, alors que la température nécessaire dépend l’origine de l’amidon.

La transformation industriellement de l’amidon en sucre de glucose est parvenue par les deux méthodes suivantes : hydrolyse acide et hydrolyse enzymatique.

II.2.2.1 Hydrolyse en présence d'un acide

a. L'hydrolyse acide ou acidification

Elle s'effectue par un processus continu ou discontinu en utilisant l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique. Ce procédé est rapide et permet une hydrolyse complète de l'amidon en glucose. On peut résumer le processus comme suit :

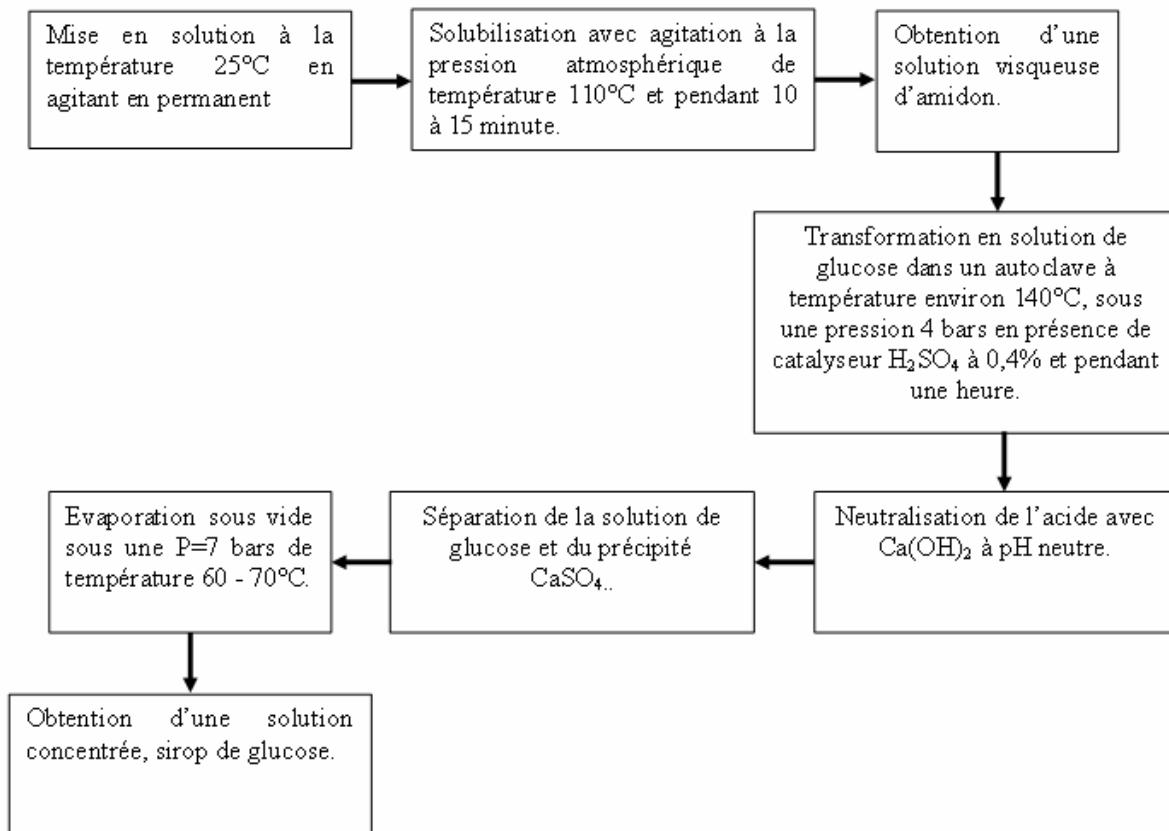


Figure 03 : Processus de l'hydrolyse acide

b. L'hydrolyse partielle en présence d'un acide suivi d'une conversion enzymatique

Dans ce cas, on procède la neutralisation puis la filtration après l'acidification de la bouillie d'amidon. Ensuite on l'introduit dans un convertisseur enzymatique, il est à noter qu' avant l'hydrolyse enzymatique, le pH et la température sont ajustés aux conditions optimales d'action des enzymes. Le sirop converti est raffiné et concentré lorsque la conversion est terminée.

II.2.2.2 Hydrolyse enzymatique

Dans ce type d'hydrolyse, on utilise une enzyme provenant des céréales germées pour catalyser la réaction. Et le produit obtenu est du sirop de glucose à haute teneur en dextrose.

II.2.2.3 Comparaison de l'hydrolyse acide et enzymatique

L'hydrolyse acide présente quelques inconvénients :

- Hydrolyse des autres constituants comme les lipides et les protéines sont possibles ;
- Les substances produites peuvent être dangereux pour l'alimentation ;
- Existe un goût indésirable sur le produit obtenu ;
- Température élevée exigée.

Par contre, l'hydrolyse enzymatique, les enzymes n'attaquent que l'amidon et les sous produits obtenus peuvent être utilisées pour l'alimentation des bétails. A la fin de l'hydrolyse, il reste encore des matières nutritives apportées par les céréales germées utilisées comme engrais. La température d'hydrolyse est relativement faible. Mais le temps exigé pour l'hydrolyse acide est très court par rapport au procédé enzymatique.

II.2.3 Hydrolyse purement enzymatique

II.2.3.1 Enzyme

En générale, les enzymes sont des catalyseurs biologiques de nature protéique dont les activités et les spécificités sont importantes par rapport aux catalyseurs chimiques. Elles permettent aux réactions chimiques nécessaires à la vie et à la multiplication cellulaire de s'effectuer à vitesse élevée et avec une spécificité qui élimine la formation des sous produit. Les enzymes de type amylases coupent les liaisons esters, peptidiques ou osidiques, suivie d'une fixation de molécule d'eau sur les valences rendues libres.

La réaction enzymatique peut s'écrire comme suit :



E : enzyme

S : substrat

P : produit

II.2.3.2 Enzymes responsables de l'hydrolyse

Les enzymes les plus importantes dans le malt sont :

- a. α -amylase

C'est une α (1-4) glucanohydrolase dont l'action est toujours de type endomoléculaire. Elle se rencontre chez de nombreuses végétale, animale ou bien microbienne. L'amylase conduit la formation de D glucose, de maltose et d'une quantité de maltodextrine, en coupant les liaisons α (1-4) de l'amylose et de l'amylopectine. C'est une Enzyme liquéfiante.

b. β – amylase

C'est une α (1-4) gluconemaltodrolase dont l'action est de type exomoléculaire. Le β amylase est capable d'hydrolyser les liaisons α (1-4) de l'amylose à partir de l'extrémité non réducteurs des substrats et donne naissance à des unités de β maltose.

Mais pour l'amylopectine, la dégradation ne se manifeste qu'au niveau des chaînes externes jusqu'à ce que l'enzyme rencontre une liaison α 1-6. C'est une enzyme saccharifiant habituellement utilisée après liquéfaction.

c. Amyloglucosidase

C'est une exo enzyme α (1-4) Dglucone glucohydrolase ou encore appelée glucoamylase qui libère des unités de glucose à partir des extrémités non réducteurs des polymères.

Elle hydrolyse non seulement l'amylopectine et l'amylose en Dglucose mais aussi le maltose. Les amyloglucosidases sont présentes chez les moisissures ainsi que chez quelques levures.

d. Enzyme débranchant ou isoamylase-pullulinase

C'est une enzyme spécifique pour l'amylopectine qui coupe directement les liaisons α (1-6) des chaînes d'amylopectine.

II.2.3.3 Condition optimales des enzymes

La condition optimale d'action des enzymes dégradant l'amidon dépend de plusieurs paramètres comme la provenance, la qualité et la variété de la matière première, la composition de l'eau de brassage, la dilution, le pH et le diagramme de brassage. Le tableau ci-dessous nous montre quelques conditions optimales des enzymes.

Tableau 05 : Condition optimales des enzymes dégradant l'amidon

Enzyme	pH optimum	Température optimale °C	Température d'inactivation	Action sur les liaisons/composés
α amylase	5,3 – 5,8	70 – 75	75 – 80	α 1-4 endo
β amylase	5,2 – 5,6	63 – 65	68 – 70	
Amyloglucosidase	4,5	-	-	α 1-4 exo
Débranchant	5,0 – 5,5	55 – 60	65	Maltose

Source : [2]

CHAPITRE III : FERMENTATION [2, 6, 8, 11, 14, 15, 16, 18, 25, 26]

III.1 Définition

La fermentation est une modification chimique organique sur l'action d'enzyme spécifique appelée ferments produits par des micro-organismes tels que les bactéries et les levures.

Etymologiquement, la fermentation vient du verbe latin « fermentaire » qui veut dire bouillonneur.

Mais en biotechnologie, le terme fermentation définit la plupart des cultures des réactions microbiennes et enzymatiques.

III.2 Fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique est souvent utilisée pour fabriquer les boissons alcooliques (vin et bière) et l'alcool éthylique, en utilisant les micro-organismes tel que la levure dont la plus utilisée est le *Saccharomyces cerevisiae*.

III.2.1 Systématique de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

- Règne : VEGETAL
- Embranchement : THALLOPHYTES
- Sous – Embranchement : EUMYCETES
- Classe : ASCOMYCETES
- Sous – classe : HEMYASCOMYCETES
- Ordre : ENDOMYCETALES
- Famille : SACCHAROMYCETACEAE
- Sous – famille : SACCHAROMYCOIDEAE
- Genre : *Saccharomyces*
- Espèce : *Cerevisiae*

III.2.2 Caractéristiques générale

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est un champignon unicellulaire avec un pouvoir alcoogène qui est très élevé 17°C, assez résistant au SO₂.

- En milieu liquide : la levure présente une forme elliptique dont certaines sont plus allongée de taille varier entre 8 à 9 μ . La culture de cette levure présente un trouble et lors de sa phase active on observe des mousses.
- En milieu solide : la culture présente des colonies géantes de forme lisse ou granuleuse pouvant être mâtes ou brillantes.

III.2.3 Propriétés de la levure

Beaucoup de substrats glucidiques sont assimilables par la levure. On peut citer le glucose, le saccharose, le galactose, le maltose, le maltotriose et le fructose. Mais d'autres comme l'amidon, le lactose, le pentose ne sont pas assimilables. D'où la nécessité de l'hydrolyse de l'amidon avant de passer à la fermentation. Le tableau suivant nous montre quelques propriétés pour identifier de *Saccharomyces cerevisiae* :

Tableau 06 : Caractère courant pour identifier des *Saccharomyces cerevisiae*

Test	Résultats
Nitrate	-
Sels minéraux	+
GRAM	-
Uréase	-
Fermentation	+
Pouvoir alcooligène	10 à 16,5%

Source : [2]

- Absence

+ Existence

III.2.4 Cultures de levure

Pour que la levure reste en vie, elle a besoin de l'eau, d'azote, de potassium, phosphate, sulfate....Le moût contient tous ces éléments mais on peut y ajouter au cas où la fermentation est trop lente.

Dans ce cas, on peut penser le milieu semi synthétique pauvre dont la composition est constituée par :

- Acide phosphoriquemonopotassique (KH_2PO_4) : 5 g/l
- Sulfate de magnésium ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) : 1 g/l
- Sulfate de' ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) : 2 g/l
- Extrait de levure : 1 g/l
- Eau distillée : 1 l

III.3 Biochimie de la fermentation chez *Saccharomyces cerevisiae*

La fermentation alcoolique correspond à la transformation des substrats carbonés en particulier les sucres en alcooliques éthylique et en hydrate de carbone. Les sucres entrent dans la glycolyse en voie d'Embden-Meyerhof, dont l'ensemble des réactions permettent aux cellules vivantes de transformer des sucres en C_6 comme glucose en acide pyruvique. Or ces réactions se trouvent aussi bien en anaérobiose ou micro aérobiose dont l'éthanol est obtenu par décarboxylation du pyruvate en acétaldéhyde suivie de réduction de ce dernier en présence de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. La figure suivante nous montre la série de réaction du glucose en éthanol selon Embden-Meyerhof.

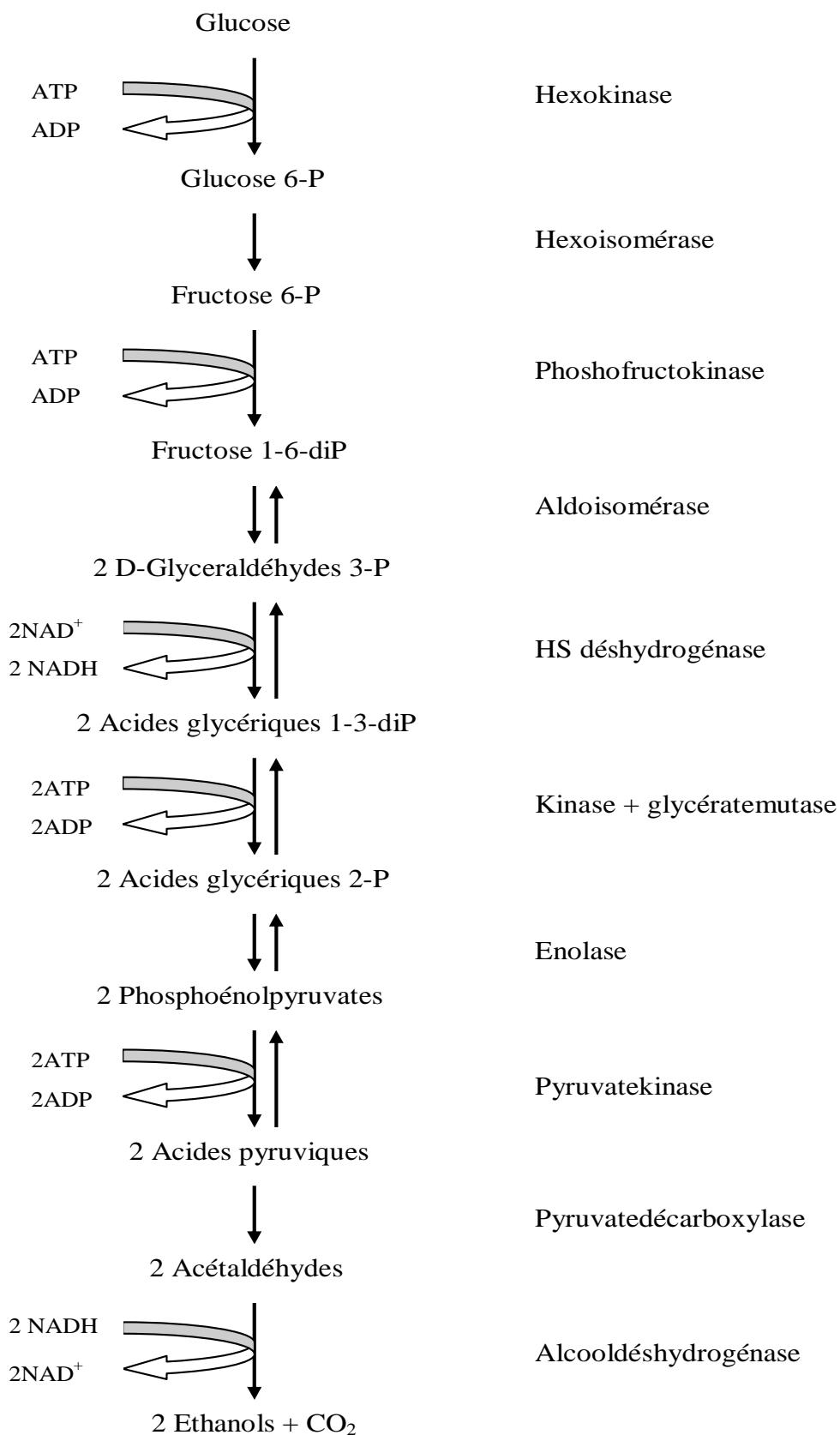
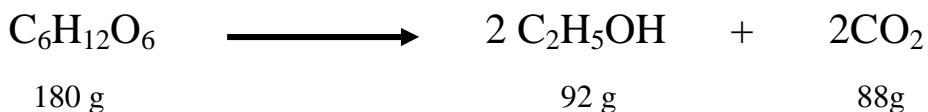


Figure 04 : Processus de dégradation de glucose en éthanol par voie d'Embden – Meyerhof

Ce métabolisme peut se résumer par l'équation de GAY-LUSSAC suivante :



Et le rendement théorique en alcool ou rendement de GAY- LUSSAC permet d'obtenir une quantité d'éthanol 51,1 %. Mais en pratique, la synthèse des cellules et des produits secondaires qui sont des accessoires de la fermentation limite de rendement stoechiométrie. Par conséquent, le taux de conversion du sucre en alcool se situe généralement entre 91 % à 95 %.

III.4 Facteurs affectant la fermentation alcoolique

III.4.1 Paramètres physico- chimiques

III.4.1.1 Température

À une température très faible, le développement de la levure est difficile tandis qu'une température trop élevée provoque l'arrêt de la fermentation. Ainsi que, la levure *Saccharomyces cerevisiae* est une mésophile qui peut se développer dans un intervalle de température 0 à 48°C.

En générale, la température pour la croissance levuriennne est voisine de 30°C.

III.4.1.2 Agitation

Elle est le responsable du contact entre les différentes phases existant dans le milieu réactionnel (liquide, solide, gaz). Avec quelques variétés près, trois types de procédé peuvent être utilisés :

- ❖ Agitation mécanique
- ❖ Agitation pneumatique
- ❖ Agitation magnétique

III.4.1.3 pH

Le pH joue un rôle primordial sur l'activité levuriennne sur la croissance des microorganismes. Ainsi il influe sur les réactions chimiques et biochimiques. Les levures tolèrent des gammes très larges de pH théoriquement 2,4 à 8,6. Mais l'optimum se situe entre 3 et 6 pour favoriser la croissance des levures.

III.4.1.4 Ethanol

En fermentation alcoolique, bien que d'autres substances puissent être produits, l'éthanol constitue le produit majeur. Mais il est toxique vis-à-vis des cellules, car à partir de la concentration 12,50°GL (100g/l d'éthanol) les levures meurent. Donc l'alcool éthylique peut être inhiber la fermentation au dessus de 40 g/l d'éthanol, la viabilité et la croissance des levures baissent fortement.

III.4.1.5 CO₂

Selon Uhl (1907), le CO₂ aurait un rôle positif, car il peut constituer une source de carbone pour les levures. Cependant, les pressions trop élevées inhibent réversiblement la croissance levurienne. Ainsi, la pression supérieure à 1 bar déclenche cette inhibition.

III.4.1.6 Concentration en substrat carboné

Le substrat carboné est une source de carbone et d'énergie pour le développement des levures. Pour une teneur supérieure 5g/l, il inhibe les enzymes respiratoires donc le mécanisme devient fermentaire indépendamment de la concentration en oxygène : effet « Crabtree ».

Une concentration trop élevée de substrat initial supérieur à 150 g/l inhibe à la fois les enzymes respiratoires et fermentaires ; cette inhibition par le sucre est plus remarquée au niveau de la croissance cellulaire.

III.4.1.7 Teneur en oxygène

Une micro aération environ 0,05mmHg est utilisée pour la bonne conduite de la fermentation, elle est nécessaire pour la croissance, pour la survie des cellules et pour leur bonne condition physiologique.

Mais quelque soit la teneur en oxygène, la fermentation peut toujours s'amorcer en anaérobiose totale : c'est le contre Effet Pasteur c'est-à-dire « la catabolisme glucidique est activée par l'anaérobiose et inhibée en présence d'oxygène » ; où en milieu riche en sucre de glucose même excès d'air. C'est l'Effet de Crabtree où un excès de glucose chez *Saccharomyces cerevisiae* entraîne une production d'éthanol concomitante de l'augmentation de la biomasse.

III.5 Produit de la fermentation

III.5.1 Produit principale

L'éthanol est le produit principal de la fermentation alcoolique avec dégagement de CO₂. Il est un liquide incolore, miscible à l'eau en toutes proportions.

III.5.2 Produits secondaires

Elles proviennent soit par l'action des levures elle-même dans la fermentation glyceropyruvique où d'un autre phénomène, soit par des bactéries apportés dans le milieu fermentaire. Ces produits se trouvent en faibles quantités, et interviennent dans le goût et l'arôme de l'alcool de façon favorable ou non.

III.5.2.1 Glycérol

Le glycérol résulte un faible quantité avec un taux de 3 % pour une sucre consommée ; sa quantité augmente lorsque le pH du milieu s'approche du neutre ou alcalin. Sa formation peut être résumé comme suit :

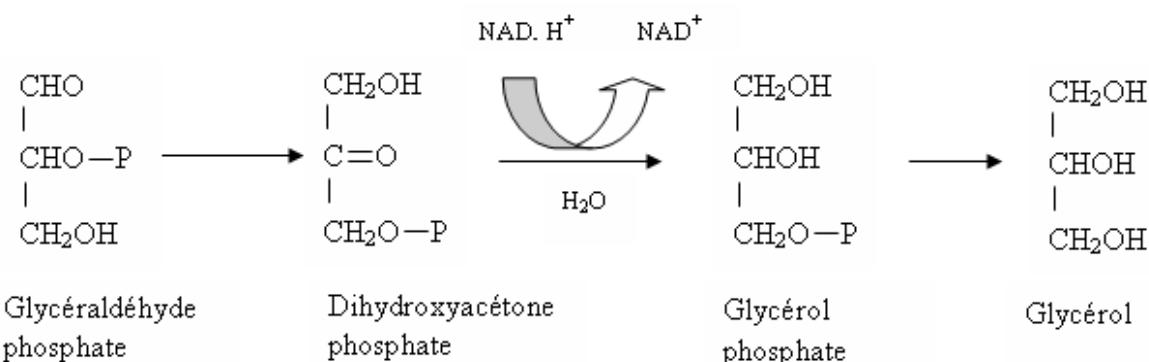


Figure 05 : Formation de glycérol au cours de la fermentation alcoolique

III.5.2.2 Méthanol

Le méthanol est un produit toxique pour l'homme à une dose supérieure à 0,148 % dans le sang. Par ailleurs, la dégradation du méthanol par l'organisme humain est 4 fois plus lente que celle de l'éthanol. Sa formation augmente avec la richesse en matière pectique.

III.5.2.3 Alcools supérieurs

Au cours de la fermentation, il se forme fréquemment des alcools supérieurs à partir des acides issus de la désamination d'acide aminés contenu dans le milieu réactionnel. Sa formation est influencée par la souche de levure et l'augmentation de la température.

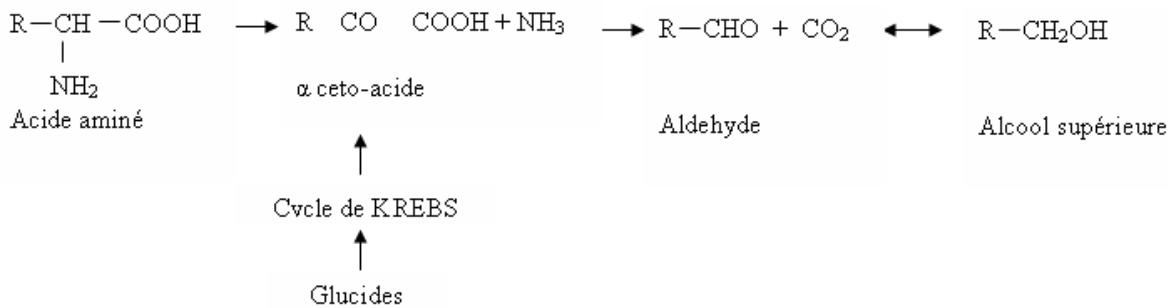


Figure 06 : Biosynthèse des alcools supérieurs selon ERLICH

Ils sont composés de l'alcool propylique normal à 6-12%, alcool isobutylique 15-25 %, éthers lourds 5%, alcool isoamylique, homologue supérieur.

III.5.2.4 Esters

La formation des esters est liée aux métabolismes lipidiques des levures. L'acétate d'éthyle provient ainsi de l'action de l'alcool acétique sur l'alcool éthylique.

III.5.2.5 Acide acétique

L'acide acétique provient dans la décarboxylation de l'acide pyruvique ou encore l'oxydation de l'éthanol. La biosynthèse de l'acide acétique est favorisée par les conditions suivantes : élévation de la température et les milieu fermentaires non distillés immédiatement après la fin de la fermentation alcoolique. Le plus simple moyen pour éviter une trop forte de production d'acide acétique consiste à abaisser le pH du moût.

III.5.2.6 Aldéhyde formique

L'aldéhyde est un produit de l'oxydation du méthanol où le passage du sucre en alcool. Il se forme en dehors de la fermentation alcoolique proprement dite.

III.5.2.7 Acide succinique

Elle peut provenir de l'acide par oxydoréduction. Selon Pasteur, sa quantité varie avec la nature du sucre.

CHAPITRE IV : DISTILLATION [11, 16, 22]

IV.1 Définition

La distillation est un procédé de séparation par voie physique dans divers constituants de volatilités différentes d'un mélange liquide. La réalisation de ce procédé se fait dans une colonne à distiller munis de plusieurs étages. Ces colonnes sont conçus pour assurer la meilleur contact possible entre la phase vapeur et la phase liquide.

IV.2 Principe

Il est basé sur la différence de température d'ébullition des divers constituants d'un mélange. Dans un distiller, le mouvement ascendant des vapeurs émises et descendant des liquides condensés permet d'obtenir du résidu ou liquide le moins volatil dans le bouilleur et le distillat ou le liquide le plus volatil en tête de colonne.

IV.3 Types de distillation

On peut classer plusieurs types de distillation selon leur mode d'alimentation et de soutirage, et leur mode de fonctionnement.

IV.3.1 Selon leur mode d'alimentation et de soutirage

Deux types de distillation peuvent être existé :

IV.3.1.1 Distillation continue

Elle est utilisée industriellement pour le traitement des quantités importantes de charges. Simultanément, le distillat et le résidu sont soutirés respectivement en tête et en bas de la colonne.

En tout point de l'appareil quand on n'est pas en phase de démarrage ou en phase d'arrêt, la concentration, la température, la pression et les débits sont indépendants du temps.

IV.3.1.2 Distillation discontinue

La distillation discontinue est utilisée fréquemment en laboratoire et à l'échelle pilote. Ce procédé consiste à l'introduire dans le bouilleur une quantité suffisant d'un mélange à séparer. Puis, les différents constituants sont soutirés en tête de la colonne selon leur ordre de volatilité décroissant jusqu'à l'obtention du degré d'épuisement souhaité lors du chauffage. Par contre, le résidu dans le bouilleur est évacué en fin de l'opération.

IV.3.2 Selon leur mode de fonctionnement

IV.3.2.1 Distillation simple

La principale utilisation de ce type de distillation permet d'obtenir un vapeur équilibré avec le liquide résiduel. La distillation simple est appliquée lorsque le produit pur et les impuretés ont des températures d'ébullition nettement différentes (au moins 50°C d'écart).

IV.3.2.2 Distillation en colonne binaire

C'est la séparation d'un mélange deux constituants qui sont soit deux corps pur, soit du mélange comportant moins de constituant que le mélange initial.

IV.3.2.3 Distillation complexe

Cette distillation permet d'obtenir un produit un produit qui n'a pas un très grande pureté ; car en dehors du distillat et du résidu il existe d'autres produit.

IV.3.2.4 Distillation en colonne complexe

Le reflux est une partie de liquide provenant de la condensation du vapeur en tête de colonne, et qui sert injecté à la fois dans la colonne pour assurer un bon contact liquide et vapeur. Il est utilisé aussi dans le but d'avoir une meilleure séparation.

Le taux de reflux R_f est donné par la formule suivante :

$$R_f = \frac{L_o}{D}$$

Avec : L_o : débit du reflux

D : distillat

La distillation avec reflux est une distillation discontinue dont la figure est représenté ci-dessous

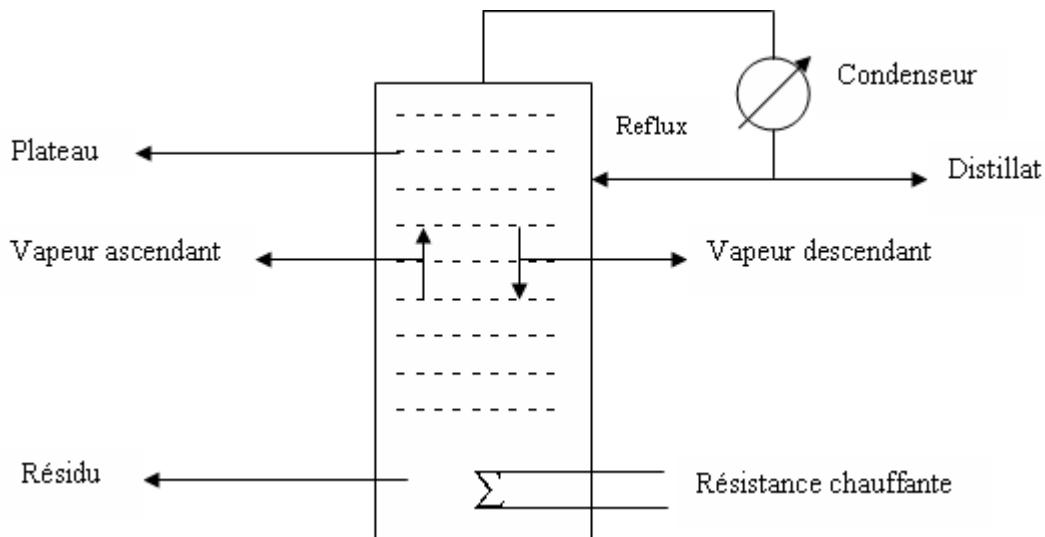


Figure 7 : Distillation discontinu avec reflux

IV.4 Notions fondamentales sur la distillation

IV.4.1 Etat d'équilibre liquide vapeur

C'est un état dans lequel aucune variation macroscopique des propriétés comme la masse et l'énergie n'est plus observée.

IV.4.2 Tension de vapeur d'un corps pur

Elle est définie comme la pression à laquelle un liquide est en équilibre avec la phase vapeur qu'il supporte. Cette tension est une fonction croissante de la température.

IV.4.3 Point de bulle

Le point de bulle est la température dans laquelle il y a apparition de premier bulle dans le mélange et il varie avec la pression. Les constituants les plus légers dans ce mélange sont les premiers échappés à cette température.

IV.4.4 Point de rose

C'est la température pour laquelle un mélange de vapeur commence à se condenser, cela peut traduire la première formation d'une goutte de liquide. Il varie aussi avec la pression et ce sont les constituants lourds se condensent les premiers.

PARTIE II :
ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE I : OPERATION PRELIMINAIRES [4,11]

I.1 Fabrication de la farine de banane dessert

La fabrication est appliquée aux bananes vertes.

I.1.1 Matière végétal

- Banane dessert

I.1.2 Matériels

- Couteau inox
- Moulinex
- Séchoir solaire
- Broyeur
- Tamis à maille ronde de 1 mm de diamètre

Voici le cliché d'un broyeur que nous avons utilisé :



Figure 08 : Cliché d'un broyeur

I.1.3 Méthode

L'obtention de la farine se fait par le processus ci-dessous :

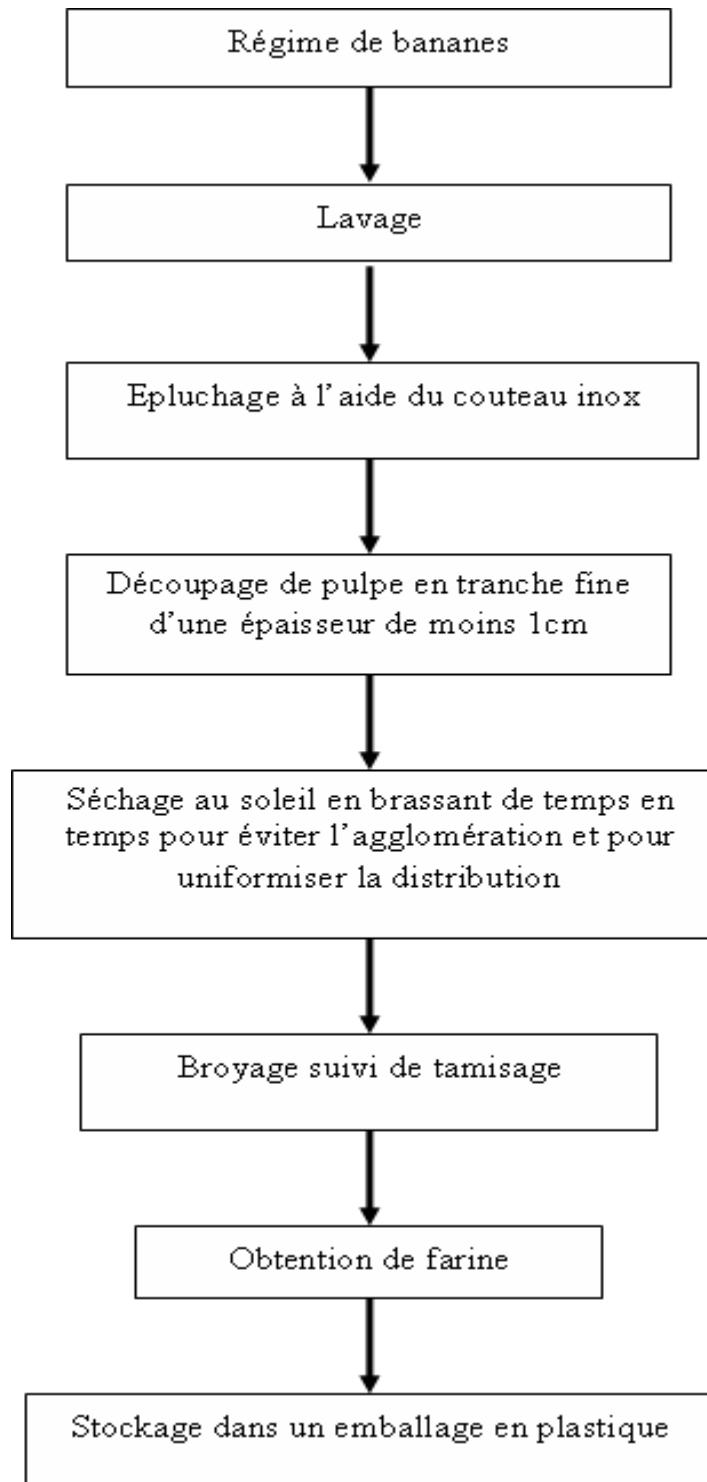


Figure 09 : Processus de l'obtention de la farine

I.2 Détermination du taux d'humidité de la farine de banane

I.2.1 Définition

L'humidité est la quantité d'eau perdue par la substance.

I.2.2 Matériels

- Balance de précision
- Etuve
- Dessiccateur
- Boites à tare

I.2.3 Méthode

La prise d'essai de l'échantillon est de 3 à 5 g, puis mis dans une boite à tare. Cette boite a été préalablement séchée dans une étuve, pendant une heure sous une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ et refroidi dans un dessiccateur.

Après étuvage, la boite munie de l'échantillon est refroidi dans un dessiccateur au moins 30 minute afin d'éviter le contact avec l'air ambiant. Ensuite la boite contenant de l'échantillon est pesée. L'opération de séchage a été répétée plusieurs fois jusqu'à ce que la masse soit stable et constante.

I.2.4 Expression du résultat

Le taux d'humidité est obtenu par la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

Avec $H(\%)$: taux d'humidité de la farine

m_1 : masse de la boite vide (g)

m_2 : masse de la boite munie de l'échantillon avant étuvage (g)

m_3 : masse de la boite munie de l'échantillon après étuvage (g)

Où la teneur en matière sèche ($M.S$) a été donnée par la relation suivante

$$M.S(\%) = 100 - H(\%)$$

I.3 Détermination de l'acidité de la farine

I.3.1 Principe

L'acidité de la farine se fait par macération de la farine en présence d'alcool 90°C.

I.3.2 Réactifs

- Solution de soude (NaOH) 0,1N
- Alcool 90°C

I.3.3 Matériels

- Fiole de 100ml
- Entonnoir en verre

I.3.4 Mode opératoire

5g de farine doivent être introduits dans une fiole de 100ml. Puis, ajouter une quantité de 50ml de l'alcool. Ce mélange doit être agiter et reposer pendant 12 heures. Après filtration, prendre un échantillon de 20 ml du mélange et titrer avec une solution déci normale de NaOH ; ensuite 20ml de l'alcool. La relation suivante nous permet de déterminer l'acidité en H_2SO_4 de la farine.

$$\% \text{ acidité en } \text{H}_2\text{SO}_4 = (N - n') * f.a * V$$

Avec : N : titre du mélange

n' : titre de l'alcool 90°C

V : volume de l'alcool utilisé (50 ml)

f.a : facteur de l'acide sulfurique (0,0049)

I.4 Détermination de la teneur en amidon de la farine

Pour notre études, la teneur en amidon est déterminée selon la méthode de Lane et Eyron

I.4.1 Principe

Le principe de cette méthode consiste au dosage de la fonction réductrice des sucres simples oses issus de l'hydrolyse de l'amidon sous l'action de l'acide chlorhydrique par traitement à chaude de la farine. Après refroidissement, neutralisation et filtration, on obtient une solution sucrée. Ensuite une solution de liqueur de Fehling fait titré avec cette solution.

I.4.2 Réactifs mise en œuvre

- Acide chlorhydrique (HCl) à 5% (v/v)
- Soude (NaOH) à 20% (p/v)
- Liqueur de Fehling A (on dissout dans l'eau distillée 35g sulfate de cuivre $[CuSO_4]$ et 5g d'acide sulfurique $[H_2SO_4]$ et on complète jusqu'à 1000ml avec l'eau distillée).
- Liqueur de Fehling B (dissoudre dans 1000ml d'eau distillée une quantité de 150g de tartrate double de Na et K, et 300g de soude 63°B).
- Liqueur de Fehling C (50g hexa ferrocyanure de potassium $K_4[Fe(CN)_6].3H_2O$ dissous dans 100ml).

I.4.3 Matériels

- Fiole conique de 250ml
- Bain de sable
- Ballon jaugée de 200ml
- Plaque chauffante

I.4.4 Méthode

Dans une fiole conique de 250ml, on introduit 5g de farine de banane avec 100ml d'acide chlorhydrique à 5%. Boucher la fiole avec un bouchon de caoutchouc percé un trou dans lequel on place un tube de verre de 1m de long et 8mm de diamètre. Le tout est placé au bain de sable et porté le contenu de la fiole à une douce d'ébullition pendant 1 heure.

Ensuite déboucher la fiole, laisser refroidi et neutraliser en présence de papier tournesol par une lessive de NaOH à 20% que l'on ajoute goutte à goutte en agitant.

Après filtration et rinçage de la fiole, le filtrat est recueilli dans un ballon jaugé de 200ml en complétant avec l'eau distillée jusqu'au trait de jaugé ; boucher le ballon et agiter.

Pour le dosage, 25ml de Liqueur de Fehling (10ml L.F.A, 10ml L.F.B, 5ml L.F.C) porter à une douce ébullition et on verse goutte à goutte la solution sucré dans une burette jusqu'à ce que la couleur initiale bleu se décolore en brunit. D'où la teneur en amidon est donnée par la formule suivante :

$$\text{Amidon \%} = \frac{T * V * 0,9}{N * P} * 100$$

Avec : T : titre de liqueur de Fehling (0,05)

V : facteur de dilution (200)

N : volume de la solution sucré versé

P : poids de prise d'essai 5g

CHAPITRE II : HYDROLYSE ENZYMATIQUE DE LA BANANE [2, 9, 11, 16, 17]

II.1 Principe

Cette méthode consiste de scinder les liaisons dans la molécule d'amidon par les hydrolases du lait de malt pour transformer la féculé en sucres fermentescible par la levure *Saccharomyces cerevisiae*

II.2 Matériels

-Paddy	-Bain marie	-Broyeur
-Farine de banane	-Coton hydrophile	-Erlenmeyer
-Plaque chauffante agitante	-Etuve	-Thermomètre
-Germoires	-Centrifugeuse	

II.3 Méthode

II.3.1 Elaboration des enzymes hydrolases

La production de l'enzyme hydrolase comporte trois étapes : le trempage, la germination et enfin la préparation du lait de malt.

II.3.1.1 Trempage du paddy

Il s'agit d'une hydratation des grains de paddy, où le taux d'humidité passe de 15 % - 45 %. La durée du trempage se fait du 24 à 36 sous température de 30°C, et où 25 g de paddy ont été mis dans un germoir rempli d'eau. L'ensemble doit être bien aéré et l'eau de trempage est renouvelée toutes les 12 heures.

II.3.1.2 Germination

La germination est la phase physiologique, importante pour le développement des graines et pour l'augmentation de l'activité enzymatique. Après trempage, les graines de paddy ont été disposées dans un germoir contenant une petite quantité d'eau en couche mince d'épaisseur 5mm sur des cotons hydrophile imbibé d'eau distillée.

L'ensemble doit être placé à l'obscurité à 30°C durant 3 jours. Lorsque les plumules atteignent de 5mm environ et les radicelles 10 à 15mm, la germination est achevée et on obtient le paddy germé appelé « malt vert ».

L'obscurité permet d'éviter les rayonnements de la lumière pouvant avoir une action dénaturante sur les enzymes, en provoquant des ruptures de liaison comme la désamination et permet inhiber les activités chlorophylliennes.



Figure 10 : Germination du paddy

II.3.1.3 Préparation du lait de malt

L'extraction de l'enzyme se fait par un broyage dans un mortier de 25g de malt vert additionné de 50 ml d'eau distillé. Le lait du malt contenant les hydrolases a été obtenu après quelque minute.

II.3.2 Gélification

La gélification est un processus pour faire éclater les grains d'amidon par un chauffage dans le but de rendre plus accessible aux enzymes hydrolases les liaisons entre les sucres composants de l'amidon et de tuer aussi les microorganismes contaminants. Comme l'amidon est semi cristallin, il est alors pratiquement insoluble dans l'eau froide, mais en chauffant à une température plus ou moins élevée, il devient amorphe et miscible dans l'eau. Et on obtient finalement une solution visqueuse ou amidon gélifiée.

Dans ce cas, 100g de farine de banane sont mis dans un erlenmeyer de 1litre en ajoutant 800ml d'eau distillé. Le mélange est ensuite cuit à une température jusqu'à 85°C pendant 3h sur un bain de sable.

II.3.3 Hydrolyse proprement dite

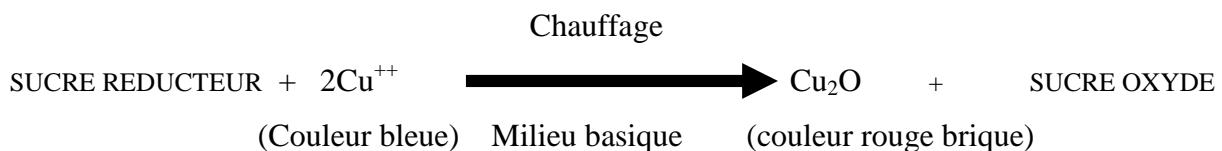
L'amidon gélifié refroidit jusqu'à 55°C température optimale d'activités des hydrolases du paddy 1285 ; puis on mélange avec le lait de malt préalablement préparé en ajustant le pH à 4,65 avec l'acide chlorhydrique concentré ou soude concentré. Le volume est ajusté à un litre et le mélange est incubé sur une plaque chauffante agitante. Et toutes les 24 heures, 50ml de ce mélange ont prélevées pour faire le dosage du glucose.

II.4 Dosage des sucres par liqueur de Fehling

II.4.1 Principe

La détermination des sucres réducteurs exprimés en glucose se fait par la liqueur de Fehling mélangé de trois liqueurs de Fehling A, B et C. Ainsi, les sucres réducteurs réduisent la liqueur de Fehling grâce à ses fonctions pseudoaldéhiques et pseudocétoniques libre.

Dans lequel, la solution de Fehling contient un sel de cuivre sous forme cuivrique (Cu^{++}) se transforme en acide cuivreux (Cu^+) puis en oxyde cuivreux après chauffage avec le sucre réducteur. La réaction positive signifie donc que le sucre est réducteur et on a une apparition d'un précipité rouge brique selon la réaction fenerale suivante :



II.4.2 Défécation

Avant de procéder le dosage, les impuretés et les protéines du milieu susceptibles de perturber le dosage des sucres doivent être éliminés par le processus de défécation. Pour cela, prendre une solution sucrée de volume 20ml en ajoutant une pincé de NaHCO_3 et 1ml d'acétate de plomb $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ à 15% dans un ballon de 1l. Puis, ramener le volume à 1l avec l'eau distillée après agitation, repos et filtration. On obtient finalement une solution déféquée.

II.4.3 Mode opératoire

Le réactif liqueur de Fehling est l'un de réactifs la plus utilisés pour détecter le sucre réducteur. 5ml de liqueur de Fehling dans un bêcher de 25ml doit porter au bain marie en présence de pierre ponce. Des que, l'ébullition commence goutte à goutte la solution déféquée dans une burette graduée. Le dosage s'achève lorsque la teinte bleue de liqueur passe en liquide brunit.

Soit V_1 le volume de la solution versée et la teneur sucre réducteur exprimé % en glucose est donnée par la formule suivante :

$$\text{Taux de sucres réducteurs} = \frac{t * 1000 * 100}{V_1 * P}$$

V_1 : volume de la solution versée
 t : titre de liqueur de Fehling 0,05
 P : prise d'essai

II.5 Optimisation des paramètres d'hydrolyse enzymatiques

Pour la variété de paddy 1285, plusieurs paramètres ont été déjà optimisés par d'autres auteurs, mais étant donnée que le substrat utilisé se différencie, nous avons optimisé le pH, la température et la concentration en substrat.

II. 6 Rendement d'hydrolyse

Le rendement de conversion de l'amidon en glucose est calculé par la formule suivante :

$$Rc (\%) = \frac{[SR]_{tf} - [SR]_{to}}{[Amidon]} * 100$$

Avec : Rc : rendement de conversion en %

$[SR]$: teneur en sucre de glucose en % au temps final

$[SR]_{to}$: teneur en sucre de glucose en % initial $t = 0$

$[Amidon]$: teneur en amidon à l'instant $t = 0$

II.7 Traitement des produits d'hydrolyse

Avant de passer à la fermentation, la centrifugation de l'hydrolysat doit être nécessaire pour séparer le culot (amidon non hydrolysé, les protéines, les lipides) et le sirop de glucose. Par conséquent, l'hydrolysat est centrifugé pendant 15mn à 16.000g. Puis le sirop est cuit au bain marie à 100°C pendant 30mn et refroidit à 25°C.

CHAPITRE III : FERMENTATION ALCOOLIQUE [2, 11, 16]

La fermentation constitue l'étape où lieu la transformation du sucre de glucose en alcool par levure *Saccharomyces cerevisiae*.

III.1 Matériels

III.1.1 Bioréacteur

Le Bioréacteur est un incubateur thermostaté dans lequel il doit permettre un bon contact aussi que possible entre la phase biotique et abiotique du système pour une production optimale de microorganismes et de métabolites.

III.1.2 Substrat

Les sucres concentrés obtenus lors de l'hydrolyse servent de substrat pour les micro-organismes.

III.1.3 Souche

Nous avons utilisé la souche levuriennne *Saccharomyces cerevisiae* sous forme commercialisée Levure Sèche Active (L.S.A). Sa particularité est de sa capacité de métaboliser le sucre simple.

III.2 Milieu culture

III.2.1 Ensemencement et pré culture

L'ensemencement de la levure doit être effectué dans des conditions d'hygiène en évitant toute contamination. Ainsi que, la pré culture consiste à réactiver la levure de quantité 4,2g/l en réhydratant dans un milieu contenant de 30g/l de sucres dans un Erlenmeyer bouché avec du coton cadré. Le temps de réalisation de ce pré culture est environ 48h sous une température de 30°C et sous une agitation.

III.2.2 Culture

La culture se fait dans un système discontinu sans apport de nouveau substrat et avec un volume bien défini. Dans ce cas, la réaction s'effectue jusqu'à l'épuisement du substrat où l'arrêt spontané de la réaction biologique.

La levure réactivée est mélangée avec le sirop de glucose à fermenter dans une cuve de fermentation bouché hermétiquement.

III.3 Détermination du titre alcoolimétrique

Après la fermentation, on passe à la détermination du titre alcoolimétrique par la mesure de la densité. Le titre est exprimé en général en degré alcoolique ou bien le nombre de ml d'alcool éthylique contenu dans 100ml d'échantillon

III.3.1 Matériels utilisés

- Dessiccateur
- Fiole jaugé de 200 ml
- Pycnomètre 25 ml
- Ballon de 250 ml
- Chauffe ballon

III.3.2 Mode opératoire

Prélever un volume de vin de fermentation de 200ml dans une fiole. Noter la température du vin le verser ensuite dans le ballon de l'appareil à distiller. Puis, rincer la fiole à 4 reprises de 5ml d'eau distillée que l'on ajoute dans le ballon. Ajouter 10ml d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2M et quelque pierre ponce dans le distillat.

Récupérer le distillat dans une fiole de 200ml qui a servit à mesurer le vin.

Recueillir un volume environ trois quart du volume initial et compléter à 200ml avec l'eau distillée, le distillat étant à une température identique à la température initiale à peu près 20°C.

Mélanger avec précaution par un mouvement circulaire.

Mesurer la densité et rapporter les résultats obtenus sur une table de correspondance (ANNEXXE), entre la densité apparente du mélange hydro alcoolique et le degré d'alcool.

III.4 Condition de fermentation

Selon les auteurs (RANDRIAMAHEFA 2000 et ANDRIANARISON 1999) qui ont déjà fait l'optimisation des paramètres de fermentation tels que la valeur optimale du pH et la quantité de levure utilisé.

Nous avons fixé alors les paramètres suivants :

- Volume du cuve : 1000 ml
- Température initiale : 25°C
- pH du milieu fermentaire : 4
- Quantité de levure : 4,2 g/l
- Teneur des éléments utilisé : sulfate d'ammonium : 2 g/l
sulfate de magnésium : 1 g/l
 KH_2PO_4 : 5 g/l
- Agitation 150 rpm

III.5 Evolution de la fermentation

III.5.1 Densité du mout pendant la fermentation

III.5.1.1 Principe

L'évolution de la fermentation se traduit par la diminution de densité du moût et la réaction se termine lorsque la densité reste constante.

III.5.1.2 Mode opératoire

La densité de moût est mesurée avec un densimètre toutes les 24h avec une prise d'essai de 25ml. Mais elle peut être calculé à partir de la relation suivante :

$$\text{Densité de moût} = \frac{\text{masse [Ech+Pycno]} - \text{masse [Pycno]}}{\text{masse [Eau+Pycno]} - \text{masse [Pycno]}}$$

III.5.2 Evolution de la température

La température joue un rôle important dans le bon déroulement de la réaction de fermentation. Ceci étant fait par la prise de température toutes les 24h. Il faut souligner que selon les bibliographiques la température est de 30°C.

CHAPITRE IV: QUALITES DE PRODUITS OBTENUS

IV.1 Détermination de l'acidité total et de l'acidité volatil

IV.1.1 Principe

Il s'agit d'une titration calorimétrique en milieu neutre.

IV.1.2 Méthode

Dans un bécher de 100ml, on verse 10ml du distillat et 10ml d'eau distillée. Le mélange est agité pour libérer le gaz carbonique issus dans le distillat, puis 5 gouttes de phénophthaléine. Initialement le mélange est incolore. Après le titrage d'une solution de soude 0,1N la solution devient rose et cela indique la fin de réaction.

Selon la bibliographique, l'acidité total peut être exprimé en pourcentage d'acide tartrique selon la relation suivante :

$$\% \text{acide tartrique} = \frac{\text{Volume de base versée} * \text{normalité de la base} * 7,5}{\text{Poids de l'échantillon}}$$

L'acidité volatile est exprimée en pourcentage d'acide acétique

$$\% \text{acide acétique} = \frac{\text{Volume de base versée} * \text{normalité de la base} * 7,5}{\text{Poids de l'échantillon}}$$

IV.2 Etude de la composition en alcools

La chromatographie en phase gazeuse (C.P.G) est utilisée pour voir la qualité de produit obtenu en déterminant sa composition chimique.

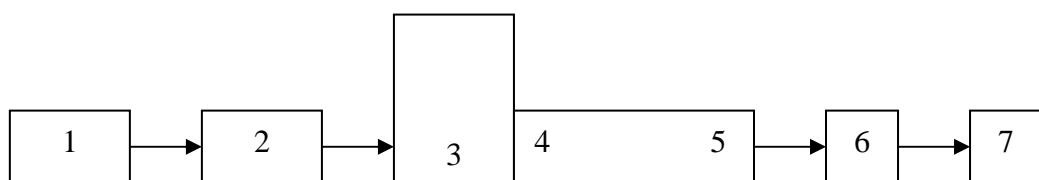
IV.2.1 Définition

La chromatographie en phase gazeuse est un moyen de séparation des composés gazeuses ou susceptibles d'être vaporisées par un simple chauffage sans décomposition.

IV.2.2 Principe

Le C.P.G possède plusieurs types de dispositifs, et une fois que l'alcool à analyser est injecté dans le chromatographe, les différents constituants sont poussés par le gaz vecteur dans la colonne. Selon leur affinité plus ou moins grande par la phase stationnaire, ces constituants s'acheminent à des vitesses différentes. A la sortie du système, un détecteur pouvant traduire l'apparition des bandes de solutés dans un gaz par un courant électrique mesurable, et dans ce cas le dispositif d'enregistreur figure un chromatogramme.

IV.2.3 Description de l'appareil



- 1 : dispositif de mise en marche
- 2 : système de régulation de débit
- 3 : injecteur
- 4 : colonne où s'effectue la séparation
- 5 : détecteur
- 6 : système de traitement des signaux
- 7 : enregistreur et calcul

IV.2.4 Conditions opératoires

L'alcool est analysé dans les conditions suivantes :

- Chromatographe du type : SHIMADZU GC – 14A
- Détecteur à ionisation de flamme (F.I.D)
- Colonne de type Carbowax 20M de longueur 30 mètre
- Gaz vecteur : azote à raison de 3°C/mn
- Quantité injectée 1µl
- Température de l'injecteur et du détecteur sont respectivement égal à 240 °C et 260°C.
- Température du four allant de 45°C jusqu'à 200°C

PARTIE III :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUE DU FARINE

I.1 Mesure de l'humidité

I.1.1 Résultats

Après 3 essais effectués, le tableau suivant nous montre les résultats obtenus.

Tableau 07 : Mesure de l'humidité et la matière sèche de la farine

Essai	$m1$ (g)	$m2$ (g)	$m3$ (g)	H (%)	M.S (%)
E1	51,30	56,30	55,76	10,80	89,20
E2	49,52	54,52	53,95	11,40	88,6
E3	49,21	54,21	53,65	11,20	88,80
\bar{X}	50,01	55,01	54,45	11,13	88,67

$m1$: masse de la boite vide (g)

$m2$: masse de la boite munie de l'échantillon avant étuvage (g)

$m3$: masse de la boite munie de l'échantillon après étuvage (g)

H (%) : pourcentage d'humidité

M.S (%) : pourcentage de matière sèche

E : essai

\bar{X} : moyenne

I.1.2 Interprétation

Dans les industries de transformation, l'humidité joue un rôle très important. Pour une bonne conservation de la farine, le taux d'humidité doit être inférieur à 12. D'après le tableau 06, nous avons obtenu une valeur moyenne de l'humidité 11,13 % qui ne dépasse pas la limite maximale fixée par la norme américaine 14% d'une part. Et d'autre part, elle correspond à la norme établie pour la conservation.

Dans ce cas, la farine peut stocker pendant un temps assez long sans risque d'altération ni de contamination par les champignons, les mousissures ou les insectes.

I.2 Mesure de l'acidité en H_2SO_4

I.2.1 Résultat

Le tableau suivant nous donne les résultats obtenus lors de la mesure :

Tableau 08 : Résultats de l'acidité de la farine de banane

Essai	N(ml)	n' (ml)	% acidité
E1	1,10	0,20	0,22
E2	1,10	0,21	0,22
E3	1,00	0,21	0,19
\bar{X}	1,06	0,21	0,21

I.2.2 Interprétation

On trouve une valeur de l'acidité 0,21% c'est-à-dire que la banane présente un goût aigre.

I.3 Mesure du teneur en amidon

I.3.1 Résultat

La teneur en amidon est obtenue par la méthode analytique dont les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 09 : Résultats de la teneur en amidon de banane

Essai	N : volume de la solution sucré versé (ml)	Teneur en amidon (%)
E1	2,8	64,28
E2	2,9	62,07
\bar{X}	2,85	63,18

I.3.2 Interprétation

La teneur en amidon moyenne trouvée est 63,18%. L'amidon représente le principal élément constitutif du glucide comestible. Par contre, au moment où le fruit mûrit ce taux diminue car elle transforme en sucre.

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION SUR L'OPTIMISATION DE L'HYDROLYSE

II.1 Effet du pH sur l'hydrolyse

Dans ces expériences, la concentration de substrat et la vitesse de rotation sont maintenues respectivement à 100g/l et 150rpm et on fait varier le pH de 4 à 5,5 à température 45°C, 50°C et 55°C.

II.1.1 Résultats

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants :

- **T = 45°C**

Tableau 10 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 45°C

pH	4	4,5	5	5,5
Temps (H)				
0	13,21	13,21	13,21	13,21
24	14,89	27,78	22,52	18,04
48	16,13	40,62	28,15	21,72
72	15,72	39,41	28,07	20,33
96	15,64	39,38	27,92	20,14

- **T : 50°C**

Tableau 11 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 50°C

pH	4	4,5	5	5,5
Temps (H)				
0	13,21	13,21	13,21	13,21
24	15,67	29,40	23,16	20,39
48	20,05	42,25	29,64	22,48
72	19,30	40,40	29,05	22,11
96	18,85	39,91	28,81	22,02

- **T : 55°C**

Tableau 12 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction du pH à 55°C

pH	4	4,5	5	5,5
Temps (H)				
0	13,21	13,21	13,21	13,21
24	17,51	31,20	26,30	22,15
48	22,37	45,05	30,23	25,16
72	20,23	43,76	30,10	24,72
96	20,10	42,81	29,84	24,30

Les figures ci-dessous nous montrent la variation du taux de sucres réducteurs en fonction du pH respectivement à la température de 45°C, 50°C et 55°C :

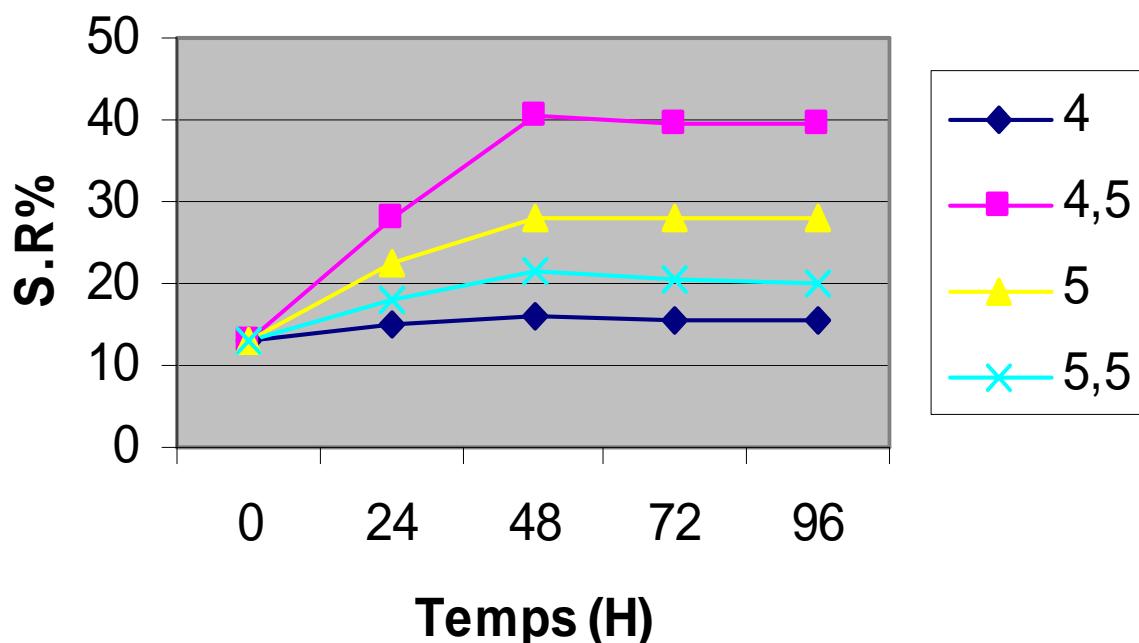


Figure 11 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour T = 45°C

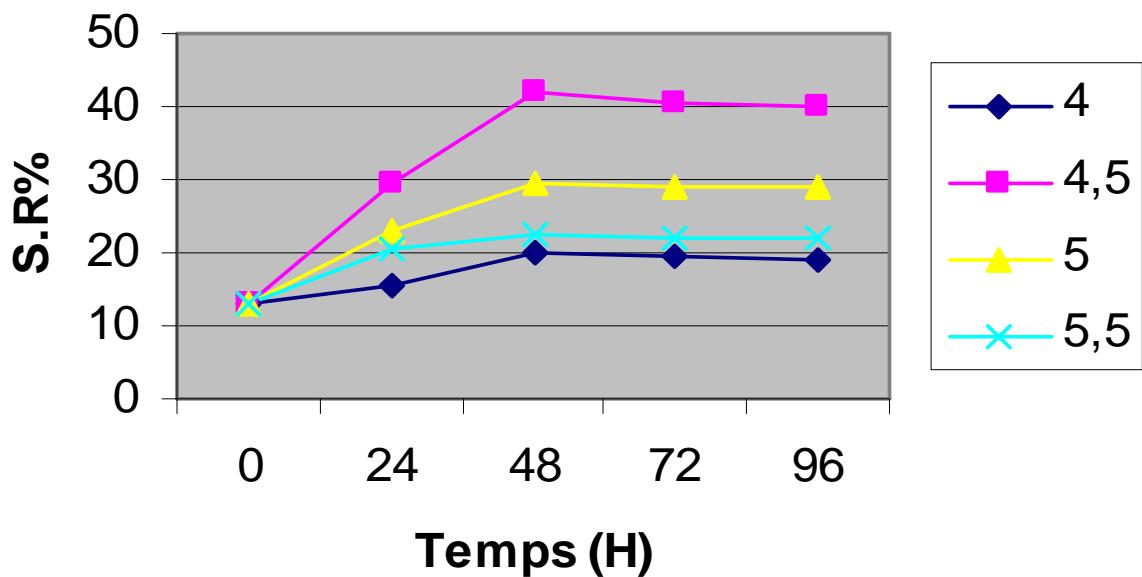


Figure 12 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour $T = 50^{\circ}\text{C}$

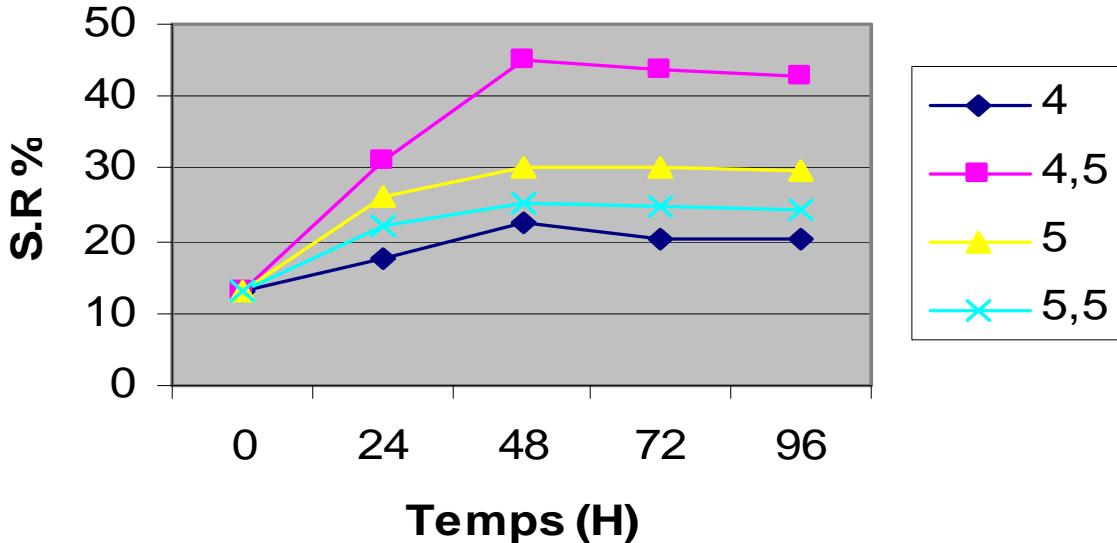


Figure 13 : Effets du pH sur l'hydrolyse enzymatique pour $T = 55^{\circ}\text{C}$

II.1.2 Interprétation

En général, les trois courbes obtenues à température 45°C, 50°C et 55°C présentent l'allure comparables dans l'intervalle de temps 24heure.

Nous trouvons que les produits formés sont plus abondants à pH = 4,5 puis à 5, ensuite 5,5 et enfin à pH = 4. L'activité de toutes les enzymes dépend de la concentration en ion H⁺ du milieu, quand un groupement -COO- du site actif est nécessaire à la fixation du substrat, la diminution du pH du milieu entraîne sa transformation en -COOH qui empêche la fixation du substrat et par conséquent, il y aura diminution de l'activité enzymatique. Ceci explique la faible concentration en sucres réducteurs formés à pH = 4.

Avec une valeur de pH supérieure à 4,5 allant jusqu'à 5,5, la production diminue ainsi l'augmentation du pH affaiblit l'activité enzymatique.

II.2 Effet de la température sur l'hydrolyse

II.2.1 Résultats

Pour étudier l'effet de la température sur l'hydrolyse enzymatique, la concentration du substrat et le pH sont fixés. Les tableaux suivants nous montrent les résultats obtenus :

- **pH : 4**

Tableau 13 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 4

température (°C)	45	50	55
Temps (H)			
0	13,21	13,21	13,21
24	14,89	15,67	17,51
48	16,13	20,05	22,37
72	15,72	19,30	20,23
96	15,64	18,85	20,10

- **pH : 4,5**

Tableau 14 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 4,5

température (°C)	45	50	55
Temps (H)			
0	13,21	13,21	13,21
24	27,78	29,40	31,20
48	40,62	42,25	45,05
72	39,41	40,40	43,76
96	39,38	39,91	42,81

- **pH : 5**

Tableau 15 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 5

température (°C)	45	50	55
Temps (H)			
0	13,21	13,21	13,21
24	22,52	23,16	26,30
48	28,15	29,64	30,23
72	28,07	29,05	30,10
96	27,92	28,81	29,88

- pH : 5,5

Tableau 16 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la température à pH = 5,5

température (°C)	45	50	55
Temps (H)			
0	13,21	13,21	13,21
24	18,04	20,39	22,15
48	21,72	22,48	25,16
72	20,33	22,11	24,72
96	20,14	22,09	24,30

Les figures ci-dessous nous montrent la variation du taux de sucres réducteurs en fonction de température respectivement au pH = 4 ; pH = 4,5 ; pH = 5 et pH = 5,5.

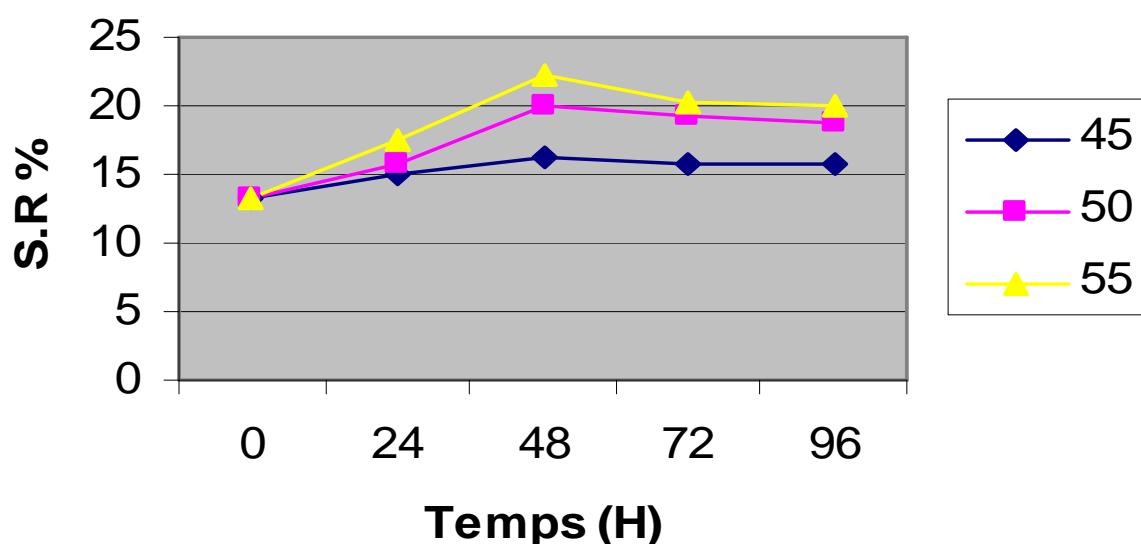


Figure 14 : Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour pH = 4

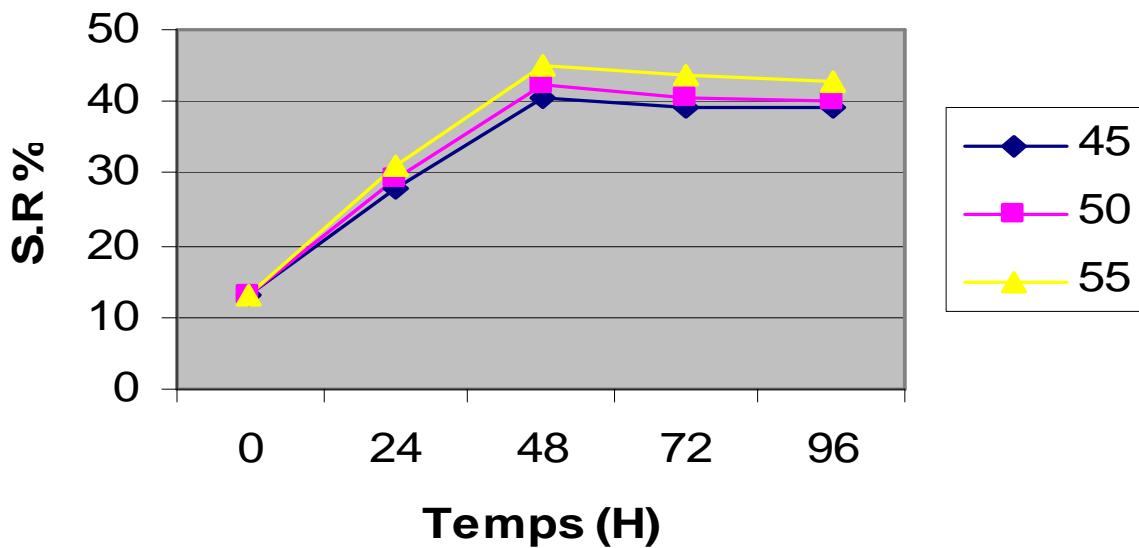


Figure 15 : Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour pH = 4,5

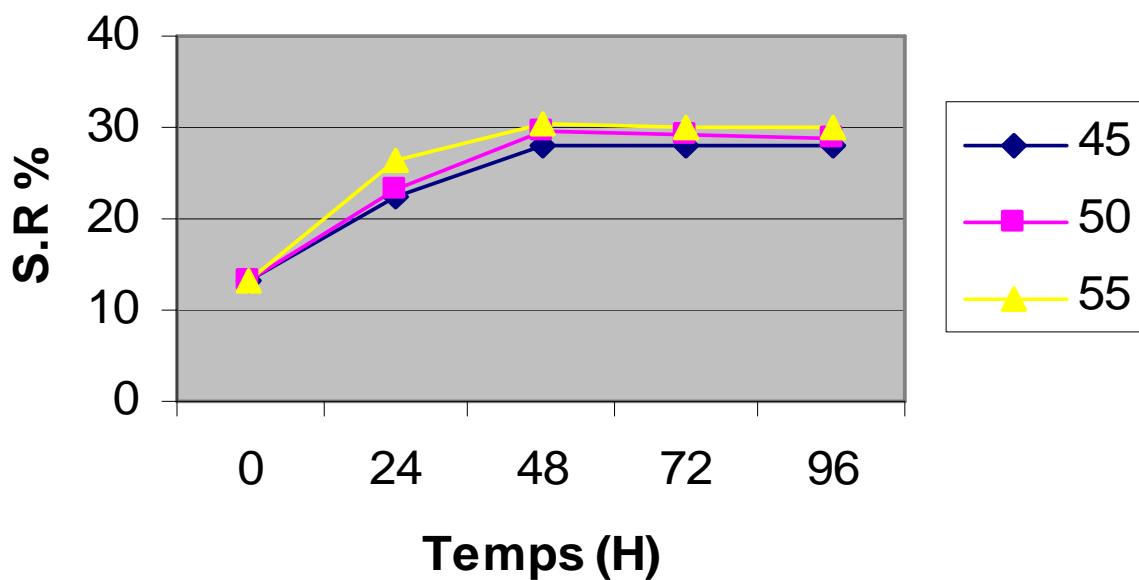


Figure 16: Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour pH = 5

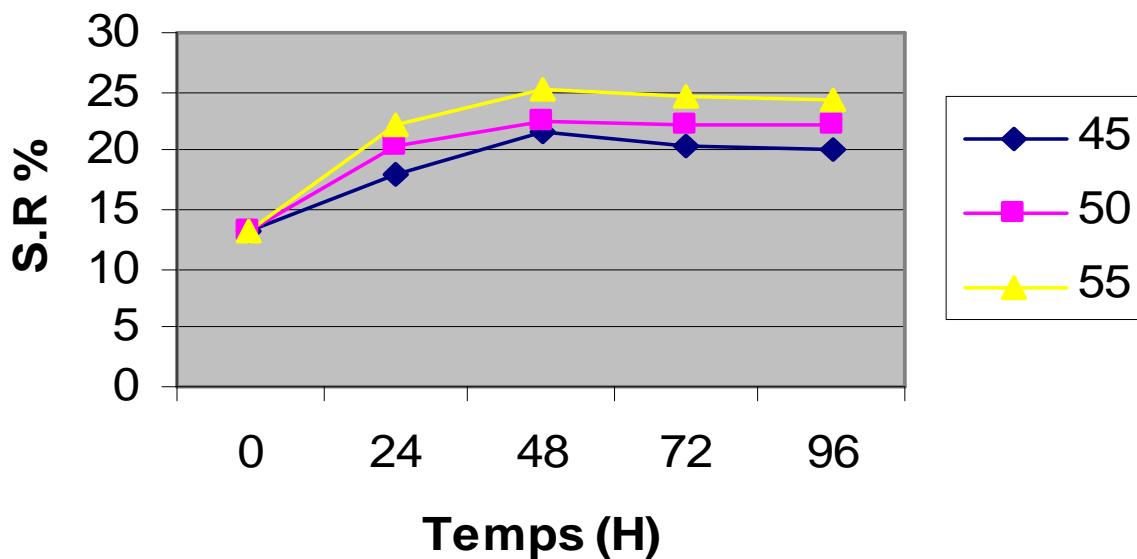


Figure 17: Effets de la température sur l'hydrolyse enzymatique pour pH = 5,5

II.2.2 Interprétation

Selon ces figures ci-dessus, nous remarquons que pour pH = 4,5 il y a une forte augmentation de la concentration en sucre réducteur jusqu'au deuxième jour d'hydrolyse et la teneur en sucre diminue par la suite. Nous observons aussi que ces quatre séries de courbes représentent le point commun pour n'importe quelle valeur du pH le produit formé est important à la température 55°C, vient ensuite de 50°C et 45°C. Dans ce cas, la température optimale de l'activité amylasique est de 55°C.

Notons aussi qu'il existe une température pour laquelle l'activité enzymatique est maximale, car l'enzyme est dénaturé pour une température élevée environ 80°C et à basse température il y a perte notable de l'activité enzymatique.

II.3 Effet de la concentration substrat

II.3.1 Résultat

Dans cette expérience, le pH, la température et la vitesse de rotation sont maintenues respectivement 5,5, 45°C et 150rpm et on fait varier la concentration du substrat en 55, 60 et 65g/l.

Tableau 17 : Evolution de la concentration en sucre réducteur (%) en fonction de la concentration en substrat en 55, 60 et 65 g/l

S (g/l)	55	60	65
Temps (H)			
0	12,85	13,21	13,04
24	25,47	31,20	27,30
48	37,61	45,05	39,24
72	33,49	43,76	37,56
96	33,10	42,81	35,75

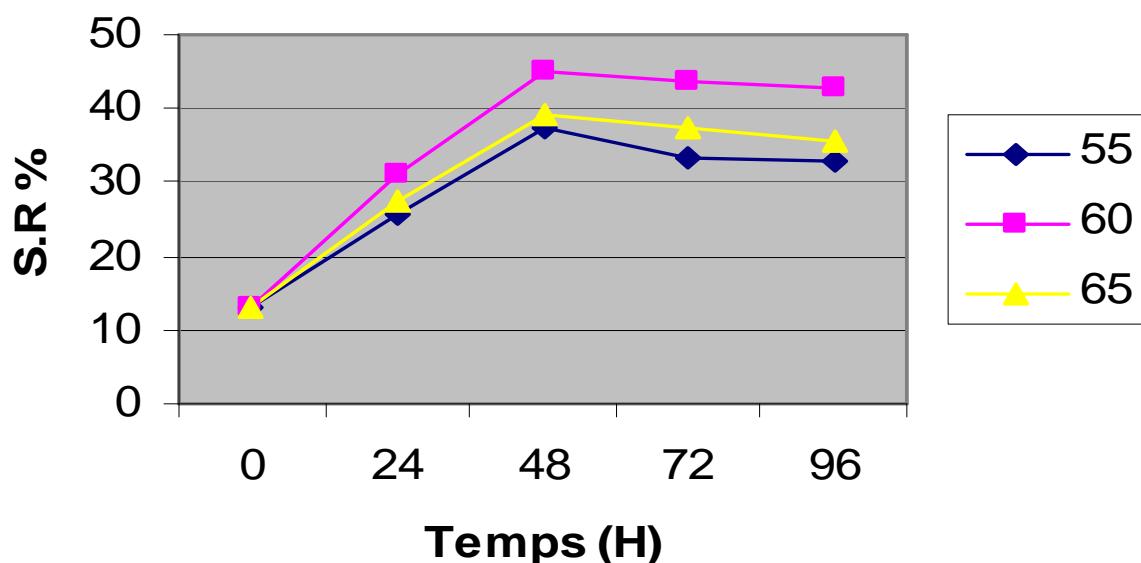


Figure 18 : Effets de la concentration en substrat sur l'hydrolyse enzymatique pour pH =4,5 et T =55°C

II.3.2 Interprétation

D'après la figure 18, nous trouvons que chaque courbe présente un maximum au deuxième jour d'hydrolyse. Mais la concentration en substrat 60 g/l atteint une valeur maximale de concentration en sucre réducteur 45,05% puis à 65 g/l et 50g/l.



II.4 Rendement de l'hydrolyse

Le tableau ci-dessous nous montre le rendement d'hydrolyse à pH = 4,5 pour une température 55 °C et de 60 g/l de substrat.

Mais notons que la concentration en amidon au temps t_0 est la somme de l'amidon provenant du substrat (farine) et au grain germé. 25g de paddy pourraient contenir 15g d'amidon.

Tableau 18 : Résultat du rendement de l'hydrolyse

Température °C	[S] (g/l)	pH	Rendement (%)
55	60	4,5	68,66

II.5 Conclusion sur l'hydrolyse enzymatique

Nous voyons que l'activité maximale des hydrolyses correspondant à 25 g de paddy germés est observée pour la farine du banane dessert de concentration à 60 g/l et avec du pH = 4,5 sous une température de 55°C.

Le résultat nous montre que le rendement de conversion maximale dans ces conditions est de 68,66 %.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA FERMENTATION

III.1 Résultats de l'évolution de la densité du moût

III.1.1 Résultat

Tableau 19 : Evolution de la densité du moût

Temps (jours)	Densité
1	1,077
2	1,075
3	1,058
4	1,047
5	1,038
6	1,032
7	1,021

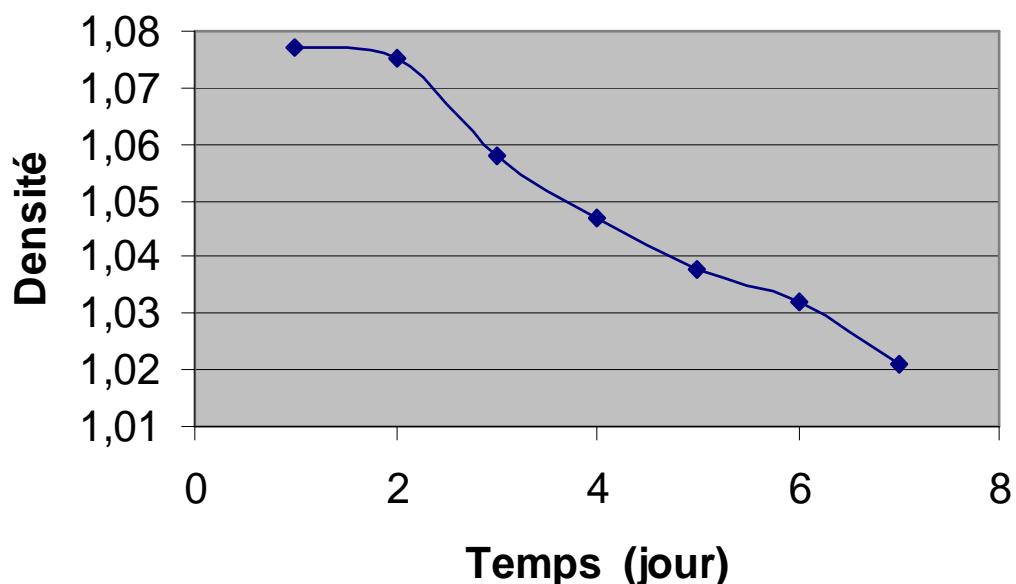


Figure 19 : Courbe représentant la densité de mout en fonction du temps

III.1.2 Interprétation

D'après cette courbe, on constate une diminution brusque de la densité de 1,077 jusqu'à 1,021. Cette allure décroissante se manifeste vers le trois jours. La formation d'éthanol commence dure après 48 heures.

III.2 Résultats de l'évolution de la température du moût

III.2.1 Résultat

Tableau 20 : Température de l'évolution pendant la fermentation

Temps (jours)	1	2	3	4	5	6	7
Température °C	26,5	26,5	26,8	27,2	27,5	26,6	26,0

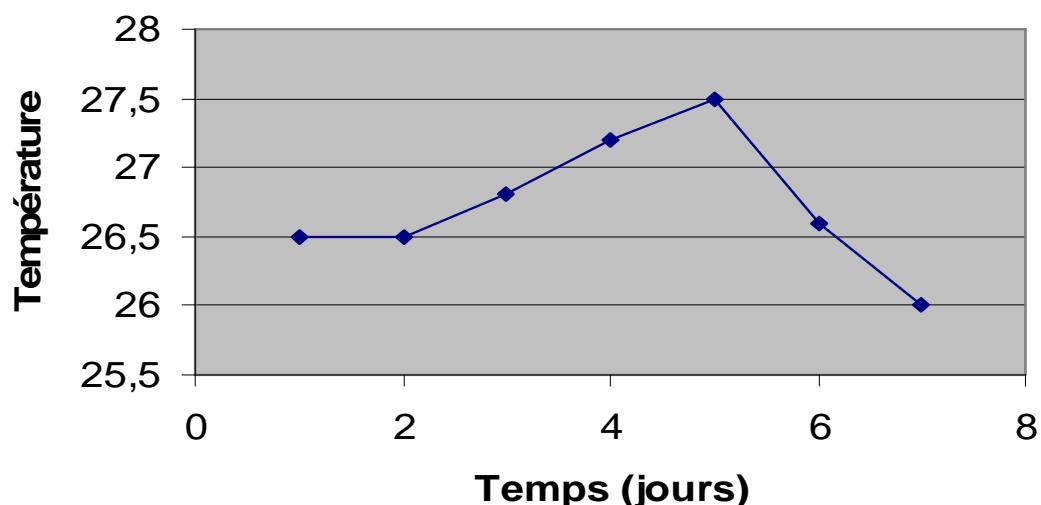


Figure 20 : Courbe représentant la température de mout en fonction du temps

III.2.2 Interprétation

La réaction exothermique ce qui entraîne l'augmentation de la température au sein de la masse. Cette invariance de température peut donc s'expliquer par le transfert de chaleur rapide entre le milieu réactionnel et le milieu ambiante. Le transfert de chaleur rapide existe car nous travaillons à l'échelle laboratoire (cuve de fermentation assez).

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA DISTILLATION

IV.1 Caractéristique du produit fini

Après la fermentation, nous allons appliquer le procédé de fractionnement et de purification des corps organiques.

Le distillat contenant l'alcool obtenu par la première distillation est redistillée une fois dans le but de rectifier l'alcool dont le résultat

$$d = \frac{46,1019 - 23,7629}{48,4216 - 23,7629}$$

D'où $d = 0,90593$

En référant avec le tableau de proportion volumique éthanol-eau à 20°C [ANNEXE 1]. On peut appliquer l'extrapolation linéaire suivante :

$$\frac{61,8 - 62,8}{0,90418 - 0,90645} = \frac{61,8 - x}{0,90418 - 0,90593}$$

$$x = 62,5^\circ \text{GL}$$

On trouve alors que :

$$d = 0,90593$$

$$x = 62,5^\circ \text{ GL}$$

IV.2 Résultats de l'analyse de l'acidité totale et de l'acide volatile

Nous avons trouvé un taux d'acidité totale 1,023 exprimée en pourcentage acide tartrique et 0,615 l'acidité volatile exprimée en pourcentage acide acétique.

Ces acidités affectent sur le goût et l'arôme de l'alcool. Mais lorsque ces teneurs sont trop élevées l'alcool est de mauvaise qualité.

IV.3 Résultat d'analyse par C.P.G

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse nous a donné la composition et la concentration de l'alcool obtenu dont les composés identifiés sont les suivantes :

Temps de rétention	Constituants
109	Acétaldéhyde
220	Méthanol
281	Ethanol
415	Methyl 2 propanol1

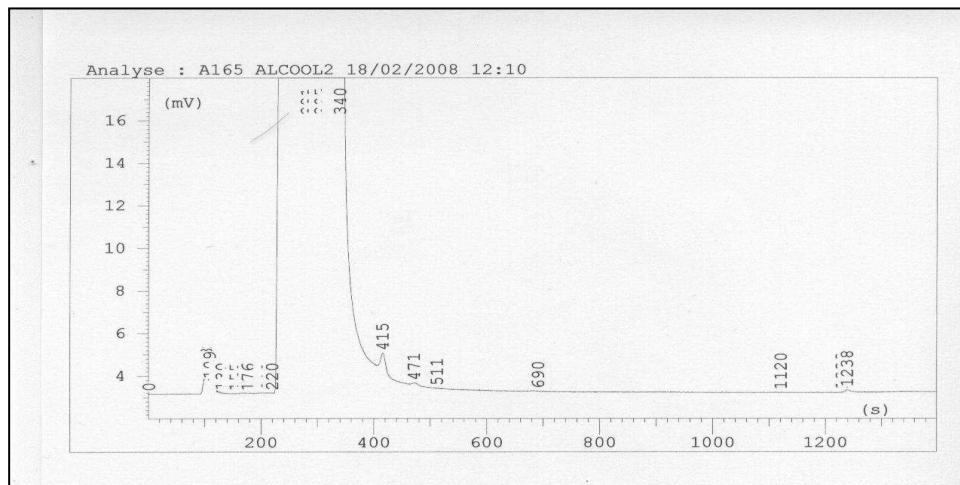
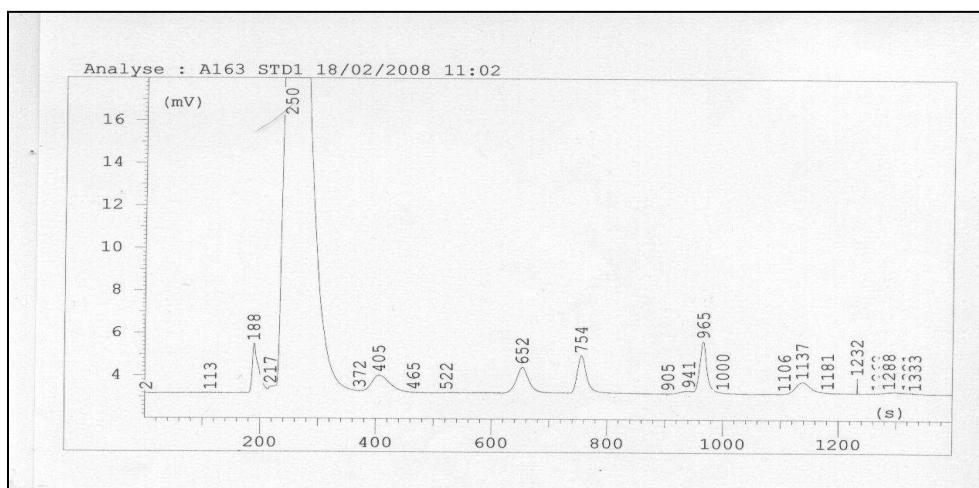


Figure 21 : Chromatogramme de l'alcool de banane dessert

La solution étalon de l'alcool se présente comme suit :

Temps de rétention	Constituants
113	Acétaldéhyde
188	Acétone
217	Méthanol
250	Ethanol
405	Methyl 2 propanol 1
652	Butanol
754	Isoamylique
965	Pentanol

Voici alors son chromatogramme :



La figure 21 ci-dessus nous montre que notre échantillon ne représente ni de l'acétone, ni du butanol, ni d'isoamylique et même pas du pentanol.

PARTIE IV :
ETUDE FINANCIERE DU PROJET

Le présent de cette dernière partie est de savoir si la production de l'alcool à partir de la banane dessert est rentable ou non.

Nous avons décidé d'implanter une unité pilote dont la capacité est de 12 000 l

Le plan de la réalisation du projet peut résumer sur le tableau 12 ci-dessous en évoquant les activités à effectuer lorsqu'on va démarrer le projet. On peut voir également dans ce plan, les temps nécessaires pour accomplir les différentes tâches relatives.

Tableau 21 : Chronogramme de la première production

Différentes tâches	0 j	2 j	4 j	6 j	8 j	10 j	12 j	14 j	16 j	18 j	20 j	22 j	24 j	26 j	28 j	30 j
Préparation de farine																
• Epulchage																
• Séchage																
• Broyage																
Hydrolyse																
Fermentation																
Distillation																
1 ^{ère} production																

Ce tableau nous a montré que la première production de l'éthanol se fera qu'au 16^{ème} jour.

Etude financière du projet

L'étude financière du projet doit être faite et nécessaire pour l'assurance du développement de l'activité d'un projet. Nous devons donc choisir l'investissement au moyen des critères quantitatifs et qualitatifs pour avoir une idée sur la rentabilité économique des capitaux investis, c'est-à dire pour évaluer la rentabilité et la viabilité du projet.

Nous allons voir en premier lieu la capacité de production envisagée puis les investissements nécessaires et enfin l'étude de faisabilité financière du projet en se référant les outils d'évaluations qui sont représentées par les quatre grandeurs suivants : la **VAN**, le **TRI**, **DRCI** et **l'IP**.

CHAPITRE I : CAPACITE DE PRODUCTION ENVISAGEE

Ce chapitre nous permet d'envisager la capacité de production d'éthanol de banane dessert, de production de drêches pour les bétails et de production CO₂ anhydre durant les 5 années d'exploitation.

I.1 Planning de production

I.1.1 Rendements

Un bananier peut produire environ 3kg de régimes. Quant l'éthanol, le rendement d'extraction pour 1.2 kg de matière première peut produire jusqu'à 11 d'éthanol. Voici alors la quantité de production que nous envisageons.

I.1.1.1 Production

Nous envisageons de produire dans les deux premières années de production une quantité de 10000 litre d'éthanol jusqu'à 12000 litre.

Le tableau suivant nous donne cette évolution pendant les 5 années d'exploitation.

Tableau 22 : Production envisagée pendant les 5 années d'exploitation

	N	N + 1	N + 2	N + 3	N + 4	N + 5
Ethanol (en l)	-	10000	10000	11000	12000	12000
Drêches (kg)	-	24305.55	24305.55	26736.11	29166.67	29166.67
CO ₂ (kg)	-	123.7	123.7	136.10	148.48	148.48

Ce tableau nous montre que la production s'élève de 12000 litre jusqu'à les deux dernières années de production cela entraîne une augmentation, non seulement pour la production mais aussi pour le chiffre d'affaires.

Pour pouvoir estimer les recettes que la société va recevoir, il est nécessaire de prévoir les ventes qu'elle va effectuer pendant les 5 ans d'exploitation.

I.1.1.2 Chiffre d'affaires prévisionnelles de production d'éthanol

La société D1 peut acheter de banane, mais elle va lui vendre de l'éthanol. Le prix en litre est varié de Ar 6 000 jusqu'à Ar 8 000 la dernière exploitation.

Le tableau suivant nous montre l'évolution du chiffre d'affaires de l'éthanol (en tenant compte une augmentation de prix de 2% par an).

Tableau 23 : Evolution du chiffre d'affaire prévisionnel de l'éthanol

Années	Ethanol (en l)	Coût unitaire (en Ar)	Chiffres d'affaires en Ar
N	-	-	-
N + 1	10000	6 000	60 000 000
N + 2	10000	6 500	65 000 000
N + 3	11000	7 000	77 000 000
N + 4	12000	7 500	90 000 000
N + 5	12000	8 000	96 000 000

I.1.1.3 Chiffre d'affaires prévisionnelles de la drêche

La drêche constituera aussi une autre source de revenu car on peut le vendre pour l'alimentation des bétails.

Le tableau suivant va nous montrer le chiffre d'affaires prévisionnel de la drêche (en tenant compte une augmentation de prix de 2% par an).

Tableau 24 : Evolution du chiffre prévisionnel de la drêche

Années	drêches (en kg)	Coût unitaire en Ar	Chiffres d'affaires en Ar
N	-	-	-
N + 1	24 305.55	200	4 861 110
N + 2	24 305.55	250	6 076 388
N + 3	26 736.11	300	8 020 833
N + 4	29 166.67	300	8 750 001
N + 5	29 166.67	350	10 208 335

I.1.1.4 Chiffre d'affaires prévisionnelles du gaz carbonique CO₂ anhydre

Tableau 25 : Evolution du chiffre d'affaires prévisionnel du gaz carbonique anhydre

Années	CO ₂ (en kg)	Coût unitaire	Chiffres d'affaires en Ar
N	-	-	-
N + 1	123.70	2 700	333 990
N + 2	123.70	2 800	346 360
N + 3	136.10	3 000	408 300
N + 4	148.48	3 500	519 680
N + 5	148.48	3 800	564 224

I.1.2 Chiffre d'affaires prévisionnelles de la société pendant 5 années d'exploitation

C'est le total des ventes estimées des trois activités durant les années d'exploitation.

Tableau 26 : Evolution du chiffre d'affaires total (en Ar) des activités de l'entreprise

Année Vente	N	N + 1	N + 2	N + 3	N + 4	N + 5
Ethanol	-	60 000 000	65 000 000	77 000 000	90 000 000	96 000 000
Drêches	-	4 861 110	6 076 388	8 020 833	8 750 001	10 208 335
CO₂	-	333 990	346 360	408 300	519 680	564 224
TOTAL	-	65 195 100	71 422 748	85 429 133	99 269 681	106 772 559

Cette évolution du chiffre d'affaires total peut schématiser comme suit :

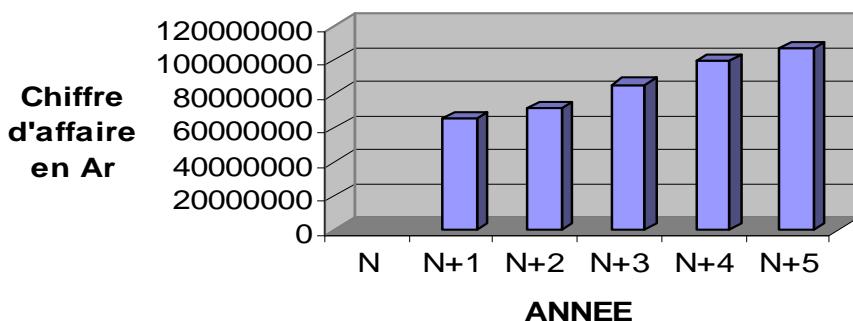


Figure 22 : Evolution du chiffre d'affaires de la société pendant les 5 années d'exploitation



I.2 Politiques de rémunération

Le principe de rémunération a été déterminé en fonction de la responsabilité, du degré de compétence exigée, des tâches confiées à chacun.

Les rémunérations mensuelles du personnel se présentent comme suit :

Tableau 27 : Rémunération mensuelles du personnel

Personnel	Qualifications	Effectifs	Salaire mensuel (en Ar)	Total
Responsable de production	Ingénieur	1	600 000	600 000
Assistant -Comptable	Gestionnaire	1	350 000	350 000
Mécanicien	Technicien Supérieur	1	250 000	250 000
Laborantin		1	140 000	140 000
Ouvrier		7	100 000	700 000
Gardien		1	80 000	80 000
TOTAL		12		2 120 000

Nous allons présenter dans le tableau suivant les charges annuelles de personnel durant les 5ans d'exploitation. Notons que nous allons accorder une augmentation de salaire de 10% chaque année à partir de la troisième année.

Tableau 28 : Charges annuelles du personnel (en Ariary)

Postes	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Responsable de production	0	7 200 000	7 200 000	7 920 000	8 640 000	9 360 000
Assistant -Comptable	0	4 200 000	4 200 000	4 620 000	5 040 000	5 460 000
Mécanicien	0	3 000 000	3 000 000	3 300 000	3 600 000	3 900 000
Laborantin	0	1 680 000	1 680 000	1 848 000	2 016 000	2 184 000
Ouvrier	0	8 400 000	8 400 000	9 240 000	10 080 000	10 920 000
Gardien	0	960 000	960 000	1 056 000	1 152 000	1 248 000
Totaux	0	25 440 000	25 440 000	27 984 000	30 528 000	33 072 000
Charge salariale 15%		3 816 000	3 816 000	4 197 600	4 579 200	4 960 800
Totaux généraux	0	29 256 000	29 256 000	32 181 600	35 107 200	38 032 800



CHAPITRE II : LES INVESTISSEMENTS

Dans le présent chapitre, nous allons évoquer les paramètres suivants les investissements, le tableau d'amortissement, le remboursement des dettes et enfin les comptes de gestion

II.1 Nature et coûts des investissements

II.1.1 Immobilisations

Ce sont des biens achetés dont l'utilisation est permanente dans l'entreprise. Nous distinguerons ces immobilisations selon leur nature.

II.1.1.1 Les immobilisations incorporelles

Il s'agit des immobilisations ou frais de développement qui ne correspondent pas à un élément ou à un bien tangible. Le montant des immobilisations incorporelles sera évalué à Ar 700 000.

II.1.1.2 Les immobilisations corporelles

a. Terrain

Le terrain où l'entreprise va être implanté l'unité a une superficie de 160 m² qui sont nécessaires pour la construction des trois bâtiments différents.

Tableau 29 : Evaluation du coût du terrain

Désignation	Superficie (m ²)	Coût unitaire (Ar)	Montant (Ar)
Terrain	160	7 500	1 200 000

b. Constructions

La société envisage de construire trois bâtiments différents dont le premier destiné pour les ateliers de production nécessairement pour l'exploitation, le second est destiné pour le bureau du personnel administratif et le troisième est réservé comme magasin de stockage.

Tableau 30 : Coût de construction de bâtiments

Désignation	Caractéristique	Montant
Bâtiments	Ateliers de production, bureau administratif et magasin de stockage	30 000 000Ar

Le coût de construction de ces trois bâtiments s'élève à 30 000 000 Ariary.



c. Matériel et mobilier de bureau

C'est les matériels utilisés dans les différents bureaux administratifs tels que tables de bureau, chaises, étagères,...Le montant global de ces matériels sera évalué à Ar 650 000.

d. Equipements et matériels

Le coût des équipements et matériels nécessaires pour le bon fonctionnement de l'exploitation est mentionné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 31 : Coût équipements et matériels

Désignation	Montant (Ar)
Equipements	26 500 000
Matériels	500 000
TOTAL	27 000 000

e. Matériel informatique

A la première année d'exploitation, l'entreprise envisage d'acquérir un ordinateur équipé d'une imprimante. Le montant de l'équipement informatique sera évalué à 4 000 000 Ariary.

Tableau 32 : Récapitulation des investissements

Rubriques	Montant (Ar)
Immobilisations incorporelles	
Frais de développement	700 000
Immobilisations corporelles	
Terrain	1 200 000
Construction	
Construction Bâtiments	30 000 000
Equipements et matériels	27 000 000
Matériels et mobiliers de bureaux	650 000
Matériel informatique	2 000 000
TOTAL	61 550 000



II.2 Tableau d'amortissement

Tableau 33 : Tableau d'amortissement

Désignation	Valeur Brute (en Ar)	Taux (n %)	Amortissement (en Ar)					
			N	N + 1	N + 2	N + 3	N + 4	N + 5
Terrain	1 200 000	-	-					
Construction bâtiment	30 000 000	5	-	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000
Equipements et matériels	27 000 000	10	-	2 700 000	2 700 000	2 700 000	2 700 000	2 700 000
Matériels et mobiliers de bureau	650 000	10	-	65 000	65 000	65 000	65 000	65 000
Matériels informatiques	2 000 000	20	-	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000
TOTAL	60 850 000		-	4 665 000				



II.3 Remboursement des dettes

Le tableau de remboursement de dettes fait apparaître l'état de remboursement des emprunts, représentant les charges financières supportées et effectuées par l'entreprise au cours des 5 années. Le premier remboursement aura lieu à la fin de la première année.

Le paiement sera effectué par amortissement constant dont la valeur est donnée par la formule suivante :

Montant de l'emprunt (Capital au début de la période) : $V_0 = 60\ 850\ 000$ Ariary.

Taux = 12 %

Périodicité = Annuelle

Durée de remboursement = 5ans

$$\text{Amortissement} = \frac{\text{Capital au début de chaque période } (V_0)}{\text{Durée de remboursement}}$$

Intérêt = $V_0 \times 12\ %$

Annuité = Amortissement + intérêt

Le tableau qui suit nous montre le plan de remboursement de l'emprunt et le capital restant dû à la fin de chaque période.

Tableau 34 : Remboursement des dettes (en Ariary)

Année	Capital au début de la période (V_0)	Intérêts 12% (I)	Amortissement (m)	Annuité (m+I)	Capital restant dû ($V_0 - m$)
N	60 850 000	0	0	0	60 850 000
N+1	60 850 000	7 302 000	12 170 000	19 472 000	48 680 000
N+2	48 680 000	5 841 600	12 170 000	18 011 600	36 510 000
N+3	36 510 000	4 381 200	12 170 000	16 551 200	24 340 000
N+4	24 340 000	2 920 800	12 170 000	15 090 800	12 170 000
N+5	12 170 000	1 460 400	12 170 000	13 630 400	0

Ce tableau présente un double intérêt :

- Il est indispensable pour tous nos comptes de gestion,
- Il est un outil indispensable pour les investisseurs de s'assurer le retour de son capital investi.



II.4 Comptes de gestion

II.4.1 Les comptes de charge

II.4.1.1 Les achats

Les achats regroupent les achats des réactifs et matières consommables.

a. Achats des matières premières et des réactifs

Tableau 35 : Achats des matières premières et des réactifs

Désignations	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Matières premières						
Banane	0	2 400 000	2 400 000	3 300 000	4 320 000	4 320 000
Réactifs	0	1 708 500	1 708 500	1 887 145	2 058 700	2 058 700
TOTAL	0	4 108 500	4 108 500	5 187 145	6 378 700	6 378 700

b. Autres approvisionnements

Pour les autres approvisionnements, nous avons prévu les sommes suivantes pour les cinq années de fonctionnements.

Tableau 36 : Autres approvisionnements

Désignation	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Eaux et électricité	0	8 400 000	8 400 000	9 600 000	10 800 000	10 800 000

II.4.1.2 Les charges externes

Ils sont constitués par l'entretien, le transport et la publicité.

Tableau 37 : Charges externes (en Ariary)

Les charges externes	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Entretien	0	0	0	900 000	0	0
Transport	0	2 500 000	2 500 000	3 000 000	3 500 000	3 500 000
Publicité	0	120 000	100 000	200 000	100 000	200 000
TOTAL	0	2 620 000	2 600 000	4 100 000	3 600 000	3 700 000



III.4.1.3 Impôts et taxes

Pour la première année de fonctionnement, nous avons effectué une prévision de 400 000 Ariary pour la taxe professionnelle et 250 000 Ariary pour les taxes diverses. Et il y a une hausse de ces impôts, selon nos activités, pour les années restantes d'après le tableau suivant :

Tableau 36 : Impôts et taxes diverses

Désignation	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Taxe professionnelle	0	400 000	400 000	500 000	600 000	600 000
Taxes diverses	0	250 000	250 000	450 000	650 000	650 000
TOTAL	0	650 000	650 000	950 000	1 250 000	1 250 000

II.4.1.4 Charges de personnel

Le salaire est fonction de catégorie du poste de travail et il y a une augmentation de salaire de 10% à partir de l'année 3.

Tableau 38 : Récapitulation des charges (en Ariary)

Charges par nature	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Achats des matières premières	0	2 400 000	2 400 000	3 300 000	4 320 000	4 320 000
Autres approvisionnement	0	8 400 000	8 400 000	9 600 000	10 800 000	10 800 000
Charges externes	0	2 620 000	2 600 000	4 100 000	3 600 000	3 700 000
Impôts et taxes	0	650 000	650 000	950 000	1 250 000	1 250 000
Charges du personnel	0	29 256 000	29 256 000	32 181 600	35 107 200	38 032 800
Charge financière	0	7 302 000	5 841 600	4 381 200	2 920 800	1 460 400
Total amortissements	0	4 665 000				
TOTAL des charges	0	55 293 000	53 812 600	59 177 800	62 663 000	64 228 200

II.4.2 Le compte de produit

Ce compte enregistre les ressources représentant un enrichissement pour la société. Dans notre projet, cette ressource est représentée par le chiffre d'affaires réalisé pendant les cinq années de fonctionnement par la production de l'éthanol accompagnée de la drêche et le CO₂ d'après le tableau 24 ci dessus.



CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE FINANCIERE DU PROJET

III.1 Compte de résultat prévisionnel

Le compte de résultat prévisionnel est destiné à apprécier les conséquences des actions prévues sur l'activité et la formation du résultat de l'entreprise pour l'année à venir. Il permet également :

- de mesurer l'équilibre dans la formation du résultat compte tenu de l'ensemble des activités,
- de contrôler la réalisation des budgets avec les données réelles du compte de résultat pour la même période.

Le compte de résultat prévisionnel fait apparaître les résultats prévisionnels.

Nous envisageons deux types de compte de résultat à savoir : le compte de résultat par nature et le compte de résultat par fonction.



III.1.1 Compte de résultat prévisionnel par nature

Tableau 39 : Compte de résultat prévisionnel par nature (Unité monétaire : en Ariary)

RUBRIQUES	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Chiffre d'affaires	-	65 195 100	71 422 748	85 429 133	99 269 681	106 772 559
I- Production de l'exercice	-	65 195 100	71 422 748	85 429 133	99 269 681	106 772 559
Achats consommés	0	4 108 500	4 108 500	5 187 145	6 378 700	6 378 700
Autres approvisionnements	0	8 400 000	8 400 000	9 600 000	10 800 000	10 800 000
II- Consommations de l'exercice	0	12 508 500	12 508 500	14 787 145	17 178 700	17 178 700
III- Valeur ajoutée d'exploitation (I-II)	0	52 686 600	58 914 248	70 641 988	82 090 981	89 593 859
Charges de personnel	0	29 256 000	29 256 000	32 181 600	35 107 200	38 032 800
Impôts, taxes et versements assimilés	0	650 000	1 250 000	1 450 000	1 850 500	1 850 500
IV- Excèdent brut d'exploitation	0	22 780 600	28 408 248	37 010 388	45 133 781	49 710 559
Dotations aux amortissements	0	4 665 000	4 665 000	4 665 000	4 665 000	4 665 000
V- Résultat opérationnel	0	18 115 600	23 743 248	32 345 388	40 468 781	45 045 559
VI- Résultat financier	0	7 302 000	5 841 600	4 381 200	2 920 800	1 460 400
VII- Résultat avant impôts (V+VI)	0	10 813 600	17 901 648	27 964 188	37 547 981	43 585 159
Total des produits des activités	0	65 195 100	71 422 748	85 429 133	99 269 681	106 772 559
Total des charges des activités	0	55 293 000	53 812 600	59 177 800	62 663 000	64 228 200
VIII- Résultat Net de l'exercice	0	9 902 100	17 610 148	26 251 333	36 606 681	42 544 359

III.1.2 Compte de résultat prévisionnel par fonction

Tableau 40: Compte de résultats par fonction (en Ariary)

RUBRIQUES	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Production des activités ordinaires	0	65 195 100	71 422 748	85 429 133	99 269 681	106 772 559
Coût des ventes	0	12 508 500	12 508 500	14 787 145	17 178 700	17 178 700
Marge brute	0	52 686 600	58 914 248	70 641 988	82 090 981	89 593 859
Charges administratives	0	29 256 000	29 256 000	32 181 600	35 107 200	38 032 800
Résultat opérationnel	0	18 115 600	23 743 248	32 345 388	40 468 781	45 045 559
Charges financières	0	7 302 000	5 841 600	4 381 200	2 920 800	1 460 400
Résultat avant impôts	0	10 813 600	17 901 648	27 964 188	37 547 981	43 585 159
Résultat Net de l'exercice	0	9 902 100	17 610 148	26 251 333	36 606 681	42 544 359

Nous remarquons que notre projet est rentable car les comptes de résultats et les bilans nous donnent des résultats positifs. Pour être bien précis, nous devons passer à l'évaluation du projet

III.2 Evaluation du projet

L'évaluation du projet consiste à examiner les coûts, les paramètres et les résultats du projet afin de connaître sa rentabilité et sa faisabilité dans les domaines financier, économique et social.

III.2.1 Evaluation financière

Un projet est rentable financièrement s'il atteint ses objectifs et notamment s'il réalise des bénéfices et peut honorer les dettes au moment voulu. La mesure de la rentabilité financière d'un projet comprend plusieurs variables dont principalement :

- La valeur actuelle nette ou VAN,
- le taux de rentabilité interne (TRI),
- et la durée de récupération des capitaux investis (DRCI).

III.2.1.1 Valeur Actuelle Nette (VAN)

C'est un autre critère d'évaluation de la rentabilité des ressources au projet. La valeur actuelle nette permet de juger si l'investissement est acceptable ou non, par l'expression des cash-flows au moment de l'évaluation à l'aide du taux d'intérêt de l'emprunt.

La VAN est représentée par la formule suivante :

$$VAN = \sum_{j=1}^n MBA (1 + i)^{-j} - I_0$$

Soient MBA : Marge Brute d'autofinancement

i : Taux d'actualisation 12%

n : durée

I₀ : Montant de l'investissement

Tableau 41 : Calcul de la VAN

Désignation	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Résultat net de l'exercice	0	9 902 100	17 610 148	26 251 333	36 606 681	42 544 359
Amortissements	0	4 665 000	4 665 000	4 665 000	4 665 000	4 665 000
MBA	0	14 567 100	22 275 148	30 916 333	41 271 681	47 209 359
$(1+i)^{-n}$	1	0,8928	0,7972	0,7118	0,6355	0,5674
MBA actualisée	0	13 005 507	17 757 748	22 006 624	26 228 153	26 786 590
MBA Cumulée	0	13 005 507	30 763 255	52 769 879	78 998 032	105 784 622

D'après ce tableau, nous avons trouvé une Valeur Actuelle Nette de :

VAN = 105 784 622 – 61 550 000 = 44 234 622 Ariary.

VAN = 44 234 622 Ariary

Nous pouvons conclure que ce projet sera rentable et viable car le montant de la valeur actuelle nette est largement supérieur à zéro soit 44 234 622 Ariary. Avec lequel, la société peut s'endetter d'avantage.

III.2.1.2 Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le taux de rentabilité interne correspond au taux d'actualisation qui ramène la VAN d'un projet à zéro. Ce point constitue le taux d'intérêt maximum pour que l'emprunt effectué ne conduise pas l'unité à une perte.

Nous allons donc déterminer le taux qui égalise la valeur actuelle nette à zéro. Appelons t ce taux.

Tableau 42 : Calcul du TRI (en Ariary)

Année	MBA	$(1+i)^{-n}$	MBA Actualisée au taux de 12%	$(1+i)^{-n}$	MBA Actualisée au taux de 35 %
N	0	1	0	1	0
N+1	14 567 100	0,8928	13 005 507	0,740	10 779 654
N+2	22 275 148	0,7972	17 757 748	0,548	12 206 781
N+3	30 916 333	0,7118	22 006 624	0,406	12 552 031
N+4	41 271 681	0,6355	26 228 153	0,301	12 422 776
N+5	47 209 359	0,5674	26 786 590	0,223	10 527 687
MBA Actualisée cumulée			105 784 622		58 488 929
Investissements			61 550 000		61 550 000
VAN			44 234 622		- 3 061 071

Il ressort de ce tableau que le taux est compris entre 12% et 35%. En faisant une interpolation linéaire, nous avons les relations suivantes :

$$44 234 622 > 0 > - 3 061 071$$

$$12 \% > t > 35 \%$$

$$\frac{35 - 12}{t - 12} = \frac{- 3 061 071 - 44 234 622}{0 - 44 234 622}$$

$\text{TRI} = 33,51 \%$

Nous avons trouvé que le taux de rentabilité interne est supérieur à 12 %, taux d'intérêt de l'emprunteur. Ainsi l'entreprise dispose encore une marge de sécurité de 21,51 % pour emprunter. Donc nous pouvons dire encore que notre projet sera rentable.

III.2.1.3 Délai de Récupération des Capitaux Investis (DRCI)

Il s'agit du temps nécessaire pour que le total des recettes procurées par le projet atteigne le montant des investissements réalisés. En d'autre terme, c'est le nombre d'années au cours desquelles le projet procure suffisamment des ressources afin que la somme investie soit récupérée.

Tableau 43 : Calcul de la DRCI (en Ariary)

Désignation	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
MBA	0	14 567 100	22 275 148	30 916 333	41 271 681	47 209 359
$(1+i)^{-n}$	1	0,8928	0,7972	0,7118	0,6355	0,5674
MBA actualisée	0	13 005 507	17 757 748	22 006 624	26 228 153	26 786 590
MBA Cumulée	0	13 005 507	30 763 255	52 769 879	78 998 032	105 784 622

Ce tableau nous met en relief que le montant des investissements est compris entre le cumul du cash-flow de la 4^{ème} année et du 5^{ème} année. En désignant par d la durée de récupération de capital investi, nous avons la relation suivante:

$$\text{MBA cumulée} : 52 769 879 < 61 550 000 < 78 998 032$$

$$\text{Année} : 3 < d < 4$$

En appliquant la méthode d'interpolation linéaire, le délai de récupération est :

$$\frac{4 - 3}{d - 3} = \frac{78 998 032 - 52 769 879}{61 550 000 - 52 769 879}$$

D'où $d = 3,33$

DRCI = 3,33

L'investissement initial sera récupéré après : 3 ans, 3 mois et 12jour, C'est-à-dire, le capital investi sera récupéré à la date du 12 Mars de l'année 3.

Cela nous permet de dire que la réalisation est plus vite que prévue. Donc nous pouvons dire que notre projet est rentable.

III.2.1.4 Indice de profitabilité (IP)

L'indice de profitabilité est représenté par le rapport entre la somme des MBA actualisées cumulées et la somme des capitaux investis.

$$IP = \sum_{J=1}^n \frac{MBA (1+t)^j}{C}$$

$$IP = \frac{105\ 784\ 622}{61\ 550\ 000}$$

L'IP est supérieur à l'unité, soit 1,72 ; ce qui signifie qu'un Ariary de capitaux investis génère une marge bénéficiaire de Ar 0,72. Tous cela nous permet de dire que la réalisation de ce projet sera rentable.

Conclusion

Cette troisième partie nous a conduit à l'étude de faisabilité financière de notre projet. Elle a fait dégager, après différents calculs, le fonds nécessaire pour le démarrage du projet. La société doit effectué un emprunt auprès d'une institution financière une grande partie de cette somme pour pouvoir démarrer le projet. En effet, nous avons effectué les calculs des différentes charges ainsi que les produits obtenus par la société pour pouvoir faire sortir les comptes de résultat prévisionnel et le bilan prévisionnel. Et finalement, l'évaluation du projet sur le plan financier, a prouvé la rentabilité et la viabilité du projet : elle a trouvé une VAN largement positif, un TRI largement supérieur au taux d'emprunt, un IP supérieur à l'unité et une DRCI inférieure au délai d'emprunt. Le projet est donc rentable et viable.

III.2.2 Evaluation sociale

L'évaluation sociale d'un projet consiste à déterminer la contribution de la nouvelle société au développement social, non seulement de la région mais aussi de la nation. En effet, la réalisation de ce projet aura des impacts positifs sur la vie de certaines personnes de la région ainsi que sur la vie de la nation.

III.2.2.1 Crédation d'emploi

Au niveau régional, l'installation de ce projet signifie création d'emploi pour certains habitants de la région. En effet, l'embauche de ces quelques salariés participe à l'amélioration de leur niveau de vie et cela entraîne une augmentation de leur pouvoir d'achat. De plus, les informations et les formations acquises, durant la vie du projet, améliorent le niveau de connaissances et de la technicité du personnel. Il y a, à cet effet, un transfert de savoir faire et des compétences techniques qui leur permettent de se développer au niveau du travail.

Au niveau national, la création d'entreprise signifie création d'emploi et cela contribue à la réduction du taux de chômage.

Bref, la réalisation de ce projet participe à la lutte contre la pauvreté à Madagascar.

III.2.2.2 Protection de l'environnement

Sur le plan environnemental, l'utilisation en tant que carburant pourrait contribuer à l'amélioration de notre environnement car il y aura une diminution de taux de gaz carbonique.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

Ce travail nous a permis de mettre en exergue d'autres possibilités de production d'alcool à partir des substrats autres que le manioc, la canne à sucre, la betterave... Et dans ce cas, nous avons pris le banane dessert comme matières premières.

Ces expériences nous ont permis d'affirmer que la fermentation alcoolique de la banane dessert a été tout à fait possible.

Après la recherche bibliographique qui nous rassemble l'étude théorique concernant l'obtention de la farine, nous avons fait l'analyse préliminaire de nos matières premières en vue de déterminer la teneur en eau, l'acidité et la teneur en amidon et es résultats obtenus sont respectivement égal à 63,18%, 0,21% et 11,13 %. En ce qui concerne l'hydrolyse, nous allons appuyer le procédé enzymatique sous l'action des hydrolases de paddy dans des conditions optimales de pH = 4,5 et de température 55°C. Le rendement de conversion maximal 68,66 % des sucres réducteurs a été obtenu avec une concentration initiale de farine de banane 60g/l.

La partie fermentation a consisté en la transformation des sucres fermentescibles obtenus en alcool par la souche de levure *Saccharomyces cerevisiae* sous la forme commerciale dans les conditions. Après distillation suivie d'une rectification, nous avons trouvé une degré alcoolique 62,5°GL et l'analyse de la qualité de l'alcool permet de détecter la présence des alcools secondaires.

Ce projet de fabrication de l'alcool à l'échelle industrielle a répondu parfaitement aux conditions exigées par les outils d'évaluation économique pour juger la rentabilité et la viabilité d'un projet. Nous avons dégagé une VAN de Ar 44 234 622 qui est strictement positive .Cela nous amène à conclure que la société va réussir à récupérer le capital investi, rémunérer les fonds immobilisés et dégager des surplus. En plus de cela, le TRI que nous avons trouvé est 33,51 % supérieur à 12 %, taux d'intérêt de l'emprunt ; ainsi, l'entreprise dispose encore une marge de sécurité de 21,51 % pour emprunter. Concernant la DRCI, l'investissement initial sera récupéré après 3 ans 3 mois et 11 jours c'est-à-dire à la date du 11 Mars de l'année 3. Et aussi, nous avons trouvé un IP de 1,71 qui est supérieur à l'unité ; cela signifie qu'un Ariary de capitaux investis génère une marge bénéficiaire de Ar 0,71.

Enfin, les différents outils d'évaluation calculés montrent que notre projet est rentable et faisable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] ALBERT L. LEHNINGER: « Biochemistry: Chapter 11Sugars, storage polysaccharides and cell walls».1970. 217 Pages

[2] RAHERIMANDIMBY Marson : « Etude de la fermentation alcoolique par la souche de la levure floculant : *Saccharomyces Cerevisiae* NRRLY 265. [Thèse de doctorat d'Etat]. Université d'Antananarivo 1991.

[3] AFNOR. Fruits et légumes. Première édition 1982. Page : 64 – 70

[4] RAMAHATORAKA Ando Harivola : « Valorisation de quatre variétés de bananes dans l'alimentation infantile » [Mémoire de D.E.A] Faculté des Sciences 2007

[5] Alain Arnaud et Joseph - Pierre G. : « Métabolisme microbien »
In Scriban R. Biotechnologie. Paris Technique et documentation. Lavoisier1999.
5^{ème}édition. Page 63, 69 et 78.

[6] ANDRIAMAHANDRY Soloheré Siméon : « Contribution à la valorisation des bananes : fabrication de vin de banane » [Mémoire ingénierat] E.S.P.A. 2007.

[7] P.HUBERT : « Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale » Tome1. Pages 1 – 28.

[8] Martine Francois : « Transformer les fruits tropicaux » 1993.

[9] Gérard –Fernand C. : « Réacteurs enzymatiques à enzymes libres : cas des industrie de l'amidon »
In Scriban R. Biotechnologie. Paris Technique et documentation. Lavoisier1999.
5^{ème}édition. Page 401- 405, 409

[10] Document Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de Pêcherie (M.A.E.P) : « The Word Banana economy » 1985-2002. FAO 2003.

[11] ANDRIANARISOA Giovanni : « Contribution à la valorisation du son de riz ». [Mémoire Ingéniorat] 2004. E.S.P.A.

[12] Document M.A.E.P : « Calendrier agricole ». Mars 2001.

[13] Leveau J.Y Bouix M. : « Cinétiques microbiennes »
In Scriban R. Biotechnologie. Paris Technique et documentation - Lavoisier 1982.
Rivière les applications industrielles de la microbiologie. Paris. 204 Pages

[14] Encarta 2005

[15] Dewey D, Ryu Y., Kim Y. et Jim J.H: « Effet of an supplement on the performance of continuous ethanol fermentation system ». Biotechnologies 1984; 26: 12-16 pages.

[16] ANDRIANARISON T.E. : « Contribution à la valorisation des ressources naturelles malgaches : fermentation alcoolique du manioc variété Madarasy » [Mémoire D.E.A] Faculté des Sciences. 1999

[17] ALBERT L. LEHNINGER: « Biochemistry: chapter 8 enzymes Kinetics and inhibition».1970. Page 147

[18] PAUL Baud : « Traité de chimie industrielle » 1951. 1148 Pages

[19] ALBERT L. LEHNINGER: « Biochemistry : chapter 15 Glycolysis».1970. Page 313.

[20] RASOANAIIVO Philippe : « Cours Biochimie 5ème Année Génie Chimique 2006 - 2007».E.S.P.A

[21] André Etienne : « Cours de Conservatoire National des Arts et Métiers ».Chimie Industrielle. Procédés fondamentaux de l'industrie : Hydrolyse et Ammonolyse.1964. Page 91, 101-104

[22] RODOLF Kaiser : « Gas Phase Chromatography ».Volume.1963

[23] AFNOR : « Contrôle de la qualité des produits alimentaires ». Méthodes d'analyses officielles. 1^{ère} édition. Paris Saint Jean de Baye.1989. 451Pages

[24] DARKUAOUÏ A., JINORO J. : « Technique du processus d'obtention du glucose à partir des féculles de manioc ». [Mémoire Ingénierat].E.S.P.A.1985.

[25] Moll. M : « Bières et coolers ». Paris : Lavoisier Technique et Documentation 1991. 516Pages (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).

[26] UNIFEM : « Transformation des racines et tubercules ». Manuel des technologies de cycle alimentaire. New York. UNIFEM.1989.79 Pages.

[27] Bocquet J. : « Généralités sur les microorganismes : les levures »
In Scriban R. Biotechnologie. Paris Technique et documentation. Lavoisier1984.
2^{ème}édition. Page 30.

[28] DELANOE D., MAILLARD C., MAISONDIEU D. « le vin de l'analyse à l'élaboration ». 1990. 168 Pages

[29] LARPENT J.P « Microbiologie alimentaire ». Technique de laboratoire. Paris. Page 1073

ANNEXES

DETERMINATION DU TITRE DE LIQUEUR DE FEHLING : T

Réactifs

- Solution de glucose 1% (p/v)
- Liqueur de Fehling A 10 ml
- Liqueur de Fehling B 10 ml
- Liqueur de Fehling C 5 ml

Mode opératoire

En premier lieu, versé dans une burette la solution étalon de glucose. Ensuite, 10ml de L F A, 10 ml L.F B et 5 ml L.F C sont mélanges dans un bécher et portés à une douce d'ébullition. Puis, la solution de glucose est versée goutte à goutte dans la solution de liqueur de Fehling. Cette dernière est maintenue à l'ébullition et agitée de temps en temps, la teinte de la liqueur bleue est virée en vert puis en jaune. Lorsque, la teinte de la solution change brusquement en brun on arrête le dosage.

Soit N : le volume de la solution de glucose 1% versée lors du titrage

Il ressort que : 100 ml de la solution étalon contient 1g de glucose ;

1 ml de la solution étalon contient 0,01g de glucose ;

N ml de la solution étalon contient N 0,01g de glucose.

D'où le titre de la liqueur de Fehling :

$$T = N * 0,01$$

**Tables de proportion volumiques éthanol eau à 20°C publiée par
l'Organisation Internationale de Métrologie Légale**

Densité 20 D_{20}	% en poids éthanol	% en volume éthanol	Densité 20 D_{20}	% en poids éthanol	% en volume éthanol
1,000000	0	0,0	0,96901	21	25,7
0,99813	1	1,3	0,96763	22	26,9
0,99629	2	2,5	0,96624	23	28,1
0,99451	3	2,8	0,96483	24	29,2
0,99279	4	5,0	0,96339	25	30,4
0,99113	5	6,2	0,96190	26	31,6
0,98955	6	7,5	0,96037	27	32,7
0,98802	7	8,7	0,95880	28	33,9
0,98653	8	10,0	0,95717	29	35,1
0,98505	9	11,2	0,95551	30	36,2
0,98361	10	12,4	0,95381	31	37,4
0,98221	11	13,6	0,95207	32	38,5
0,98054	12	14,8	0,95028	33	39,6
0,97948	13	16,1	0,94847	34	40,7
0,97816	14	17,3	0,94662	35	41,9
0,97687	15	18,5	0,94473	36	43,0
0,97560	16	19,7	0,94281	37	44,1
0,97431	17	20,9	0,94086	38	45,2
0,97301	18	22,1	0,93886	39	46,3
0,97169	19	23,3	0,93684	40	47,4
0,97036	20	24,5			

Densité 20 D_{20}	% en poids éthanol	% en volume éthanol	Densité 20 D_{20}	% en poids éthanol	% en volume éthanol
0,93479	41	48,4	0,89040	61	68,6
0,93272	42	49,5	0,88867	62	69,6
0,93062	43	50,6	0,88574	63	70,5
0,92849	44	51,6	0,88339	64	71,5
0,92636	45	52,6	0,88104	65	72,4
0,92421	46	53,7	0,87869	66	73,3
0,92204	47	54,7	0,87632	67	74,2
0,91986	48	55,8	0,87396	68	75,1
0,91766	49	56,8	0,87158	69	76,0
0,91546	50	57,8	0,86920	70	76,9
0,91322	51	58,8	0,86680	71	77,8
0,91097	52	59,8	0,86440	72	78,6
0,90872	53	60,8	0,86200	73	79,5
0,90645	54	61,8	0,85958	74	80,4
0,90418	55	62,8	0,85716	75	81,2
0,90191	56	63,8	0,85473	76	82,1
0,89962	57	64,8	0,85230	77	83,0
0,89733	58	65,8	0,84985	78	83,8
0,89502	59	66,8	0,84740	79	84,6
0,89271	60	67,7	0,84494	80	85,2

Densité 20 D_{20}	% en poids éthanol	% en volume éthanol
0,84245	81	86,2
0,83997	82	87,1
0,83747	83	87,9
0,83496	84	88,7
0,83242	85	89,5
0,82987	86	90,2
0,82729	87	91,0
0,82469	88	91,8
0,82207	89	92,5
0,81942	90	93,2
0,81647	91	94,0
0,81401	92	94,7
0,81127	93	95,4
0,80848	94	96,1
0,80567	95	96,7
0,80280	96	97,4
0,79988	97	98,1
0,79688	98	98,7
0,79383	99	99,3
0,79074	100	100,0

TABLES DES MATIERES

SOMMAIRE

LISTES DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION..... 1

PARTIE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA PLANTE	2
I.1 GENERALITES ET HISTORIQUES DE LA BANANE	2
I.2 SYSTEMATIQUE DE LA BANANE	2
I.3 VARIETES DE BANANES EXISTE A MADAGASCAR	3
I.4 ECOLOGIE	4
<i>I.4.1 Besoin en chaleur.....</i>	<i>4</i>
<i>I.4.2 Besoin en eau</i>	<i>4</i>
<i>I.4.3 Besoin en lumière.....</i>	<i>4</i>
<i>I.4.4 Besoin en sol</i>	<i>4</i>
<i>I.4.5 Besoin en altitude.....</i>	<i>4</i>
I.5 REPARTITION GEOGRAPHIQUE	4
I.6 PRODUCTION MONDIALE DE LA BANANE DESSERT.....	8
I.7 VALEUR NUTRITIONNEL ET COMPOSITION CHIMIQUE	8
I.8 MULTIPLES USAGES DES BANANES.....	9
<i>I.8.1 Dans l'alimentation classique de l'homme.....</i>	<i>9</i>
<i>I.8.2 Dans le domaine thérapeutique de l'homme</i>	<i>9</i>
<i>I.8.3 Autre utilisation du bananier et de la banane</i>	<i>9</i>

CHAPITRE II : HYDROLYSE.....	11
II.1 GLUCOSE	11
II.1.1 <i>Généralités.....</i>	11
II.1.2 <i>Structures et propriétés</i>	11
II.1.3 <i>Application de glucose.....</i>	12
II.2 HYDROLYSE DE L'AMIDON.....	12
II.2.1 <i>Généralités sur l'amidon</i>	12
II.2.2 <i>Méthode d'hydrolyse</i>	13
II.2.2.1 Hydrolyse en présence d'un acide	14
a.L'hydrolyse acide ou acidification	14
b.L'hydrolyse partielle en présence d'un acide	14
II.2.2.2 Hydrolyse enzymatique	14
II.2.2.3 Comparaison de l'hydrolyse acide et enzymatique	15
II.2.3 <i>Hydrolyse purement enzymatique.....</i>	15
II.2.3.1 Enzyme	15
II.2.3.2 Enzymes responsables de l'hydrolyse	15
a. α -amylase.....	15
b. β – amylase.....	16
c.Amyloglucosidase	16
d.Enzyme débranchant ou isoamylase-pullulinase.....	16
II.2.3.3 Condition optimales des enzymes	16
CHAPITRE III : FERMENTATION.....	17
III.1 DEFINITION.....	17
III.2 FERMENTATION ALCOOLIQUE	17
III.2.1 <i>Systématique de la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.....</i>	17
III.2.2 <i>Caractéristiques générale</i>	17

<i>III.2.3 Propriétés de la levure</i>	18
<i>III.2.4 Cultures de levure</i>	18
III.3 BIOCHIMIE DE LA FERMENTATION CHEZ <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i>	19
III.4 FACTEURS AFFECTANT LA FERMENTATION ALCOOLIQUE	21
<i>III.4.1 Paramètres physico- chimiques</i>	21
III.4.1.1 Température	21
III.4.1.2 Agitation.....	21
III.4.1.3 pH	21
III.4.1.4 Ethanol	22
III.4.1.5 CO ₂	22
III.4.1.6 Concentration en substrat carboné	22
III.4.1.7 Teneur en oxygène	22
III.5 PRODUIT DE LA FERMENTATION.....	22
<i>III.5.1 Produit principale</i>	22
<i>III.5.2 Produits secondaires</i>	23
III.5.2.1 Glycérol	23
III.5.2.2 Méthanol.....	23
III.5.2.3 Alcools supérieurs	23
III.5.2.4 Esters	24
III.5.2.5 Acide acétique	24
III.5.2.6 Aldéhyde formique.....	24
III.5.2.7 Acide succinique	24
CHAPITRE IV : DISTILLATION	25
IV.1 DEFINITION	25
IV.2 PRINCIPE	25
IV.3 TYPES DE DISTILLATION.....	25

IV.3.1 <i>Selon leur mode d'alimentation et de soutirage</i>	25
IV.3.1.1 Distillation continue.....	25
IV.3.1.2 Distillation discontinue	25
IV.3.2 <i>Selon leur mode de fonctionnement</i>	26
IV.3.2.1 Distillation simple	26
IV.3.2.2 Distillation en colonne binaire	26
IV.3.2.3 Distillation complexe	26
IV.3.2.4 Distillation en colonne complexe.....	26
IV.4 NOTIONS FONDAMENTALES SUR LA DISTILLATION	27
IV.4.1 <i>Etat d'équilibre liquide vapeur</i>	27
IV.4.2 <i>Tension de vapeur d'un corps pur</i>	27
IV.4.3 <i>Point de bulle</i>	27
IV.4.4 <i>Point de rose</i>	27

PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE I : OPERATION PRELIMINAIRES.....	28
I.1 FABRICATION DE LA FARINE DE BANANE DESSERT	28
I.1.1 <i>Matière végétal</i>	28
I.1.2 <i>Matériels</i>	28
I.1.3 <i>Méthode</i>	29
I.2 DETERMINATION DU TAUX D'HUMIDITE DE LA FARINE DE BANANE	30
I.2.1 <i>Définition</i>	30
I.2.2 <i>Matériels</i>	30
I.2.3 <i>Méthode</i>	30
I.2.4 <i>Expression du résultat</i>	30
I.3 DETERMINATION DE L'ACIDITE DE LA FARINE	31

<i>I.3.1 Principe</i>	31
<i>I.3.2 Réactifs</i>	31
<i>I.3.3 Matériels</i>	31
<i>I.3.4 Mode opératoire</i>	31
I.4 DETERMINATION DE LA TENEUR EN AMIDON DE LA FARINE	31
<i>I.4.1 Principe</i>	31
<i>I.4.2 Réactifs mise en œuvre</i>	32
<i>I.4.3 Matériels</i>	32
<i>I.4.4 Méthode</i>	32
CHAPITRE II : HYDROLYSE ENZYMATIQUE DE LA BANANE	33
II.1 PRINCIPE	33
II.2 MATERIELS	33
II.3 MÉTHODE	33
<i>II.3.1 Elaboration des enzymes hydrolases</i>	33
II.3.1.1 Trempage du paddy	33
II.3.1.2 Germination	33
II.3.1.3 Préparation du lait de malt.....	34
<i>II.3.2 Gélification</i>	34
<i>II.3.3 Hydrolyse proprement dite</i>	34
II.4 DOSAGE DES SUCRES PAR LIQUEUR DE FEHLING	35
<i>II.4.1 Principe</i>	35
<i>II.4.2 Défécation</i>	35
<i>II.4.3 Mode opératoire</i>	35
II.5 OPTIMISATION DES PARAMETRES D'HYDROLYSE ENZYMATIQUES	36
II. 6 RENDEMENT D'HYDROLYSE	36
II.7 TRAITEMENT DES PRODUITS D'HYDROLYSE	36

CHAPITRE III : FERMENTATION ALCOOLIQUE	37
III.1 MATERIELS.....	37
<i>III.1.1 Bioréacteur.....</i>	<i>37</i>
<i>III.1.2 Substrat.....</i>	<i>37</i>
<i>III.1.3 Souche</i>	<i>37</i>
III.2 MILIEU CULTURE	37
<i>III.2.1Ensemencement et pré culture.....</i>	<i>37</i>
<i>III.2.2 Culture.....</i>	<i>37</i>
III.3 DETERMINATION DU TITRE ALCOOLIMETRIQUE	38
<i>III.3.1 Matériels utilisés</i>	<i>38</i>
<i>III.3.2 Mode opératoire</i>	<i>38</i>
III.4 CONDITION DE FERMENTATION	38
III.5 EVOLUTION DE LA FERMENTATION.....	39
<i>III.5.1 Densité du mout pendant la fermentation</i>	<i>39</i>
<i>III.5.1.1 Principe.....</i>	<i>39</i>
<i>III.5.1.2 Mode opératoire</i>	<i>39</i>
<i>III.5.2 Evolution de la température</i>	<i>39</i>
CHAPITRE IV: QUALITES DE PRODUITS OBTENUS.....	40
IV.1 DETERMINATION DE L 'ACIDITE TOTAL ET DE L'ACIDITE VOLATIL.....	40
<i>IV.1.1 Principe</i>	<i>40</i>
<i>IV.1.2 Méthode</i>	<i>40</i>
IV.2 ETUDE DE LA COMPOSITION EN ALCOOLS	40
<i>IV.2.1 Définition.....</i>	<i>40</i>
<i>IV.2.2 Principe</i>	<i>41</i>
<i>IV.2.3 Description de l'appareil</i>	<i>41</i>
<i>IV.2.4 Conditions opératoires.....</i>	<i>41</i>

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUE DU FARINE	42
I.1 MESURE DE L 'HUMIDITE	42
I.1.1 <i>Résultats</i>	42
I.1.2 <i>Interprétation</i>	42
I.2 MESURE DE L'ACIDITE EN H ₂ SO ₄	43
I.2.1 <i>Résultat</i>	43
I.2.2 <i>Interprétation</i>	43
I.3 MESURE DU TENEUR EN AMIDON	43
I.3.1 <i>Résultat</i>	43
I.3.2 <i>Interprétation</i>	43
CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION SUR L'OPTIMISATION DE L'HYDROLYSE.....	44
II.1 EFFET DU PH SUR L'HYDROLYSE	44
II.1.1 <i>Résultats</i>	44
II.1.2 <i>Interprétation</i>	47
II.2 EFFET DE LA TEMPERATURE SUR L'HYDROLYSE	47
II.2.1 <i>Résultats</i>	47
II.2.2 <i>Interprétation</i>	51
II.3 EFFET DE LA CONCENTRATION SUBSTRAT.....	51
II.3.1 <i>Résultat</i>	51
II.3.2 <i>Interprétation</i>	52
II.4 RENDEMENT DE L'HYDROLYSE	53
II.5 CONCLUSION SUR L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE	53

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA FERMENTATION	54
III.1 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA DENSITE DU MOUT.....	54
<i>III.1.1 Résultat.....</i>	54
<i>III.1.2 Interprétation.....</i>	54
III.2 RESULTATS DE L'EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU MOUT.....	55
<i>III.2.1 Résultat.....</i>	55
<i>III.2.2 Interprétation.....</i>	55
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS SUR LA DISTILLATION.....	56
IV.1 CARACTERISTIQUE DU PRODUIT FINI.....	56
IV.2 RESULTATS DE L'ANALYSE DE L'ACIDITE TOTALE ET DE L'ACIDE VOLATILE	56
IV.3 RESULTAT D'ANALYSE PAR C.P.G	56
PARTIE IV : ETUDES FINANCIERES DU PROJET	
CHAPITRE I : CAPACITE DE PRODUCTION ENVISAGEE.....	59
I.1 PLANNING DE PRODUCTION	59
<i>I.1.1 Rendements</i>	59
I.1.1.1 Production	59
I.1.1.2 Chiffre d'affaires prévisionnelles de production d'éthanol	59
I.1.1.3 Chiffre d'affaires prévisionnelles de la drêche	60
I.1.1.4 Chiffre d'affaires prévisionnelles du gaz carbonique CO ₂ anhydre.....	61
<i>I.1.2 Chiffre d'affaires prévisionnelles de la société pendant 5 années d'exploitation ...</i>	61
I.2 POLITIQUES DE REMUNERATION	62
CHAPITRE II : LES INVESTISSEMENTS.....	63
II.1 NATURE ET COUTS DES INVESTISSEMENTS	63
<i>II.1.1 Immobilisations</i>	63
II.1.1.1 Les immobilisations incorporelles	63
II.1.1.2 Les immobilisations corporelles	63

a.Terrain	63
b.Constructions.....	63
c.Matériel et mobilier de bureau	64
d.Equipements et matériels	64
e.Matériel informatique	64
II.2 TABLEAU D'AMORTISSEMENT	65
II.3 REMBOURSEMENT DES DETTES	66
II.4 COMPTES DE GESTION	67
<i>II.4.1 Les comptes de charge.....</i>	<i>67</i>
II.4.1.1 Les achats	67
a.Achats des matières premières et des réactifs	67
b.Autres approvisionnements	67
II.4.1.2 Les charges externes.....	67
III.4.1.3 Impôts et taxes	68
II.4.1.4 Charges de personnel.....	68
<i>II.4.2 Le compte de produit</i>	<i>68</i>
CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE FINANCIERE DU PROJET	69
III.1 COMPTE DE RESULTAT PREVISIONNEL	69
<i>III.1.1 Compte de résultat prévisionnel par nature.....</i>	<i>70</i>
<i>III.1.2 Compte de résultat prévisionnel par fonction.....</i>	<i>71</i>
III.2 EVALUATION DU PROJET	71
<i>III.2.1 Evaluation financière</i>	<i>71</i>
III.2.1.1 Valeur Actuelle Nette (VAN)	72
III.2.1.2 Taux de Rentabilité Interne (TRI)	73
III.2.1.3 Délai de Récupération des Capitaux Investis (DRCI).....	74
III.2.1.4 Indice de profitabilité (IP)	75

<i>III.2.2 Evaluation sociale</i>	75
III.2.2.1 Création d'emploi.....	76
III.2.2.2 Protection de l'environnement	76
CONCLUSION GENERALE.....	77
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	78

ANNEXES

Auteur : RABARIJAONA Falinirina

Adresse : Lot 11 C 20 Mahazina 110 – Antsirabe

Titre : CONTRIBUTION A L'ETUDE D'OBTENTION D'ALCOOL DU BANANE

Nombre de pages: 77 **Nombre de tableaux** : 43 **Nombre de figures** : 22

RESUME

Dans cet ouvrage, la production d'éthanol à partir de banane dessert avant maturité qui est une source de substrat autre que le manioc, le fruit à pain a été réalisé.

Pour mener à bien notre travail, nous avons consacré la première partie par une étude bibliographique. La seconde partie concerne l'étude expérimentale dont nous allons transformer la banane verte en farine, et d'élaborer tous les techniques et les méthodes d'analyse utilisées. Les résultats obtenus ont été présentés dans la troisième partie. Pour cela, la teneur en eau, l'acidité et le taux d'amidon dans la farine ont été effectués. D'après ces résultats, l'obtention des sucres réducteurs de la banane par l'action de l'enzyme paddy germé a été réalisée. Dans ce cas, nous avons obtenu un rendement d'hydrolyse 68,66 % à 60 g/l du substrat initial sous une température 55°C et du pH = 4,5.

Une culture discontinue par la souche de levure sèche active *Saccharomyces cerevisiae* sur le sirop obtenu a été fait. Et l'analyse de la qualité d'alcool permet de détecter l'éthanol est un produit majoritaire accompagnant des alcools supérieurs dont le degré alcoolique est de 62,5°GL

L'étude financière du projet de fabrication d'alcool à partir de la banane a prouvé la rentabilité et la faisabilité du projet parce que nous avons trouvé des résultats positifs dès la première année jusqu'à la cinquième année d'exploitation. L'investissement initial sera récupéré après 3 ans 3 mois et 12 jour ; cela correspond à un temps plus court que prévu (5 ans selon nos prévisions).

Mots clés : Banane dessert, amidon, paddy germé, hydrolyse enzymatique, fermentation alcoolique, *Saccharomyces cerevisiae*, alcool éthylique

ABSTRACT

In this work, the production of ethanol from banana before maturity that is a source of other substratum that cassava, the fruit with bread has been achieved.

To carry through our work, we dedicated the first left by a bibliographic survey. The second part concerns the experimental survey of which we are going to transform the green banana in flour, and to elaborate all technical and the methods of analysis used. The gotten results have been presented in the third part. For it, the content in water, the acidity and the rate of starch in flour has been done. According to these results, the obtaining of the reducing sugars of the banana by the action of the enzyme paddy germinated can be achieved. In this case, we got an output of hydrolysis 68.66% to 60 g/l of the initial substratum under a temperature 55°C and the pH = 4.5.

A discontinuous culture by the stump of yeast dry active *Saccharomyces cerevisiae* on the gotten syrup has been made. And the analysis of the quality of alcohol permits to detect the ethanol is a majority product coming with the superior alcohols whose alcoholic degree is of 62.5°GL.

The financial survey of the project of manufacture of alcohol from the banana proved the profitability and the feasibility of the project because we found positive results since the first year until the fifth year of exploitation. The initial investment will be recovered after 3 years 3 months and 12 day; it corresponds to one time shorter than foreseen (5 years according to our forecastings).

Key words: Banana, amidon, paddy germin, enzymatic hydrolysis, alcoholic fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, ethylic alcohol

Nom de l'encadreur : Monsieur RAKOTOMAMONJY Pierre