

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PARTIE 1. ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	3
<i>CHAPITRE 1. GENERALITE SUR LA PATATE DOUCE</i>	<i>4</i>
<i>CHAPITRE 2. GENERALITES SUR LES BOISSONS ALCOOLISEES</i>	<i>21</i>
<i>CHAPITRE 3. HYDROLYSE ENZYMATIQUE</i>	<i>28</i>
<i>CHAPITRE 4. LES PROCEDES DE FERMENTATION ALCOOLIQUE ET LA DISTILLATION</i>	<i>32</i>
PARTIE 2. ETUDES EXPERIMENTALES	41
<i>CHAPITRE 5. HYDROLYSE ENZYMATIQUE PAR LA METHODE DE MALTAGE</i>	<i>42</i>
<i>CHAPITRE 6. RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....</i>	<i>58</i>
<i>CHAPITRE 7. FERMENTATION ALCOOLIQUE</i>	<i>69</i>
<i>CHAPITRE 8. DISTILLATION</i>	<i>72</i>
PARTIE 3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES ET DISCUSSION	75
<i>CHAPITRE 9. PREMIERE COMPARAISON</i>	<i>76</i>
<i>CHAPITRE 10. DEUXIEME COMPARAISON</i>	<i>77</i>
PARTIE 4. ASPECT ENVIRONNEMENTAL.....	79
CONCLUSION	82

SIGLES ET ACRONYMES

A(%) : Taux d'amidon

ADP : Adénosine di-phosphate

ATP : Adénosine Tri-phosphate

Ci : Concentration initiale

Cf : Concentration finale

°C : Degré Celsius

DNS : Dinitro-salicylate

DO : Densité Optique

°GL : Gay-Lussac

g/l : Gramme par litre

H(%) : Taux d'humidité

R : Rendement

Rmax : Rendement maximal

P : Produit

pH : Potentiel d'hydrogène

rpm : rotation par minute

S : Substrat

SR : Sucres réducteurs

SRmax : Sucres réducteurs maximums

Sr : Sucres résiduels

t : Temps

T° : Température

V/V : Volume par volume

Vf : Volume final

V(rpm) : Vitesse d'agitation

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Dégradation de glucose par les levures en anaérobiose : Voie d'EMBDEN MEYRHOFF.....	33
Figure 2 : Gamme étalon de glucose	59
Figure 3 : Optimisation de la concentration initiale en substrat Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps pour différentes concentrations initiales en substrat.	60
Figure 4 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 4,34 pour différentes températures	61
Figure 5 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 5,34 pour différentes températures	61
Figure 6 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 6,34 pour différentes températures	62
Figure 7 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 100rpm pour différents pH	62
Figure 8 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 150rpm pour différents pH	63
Figure 9 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 200rpm pour différents pH	63
Figure 10 : Distillateur	72

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Fleurs et feuilles de patate douce	4
Photo 2 : Quelques variétés locales de feuille de patate douce	6
Photo 3 : Fleur de patate douce	14

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Valeur nutritive du tubercule frais</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 2 : Valeur nutritive des feuilles de la patate douce crues</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 3 : Les principaux éléments nécessaires à la fermentation</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 4 : Taux de la farine par rapport au poids des tubercules</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 5 : Mesure du taux de matière sèche de la farine de patate douce</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 6 : La teneur en amidon de la farine de patate douce</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 7 : Résumé des caractéristiques de la farine de patate douce</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 8 : Gamme étalon de glucose</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 9 : Récapitulatif des concentrations en sucre réducteur maximale et des rendements : optimisation de la concentration</i>	<i>64</i>
<i>Tableau 10 : Récapitulatif des conditions optimales de températures et pH sur les concentrations en sucre réducteur</i>	<i>64</i>
<i>Tableau 11 : Récapitulatif des conditions optimales de vitesse d'agitation et pH sur les concentrations en sucre réducteur</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 12 : Récapitulatif des conditions opératoires pour l'hydrolyse Enzymatique</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 13 : Les paramètres de la suivie de fermentation (lot I)</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 14 : Les paramètres de la suivie de fermentation (lot II)</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 15 : récapitulatif des résultats de la fermentation</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 16 : Comparaison de l'alcool obtenu avec d'autre méthode</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 17 : Comparaison avec différentes valeurs de teneur en amidon de plantes amylacées</i>	<i>77</i>

INTRODUCTION

La production d'alcool a toujours fait partie de l'histoire de l'Homme. Les arbres étaient les premiers à produire de l'alcool par fermentation vers le X^e siècle. Depuis ce temps, les connaissances et les techniques mises en œuvre pour la production de celui-ci n'a jamais cessé d'évoluer. Cependant depuis la découverte de plantes amylacées (tubercules, céréales, fruits) l'Homme a essayé de la valorisée pour produire d'alcool.

L'intérêt de notre travail réside dans le fait que, d'une part, la patate douce à Madagascar produit une quantité non négligeable de ce tubercule. D'autre part la patate douce pourrait servir à l'exploitation des richesses de cette plante en amidon pour produire des sirops de glucose, puis de l'alcool pour des utilités et des intérêts multiples.

Ainsi, l'étude devrait contribuer, à donner beaucoup plus de valeur ajoutée à cette plante, et d'autre part, au développement aussi bien des secteurs agroalimentaire, énergétique qu'économique.

L'objectif de la présente étude est d'examiner :

- La production de sirop de glucose à partir de patate douce par hydrolyse enzymatique utilisant la méthode de maltage.
- La productivité en alcool au cours de la fermentation alcoolique par la levure

Saccharomyces cerevisiae du sirop de glucose obtenu.

Bien que les procédés de transformation possibles de l'amidon soient nombreux, la voie enzymatique paraît la plus intéressante.

A cet effet, notre étude comprend quatre parties :

- Tout d'abord, une étude bibliographique sur la patate douce ;
- Ensuite, l'hydrolyse enzymatique en commençant par la fabrication de la farine laquelle servira de matériel d'études pour produire du sirop de glucose au dépens de l'action des enzymes du malt de paddy germé puis la fermentation alcoolique de l'hydrolysat ou sirop de glucose par la levure *Saccharomyces cerevisiae* ;
- Nous nous étalerons sur la comparaison avec d'autres études ;
- Enfin, l'aspect environnemental.

Mais force est de constater que la valorisation de nos ressources est insuffisante. Les produits agricoles non transformés ne génèrent que peu de valeur ajoutée. La création d'industries de transformation constitue donc un atout déterminant pour le décollage économique et pour l'avenir de notre pays.

PARTIE 1. ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1.GENERALITE SUR LA PATATE DOUCE

Cette plante est originaire d'Amérique Centrale et Latine. Elle est cultivée dans toutes les zones chaudes du globe. C'est une plante très facile à cultiver. Elle est herbacée, vivace et rampante. [1]

I.1.Etudes botaniques

I.1.1. Systématique de la plante [2]



Photo 1 : Fleurs et feuilles de patate douce

Règne : Végétal

Division : *Magnoliophyta*

Sous-classe : *Asteridae*

Ordre : *Solanales*

Famille : *convolvulaceae*

Genre : *Ipomoea*

Espèce : *Batatas*

Nom vernaculaire : Voamanga

I.1.2. Description morphologique de la plante [3] [4]

La plante a plusieurs tiges le plus souvent rampantes. Son feuillage recouvrant bien le sol a sur les pétioles verticaux des limbes horizontaux, fréquemment en forme de cœur plus ou moins lobés. Ses fleurs sont de petits tubes violacés foncés au centre et plus clair en bordure en forme de trompette, elles ne sont pas toujours présentes. C'est au niveau de la feuille que s'effectue la photosynthèse chlorophyllienne par absorption de la lumière et leur conversion en carbohydate. Les pétioles et les tiges transportent l'énergie transformée.

I.1.2.1. Les racines :

Elles partent toutes des nœuds de la bouture. On compte, sur chaque nœud, 2 à 4 grandes racines de 50 à 60 cm de longueur et une dizaine de racines plus petites atteignent 20 à 30 cm de long. Il se forme des racines adventives sur les nœuds des tiges en contact avec le sol. Toutes ces racines portent de nombreuses racines secondaires de quelques centimètres de long.

I.1.2.2. Tubercules

Ils se forment sur les racines à l'endroit où, après s'être dirigées horizontalement, ils s'incurvent vers le bas. Les tubercules de patate sont donc des portions renflées de racines. Ils sont en nombres variables selon les variétés. On les rencontre surtout à proximité de la partie enterrée des tiges principales. Quelques-uns se forment à partir des racines des nœuds, des tiges ou des ramifications, en contact avec le sol et qui ont raciné. Ils ont une forme globulaire ou allongée. Ils pèsent quelques dizaines de grammes à 3 et même 5 kg.

I.1.2.3. Tiges

Sur une bouture, il peut se former une dizaine de tiges principales. Elles rampent à la surface du sol et atteignent 2 à 3m de longueur. Parfois, elles peuvent être grimpantes. Leur extrémité est dressée. Elles sont très minces et herbacées. Elles sont composées d'entre-nœuds séparés par des nœuds. Il semble que les clones à entre-nœuds courts soient plus productifs que ceux à entre-nœuds longs. Sur les nœuds se forment les feuilles, les inflorescences et des racines adventives.

I.1.2.4. Les feuilles

Elles sont de formes et de dimensions extrêmement variables. Le limbe peut être entier ou présenter 3,5 ou 7 lobes. De plus, ces lobes peuvent présenter des découpures plus ou moins profondes. Sa forme générale est celle d'un cœur. Le pétiole est plus ou moins long. Elles sont de couleur verte. Le pétiole et les nervures sont parfois plus ou moins colorés en pourpre.



Photo 2 : Quelques variétés locales de feuille de patate douce

I.1.2.5. Les inflorescences

D'une manière générale, les inflorescences sont rares et certains clones ne fleurissent jamais. Elles se forment sur les extrémités des tiges. Les inflorescences sont des ombelles axillaires comportant 4 ou 5 fleurs. Ceci veut dire que chaque fleur de l'inflorescence est portée par un court pédicelle qui part d'un point commun du pédoncule de l'inflorescence. De ce fait, toutes les fleurs arrivent à la même hauteur. Chaque inflorescence est portée par un pédoncule de 4 à 5 cm de long qui part de l'aisselle d'une feuille.

I.1.2.6. Fleurs :

Elles ont une forme de cloche, ce qui les fait ressembler fortement aux fleurs des liserons. Elles sont de couleur blanche, pourpre ou violette. Elles se composent : d'un calice à 5 pétales ; d'une corolle à 5 pétales soudés ; d'un ovaire à deux loges, surmonté par un stylet portant un stigmate de 5 étamines.



Photo 3 : Fleur de patate douce

Source : Encarta 2008

I.1.2.7. Fruits

Ce sont les capsules indéhiscentes qui contiennent, le plus souvent, 2 graines séparées par une cloison médiane. Ils restent entourés par les 5 pétales. Ils ont environ 7mm de large et 5mm de hauteur. Ils sont surmontés par le reste du stigmate.

I.1.2.8. Graines

Elles sont petites (4mm de diamètre environ) et comprennent deux faces : une bombée et une plate. Le hile est bien apparent. En coupe, on distingue : une coque ; un embryon qui reste vert et qui est recourbé sur lui-même ; un albumen mucilagineux qui entoure plus ou moins complètement l'embryon.

I.1.3. Physiologie [6] [39]

I.1.3.1. Le cycle de développement

La patate douce est une plante vivace cultivée comme une plante annuelle. Son cycle de développement comporte 4 phases :

- **Une phase de reprise** avec une durée d'une semaine. Il y a formation de quelques racines sur les nœuds de la bouture enterrés. Les yeux des nœuds à la surface commencent à se développer ;
- **Une phase de croissance** où les tiges et les ramifications secondaires se développent rapidement sur le sol. C'est une phase relativement active ;
- **Une phase de tubérisation ou formation des tubercules** : c'est une phase présentant les activités physiologiques les plus importantes chez les patates douces.

En 1970 WILSON a défini le tubercule comme un renflement latéral qui se forme sur certaine racine du système racinaire de la patate douce. La tubérisation comprend 2 étapes :

- **L'initiation** : d'abord les organes prêts à porter des tubercules donnent naissance à des racines en forme de ficelle, puis à des racines en forme de crayon, ce sont des racines porteuses des tubercules ;
- **Le développement** : C'est la modification qualitative de la croissance du système racinaire, au cours de la transformation des racines tubéreuses en tubercules pleinement développés. Environ 8 semaines de plantation des boutures, cette phase est complète. D'abord, il y a augmentation rapide du nombre de racine pigmenté dès la première semaine. Ensuite quelques racines s'épaississent vers la quatrième semaine. On voit une augmentation en nombre du tubercule vers la huitième semaine. Après la seizième semaine de plantation, 92 à 100% de la longueur finale du tubercule se sont formés ;
- **La phase de maturation** : C'est la modification quantitative en taille et en poids du tubercule. L'accroissement en taille des tubercules est le résultat conjugué de l'augmentation du nombre et de la taille des cellules. Cette phase est marquée par l'arrêt de développement des tubercules. L'indicateur de cette maturité c'est la sénescence du feuillage. Le cycle végétatif dure environ 6 à 8 mois selon les variétés et les lieux où elles se trouvent. Mais des variétés ayant un cycle court de 3 mois existent.

I.1.4. Ecologie [7]

I.1.4.1. Besoins en chaleur

La patate meurt lorsque la température du sol est inférieure à 10°C (cas de la région d'Antsirabe en hiver). Vers 15-16°C son aspect extérieur est à peu près normal ; pour des températures supérieures à 35°C son développement est retardé. Son optimum se situe aux environs de 25 à 30°C.

I.1.4.2. Besoins en eau

La patate douce résiste bien à la sécheresse. Cependant des pluies de l'ordre de 25 à 30 mm par semaine sont favorables à sa croissance et à la formation des tubercules.

I.1.4.3. Besoins en lumière

La patate douce demande des expositions très ensoleillées pour que la photosynthèse se fasse dans des meilleures conditions possibles. Ce qui permettra à l'amidon de se former en grande quantité et d'obtenir, par la suite des gros tubercules.

I.1.4.4. Besoins en sol

La patate demande surtout des terrains meubles, bien perméables et bien pourvus en humus. Cependant, les sols sablo-limoneux ou limono-sableux, bien drainés sont les plus favorables. Les argiles latéritiques de tanety sont trop pauvres et ne donnent que de petits tubercules Les sols de bas fond trop lourds et une trop grande richesse en matières organiques provoque un développement végétatif aérien trop important aux dépends des tubercules, qui restent petits et tardent à arriver à maturité.

I.1.4.5. Besoins en altitude

La patate douce pousse indifféremment le long des côtes et en altitude, à condition que ses exigences en chaleur soient satisfaites.

I.1.5. Variétés [5]

Elle est classée en trois groupes selon la couleur des tubercules. On a :

Patate jaune : tubercule à peau jaune et lisse, chair jaune, fine, très sucrée, et excellente qualité
Patate blanche ou igname : tubercule à peau blanc grisâtre, chair blanche assez farineuse, peu sucrée
Patate rouge, rose ou violette : tubercule à peau uni, rose, rouge foncé ou un peu violacé, chair très sucrée, très parfumée, et la plus moelleuse de toute.

I.1.6. Utilisation [3]

La patate douce est cultivée pour ses tubercules qui servent d'alimentation pour l'homme.

I.1.6.1. Le tubercule

C'est une source importante d'amidon mais pauvre en protide, que l'on utilise commercialement pour raidir les textiles et le papier, pour la fabrication d'adhésifs et dans les blanchisseries. Aux États-Unis et en Asie, des quantités importantes de patates douces sont fraîchement récoltées, soit râpées et séchées et sont destinées à l'alimentation du bétail. C'est la principale partie comestible de la plante. On peut les préparer de très nombreuses façons : bouillis, frits, cuits sous le cendre, ... Les tubercules servent également comme des matières premières pour la fabrication de la fécule, du sirop, de l'alcool, de la confiture, ...

I.1.6.2. Les feuilles et tiges

Les feuilles constituent un aliment sain et protecteur. Avec les pousses tendres, elles servent de condiment. Les tiges et les feuilles sont utilisées pour le fourrage vert et sec pour les animaux.

I.1.7. Qualité nutritionnelle élevée [5] [9] [10] [11] [13] [40] [42]

Du point de vue qualité nutritionnelle, la patate douce est indéniablement une des plus importantes cultures vivrières au monde. C'est un aliment hautement énergétique. En effet, les tubercules constituent une bonne source de calories (105,3 kcal aux 100 g), dont l'organisme a besoin et qui donnent vitalité et énergie. Les tableaux suivants montrent la composition chimique et la valeur nutritionnelle moyenne du tubercule frais de la patate douce.

I.1.7.1. Valeur nutritive

Tableau 1 : Valeur nutritive du tubercule frais

Le tubercule frais	Valeur pour 100g
Energie	70 cal
Eau	67-78%
Amidon	13-62%
Protéine	0.8-2,2%
Sucres réducteurs	0,3-0,8%
Cellulose	0,9-1,2%
Saccharose	1,5%
Cendre	1,1-2,8%
Carotène	1,3-11mg
Acide ascorbique	23-43mg

Tableau 2 : Valeur nutritive des feuilles de la patate douce crues

Les feuilles de la patate douce crues	Valeur pour 100g
Valeur énergétique :	49kcal
Eau	83,0%
Cendre	2,0g
Eléments minéraux	
Calcium	158mg
Fer	6,2mg
Phosphore	84mg

Vitamines	
Vitamine C	70mg
Carotène	5870mg
Substances organiques	
Protéine	4,6g
Glucide	0,2g
Graisse	0,2g
Fibre	2,4g

1.1.7.2. Glucides

Ils constituent 80 – 90 % de la MS. La patate douce fraîche contient approximativement 20% d'amidon, 5% de sucres simples, une quantité moindre de pectines, de l'hémicellulose et de la cellulose. Parmi les sucres, le saccharose domine toujours et il est accompagné par du glucose et du fructose principalement. Toutefois, la teneur en glucides dans les tubercules dépend de plusieurs facteurs. Entre autres, il y a le cultivar, la maturité des tubercules récoltés, la durée de stockage, la cuisson ou les procédés de transformation.

a. Pigments :

— Anthocyanines :

La couleur rouge, ou pourpre dans les différentes parties de la plante est due à la présence d'anthocyanines acylés synthétisés in situ et dont la teneur dans les tubercules diminue de la périphérie vers l'intérieur. La teneur en anthocyanes peut dépasser 400mg / 100g de MS dans les tubercules de couleur pourpre ou violet foncé.

— Caroténoïdes :

Ces pigments sont responsables des colorations crème, jaune, orange, orange foncé de la chair des tubercules de patate douce. L'importance de la coloration est fonction de la teneur en β carotène. Quelques cultivars à chair blanche ne contiennent pas de beta-carotène tandis que d'autres en contiennent peu, et ceux avec une chair crémeuse ou jaune-claire peuvent contenir des traces seulement.

b. Lipides

L'*Ipomoea batatas* est une plante amylacée qui contient très peu de lipides. La teneur en lipides dans les tubercules est très faible et nutritionnellement insignifiante. Toutefois, ils jouent un rôle dans la saveur et l'odeur des patates douces déshydratées par le phénomène d'auto-oxydation.

c. Substances polyphénoliques

La patate douce contient de nombreux différents composés polyphénoliques, qui, en présence d'oxygène, sont responsables du phénomène de brunissement enzymatique. Il faut noter que ce phénomène fait partie du mécanisme de défense de la plante vis-à-vis des parasites (insectes, champignons). En outre, ce processus enzymatique apparaît également lorsque les tissus de la patate douce sont endommagés lors de la récolte, du transport ou lors des premiers procédés de transformation (pelage ou découpage).

Lorsque les patates douces sont attaquées par des champignons ou d'autres microorganismes, elles produisent des substances antibiotiques dans les régions infectées ou dans les tissus non-infectés situés près des zones infectées. Ces substances sont mieux connues sous le nom de phytoalexines. Et la première substance qui a été isolée porte le nom de « ipomeamarone ».

d. Enzymes

La patate douce contient plusieurs systèmes enzymatiques qui catalysent les processus de synthèse et de dégradation dans les tissus. Du point de vue technologique, les plus importants sont les amylases formés par un mélange de α et de β -amylase. La teneur en α -amylase est minimale dans les tubercules à l'état frais, mais celle-ci augmente énormément pendant le stockage. Par contre, la teneur déjà importante en β -amylase à l'état frais change très peu lors du stockage.

e. Vitamines

Les patates douces sont des sources importantes de vitamine C (23 mg/100g de matière fraîche) et contiennent des quantités plus faibles de thiamine (vitamine B1), riboflavine (vitamine B2), niacine, vitamine B6, acide pantothénique (vitamine B5) et acide folique. Elles contiennent également une quantité satisfaisante de vitamine E. Mais par-dessus tout, les variétés à tubercules jaunes et oranges ont une teneur élevée en caroténoïdes, précurseurs de la vitamine A (jusqu'à 4 000 U.I. pour 100 g de tubercules frais, selon la variété). Mais cette vitamine ne se retrouve qu'en quantité limitée dans les variétés à chair claire.

f. Éléments minéraux

La teneur moyenne en cendres des tubercules de patate douce est d'environ 1% du poids frais. Elle diminue de la périphérie vers le centre du tubercule. Parmi ces éléments, le plus abondant est le potassium. Outre le potassium, on trouve également le phosphore, le calcium, le magnésium, le sodium, le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc, le soufre et le chlore.

g. Protéines

En ce qui concerne la teneur en protéines des tubercules, la patate douce est comparable aux autres tubercules qui en possèdent autour de 2 g pour 100 g de tubercules frais (à l'exception du manioc, dont la teneur est particulièrement faible). La teneur est d'environ 1,5% de la matière fraîche dont 75% constitué de protéine coagulable et 25% d'azote non protéique. La distribution n'est pas uniforme dans la racine. Au plan qualitatif, les protéines des tubercules de patate douce sont estimées bonnes en référence aux normes internationales, sauf pour une insuffisance caractérisée en acide aminés soufrés.

I.1.8. Intérêt diététique et médicinal [3] [5] [7] [9] [10] [40] [41] [43]

Dans les pays producteurs, souvent pauvres, la purée de patate douce, à laquelle on ajoute une très petite quantité de lait de coco, constitue un bon aliment de sevrage pour les nourrissons. Si les habitants utilisent les patates douces de leur jardin pour préparer les repas de leur bébé, ils n'ont pas besoin d'acheter des aliments pour bébé qui coûtent cher. Par ailleurs, l'emploi de la patate douce a été expérimenté avec succès en thérapie orale de réhydratation des enfants diarrhéiques, en substitution aux produits de la pharmacopée industrielle.

I.1.8.1. Propriétés antioxydantes :

Dans les tubercules de patate douce, on retrouve des principes actifs qui jouent le rôle d'antioxydants. Ce sont des composés qui réduisent les dommages causés par les radicaux libres dans le corps. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans l'apparition des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement.

I.1.8.2. Anthocyanines

Les anthocyanines font partie de la famille des flavonoïdes et sont reconnues pour leurs multiples propriétés sur la santé (anticancéreuse, antioxydant, anti-inflammatoire). Comme nous l'avons déjà vu précédemment, certaines variétés de patates douces, dont celle de couleur pourpre, contiennent des anthocyanines responsables de leur coloration. La pelure de la patate douce pourpre contient plus d'anthocyanines que la chair elle-même. Par ailleurs, plus la couleur de la chair de cette patate est foncée, plus elle contiendra d'anthocyanines. Les anthocyanines de la patate douce pourpre ont démontré une activité antioxydante in vitro supérieure à celle de la vitamine C, un antioxydant bien connu, ainsi qu'à celle des anthocyanines de la pelure de raisin et du chou rouge.

I.1.8.3. Acides phénoliques:

La patate douce contient des acides phénoliques, en quantité plus élevée dans la pelure que dans la chair. Comme pour le cas des anthocyanes, les composés phénoliques possèdent également une activité antioxydante pouvant jouer un rôle protecteur dans l'incidence de plusieurs maladies dégénératives liées au vieillissement.

I.1.8.4. Protéine inhibitrice de la trypsine

L'inhibiteur de la trypsine est l'une des principales protéines d'entreposage de la patate douce et a démontré un effet antioxydant in vitro qui pourrait potentiellement être bénéfique pour la santé. Notons que même après la cuisson, l'effet antioxydant de la patate douce serait toujours présent. Toutefois, cet inhibiteur de trypsine diminue la digestibilité des protéines.

I.1.8.5. Caroténoïdes :

En plus des trois types de molécules citées précédemment, la patate douce contient du β -carotène qui est à la fois précurseur de la vitamine A et antioxydant . Des études scientifiques ont démontré qu'il y a bel et bien conversion du β -carotène des patates douces en vitamine A dans le corps et que cette conversion est facilitée par la présence d'au moins 3 g de matières grasses au même repas. La patate douce serait donc un aliment de choix dans la prévention des déficiences en vitamine A, survenant particulièrement dans les pays en voie de développement.

I.1.8.6. Propriété anticancéreuse:

Les anthocyanines de la patate douce pourpre ont été étudiées pour leurs propriétés anticancéreuses. En effet, la patate douce s'est avérée efficace pour empêcher in vitro la production de mutations génétiques (modification d'un gène, ce qui peut mener dans certains cas au développement de cancers). Et cet effet était proportionnel au contenu en anthocyanines. Ce qui signifie que plus la quantité d'anthocyanines extraites de la patate douce n'était grande, plus l'effet antimutagène était important.

I.1.8.7. Autres propriétés :

Selon les travaux récents de certains chercheurs, la consommation de patate douce éviterait la constipation, les saignements, accroîtrait le nombre de plaquettes sanguines et stimulerait en outre le système immunitaire.

I.2. Répartition géographique

La patate douce est originaire d'Amérique du Sud. Elle a poussé depuis des millénaires dans les îles tropicales pacifiques. C'est Christoph Colomb qui l'a introduit en Europe, puis les négociants espagnols et portugais les ont introduits en Afrique et en Asie. Ensuite elles se sont réparties sur toute la surface terrestre. Sur les îles formées par des récifs coralliens, les îles volcaniques et les masses continentales, elle est rarement absente dans la liste des plantes à cultiver. A Madagascar, c'est surtout sur la partie de la côte Est, les Hauts plateaux et le Sud que la patate douce est cultivée activement.

I.3. Techniques culturales

C'est une plante très plastique du point de vue écologique. Elle résiste bien à la sécheresse, mais des pluies régulières et bien réparties de 25 à 30mm/semaine sont favorables au développement de la plante et à la formation des tubercules. Les nuits chaudes et l'ensoleillement favorisent la croissance. La température moyenne optimum pour la plante est de 22 à 30°C et elle préfère des sols meubles et perméables et bien pourvus en humus. La patate douce se multiplie par voie végétative. Le système le plus utilisé est celui qui fait appel aux boutures.

I.3.1. Préparation du sol

- Sous-solage à 60cm de profondeur pour ameublir le sol sur une hauteur la plus grande possible et faciliter ainsi la croissance des tubercules ;
- Labour à 25 à 30cm de profondeur, après avoir épandu le fumier et les engrais chimiques constituant la fumure de fond ;
- Repos du sol durant 1 mois ;
- Hersage du sol à l'issue de cette période de repos.

I.3.2. Choix des boutures

Les boutures sont prélevées sur des tiges saines indemnes de virose et plus les boutures sont jeunes, meilleur sera leur pourcentage de réussite. Elles doivent avoir 20 à 40cm de long et comporter 3 à 4 nœuds. Enfin, dans le cas où l'on ne possède pas de boutures et pas assez de tubercules, on peut utiliser des rejets de tubercules. Il suffit de prélever ces rejets et de les mettre directement en place.

I.3.3. Préparation des boutures

On les laisse faner légèrement à l'ombre avant de les planter. On supprime les feuilles des 2 nœuds de la base et on laisse les feuilles des autres nœuds. Dans d'autres cas, on habille complètement la bouture en supprimant toutes les feuilles. Les boutures doivent être prélevées sur les plantes saines exempts de viroses, il est conseillé de les désinfecter par trempage de quelques minutes dans une solution.

I.3.4. Plantation

Ecartement

Si le sol a été préparé à plat ou avec des buttes, on placera les boutures à 40 x 40cm sur les Hauts-Plateaux et sur la Côte Est à 70 x 40cm. Si le sol a été billonné, on place les boutures sur la crête des billons à une distance de 30 à 60cm. Si le terrain a été en planches, on trace sur chaque planche deux lignes distantes de 0,70 à 1m et sur ces lignes on espace les boutures de 30 cm.

Mise en place des boutures

On creuse un trou de 10 à 30cm de profondeurs suivant la longueur de la bouture. Ensuite, on place la bouture dans le trou et qu'elle fasse un angle de 45°C environ à la surface du sol. On laisse hors du trou les 2 ou 3 nœuds supérieurs qui ont gardé leurs feuilles. On termine la plantation en bien tassant la terre autour de chaque bouture.

Epoque de plantation

Choisir les époques de plantation de telle sorte que la végétation se fasse durant la saison des pluies et que la récolte puisse se faire durant la saison sèche.

Fertilisation

Fumure organique : on conseille d'adopter de fumier bien décomposé et de l'enfouir lors du labour.

Fumure minérale : Sulfate d'ammoniaque, seulement 4 à 6 semaines après la plantation des boutures ; Acide phosphorique que l'on enfouira lors du labour avec le fumier ; potasse : sous forme de chlorure de potassium que l'on enfouira lors du labour.

Entretien

Les boutures qui meurent sont remplacées dès la seconde semaine qui suit la plantation. L'entretien se limite à 2 ou 3 sarclages en début de végétation. Dans le cas où la plantation a été faite à plat, il est conseillé de faire un buttage des pieds en même temps que le sarclage.

Le pincement des tiges peut-être conseillé dans le but d'arrêter leur développement en longueur. Dans le cas de la région sèche, les irrigations sont surtout conseillées durant les 2 premiers mois qui suivent la plantation.

I.3.5. Récolte

Pour une bonne conservation des tubercules, la récolte doit être effectuée avec précaution. Elle doit se faire au moment où les tiges et les feuilles commencent à jaunir. C'est à ce stade que les tubercules ont acquis leur grosseur maximum. Après leur arrachage, on laisse les tubercules sécher au soleil durant quelques heures.

Leur stockage doit se faire dans un endroit frais, aéré et sec. On conseille de bien éliminer tous les tubercules qui ont été entaillés lors de la récolte.

I.4. Maladie [3]

I.4.1. Les maladies

Pourriture de la tige : due à un champignon qui provoque le jaunissement des feuilles puis dessèchement des tiges.

Pourriture molle : due à un champignon qui envahit une blessure du tubercule entreposé puis gagne le tubercule en entier.

Pourriture noire de Java : due à un champignon qui rend les tissus des tubercules entreposés d'abord bruns, puis noirâtres.

Ennemis

Ils sont nombreux et s'attaquent à presque toutes les parties de la plante :

Sur les tiges

Chenilles : qui rongent les tiges et les sectionnent au ras du sol.

Cochenilles : qui piquent les tiges pour sucer la sève.

 Sur les feuilles

Cochenilles : qui piquent les feuilles pour sucer la sève

Cassides : dont les larves et les adultes rongent le limbe des feuilles

Altises : ce sont de petits coléoptères de couleur brillante et métallique qui rongent le limbe des feuilles. Pucerons qui piquent la face inférieure des feuilles pour sucer la sève.

Chenilles : qui rongent le limbe des feuilles ou qui l'enroulent sur lui-même

 Sur les tubercules

Charançons : creusent de nombreuses galeries et déprécient fortement les tubercules ou tiges.

Potamochères : Qui consomment les tubercules.

Nématodes : qui provoquent des déformations sur les tubercules.

CHAPITRE 2.GENERALITES SUR LES BOISSONS ALCOOLISEES

II.1. Généralités sur l'alcool

II.1.1. Généralités [23] [25] [29] [34] [35] :

L'alcool est un composé chimique, de nature organique, de formule générale R- OH. R est le radical qui se lie au groupement hydroxyle -OH. La polarisation forte de la liaison O-H donne la possibilité d'une rupture ionique : les alcools constituent donc des acides faibles. Les alcools les plus courants sont :

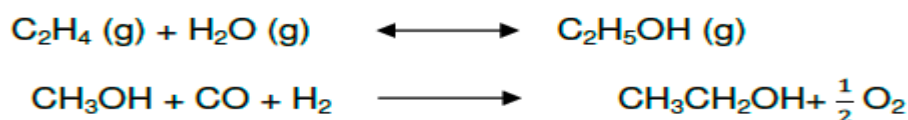
- Le méthanol, $\text{CH}_3(\text{OH})$, dérivé du méthane ;
- L'éthanol, $\text{CH}_3\text{-CH}_2(\text{OH})$, dérivé de l'éthane ;
- Le propanol, $\text{C}_3 \text{H}_7 (\text{OH})$, dérivé du propane ;
- Le butanol, $\text{C}_4 \text{H}_9 (\text{OH})$, dérivé du butane.

Les alcools sont utilisés dans l'industrie chimique comme solvants organiques tel que l'éthanol (peu toxique, est utilisé dans les parfums et les médicaments), comme combustibles en ce qui concerne le méthanol et l'éthanol et qui peuvent remplacer l'énergie d'origine fossile car leur combustion ne produit pas de fumées toxiques.

L'industrie n'y a recours que dans le cas de l'éthanol pour produire les combustibles et les boissons.

Les alcools à courtes chaînes sont faciles à trouver dans la nature. Durant la fermentation, il existe plusieurs types de produits alcooliques, mais l'éthanol est le plus prépondérant. L'alcool éthylique est un produit industriel très important, obtenu par distillation de substances végétales fermentées. En réalité, l'éthanol ou l'alcool buvable ou l'alcool éthylique constitue l'un des composés les plus utiles et les plus importants de la chimie organique. Il est destiné au seul type d'alcool consommable, à usage médical, pharmaceutique, en tant que désinfectant au niveau des laboratoires microbiologiques. Sa fabrication est favorisée par la présence des buveurs d'alcool et comme additif aux jus alcoolisés. Il existe des alcools synthétiques ; les alcools sont synthétisés à partir des composés organiques tirés du gaz naturel ou du pétrole, notamment par hydratation des alcènes.

Comme exemple : l'hydratation de l'éthylène ou la réduction de l'acétaldéhyde (lui-même provenant de l'hydratation de l'acétylène) ou encore homologation du méthanol, donne de l'éthanol.



Dans le cas de l'alcool produit au cours de la fermentation, on parle de bioéthanol. La majorité du bioéthanol produit aujourd'hui provient du traitement des plantes sucrières (betterave, canne à sucre, ...) ou des céréales (maïs, blé, ...). D'autres filières existent cependant, notamment la production de bioéthanol (dit bioéthanol cellulosique) à partir de déchets végétaux (sciure de bois, paille de blé, emballages, ...). En effet, ces produits contiennent de grandes quantités de cellulose, un autre polymère du glucose.

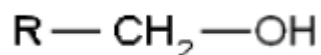
Le bioéthanol est obtenu par fermentation du sucre extrait de la plante sucrière ou par hydrolyse enzymatique. On parle généralement de filière «sucre » filière de production du «bioéthanol ».

II.1.2. Classification de l'alcool

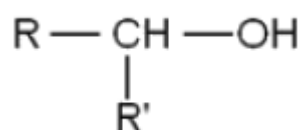
Les alcools sont classés suivant la nature de la composition chimique. Son nom scientifique dépend de la longueur de la chaîne de carbone et de sa ramification, la nomenclature se termine par -ol. Par exemple : méthanol, butanol, méthyle-3butanol, ect. La classification de l'alcool est utilisée pour bien différencier la nature et la composition chimique d'un composé alcoolique. Selon le nombre de groupes hydroxyle rattachés à la chaîne hydrocarbonée, on distingue les mono-alcools, les diols, les triols et les polyols.

Il existe trois classes d'alcool selon le nombre de ramification de la chaîne de carbone qui sont:

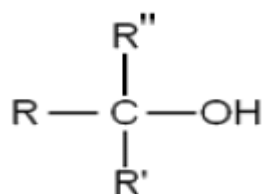
- Les alcools primaires de formule générale RCH_2OH , dont le carbone comportant le groupement hydroxyle est lié au moins à deux atomes d'hydrogène et d'un radical organique R :



- Les alcools secondaires de formule générale R_2CHOH , dont le carbone comportant le groupement hydroxyle est lié à un atome d'hydrogène et deux radicaux organiques R et R' :



- Les alcools tertiaires de formule générale R_3COH , dont le carbone comportant le groupement hydroxyle est lié à trois radicaux organiques R, R' et R'' :



II.2. Définition [17] [18]

On appelle boisson, tout liquide pouvant être bu par plaisir ou par besoin. On exclut dans cette catégorie les liquides toxiques et les médicaments. De même, il est habituel d'exclure le lait qui est considéré plus comme aliment que boisson.

Il existe plusieurs catégories de boissons, suivant leurs caractères organoleptiques :

- Boisson naturelle : eau de source, eau minérale,....
- Boisson sucrée : sirop, jus de fruit,...
- Boisson alcoolisée : vin, bière, whisky,....

Les boissons alcoolisées résultent de la fermentation de jus sucré suivie de la distillation ou non. On peut dire que la présence de l'alcool éthylique est l'un des caractères communs à toutes ces boissons.

II.3. Historique [20]

La fermentation a été connue depuis un temps très reculé. Les chinois connaissaient, depuis la haute antiquité, des boissons à base de riz fermenté. Les Egyptiens utilisaient également des procédés connus en Orient pour préparer des boissons alcoolisées comme la bière. Ces boissons n'étaient distillées qu'au moyen-âge.

Rhazes (850- 923) était le premier à avoir donné une description de l'extraction de l'alcool. Mais c'était Gilles de Couberville en 1553, inventeur des eaux de vie qui construisait un alambic pour distiller les cidres.

Depuis ces temps, la technique de fabrication ne cesse d'évoluer jusqu'à la production industrielle de ces boissons.

II.2.1. Différentes sortes de boissons alcoolisées [17] [18] [20]

On peut classer les boissons alcoolisées en deux parties suivant les matières premières utilisées :

- Boissons à partir de jus sucré ;
- Boissons à partir des matières amylacées.

Boisson à partir de jus sucré

Non distillée

- VIN : provenant exclusivement de la fermentation du raisin frais ou jus de raisin frais.
- CIDRE : boisson à partir de la fermentation du jus de pomme.
- HYDROMEL : boisson à partir de la fermentation du miel.
- POIRE : boisson obtenue par la fermentation du jus de poire.

Distillée

- EAU-DE-VIE : liqueurs alcooliques extraite par distillation du vin ou de sucres végétaux.
- RHUM ou TAFIA : eau de vie de canne à sucre.

Boisson à partir des matières amylacées

Les produits amylacées sont des produits tels que la patate douce, le manioc, la pomme de terre, le riz, l'orge,...dont le constituant principal est l'amidon.

Non distillée

- BIERE : boissons obtenue par la fermentation alcoolique d'un mout fabriqué avec du houblon et du malt pur d'orge ou associé à 30% au poids de malt céréales, de matières amylacées.
- SAKE : boisson traditionnelle japonaise à base de riz.
- KASHIRI boisson traditionnelle Guyanaise à partir de la fermentation d'une racine entière du manioc.
- PAIWARI : boisson traditionnelle antillaise à partir de la fermentation de manioc mastiqué.

Distillée

- WHISKY: liqueur provenant de la distillation de malt d'orge et orge fermenté.
- SHOCHU : boisson à partir de la patate douce, le procédé se rapproche beaucoup de celui du whisky excepté que le koji, l'équivalent de la souche de levure pour le whisky.

II.2.2. Technique de fabrication [14, 15,16]

En général, les techniques de fabrication des différentes catégories de boissons ont de la ressemblance. C'est pourquoi nous allons décrire seulement les techniques de fabrication de trois grandes boissons alcoolisées : le shochu, le vin et la bière.

II.2.2.1. *SHOCHU*

Au Japon, l'amidon de patate douce est aussi utilisé dans la production d'alcool spiritueux, appelé shochu. Le procédé se rapproche beaucoup de celui du whisky excepté que le koji, l'équivalent de la souche de levure pour le whisky, est obtenu en inoculant du riz cuit à la vapeur avec *Aspergillus kawachii*, pendant 2 jours, à 35 - 37°C. Le koji est mélangé à de l'eau amidonnée et à de la levure afin de promouvoir la saccharification et la fermentation. Le filtrat obtenu est enfin distillé.

II.2.2.2. *LA BIÈRE*

On peut diviser la fabrication de la bière en quatre parties bien distinctes :

- La première partie consiste à préparer les matières premières et à les transformer en sucres fermentescibles. Cette opération est appelée brassage. Le brassage est effectué dans une cuve appelée cuve matière et cuve de trempe ;
- La deuxième partie est l'aromatisation par houblon et le traitement du liquide sucré obtenu dans la première partie ;
- Dans la troisième partie, on fermente ce liquide sucré. L'agent de fermentation utilisé est la levure du genre *saccharomyces*. La durée de la fermentation varie de 4 à 7 jours ;
- La dernière partie consiste à l'affinage de la bière c'est-à-dire élimination des impuretés, amélioration du goût, ... et la conservation du produit fini.

Le procédé que nous avons énuméré ci-dessus est un procédé industriel dont la production atteint plus de 200hl par jour.

II.2.2.3. *LE VIN*

Il existe deux types de vin : Le vin rouge et le vin blanc. Le principe global de la fabrication est identique, la différence se situe surtout au niveau de la préparation de mout à fermenter.

Le procédé divise en quatre parties :

- Cette partie regroupe les opérations d'extraction du jus dans le raisin. Pour la préparation du vin blanc, on enlève tout de suite le marc contenant des matières colorantes. Mais pour le rouge, on laisse macérer ce marc pendant un temps plus ou moins long afin de faciliter la diffusion de ces matières colorantes.

- C'est la fermentation proprement dite à l'aide des levures indigènes ou des souches pures.
- La dernière partie recouvre les différents traitements appliqués au vin pour le clarifier, pour améliorer le goût et le conserver.

CHAPITRE 3. HYDROLYSE ENZYMATIQUE

III.1. Les enzymes

Les enzymes sont des protéines douées d'une activité catalytique spécifique. Elles sont des biocatalyseurs indispensables au bon déroulement de tous les processus vitaux. Elles sont utilisées comme outils de transformation et de conservation des denrées alimentaires. La propriété la plus spectaculaire de l'action enzymatique est de pouvoir catalyser des réactions chimiques dans des conditions thermodynamiquement exceptionnelles : température ordinaire (20°C à 37°C), pression atmosphérique. Cette réactivité particulière s'explique par le fait que les enzymes abaissent l'énergie d'activation, c'est-à-dire l'énergie nécessaire au déclenchement de la réaction. A ce fait, l'utilisation des enzymes est freinée par leur grande fragilité vis-à-vis de la température et des agents dénaturants (pH, ions....).

III.2. Procédé de l'hydrolyse enzymatique

III.2.1. Préparation de la graine de paddy

La préparation nécessite un peu de temps.

-  Le triage des graines consiste en l'élimination des impuretés et des mauvaises graines. Les graines qui en sortent sont sensiblement de même granulométrie et de même morphologie ;
-  Le trempage des graines triées se fait comme suit : d'abord, laver les graines pour ôter les produits de conservation pouvant avoir une réaction dénaturante sur les enzymes et les poudres de poussières qui tapissent les graines. Puis, les mettre dans un récipient contenant de l'eau distillée et les introduire dans une étuve à 30°C pendant 24h. Ce procédé lève la dormance des graines et apporte l'humidité nécessaire à la germination.

III.2.2. Germination de graine de paddy

Les graines imbibées gonflent et sont transférées dans un germoir. Elles sont ensuite placées à l'obscurité dans une étuve à 30°C pendant trois jours pour éviter les rayons lumineux et pouvant avoir une réaction dénaturante sur les enzymes. Après 72h, on note une germination intensive des graines avec des racinelles d'environ 15mm et des plumules de 10mm. On obtient ainsi le malt vert.

III.2.3. Extraction de l'enzyme [36] [25]

Les graines germées riches en enzymes hydrolases sont broyées finement et une quantité suffisante d'eau distillée y est ajoutée pour libérer les enzymes. Après centrifugation, on récupère le surnageant qui contient l'enzyme. C'est-à-dire le lait de malt. Notons que ce lait retient la plupart des enzymes des graines et est préparé au moment de l'utilisation pour éviter toute risque d'altération du mélange.

III.2.4. Préparation de substrat

C'est la gélification de patate douce dans le but de rendre les glucides plus accessibles aux enzymes. Le substrat doit être proche du pH =5 avant de le mélanger avec les enzymes pour favoriser l'activité maximum de l'enzyme.

III.2.5. Hydrolyse proprement dite [22] [26]

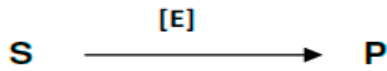
La quantité de l'enzyme employée est en fonction de la quantité du substrat et du temps d'hydrolyse. Une quantité suffisante de l'extrait de graines de paddy est mélangée avec la patate douce gélifiée.

L'hydrolyse se fait dans un récipient contenant de l'eau distillée que l'on met dans un bain marie agité à une température de 50°C. Le taux de sucre réducteur initial et final (avant la fermentation) sont dosés. On voit qu'au cours du temps, une bande blanche apparaît après un jour d'hydrolyse puis disparaît petit à petit et le milieu clair devient translucide. Le taux de sucre dépend de la quantité d'eau distillée du milieu. Plus l'eau est abondante, plus le taux de sucre est faible et vice versa, mais il faut un minimum d'eau distillée pour que l'hydrolyse se fasse normalement.

III.3. Propriétés des enzymes et les enzymes mises en jeu

III.3.1. Propriétés des enzymes [21]

Les enzymes sont des protéines douées d'une activité catalytique spécifique. La réaction enzymatique élémentaire peut s'écrire :



S : substrat, représente la molécule à transformer

P : produit, représente la molécule obtenue

E : enzyme

De ce fait les enzymes ont toutes les propriétés décrites pour les protéines:

- leur biosynthèse est génétiquement contrôlée ;
- La configuration spatiale de la protéine enzymatique induit le caractère spécifique de la réaction ;
- leurs propriétés physico-chimiques de solubilité, de stabilité, de viscosité sont celles des protéines solubles dans l'eau. En particulier, tout ce qui affecte la conformation de l'enzyme déprime l'action de l'enzyme : soit de manière définitive (inactivation thermique), soit de manière transitoire (pH) ;
- Les enzymes sont soit des holoprotéines (par exemple, les enzymes digestives), soit des hétéroprotéines. Dans ce cas, la fraction protéique est l'apoenzyme : elle est responsable de la spécificité de la réaction. La fraction non protéique peut être organique, elle forme alors le coenzyme.

III.3.2. Les enzymes mises en jeux [21] [28] [32] [33]

Les enzymes sont spécifiques au substrat qu'elles dégradent.

- La cellulase : elle hydrolyse la cellulose en la coupant au niveau de la liaison β (1,4).

Les cellulases ont d'abord été classées selon leur mode d'action catalytique. Elles sont maintenant classées selon leur structure, comme toutes les enzymes agissant sur les sucres.

Il existe trois types d'activités enzymatiques cellulolytiques complémentaires pour l'hydrolyse totale de la cellulose :

- Les endoglucanases (AG) ou (1,4)- β -D-glucan-4-glucanohydrolases (EC 3.2.1.4) qui coupent la cellulose aléatoirement au niveau des zones amorphes de la cellulose, générant de nouvelles extrémités de chaînes ;
- Les exoglucanases, comprenant les (1,4)- β -glucaneglucanohydrolases (EC 3.2.1.74) ou cellodextrinases et les (1,4)- β -glucanecellobiohydrolases (EC 3.2.1.91) ou cellobiohydrolases (CBH), qui agissent de façon progressive sur les extrémités libres des chaînes de cellulose, libérant du glucose pour les glucanohydrolases ou du cellobiose pour les cellobiohydrolases ;
- Les β -glucosidases ou β -glucoside glucohydrolases (EC 3.2.1.21) qui hydrolysent les cellodextrines solubles et les cellobioses en glucose.

Les systèmes cellulolytiques sont des systèmes multienzymatiques possédant ces trois types d'action, étant ainsi capables de dégrader totalement la cellulose.

- L'hémicellulase: elle est spécifique pour dégrader les hémicelluloses dans le substrat ;
- Pectinase : elle attaque la pectine mais les réactions sont plus ou moins complètes ;
- L' α -amylase : C'est un endoenzyme qui coupe la liaison α (1,4) glucidique puis sur la liaison α (1,6) au hasard à l'intérieur de la molécule ;
- Le β -amylase : c'est un enzyme spécifique qui coupe la liaison α (1,4) glucidique à partir des extrémités non réductrices ;
- La glucamylase : elle attaque les liaisons osidiques α (1,4) ainsi que les liaisons α (1,4) de l'amylopectine.

Ce sont les enzymes qui se trouvent en quantité suffisante dans l'extrait enzymatique.

L'hydrolyse de patate douce a besoins d'enzyme mixte pour avoir un maximum de sucre réducteur.

CHAPITRE 4. LES PROCÉDES DE FERMENTATION ALCOOLIQUE ET LA DISTILLATION

IV.1. Fermentation

IV.1.1. Historique [22] :

Depuis les temps les plus reculés (années avant Jésus christ), l'homme a utilisé des microorganismes pour préparer des boissons alcoolisées, surtout le vin, des aliments, des vêtements, bien avant même que l'existence de ceux-ci n'ait été reconnue et étudiée au XIXème siècle. La technique de fermentation change avec le temps, au fur et à mesure, en parallèle avec la création de l'industrie de fermentation. On entend par fermentation les processus qui aboutissent à la dégradation incomplète des glucides.

IV.1.2. La fermentation alcoolique à partir de sucre réducteur [49]

La fermentation alcoolique n'existe que dans le règne végétal en utilisant la levure.

Avant la fermentation, la cellulose et les polysides doivent être dégradés pour avoir des sucres réducteurs, c'est-à-dire les sucres fermentescibles.

Exemple : le glucose, le fructose

Le catabolisme glucidique effectué par les levures en fermentation alcoolique est appelé "Voie d'EMBDEN MEYERHOFF" dont la réaction se fait selon la figure suivante:

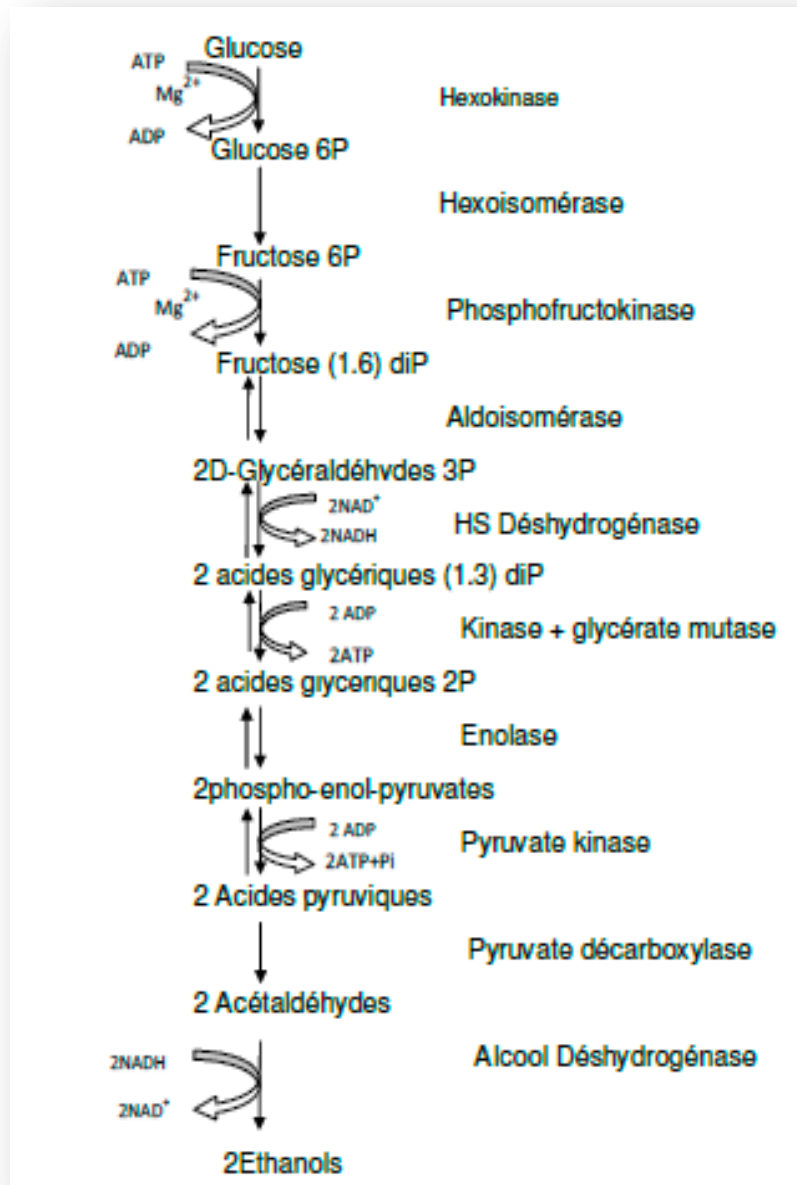


Figure 1 : Dégénération de glucose par les levures en anaérobiose : Voie d'EMBDEN MEYRHOFF.

IV.1.3. Agents de fermentation alcoolique [22] [26]

Les différents saccharomyces utilisés comme agents de fermentation alcoolique sont :

- Saccharomyces cerevisiae, c'est le principal Genre utilisé par l'homme. Les produits terminaux sont l'alcool éthylique et le gaz carbonique (dioxyde de carbone) ;
- Saccharomyces ellipsoïdes, agent de la champagnisation ;
- Saccharomyces fragilis, agent de la champagnisation.

Il existe par contre des agents de la consommation d'alcool :

- Mycoderma vinū du vin, elle forme un film blanc à la surface du vin qu'elle altère ;
- De même pour la Mycoderma cerevisiae qu'on rencontre dans la bière.

Les meilleures souches ont été sélectionnées au fil des temps, au fil des siècles ..., par le savoir de l'homme.

La souche que l'on utilise dans la pratique :

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est la souche la plus employée pour la fermentation alcoolique. Elle est un champignon unicellulaire microscopique, se multiplie soit par bourgeonnement soit à partir des spores. La cellule végétale de cette levure est généralement ovoïde. C'est une levure à haute performance en milieu liquide à produire de l'éthanol dans les conditions adéquates. La culture présente un trouble et pendant la phase active, on observe des mousses.

Lorsque la culture vieillit, les mousses disparaissent en laissant sur la paroi du fermenteur un anneau de levure. En milieu solide, la culture présente des colonies géantes de forme lisse ou granuleuse.

Classification:

- REGNE : VEGETAL
- AMBRANCHEMENT : THALLOPHYTES
- SOUS EMBRACHEMENT : EUMYCETTES
- CLASSE : ASCOMYCETTES
- SOUS CLASSE : HEMIASCOMYCETTES
- FAMILLE : SACCHAROMYCETACEAE
- SOUS FAMILLE : SACCHAROMYCETOIDEA
- GENRE : *Saccharomyces*
- ESPECE : *cerevisiae*

IV.1.4. Les facteurs affectant la fermentation [23]

En fermentation, la mesure et le contrôle des paramètres influençant la croissance des microorganismes sont des fonctions essentielles. La variation des paramètres physico-chimiques du milieu de culture influe beaucoup sur la croissance, le mode de vie, la viabilité levurienne, donc sur la fermentation.

IV.1.5. Le substrat [25]

Généralement, le substrat est constitué par le glucose qui est utilisé comme source de carbone pour les micro-organismes. Le glucose est aussi le sucre le plus répresseur et sa présence réprime les métabolismes des autres sucres ainsi que la respiration. La répression maximale des enzymes oxydatives est observée avec une croissance levurienne rapide. Ces enzymes sont induites par l'oxygène avec sa teneur habituelle dans l'air, en absence du taux répressif du sucre.

A une concentration supérieure ou égale à 5% de glucose dans le milieu, les enzymes respiratoires sont inhibées et le métabolisme devient fermentaire quel que soit le niveau d'aération. C'est « l'effet Crabtree » ou « effet de glucose ».

Au-delà d'une concentration de 150g/l en glucose, les métabolismes respiratoire et fermentaire sont inhibés et influent à la fois sur la croissance cellulaire et sur la production d'éthanol; l'inhibition par le sucre s'explique par le phénomène d'osmose car une concentration très forte en sucre avec une pression osmotique plus élevée que le contenu vacuolaire de la levure provoque les plasmolyses cellulaires. Les enveloppes cellulaires, en particulier, doivent pénétrer à l'intérieur de la cellule. Des cellules plasmolyses sont incapables de fonctionner normalement, par conséquent freinent la fermentation. La concentration du milieu ou substrat doit être dans un intervalle de concentration bien précis pour avoir un maximum de produit et une fonction normale de la levure.

IV.1.6. Besoins en éléments minéraux [26]

Comme tout être vivant, les levures ne peuvent survivre, se multiplier et faire la fermentation du sucre en alcool que dans certaines conditions bien déterminées. Pour bien conduire à la fermentation, il faut avoir des levures actives et productives d'alcool.

Pour cela, les levures doivent trouver dans le milieu où ils se développent en plus du sucre fermentescible, des substances minérales qui contiennent de l'azote assimilable en quantité suffisante, ainsi que des substances organiques nommées « facteurs de croissance ». Pour que la fermentation puisse se dérouler parfaitement, l'ajout des éléments minéraux est nécessaire.

En général, les éléments minéraux les plus importants sont le phosphore, le potassium et le magnésium :

- Le phosphore intervient dans le contrôle de synthèse de l'hydrate de carbone, de lipide et dans le maintien de l'intégrité des parois cellulaires. Pendant la fermentation, la cellule produit de l'enzyme hexokinase qui phosphoryse le glucose avant de métaboliser au niveau de la cellule.
- Le potassium améliore la tolérance des levures aux ions toxiques et participe au contrôle du pH intercellulaire.
- Le magnésium joue à la fois un rôle protecteur des cellules contre les modifications de l'environnement et un rôle activateur dans l'assimilation des sucres.

Le tableau suivant donne les principaux éléments nécessaires à la fermentation éthanolique.

Tableau 3 : Les principaux éléments nécessaires à la fermentation

Eléments Minéraux	Azote N	Phos-Phore P	Soufre S	Potas-sium K	Magné-sium Mg	Calcium Ca	Zinc Zn	Fer Fe	Cuivre Cu
Teneur En poids par 100g de patate douce rouge	10	2	0,4	2 à 3	0,5	0,25	0,1	0,02	0,02

IV.1.7. L'aération

L'aération d'une culture a le double avantage d'apporter l'oxygène nécessaire à la respiration et d'évacuer le gaz carbonique (CO₂) par le métabolisme des substrats carbonés.

Quelle que soit la teneur en oxygène, la fermentation peut toujours s'annoncer.

Les levures dégradent le glucose que ce soit en aérobiose ou anaérobiose par des multiples voies métaboliques. Il faut noter que la notion aérobiose est strictement liée à la concentration du glucose présent dans le milieu.

Généralement,

- si la teneur en O_2 est supérieure à 10%, on a une respiration seulement.
- Si la teneur en O_2 est supérieure ou égale 3%, on a une respiration + fermentation.
- Si la teneur en O_2 est inférieure à 3%, on a une fermentation.
- Fermentation aérobie : c'est la fermentation acétique.
- Fermentation anaérobie: c'est la fermentation alcoolique ou fermentation butyrique

La fermentation alcoolique effectuée par le *Saccharomyces cerevisiae* suit la voie d'EMBDEN MEYERHOFF (anaérobiose stricte).

IV.1.8. La température

Les levures sont mésophiles et se développent entre 15°C et 45°C. Il est indispensable de contrôler la température en faisant la fermentation alcoolique. Une température supérieure à 35°C réduit à la fois l'activité métabolique, favorise l'autolyse cellulaire, la prolifération des bactéries thermophiles et accroît ainsi la formation des produits secondaires (acide lactique, acide acétique, ...) avec diminution du rendement alcoolique. Une température faible au-dessous de 27°C provoque aussi la formation d'ester dans l'alcool produit.

IV.1.9. Le pH

Les levures et les moisissures sont acidophiles et leur pH optimum se situe en dessous de 5,5; l'acidification des moûts en fermentation est nécessaire car une favorise l'activité et la prolifération des bactéries produisant des produits secondaires préjudiciables à la qualité des alcools obtenus. Un excès d'acidité inhibe aussi l'activité des levures.

Ainsi, une acidification adéquate du moût constitue un des points importants afin d'avoir une bonne fermentation alcoolique.

IV.1.10. L'agitation

L'agitation vise essentiellement l'homogénéisation du système polyphasique sur le milieu de fermentation, dans la réalisation du système polyphasique du milieu de fermentation, dans la réalisation des transferts de la chaleur et des matières (oxygène, dioxyde de carbone, substrat). En effet, il faut établir un juste compromis entre les forces nécessaires au maintien des éléments du milieu en suspension et celles qui pourraient être dommageables à la vie cellulaire.

L'agitation peut être pneumatique, mécanique ou par recirculation.

IV.1.11. L'éthanol

L'éthanol est le principal métabolite obtenu lors d'une fermentation alcoolique effectuée par le *Saccharomyces* quelle que soit la matière première renfermant des sucres fermentescibles.

L'accumulation d'éthanol dans le milieu provoque une inhibition de la fermentation. Au-dessus d'une concentration de 40g/l en éthanol, la viabilité et le taux de croissance des levures baissent fortement. A 100g/l (quantité d'alcool obtenue lors de la vinification), les levures meurent et laissent une quantité importante de sucre dans le milieu; Cette inhibition se traduit par une augmentation en stérol et en acide gras des membranes cellulaires. Ainsi, la membrane plasmique apparaît comme secteur clé des interactions levures-éthanol.

IV.1.12. Le gaz carbonique [25] :

La quantité de gaz carbonique secrété pendant la fermentation est proportionnelle à celle de l'éthanol formé. Quand la pression du gaz est très élevée, le gaz inhibe la croissance des levures. Ainsi, des pressions en gaz carbonique supérieures à 1 bar déclenchent cette inhibition.

IV.2. Distillation [24] [29] [30]

La distillation vient du mot latin stilla, « goutte » et de distillare (latin savant), « tomber goutte à goutte ». C'est un procédé de séparation des composées liquides d'un mélange dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur, les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est condensée pour donner le distillat, c'est-à-dire les substances liquides sortent du réfrigérant par ordre de volatilité. Il existe deux types de distillation : distillation continue et distillation discontinue.

Historiquement, la distillation existe dès le II^e millénaire avant Jésus-Christ pour l'extraction de l'huile essentielle. En 1500, l'alchimiste allemand Hieronymus Braunschweig publie le premier livre consacré à cette technique. Le Liber de arte destillandi (Livre sur l'Art de Distillation), dans sa seconde édition de 1512 sera fortement augmenté. La méthode et les appareils évoluent au cours du temps pour avoir un produit pur. Depuis l'évolution industrielle jusqu'à maintenant, l'art de distillation est industrialisé et utilise des matériels sophistiqués.

En principe, d'après la définition, les liquides du mélange sortent du réfrigérant par ordre de volatilité et engendrent le distillat, c'est-à-dire que chaque constituant passe par son point d'ébullition. En vérité, il n'en est jamais ainsi, car la distillation ne se fait pas d'après les tensions de vapeur, mais en fonction de celles qui résultent de la solubilité réciproque de divers produits. Si a et b sont les quantités respectives de deux liquides passant simultanément dans le distillat, f et f' leurs tensions de vapeur, m et m' leurs masses moléculaires. La distillation se fait selon la relation :

$$\frac{a}{b} = \frac{mf}{m'f'}$$

Dans ce cas, le point d'ébullition du mélange est inférieur à celui du corps le plus volatil et la composition des vapeurs est constante quelque soit la richesse initiale du liquide. Cette formule montre donc que le rapport des poids moléculaires et celui des tensions de vapeurs dirigent le phénomène.

Des mélanges de deux liquides miscibles, par suite d'une affinité particulière des deux corps, présentent la particularité que le point d'ébullition ne descend pas constamment avec la richesse, mais passe par un minimum. Pour ces mélanges, les liquides d'une concentration inférieure au point minimum se comportent comme ceux du premier groupe, mais par contre ceux plus riches que la composition minimum donnent des vapeurs moins riches. De tels mélanges sont dits « azéotrope minimum ». Le mélange eau-éthanol qui nous intéresse particulièrement entre dans cette catégorie. Il existe, en effet, un mélange azéotropique, eau-alcool, contenant 97% en volume d'alcool, dont le point d'ébullition ($78,15^{\circ}\text{C}$) est inférieur à celui de l'alcool pur ($78,30^{\circ}\text{C}$) sous une atmosphère (1atm).

PARTIE 2. ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE 5. HYDROLYSE ENZYMATIQUE PAR LA METHODE DE MALTAGE

V.1. Transformation de patate douce rouge

V.1.1. Principe

La transformation des tubercules en farine permet la conservation et facilite la transformation ultérieure.

V.1.2. Matériel végétal et appareillage

V.1.1.1. Matériel végétal

Les tubercules de patate douce rouge de genre *ipomoea*, provenant de la province de Tuléar et d'Antananarivo ont été choisis et utilisés comme matière première.

V.1.1.2. Appareillage

- Mixeur, broyeur et couteaux inoxydables ;
- Bain thermostaté ;
- Nappe pour tamiser la mixture.

V.1.3. Mode opératoire

Les tubercules frais ont été nettoyés et désinfectés à l'eau de javel 10 %. Ensuite, ils ont été trempés dans un bain thermostaté pendant 1 heure à 65°C pour éviter le brunissement.

L'épluchage suivi du découpage a été effectué avant le mixage. Puis, la mixture a été pressée pour éliminer l'eau. Le résidu ainsi obtenu a été séché au soleil et enfin broyé et tamisé pour donner de la farine de patate douce.

V.2. Détermination du taux d'humidité de la farine

V.2.1. Principe

Le taux d'humidité sera obtenu à partir de la perte de masse de l'échantillon mesuré après dessiccation à une température de 105° C. Ce taux d'humidité exprime l'eau résiduelle liée aux autres éléments de la farine (ou matières sèches) non éliminés au cours de la dessiccation de patate douce.

V.2.2. Appareillage

- Etuve
- Dessiccateur
- Capsules

V.2.3. Mode opératoire

Trois capsules bien séchées et refroidies ont été pesées. Puis on a mis dans chacune 5g d'échantillon. Les trois capsules ont été placées dans l'étuve maintenue à 105°C. Après 3 heures d'étuvage, les capsules ont été laissées refroidir dans un dessiccateur garni de silicagel sec pendant 30 minutes, puis pesées. Ensuite, replacées dans l'étuve dans les mêmes conditions, après 3heures un nouveau pesage a été effectué après refroidissement au dessiccateur. Cette opération de déshydratation (séchage) a été répétée plusieurs fois jusqu'à ce que le poids final soit constant.

V.2.4. Expression des résultats

La perte de masse de l'échantillon après séchage (ou taux d'humidité) de la farine exprimée en pourcentage est donnée par la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

H : Taux d'humidité en pour cent

Mi : poids initial en gramme de la prise d'essai

Mf : poids final en gramme de la prise d'essai

Comme les échantillons ont été pesés dans la capsule, donc on a :

Mo = Masse de la boîte de tare (capsule) après 1 heure d'étuvage à 105°C.

M1 = Masse de la boîte de tare avec l'échantillon avant l'étuvage

M2 = Masse de la boîte de tare avec l'échantillon après étuvage (masse constante obtenue après plusieurs opérations de séchage).

Dans ce cas $M_i = M_1 - M_0$

$M_f = M_2 - M_0$

La formule devient :

$$H (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

V.2.1.1. Taux de la farine

Le tableau ci-après montre la teneur en farine de patate douce rouge.

Tableau 4 : Taux de la farine par rapport au poids des tubercules

Patate douce rouge			
	Brut (g)	Farine (g)	Taux de farine (%)
Tuléar	1500	415	27,67
Antananarivo	1000	276	27,60

Interprétation

D'après le tableau si dessus on voit que les taux de farine sont un peu près le même, puisqu'on sait bien que la patate douce provenant de Tuléar est un peu plus grande par rapport à la patate douce d'Antananarivo, alors il y a une perte pendant l'épluchage suivi du découpage.

V.2.1.2. Taux d'humidité de la farine

Le tableau 5 montre les résultats obtenus après 3 essais. Le taux de l'humidité sera obtenu à partir de la perte de masse de l'échantillon mesurée après dessiccation à une température de 105°C.

La formule utilisée est :

$$H(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100 \text{ et } MS(\%) = 100 - H(\%)$$

H : humidité

MS : matières sèches

Tableau 5 : Mesure du taux de matière sèche de la farine de patate douce

Capsule n°	M ₀ (g)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	MS (%)	H(%)
1	108,9815	113,9400	113,4159	89,43	10,57
2	112,7894	117,7870	117,3195	89,42	10,58
3	112,4543	117,6372	116,4902	89,41	10,59
MOYENNE				89,42	10,58

V.3. Détermination de la teneur en amidon de la farine par la méthode d'Ewers

V.3.1. Principe

La détermination s'effectue par la mesure du pouvoir rotatoire total P de la farine de patate douce et celui P' des substances solubles dans l'éthanol de l'échantillon.

V.3.2. Matériels

- Farine de patate douce
- Filtre de Buchner
- Ballon jaugé de 250 ml avec réfrigérant ascendant
- Balance de précision
- Fioles de 100 ml
- Bain-marie

V.3.3. Méthodes

V.3.1.1. Préparation des solutions

On a préparé :

- De l'acide chlorhydrique (HCl) 25% (P/P) et de 1,128% (P/V)
- · Une solution de CARREZ I 100ml à partir de 21,9g d'acétate de zinc ($\text{Zn}(\text{CH}_3 \text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2 \text{O}$) + 3g d'acide acétique (CH_3COOH) et de l'eau distillée
- Une solution de CARREZ II 100ml à partir de 10,5g de ferrocyanure de potassium ($\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 2\text{H}_2 \text{O})$) et de l'eau distillée
- Ethanol 40% (V/V)

V.3.1.2. Détermination du pouvoir rotatoire total P

2,5g de farine ont été introduits dans un ballon jaugé de 100ml, puis on ajoute deux volumes de 25ml d'acide chlorhydrique 1,128%. Le ballon a été plongé dans un bain bouillant pendant 15 minutes. Toutes les 3 minutes, des agitations énergiques ont été effectuées pour éviter la formation d'agglomérats.

Ensuite, retiré du bain le refroidissement a été accéléré par l'ajout de 30ml d'eau froide dans la préparation, puis le volume final a été ramené à 100ml avec de l'eau distillée. Après filtration, le pouvoir rotatoire P a été mesuré au polarimètre.

V.3.1.3. Détermination du pouvoir rotatoire P' des substances solubles dans l'éthanol

2,5g de farine ont été introduits dans un ballon jaugé de 100ml et ajouté de 80ml d'éthanol 40%. Ensuite, le ballon a été laissé à la température ambiante pendant 1heure au cours de laquelle six agitations énergiques ont été effectuées afin de bien mélanger le contenu. Le volume de la préparation a été ensuite ramené à 100ml avec de l'éthanol 40% puis, filtré après homogénéisation.

50 ml du filtrat ont été versés dans un erlenmeyer de 250 ml puis, on a ajouté 2,1ml d'acide chlorhydrique 25%. L'ensemble a été placé dans un bain-marie bouillant pendant 15 minutes. Retiré du bain, le contenu a été transvasé dans un ballon jaugé de 100ml. La défécation à partir des solutions CARREZ I et CARREZ II a été effectuée lorsque la température de la préparation est de 20°C. Ensuite, le volume a été complété avec de l'eau distillée et une nouvelle filtration a été effectuée, ainsi le pouvoir rotatoire du filtrat a été mesuré au polarimètre.

V.3.1.4. Expression des résultats

Selon la méthode polarimétrique d'EWERS, la teneur en amidon en pourcentage des échantillons est calculée comme suit :

$$A (\%) = \frac{(P - P') \times 100 \times 100}{[\alpha]_{20^\circ D} \times B \times i}$$

A (%) : taux d'amidon

P : pouvoir rotatoire total en degré d'arc.

P' : pouvoir rotatoire en degré d'arc donné par les substances dans l'éthanol à 40%

$[\alpha]_{20^{\circ}\text{D}}$: pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur : la valeur est de 10,4 pour l'amidon de patate douce.

B : matière sèche de l'amidon (il se calcule par le taux matière sèche fois le poids de l'échantillon soit 2,5g).

i : longueur du tube polarimétrique.

Le résultat de la mesure du pouvoir rotatoire au polarimètre est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 6 : La teneur en amidon de la farine de patate douce

P	P'	$\alpha_{20^{\circ}\text{D}}$	B	I	A %
18,30 °C	- 10,15°C	10,4	223,55	2 dm	61,20

Tableau 7 : Résumé des caractéristiques de la farine de patate douce

Farine de patate douce	ANTANANARIVO	TULEAR
Lipides (%)	0,95	0,95
Protéines (%)	2,35	2,4
Glucides (%)	83,75	83,8
Cendre (%)	2,24	2,24
Taux (%)	27,60	27,67
Humidité (%)	10,57	10,58
Matières sèches (%)	89,43	89,42
Amidon (%)	61,20	61,20

Interprétation

On peut tirer que les caractéristiques de la farine de patate douce sont à peu près les mêmes, on voit que le taux d'amidon de la farine est 61,20% puis que la patate douce on la même variété ce sont de *ipomoea*.

V.4. Méthode de maltage

V.4.1. Principe

L'amidon de la farine de Patate douce est transformé en glucoses sous l'action des enzymes amylolytiques présentes dans le lait de malt préparé à partir de grains de paddy germé.

Les sucres réducteurs formés sont dosés par la méthode au DNS (acide 3-5 dinitrosalicylique) de SUMNER et HOWELL.

V.4.2. Méthodes

V.4.1.1. Préparation du lait de malte

Matériels

- Le paddy

Le grain de paddy constitue la matière première pour le maltage. Par rapport au blé, le temps de germination du riz est plus court. En plus de sa disponibilité, le coût du riz est moindre que celui du blé.

- La farine

La farine de patate douce constitue le substrat pour les réactions d'hydrolyse de l'amidon.

- L'appareillage

- Bain thermostaté
- Etuve
- Plaque chauffante agitante
- Gerموir

Mode opératoire

- Trempage

Les grains de paddy de 125g triés sont lavés à l'eau de javel 50‰ et ont été trempés pendant 36heures dans un b cher placé dans l tuve   30 C.

➤ Germination

Les enzymes se développent pendant la germination. Les grains issus du trempage ont été laissés germer environ 72 heures à 30°C. Pour cela, les grains ont été éparpillés sur une couche mince de coton hydrophile recouvert de papier filtre placé dans le germoir. Ensuite, l'ensemble a été rempli d'eau et laissé dans une place où la température est de 30°C jusqu'à la germination des grains.

La germination a été faite à l'obscurité pour éviter la lumière qui peut provoquer la dénaturation des enzymes. L'obscurité permet d'inhiber les activités chlorophylliennes et augmente rapidement le pouvoir enzymatique. La lumière possède une action directe sur les enzymes en coupant les liaisons peptidiques en favorisant les réactions de désamination et de décarboxylation des acides aminés.

V.4.1.2. Extraction de l'enzyme à partir de la graine de paddy

Le broyage du malt vert de la graine de paddy se fait dans un mortier avec ajout d'eau distillée suffisante. Pour extraire l'enzyme, au total 900ml d'eau distillée sont versés petit à petit dans le broyat suivi de la macération du mélange. Puis, la centrifugation du mélange se fait à 3000 tours/mn. Le lait de malt a été obtenu.

V.5. Dosage des sucres réducteurs par la méthode de SUMNER ET HOWELL

V.5.1. Principe

Avant d'effectuer l'hydrolyse de la farine de patate douce, une gamme étalon doit être établie à partir d'une solution de glucose de concentration connue.

Une optimisation de la concentration initiale en substrat, de la température, du pH et de la vitesse d'agitation est réalisée pour obtenir un meilleur rendement.

V.5.2. Matériels

- Tubes à essai
- Pipettes graduées
- Bain thermostaté
- Fiole jaugée de 100ml
- Spectrophotomètre
- Balance de précision
- Agitateur magnétique
- Pompe aspirante
- Papier filtre
- Centrifugeuse
- Rotavapor
- Récipient hermétique

V.5.3. Réactifs

- Acétate de zinc
- Ferrocyanure de potassium 15%
- Poudre de carbonate de calcium
- Acide 3-5 dinitro salicylique
- Tartrate double de sodium et du potassium
- Soude

V.5.4. Mode opératoire

V.5.4.1. Préparation des solutions de la gamme étalon de glucose

Les solutions suivantes sont préparées :

1000ml de glucose à 2 g/l ; 500 ml de DNS à 1g/l, 159 g de tartrate double de sodium et de potassium, 8g de soude et de l'eau distillée.

A partir de la solution mère de glucose, on a effectué une dilution en cascade allant de 0 à 1 g/l (différence de quantité de 0,1g/l) dans 10 tubes à essai, 1ml de solution de DNS a été ajouté dans chacun des tubes, lesquels ont été ensuite incubés pendant 5minutes à 100°C.

Après refroidissement, on a ajouté dans chaque tube 10 ml d'eau distillée. Puis, la densité optique de chaque préparation a été mesurée au spectrophotomètre 540 nm.

V.5.4.2. La concentration en glucose dans chaque tube est donnée par la relation :

$$C_i V_i = C_f V_f$$

$$C_f = \frac{C_i V_i}{V_f}$$

C_i : concentration initiale de la solution mère 2g/l

V_i : volume initial dans le tube avant la dilution

C_f : concentration finale en glucose

V_f : volume final dans chaque tube (1ml)

V.6. Hydrolyse

V.6.1. Gélification de la farine

100g de farine ont été introduits dans un erlenmeyer contenant 500ml d'eau distillée.

Puis, l'ensemble a été chauffé dans un bain marié de 80°C sur une plaque chauffante agitante jusqu'à la gélification du contenu pendant 1heure.

V.6.2. Hydrolyse de la farine gélifiée par le lait de malt

Le lait de malt a été versé dans l'erlenmeyer contenant le gel de farine après refroidissement, l'ensemble a été ajusté à 1000ml par l'eau distillée. Les réactions enzymatiques d'hydrolyse ont été laissées se dérouler en incubant la préparation dans un bain thermostaté où la température, le pH et la vitesse d'agitation ont été ajustées aux conditions expérimentales. On obtient ainsi l'hydrolysate.

V.6.3. Dosage des sucres réducteurs formés

La méthode utilisée est le dosage des sucres réducteurs par la méthode de SUMNER et HOWELL qui utilise la lecture au spectrophotomètre des densités optiques. Elle présente ainsi un avantage sur la fiabilité des résultats par rapport à la méthode à la liqueur de Fehling qui utilise un constat visuel (relatif) pour le calcul des sucres réducteurs à partir du virage de la coloration.

V.6.4. Défécation de l'hydrolysate

5 ml d'hydrolysate prélevés ont été ajoutés à 1g de carbonate de calcium. Et 1ml de ferrocyanure de potassium 15% et 1ml d'acétate de zinc 30% y ont été ajoutés après 15minutes. Le volume final du prélèvement a été ramené à 100ml avec de l'eau distillée, puis l'ensemble a été bien agité. Une filtration est ensuite effectuée à l'aide d'une pompe aspirante. Le filtrat ainsi obtenu sert d'extrait pour le dosage proprement dit. Cette défécation sert à éliminer les impuretés.

V.6.5. Dosage des sucres réducteurs

0,1ml du filtrat plus 0,9ml d'eau distillée ont été mis dans un tube à essai. Puis, on a ajouté 1ml de DNS. L'ensemble a été ensuite incubé pendant 5 minutes à 100°C dans un bain marie. Après refroidissement, 10ml d'eau distillée ont été ajoutés à la préparation. La densité optique a été mesurée au spectrophotomètre à 540 nm.

Remarque : Ce dosage des sucres réducteurs a été effectué pour chaque prélèvement réalisé toutes les 24 heures, l'expérience a été arrêtée lorsqu' aucune augmentation des valeurs de densité optique n'était plus constatée (valeurs constantes).

V.7. Obtention du sirop de glucose

L'hydrolysate obtenu a été centrifugé à 16.000 tours par minute pendant 20minutes. Le surnageant a été récupéré, puis concentré dans un rotavapor à 100°C. Du sirop de glucose a été recueilli.

V.8. Expression des résultats**V.8.1. Gamme étalon de glucose**

A partir de la gamme étalon, la concentration en sucre réducteur SR peut être déterminée par le calcul :

DO

DO = K C L K = -----

C L

DO : densité optique

K : coefficient de proportionnalité

C : concentration en SR (g/l)

L : chemin optique (1cm)

Dans le courbe étalon de la solution mère de glucose, K se calcule comme suit :

DO₂-DO₁

K = -----

C₂ - C₁

V.8.1.1. Teneur en sucres réducteurs de la farine

Une fois la densité optique de la solution contenant la farine de patate douce lue, la concentration en sucre réducteur se calcule comme suit :

DO

SR = -----

K

Or, en tenant compte des dilutions, la concentration est obtenue par la formule :

DO

SR = ----- x fd

K

fd : facteur de dilution

SR : la concentration en sucres réducteurs de la farine de pomme de terre.

Gélification : (Solution S)

100 g farine + 1000 ml d'eau distillée _ SR en g/ l de la solution

Hydrolysats : (Solution S')

5ml de la solution S ramenés à 100ml donc dilution à $100/5 = 20$

Dosage proprement dit : (Solution S'' utilisée pour la lecture de la DO)

0,1ml de la solution S' ramené à 1 ml soit dilution à $1/0,1 = 10$

d'où le facteur de dilution totale de $20 \times 10 = 200$. Ainsi,

SR = 200 x DO / K

SR : sucre réducteur

DO : densité optique lue au spectrophotomètre

K : coefficient de proportionnalité

V.8.1.2. Rendements d'hydrolyse

Le rendement de la conversion de l'amidon de la fécule de patate douce en sucre réducteur est donné par la formule suivante :

$$R \% = \frac{[SR]_t}{[Amidon] \text{ patate douce}} \times 100$$

R : rendement

[Amidon] patate douce: concentration en amidon de la fécule de patate douce

[SR]_t : concentration en sucre réducteur au temps t

Par contre, le rendement total de l'hydrolyse enzymatique se calcule suivant la formule :

$$R_t \% = \frac{[SR]_t - [SR]_0}{[Amidon] \text{ patate douce} + [Amidon] \text{ paddy germé}} \times 100$$

R_t : rendement total

[Amidon] patate douce: concentration en amidon de la fécule de patate douce

[Amidon] paddy germé : concentration en amidon du lait de malt

[SR]_t : concentration en sucres réducteurs au temps t

[SR]₀ : concentration en sucre réducteur au temps t₀

CHAPITRE 6.RESULTATS ET INTERPRETATIONS

VI.1. Gamme étalon de glucose

Elle est présentée dans le tableau 6.

Tableau 8 : Gamme étalon de glucose

Tube n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Glucose 2g/l (Vi en ml)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Eau distillée (ml)	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
DNS (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Eau Distillée(ml) après bain-marie	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Refroidissement										
SR (Cf en g/l)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
DO à 540 nm	0	0,132	0,28	0,423	0,56	0,67	0,85	0,983	1,052	1,20

Le coefficient de proportionnalité **K = 0,6798**.

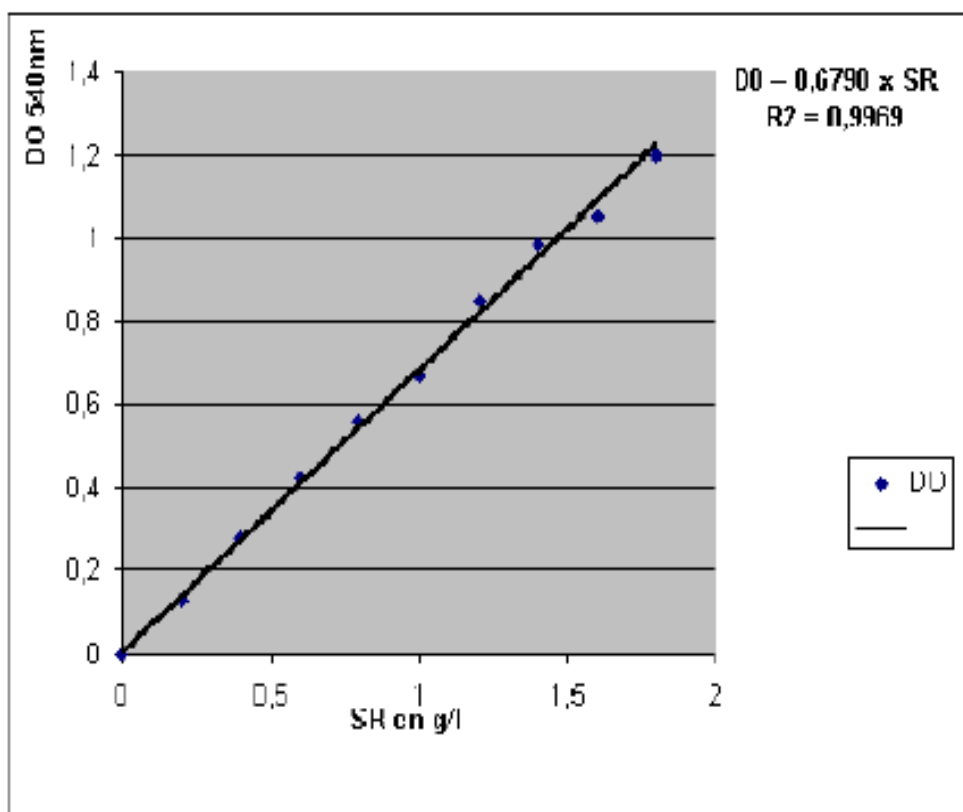


Figure 2 : Gamme étalon de glucose

R : coefficient de corrélation

VI.2. Concentrations en sucres réducteurs

L'évaluation des courbes des concentrations en sucres réducteurs en fonction du temps durant l'hydrolyse est présentée sur les figures 2 à 9.

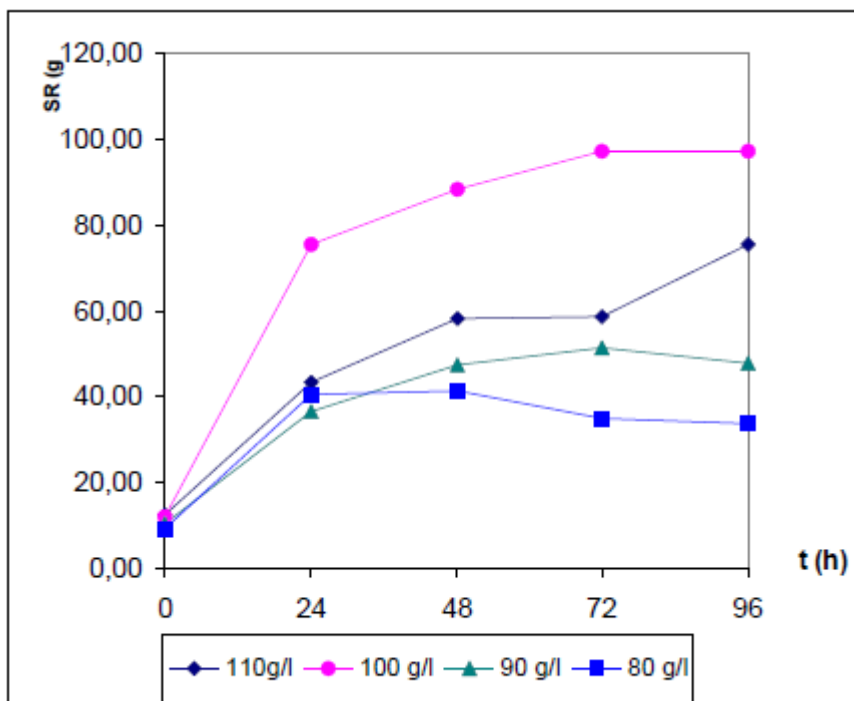


Figure 3 : Optimisation de la concentration initiale en substrat Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps pour différentes concentrations initiales en substrat.

VI.3. Optimisation de la température et ph

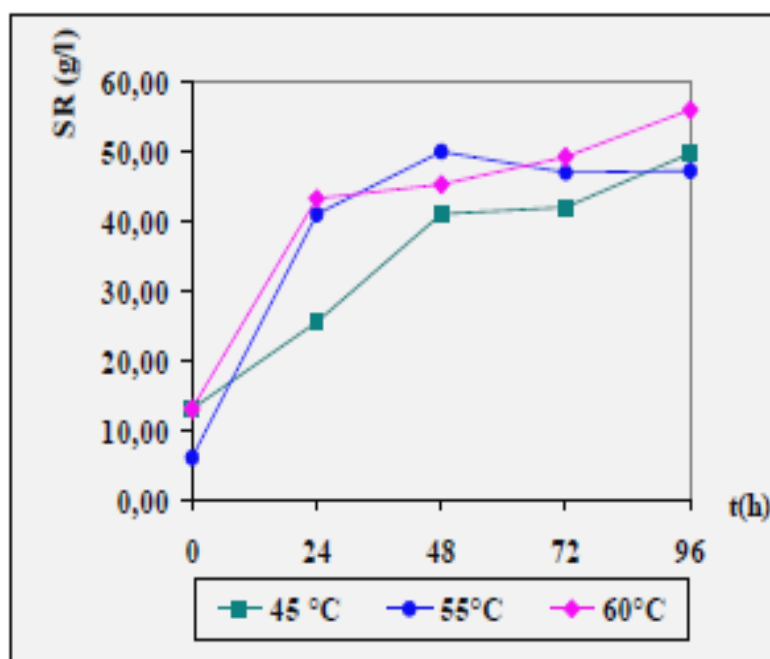


Figure 4 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 4,34 pour différentes températures

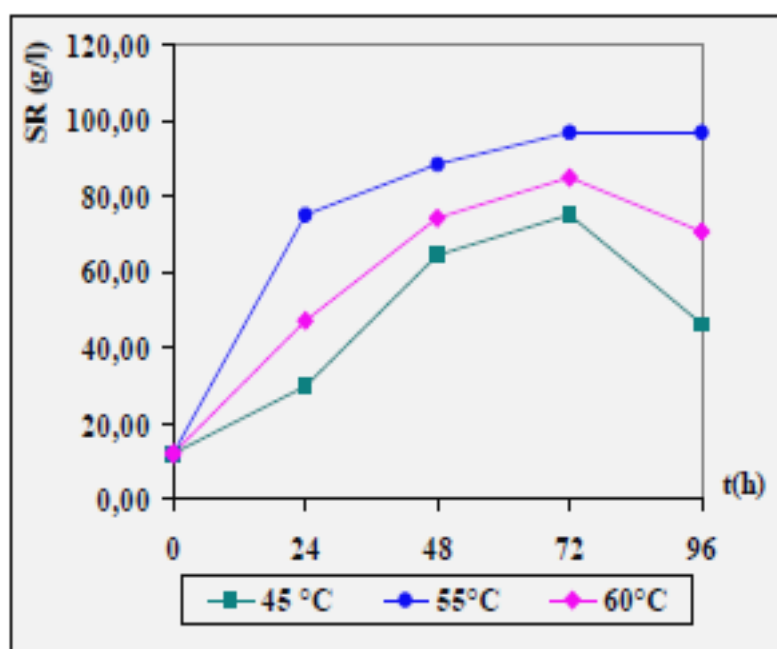


Figure 5 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 5,34 pour différentes températures

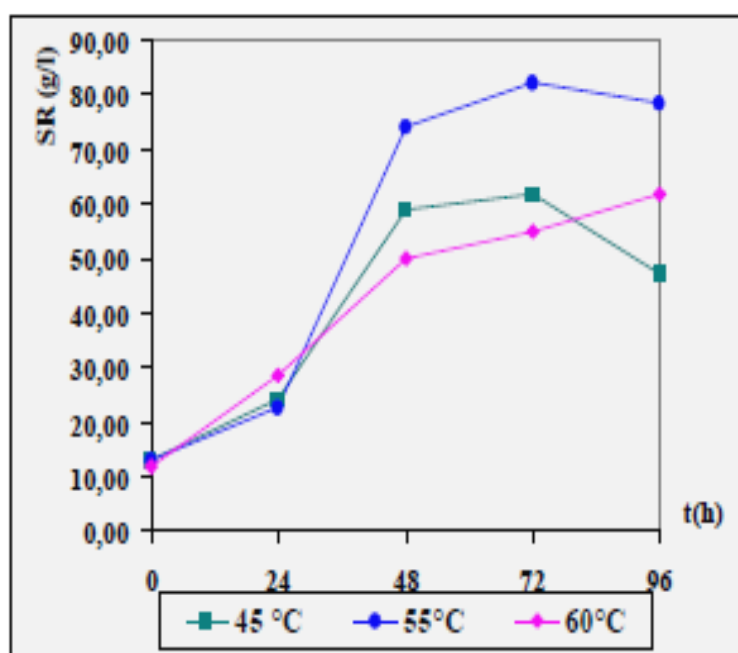


Figure 6 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à pH 6,34 pour différentes températures

Optimisation de la vitesse d'agitation et ph :

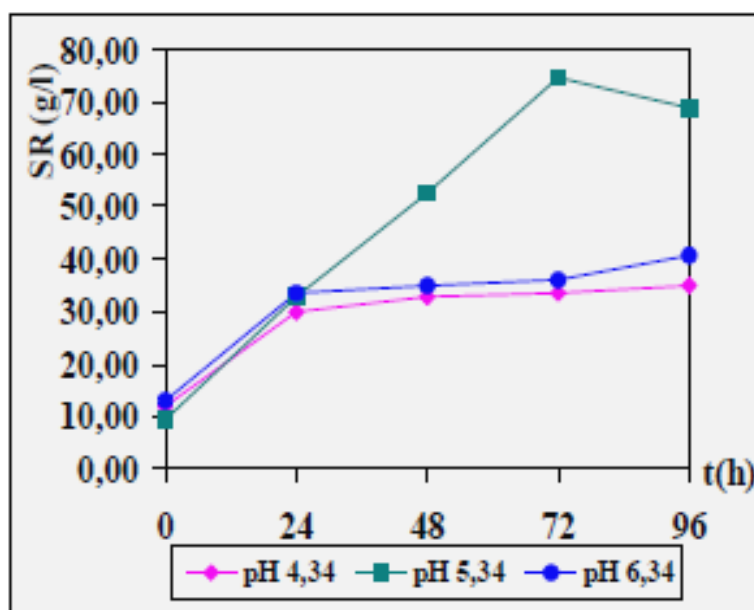


Figure 7 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 100rpm pour différents pH

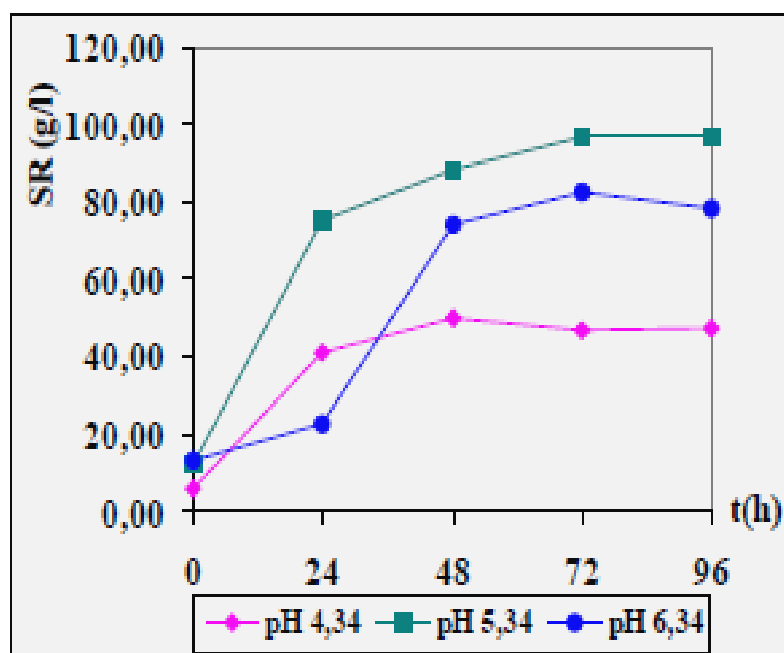


Figure 8 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 150rpm pour différents pH

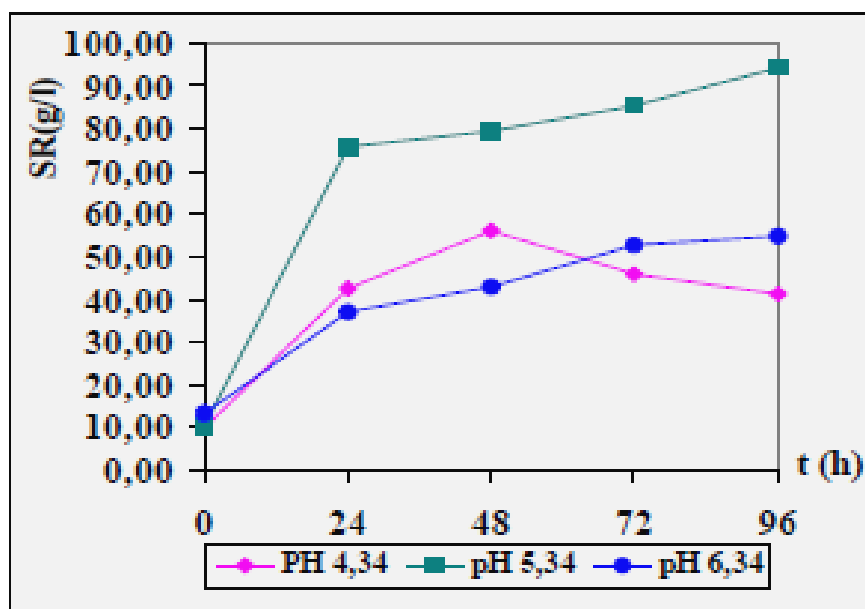


Figure 9 : Evolution de la concentration en sucres réducteurs en fonction du temps à 200rpm pour différents pH

Les tableaux 9 à 12 récapitulent les données de l'expérience précitée.

Tableau 9 : Récapitulatif des concentrations en sucre réducteur maximale et des rendements : optimisation de la concentration

S (g/l)	110	100	90	80
SR max (g/l)	75,321	77,08	51,50	41,20
t (h)	96	72	72	48
A (%)	69 ,27	61,20	52,22	43,19
R(%)	52,93	72,64	40,74	34,12

Tableau 10 : Récapitulatif des conditions optimales de températures et pH sur les concentrations en sucre réducteur

T°C	45			55			60		
Ph	4,34	5,34	6,34	4,34	5,34	6,34	4,34	5,34	6,34
SR (g/l)	49,72	75,32	61,78	50,01	97,09	82,38	55,90	84,73	61,78

Tableau 11 : Récapitulatif des conditions optimales de vitesse d'agitation et pH sur les concentrations en sucre réducteur

V(rpm)	100			150			200		
PH	4,34	5,34	6,34	4,34	5,34	6,34	4,34	5,34	6,34
SR (g/l)	35,01	74,73	40,89	50,01	97,09	82,38	55,90	94,15	54,72

VI.4. Interprétation des résultats

VI.5.1. Optimisation de la concentration

La concentration en sucre réducteur est maximale à 97,07 g/l pour la concentration de l'hydrolysate à 100 g/l. Dans ce cas, le rendement est de 72,64 %. (figure 2 et tableau 9)

On constate que :

- Le rendement maximal en sucre réducteur correspond à la concentration initiale en substrat 100g/l et au temps d'hydrolyse 72 heures.(figure 2 et tableau 9)
- Les faibles concentrations initiales en substrat entraînent l'augmentation de maltose formé gênant la saccharification
- Tandis que les concentrations élevées en substrat initial inhibent l'activité enzymatique.

En bref, la concentration optimale est de **100 g/l** de substrat.

VI.5.2. Optimisation de la température et pH

On constate en analysant les figures 4 à 6 et le tableau 10 que :

- La température optimale est de 55°C pour les pH 5,34 et 6,34 ; et elle est de 60°C à pH 4,34 ;
- Néanmoins, pour une même température, la valeur maximale correspond à pH 5,34 ;
- Dans tous les cas, la concentration maximale est à pH 5,34 à 55 °C ;
- A pH 4,34, il existe une augmentation rapide de la concentration puis, une phase stationnaire. Pour le pH 5,34, il existe une concentration maximale aux 45°C et 55°C ;
- Par contre, à pH 6,36, il y a une faible activité enzymatique au début de l'hydrolyse jusqu'à 24 heures pour augmenter avant d'avoir la phase stationnaire.

Pour une enzyme donnée, il existe une zone de température à laquelle l'activité enzymatique est maximale. Pour des températures inférieures, l'énergie est insuffisante à l'activité et que l'hydrolysate pourrait être contaminé, tandis que celles des températures supérieures, l'enzyme est dépourvue à cause de la dénaturation et l'inactivation des protéines par la chaleur. Dans notre cas, la température optimale est de 55°C Une solution acide par rapport au pH optimum augmente la formation de -COOH et supprime l'activité de l'enzyme à cause de la diminution du COO⁻, qui en principe devrait fixer sur le substrat pour l'activité enzymatique.

Par contre les fortes doses d'acide favorisent la saccharification et provoquent la transformation de phosphates neutres qui retardent le phénomène en produisant de phosphates acides.

Beaucoup de micro-organismes ne supportent pas les conditions pH 4,34 et 60°C, donc le milieu est décontaminé entraînant une production de sucres réducteurs beaucoup plus élevée par rapport au même pH mais à des températures moindres. L'activité optimale hydrolysante du malt de paddy sur la farine de pomme de terre a été obtenue à la température 55 °C et au pH 5,34.

VI.5.3. Optimisation de la vitesse d'agitation et pH

L'agitation permet l'homogénéisation du milieu : une vitesse faible donne un milieu hétérogène tandis qu'une agitation forte entraîne un risque de contamination.

L'analyse des figures 7 à 9 et le tableau 11 montre que :

- Aux vitesses d'agitation 100 et 200 rpm à un pH autre que le pH optimum, l'activité enzymatique reste faible ;
- Dans tous les cas, les concentrations maximales ont été obtenues à une vitesse d'agitation **150rpm et un pH : 5,34**.

Une faible vitesse d'agitation ne permet pas une homogénéisation du milieu donc une faible quantité de sucres réducteurs formés. L'activité optimale hydrolysant du malt de paddy germé sur la farine de pomme de terre est obtenue à une vitesse d'agitation **150 rpm**.

Remarque

Le résidu de l'hydrolysate appelé drèche a été pesé : 100 grammes de farine de patate douce a permis d'obtenir 72 grammes de drèches après les différents étapes mentionnés en méthodologie.

VI.5. Optimisation des paramètres

L'optimisation des paramètres expérimentaux se déroulait comme suit :

- **Concentration initiale en substrat** : la température, le pH et la vitesse d'agitation étaient fixées respectivement de 55°C ; 5,35 et de 150rpm, la concentration initiale en substrat a été variée successivement de 110 ; 100 ; 90 et 80g/l ;
- **Température et pH** : la concentration initiale en substrat, la vitesse d'agitation étaient fixées respectivement de 100g/l et de 150rpm, la température a été variée successivement de 45 ; 55 et 60°C. Pour chacune des températures, le pH est varié de 4,34 ; 5,34 et de 6,34 ;
- **Vitesse d'agitation et pH** : la concentration initiale en substrat et la température étaient fixées respectivement de 100g/l et de 55°C, la vitesse d'agitation a été variée successivement de 100 ; 150 et 200rpm. Pour chacune des vitesses d'agitation, le pH est varié de 4,34 ; 5,34 et de 6,34. La modification du pH est faite par l'ajout d'une solution acide (acide acétique : CH₃COOH) ou basique (soude : NaOH).

Tableau 12 : Récapitulatif des conditions opératoires pour l'hydrolyse Enzymatique

OPTIMISATION			
S(g/l)	T°C	pH	V(rpm)
110 – 100 – 90 – 80	55	5,34	150
100	45 – 55 – 60	4,34 - 5,34 - 6,34	150
100	55	4,34 - 5,34 - 6,34	100 - 150 – 200

VI.6. Conclusion

L'optimum de l'activité enzymatique de l'hydrolyse de la farine de Patate douce est optimale a été obtenu dans les conditions suivantes : Concentration initiale en substrat : 100 g/l, température 55°C, pH 5,34 et vitesse d'agitation .150rpm.

CHAPITRE 7.FERMENTATION ALCOOLIQUE

La cinétique de la fermentation alcoolique permet de mesurer la quantité d'alcool produit.

VII.1. Matériels

VII.1.1. Le milieu de culture

Le milieu de culture est constitué par le sirop de glucose obtenu lors de l'hydrolyse enzymatique de la farine de patate douce. Ce sirop est dilué en fonction du besoin en concentration au cours des expériences.

VII.1.2. Les additifs d'agent de fermentation

Nous utilisons la levure boulangère sèche à une dose de 46g/hl qui constituée essentiellement par de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Pour avoir un bon résultat, il faut réactiver cette levure.

VII.2. Mode opératoire

VII.2.1. Pré-culture

4,2g de levure *Saccharomyces cerevisiae* sont introduits dans un erlenmeyer contenant 30g de sirop de glucose. Avant de boucher avec du coton cardé, le volume est ajusté à 1l avec de l'eau distillée pour avoir une solution sucrée de concentration 30g/l et de levure de concentration 4,2g/l. l'erenmeyer avec son contenu est posé dans un bain thermostaté ou dans une étuve pendant 48h, Cette pré-culture a été faite à une température constante de 30°C. Après quelques minutes, une formation de mousse se produit à la surface de la solution, cela veut dire que la fermentation se fait. La formation de mousse dans le mélange est suivie d'un dégagement de gaz carbonique (CO₂).

VII.2.2. Les éléments minéraux introduits lors de la Fermentation

Nous savons que le temps ou période de fermentation dépend de la condition du milieu, de la composition du milieu, de la concentration en substrat et de la concentration en levure.

Dans le milieu de culture, nous avons ajouté les sels suivants pour favoriser la fermentation:

- Sulfate de magnésium : MgSO_4 à 1g/l
- Sulfate d'ammonium : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à 2g/l
- Phosphate de potassium: KH_2PO_4 à 5g/l

VII.3. Suivi de la fermentation

Pour connaître la fin de la fermentation :

- toutes les 24heures, 5ml de milieu réactionnel ont été prélevés pour le dosage des sucres résiduels mesurés par la méthode au DNS.
- Nous allons voir la variation de la température et pH au cours fermentation.
- les mesures de température et de pH à l'aide de thermomètre et de pH-mètre.

Tableau 13 : Les paramètres du suivi de fermentation (lot I)

Temps (jours)	Teneur en sucre résiduel(g/l)	Température (°C)	pH
1	35,01	25	5,20
2	22,12	25,3	5,15
3	20,05	25,8	5,10
4	17,15	26,5	5
5	12,90	26,9	5
6	7,29	27,5	4,6
7	3,10	28,4	4

Tableau 14 : Les paramètres du suivi de fermentation (lot II)

Temps (jours)	Teneur en sucre résiduel (g/l)	Température (°C)	Ph
1	35,01	25	5,30
2	22,12	25,2	5,20
3	20,05	25,5	5,13
4	17,15	26	5
5	12,90	26,4	4,8
6	7,29	27	4,6
7	3,70	27,5	4,1

VII.4. Interprétation

On a constaté :

- Que la température augmente alors que la fermentation se déroulait normalement
- Une forte dégradation du substrat dès les premières 24heurs des réactions.
- Un non épuisement total de ce substrat au temps t (t=7j) final.
- Des inégalités des concentrations finales en sucre résiduel.

CHAPITRE 8.DISTILLATION

La distillation se fait après la fermentation pour pouvoir récupérer l'alcool produit durant la fermentation. Le procédé de distillation est le même pour les trois fermentations. La solution provenant de la fermentation est versée dans le ballon avant la mise en place de tous les matériels de l'appareil de distillation.

VIII.1. Schéma de montage et matériel utilisé

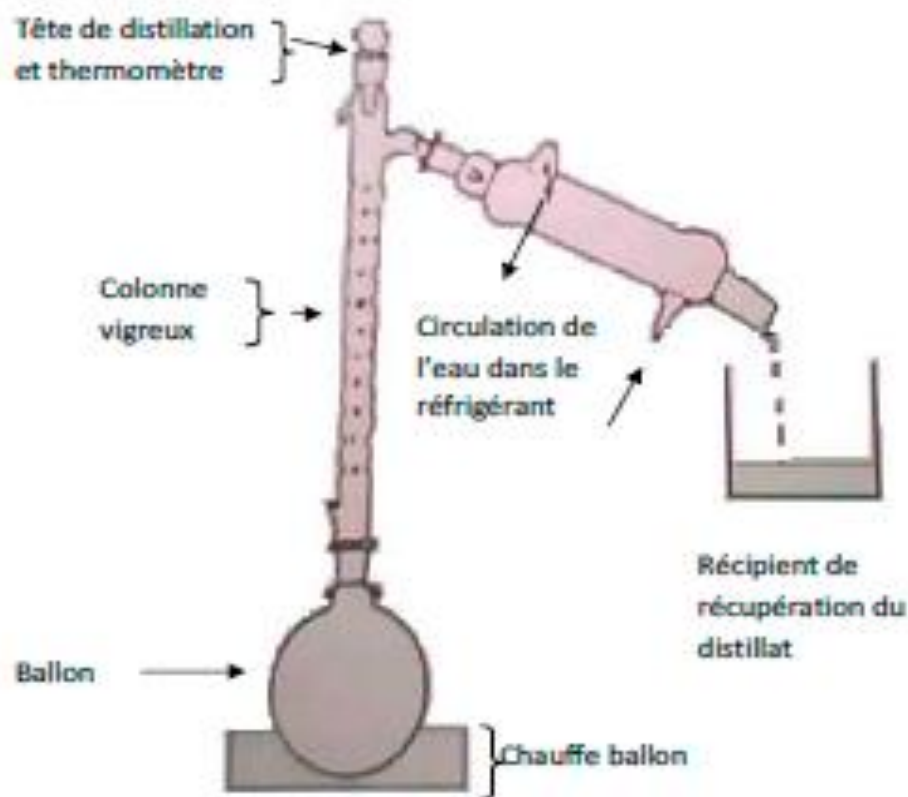


Figure 10 : Distillateur

VIII.2. Mode opératoire

Il faut que tous les matériels ci-dessus soient prêts avant de verser le mélange (mélange résultant de la fermentation) dans le ballon jusqu'à obtenir les deux tiers du volume du ballon au maximum. Quelques pierres ponce sont ajoutées avant d'établir le montage de la distillation. Le chauffe-ballon est alimenté à l'électricité, tout en réglant la température pour avoir une valeur proche de 80°C indiquée par un thermomètre.

Le robinet qui alimente le réfrigérant est ouvert. Le distillat est recueilli avec une éprouvette graduée. La distillation est arrêtée au moment où l'on constate l'inexistence d'alcool dans la goutte qui sort du tube réfrigéré.

VIII.3. Récapitulatif des résultats de la fermentation

Tableau 15 : récapitulatif des résultats de la fermentation

Lot	Teneur en sucre réducteur (g/l)	pH	Distillat (ml)	rendements d'alcool (%)	Temps de distillation	Degrés d'alcool (°GL)	Densité
I	3,10	4	650	81,10	3h15mn	83,3	0,8516
II	3,70	4,1	650	80, 75	3h05mn	79	0,8635

Temps de distillation : C'est le temps compté à partir de la goutte d'alcool recueillie.

VIII.4. Interprétation

- Le degré d'alcool obtenu est d'autant plus élevé que le temps de distillation est long. Ce temps dépend de la température utilisée au cours de la distillation ; si celle-ci est élevée, l'équilibre liquide-vapeur ne s'établit pas au niveau des plateaux. Il est donc nécessaire de faire la distillation à la température modérée. La température ne devrait pas dépasser 80°C. D'après le résultat, la quantité d'alcool produit dépend de la quantité de sucre réducteur formé pendant l'hydrolyse. Les matériels utilisés jouent aussi un grand rôle sur la durée de distillation (taille du ballon, grandeur de la chauffe-ballon, longueur de la colonne et type de réfrigérant utilisé).

- on a vu aussi que le rendement d'alcool du **Lot I** c'est à dire la patate douce rouge provenant de Tuléar est plus élevée que le rendement d'alcool du **Lot II** la patate douce rouge provenant d'Antananarivo car le taux de sucre réducteur est différente même les 2 échantillons de patate douce rouge sont de la même variété mais de deux provinces différentes, en plus on sait qu'on a le climat chaud à Tuléar alors les conditions de température augmentent le volume et le taux de sucre dans la patate douce.

PARTIE 3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES ET DISCUSSION

CHAPITRE 9. PREMIERE COMPARAISON

Tableau 16 : Comparaison de l'alcool obtenu avec d'autre méthode

Hydrolyse (patate douce rouge)	Durée de la fermentation (j)	pH	Degrés d'alcool (°GL)	Densité
Enzymatique (Tuléar)	7	4	83,3	0,8516
Enzymatique (Antananarivo)	7	4,10	79	0,8635
Acide (Tuléar)	10	4,20	77,3	0,8680
Acide (Antananarivo)	9	4,34	73	0,8784

Interprétation

Remarquons ici que la fermentation par l'hydrolyse acide n'a pas d'autre additifs que la levure *Saccharomyces cerevisiae*, on constate que les résultats sont plus ou moins égaux mais la durée de fermentation est différente. Puisque on n'a pas suivi le protocole exact sur l'hydrolyse acide comme : dosage de sucre réducteur après et avant l'hydrolyse en plus beaucoup d'ajustement d'eau distillée dans le jus de patate douce avant la fermentation. Mais par contre on a suivi le déroulement de la fermentation et on a distillé lorsqu'il y a plus de dégagement de CO₂.

On conclut que l'hydrolyse enzymatique est plus efficace que l'hydrolyse acide en plus la transformation de la patate douce en farine facilite la manipulation de cette méthode.

Il est essentiel aussi de transformer l'hydrolysate en sirop de glucose pour augmenter le taux d'alcool.

CHAPITRE 10. DEUXIEME COMPARAISON

X.1. Comparaison de la teneur en amidon [39]

Le tableau ci-après montre les différentes valeurs de la teneur en amidon des 5 variétés de plantes amylacées.

Tableau 17 : Comparaison avec différentes valeurs de teneur en amidon de plantes amylacées

PLANTES	AMIDON DE LA FARINE (%)
Ovy diamodra	90,26
Fruit à pain (fruit mur)	78,81
Manioc	85,00
Riz	60,00
Patate douce rouge	61,20

Il en résulte que la farine de patate douce a une teneur en amidon faible par rapport aux 4 variétés de plantes amylacées. Par contre le taux d'amidon du riz et de la patate douce sont proches.

X.2. Comparaison des plantes amylacées dans le cadre de l'hydrolyse enzymatique et de la fermentation alcoolique

D'autres données sur les plantes amylacées (tubercules, céréales et fruits) dans le cadre de l'hydrolyse enzymatique et de la fermentation alcoolique ont montré les rendements optimisés en sucres réducteurs et en éthanol respectivement de 75,70% - 93,51% (ovyfotsy mangamaso) ; 79,00% (manioc) ; 99,47% - 95,40% (manioc madarasy) ; 90,46% - 84,70% (fruit à pain mûr) ; 74,52% - 85,26% (banane à plantain G2044).

Par comparaison avec d'autres plantes étudiées, parmi les plantes les plus riches en amidon, la patate douce rouge figure en moyenne en amidon (61,20 %) et avec un rendement d'hydrolyse assez élevé (72,64%). En outre, les rendements d'alcool (en éthanol) des deux échantillons de patate douce (Antananarivo et Tuléar) sont proches (81,10 % et 80, 75%), alors que, après hydrolyse la mode opératoire de notre étude et celle de six variétés de plantes amylacées sont différentes, on a utilisé de moût et on a arrêté la fermentation (7j) lorsqu'il n'y a plus de dégagement de CO₂. D'où l'importance de cette variété, aussi bien pour la production de sirop de glucose que d'alcool (éthanol) par rapport aux autres variétés de plantes amylacées sus-mentionnées.

Dans ces différents études, y compris la patate douce, objet de ce travail, nous constatons que, l'optimum de l'activité enzymatique de l'hydrolyse de la farine de plantes amylacées a été obtenu dans les trois conditions suivantes : température 55°C, pH 5,34 et vitesse d'agitation .150rpm.

PARTIE 4. ASPECT ENVIRONNEMENTAL

Les problématiques environnementales pouvant être liées à ce projet de production d'alcool sont les suivantes :

- Mise en place de l'industrie.
- Mise en place de système de recyclage et de traitement des résidus ou des déchets d'hydrolyse et de fermentation.
- Mise en place de traitement d'eau avant le rejet dans la nature.

L'identification des impacts potentiels a permis de définir les principaux enjeux environnementaux liés à la mise en route du Projet de production industrielle d'éthanol. Les impacts potentiels peuvent être positifs et négatifs.

I- Impacts positifs :

- Le principal impact positif sera le dégagement des gaz à effet de serre.
- La création d'emplois pour la population locale ;
- La vulgarisation des techniques de traitement de déchets pouvant contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations environnantes ;
- Diminution de l'importation des produits ;
- Croissance économique de notre pays ;
- Récupération des déchets.

II- Impacts négatifs :

Des impacts négatifs pourraient être relevés pendant l'exécution des travaux d'installation de l'industrie.

Ces impacts concernent :

- Les conflits sociaux occasionnés par la migration des travailleurs non-résidents et des salariés ;
- Les nuisances sonores occasionnées par les engins motorisés ;
- La contamination des sols et de l'eau par les produits dangereux et les liquides provenant des déchets ;
- Dégagement de CO₂ provenant de la réaction de fermentation ;
- L'emploi de l'acide sulfurique qui est un produit très corrosif pouvant provoquer de graves brûlures;
- Risque d'explosion en cas d'incendie dans la mesure où l'éthanol (alcool) absolu est un liquide inflammable.

III- Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation suivantes sont proposées afin de réduire au minimum les impacts défavorables :

- Reboisement intensif ;
- Information et sensibilisation des employés sur le socio-relationnel ;
- Maintenance suivie des engins et matériels roulants ;
- Limitation de vitesses ;
- Etanchéisation des aires d'entretien des véhicules ;
- Mise en place d'un système anti-incendie ;
- Valorisation ou traitement des déchets de façon moderne ;

CONCLUSION

Madagascar détient de vastes ressources en biodiversité que l'on peut exploiter et améliorer.

Un bref point bibliographique montre que la patate douce est un tubercule ayant de fortes potentialités aussi bien alimentaires qu'industrielles avec une production brute qu'on peut exploiter pour apporter une part significative au développement économique d'un pays. Aussi, sur ce point, nous avons pu approfondir nos connaissances scientifiques.

La farine de patate douce contenant 61,20% d'amidon produit un sirop de glucose après hydrolyse enzymatique au moyen du lait de malt de paddy germé. Un rendement optimisé de 72,64% a été obtenu lors de cette hydrolyse dans les conditions de température de 55°C, de pH = 4 et de la concentration initiale en substrat de 100g/l de farine.

Ceci confirme l'efficacité de la méthode de maltage utilisée pour hydrolyser l'amidon de la farine de patate douce.

Le sirop de glucose ou hydrolysate produit de l'alcool pendant la fermentation alcoolique conduite en culture discontinue par la levure *Saccharomyces cerevisiae* avec un rendement optimisé de 81,10 % et 80, 75%. Cet optimum de rendement est obtenu lorsque la fermentation de concentration initiale en substrat est de 75g/l en sucres réducteurs, la température de 30°C et de pH de la culture a été 5.

A Madagascar, malgré l'abondance des variétés de plantes amylacées (tubercules, fruits et céréales), les sirops de glucose utilisés par les industries agroalimentaires (confiserie, biscuiterie, chocolaterie...) implantées localement restent encore importés. Ainsi cette recherche sur la patate douce peut offrir des opportunités aux opérateurs du secteur agroalimentaire.

De plus, les drèches (résidus de l'hydrolyse enzymatique) sont utilisés pour l'alimentation du bétail. Ils sont par exemple recueillis et achetés à 150Fmg le kilo chez la STAR à Antsirabe par des éleveurs de bovidés. D'où une exploitation envisageable de cette recherche, permettant, non seulement l'exploitation rationnelle pour la valorisation de ce tubercule, mais aussi une source de revenus et d'emplois.

Dans l'avenir, nous espérons approfondir cette étude et l'étendre sur une mise au point de la culture en système continu et discontinu alimenté de *Saccharomyces cerevisiae*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] RAKOTONDRAVALY Désiré Alphonse, Essai de fabrication de briques en terre stabilisée, à base de stabilisants routiers, cas de la latérite de VONTOVORONA, DEA Science des Matériaux, 2003, 75p.
- [2] WATSONL and DALLNITZ. MJ, Ecology and Evolutionary biology conservatory, “The families of flowering plants: Description, Illustration, Identification and Information”, Version 19th, August 1999.
- [3] HUBERT Paul, Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale TOME 2, Edition 1971.
- [4] RANDRANTO Faly Alain, Caractérisation physico-chimique de la patate douce de la région Sud-Ouest de Madagascar et les transformations envisageables, Mémoire de fin d'études en Industrie Agricole et Alimentaire ESSA, 91p.
- [5] VALY Agrideveloppement, DiaryValy (Cultures vivrières), 1993.
- [6] HUBERT P., 1971, La patate douce, 18 pages.
- [7] GUYOT L., 1964, Amérique Centrale et Australe, in origine des plantes cultivées, Presse Universitaire de France, Boulevard Saint-germain, Paris, 1964, 126 pages.
- [8] CTA, (2000), Making Sweet Potato Chips and Flour, Guide pratique n°6, 6 p.
- [9] DEGRAS L., (1998), Le technicien d'Agriculture Tropicale : La patate douce, ACCT&CTA, 99-127 p.
- [10] HUANG P.C., (1982), La valeur nutritive de la patate douce, Université nationale de Taiwan, Département de Biochimie, in SAPIN, La patate douce : Actes du premier symposium international, AVRDC&CTA, 45-46 p.
- [11] WOOLFE J.A., (1992), Sweet potato : an untapped food resource, Université de Cambridge, 643 p.

- [12] YANG T.H., (1982), La patate douce : aliment complémentaire, Université nationale de Taiwan, Collège d'Agriculture, Département de Chimie Agricole, in SAPIN, La patate douce: Actes du premier symposium international, AVRDC&CTA, 39-42 p.
- [13] RANAIVOSON R.L., (2009), Céréales & Tubercules, Cours de 5ème Année, Département IAA, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar.
- [14] ASSOCIATION POUR LAPROMOTION INDUSTRIE AGRO-ALIMENTAIRE (A.P.R.I.A)-Les nouveaux procédés mécanisés et continus dans l'industrie alimentaire tomes : malterie et brasserie, Paris 1971.
- [15] CARLES Jules-La chimie vin, presse universitaire de Paris, Paris 1966.
- [16] J.RIBEREAU-GAYON,E. PEYNAUD-Traité d'œnologie T1 et T2, Dunod, Librairie Polytechnique Béranger, Paris 1966.
- [17] JOIFFROY D'ABBRANS ISABELLE DE-cidre, bière et autres boissons familiales, Maison Rustisque, Paris1982.
- [18] LAROUSSE- La grande encyclopédie française, T2-T3, Paris 1988.
- [19] MANFRED MOLL, JEAN JACQUES, Bière and Cooler, Technique et Documentation- Paris 1991
- [20] RENE SCRIBAN-Industries Agricoles et Alimentaires : Progrès des sciences et techniques, Technique et Documentation, Lavoisier 1988.
- [21] BRISON JEAN. « Techniques d'Enzymologie bactérienne », Editeur : MASSON et Cie, Paris 5FR), 288p. 1971 ; SICART (1980). Compte rendu de la journée technologie enzymatique .Beckman, PARIS
- [22] ANON « Biotechnologie », Editeur : Technique et Documentation Lavoisier, Paris (FR), 905P. 1988
- [23] RAKOTORAHALAHY, J. «Contribution à la Valorisation des sous-produits de la production du rhum à partir du fruit de l'Uapacabojeri (Tapia); cas des graines et de la vinasse», Editeur : CIRAD, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur - ESSA - Université d'Antananarivo, 92p. 2005.

- [24] C. MARILLER : ‘‘Distillerie agricole et industrielle : Levurière, sous-produits’’. Ed.BAILLIERE, 1951.
- [25] RASOAMARIVO, H. L. «Contribution à l’étude de la transformation des tubercules de DioscoreaMaciba par hydrolyse enzymatique et fermentation Alcoolique», Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du Diplôme d’Etudes Approfondie, Facultés des Sciences, Université d’Antananarivo, 1995 (Biotechnologie/ Microbiologie).
- [26] RANDRIAMAHEFA RAUSSMAN, «Contribution à l’étude de la fermentation alcoolique du manioc ‘‘Madarasy’’ par Saccharomyces cerevisiae: optimisation des paramètres physico-chimique en culture discontinue», Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du Diplôme d’Etudes Approfondie, Facultés des Sciences, Université d’Antananarivo, 2000 (Biotechnologie / Microbiologie)
- [27] ANDRIAMASY H.: ‘‘Etudes, conception et réalisation d’une unité de rectification de produit de fermentation’’. Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du diplôme d’ingénieur – E SPA - Université d’Antananarivo, 2001
- [28] Bergmeyer ; en collab. Avec KarfriedGawehn. « Principes de l’analyse Enzymatique/Hans Ulrich.», Paris: Technique et Documentation.
- [29] RASOLONJATOVO A. J. ‘‘Contribution à l’étude de production d’éthanol anhydre en vue de son utilisation comme biocarburant’’. Mémoire de fin d’études pour l’obtention du diplôme d’ingénieur - ESPA - Université d’Antananarivo, 2008
- [30] Document PDF: Eric DAINI – Lycée Paul Cézanne – Aix en Provence ‘‘HYDRODISTILLATION’’ <http://labotp.org>
- [31] Document PDF : « 6- 1- 2_Ballerini.pdf »’’Chapitre 6 : La transformation de la biomasse lignocellulosique par voie biochimique’’
- [32] Document PDF : « fif753 »’’Utilisation des biotechnologies dans l’industrie papetière’’ INFORMATION - FORÊT N°3-2007, Fiche n° 753
- [33] Document PDF : RaouldhaMehri-Kamoun, Ecole supérieure d’horticulture de Chott-Meriem, 4042 Sousse (Tunisie)’’Effet de la Pectolyase Y-23 et de la cellulase RS sur le rendement en protoplastes viables de Prunus cerasus L. « Montmorency »’’ Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2001 5 (2),99-104

[34] Document PDF : Blog de Pierre Papon – Energie Choix Futur ‘’L’avenir des biocarburants : la cellulose est-elle soluble dans l’éthanol?’’ 27-06-2008

[35] Document PDF : P.GIRARD – Conseiller scientifique Institut Internationale d’Ingénierie de l’eau et de l’environnement ‘’Les Agro-carburants de 2nd génération Etat des lieux et perspectives’’

[36] Document PDF : ‘’<http://coproweb/indexmyc.htm>’’ (Aspergillus niger)

[37] GILBERT Bakoharimanana Hanitriniaina: « Contribution à la valorisation de la pomme de terre *Solanum tuberosum* variété « diamodra » Hydrolyse enzymatique-fermentation alcoolique par *Saccharomyces cerevisiae* ». Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du diplôme d’études approfondies – Faculté des sciences - Université d’Antananarivo, 2004

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

[38] [http : //www.fao.org/docrep/008/w0078f/w0078f09.htm](http://www.fao.org/docrep/008/w0078f/w0078f09.htm), Juillet 2010

[39] <http://www.femme.mag.tv>

[40] BRAULT D.M. et LAHAIE C., (2003), Valeur nutritive des aliments, 9ème édition, Société Brault-Lahaie, Saint-Lambert, Canada, consulté le 15 août 2009 sur <http://www.cipotato.org/>

[41] CAROLINE T., (2006), La patate douce : profil santé, Institut des Nutraceutiques et des Aliments Fonctionnels, consulté le 15 août 2009 sur <http://www.passeportsante.net/>

[42] FAO, (1990), La patate douce, Fiche n°13, *in* Commission du Pacifique Sud – Services de santé publique, consulté le 2 mars 2010 sur <http://www.fao.org/WAIRdocs/x5425f00.htm/>

[43] FAO, (2000), La patate douce : un potentiel trop peu connu, *in* BELL A., MÜCK O. et SCHULER B., Les richesses du sol – Les plantes à racines et tubercules en Afrique : une contribution au développement des technologies de récolte et d'après-récolte, consulté le 19 avril 2010 sur <http://www.fao.org/WAIRdocs/x5695f00.htm/>

[44] <http://www.google.fr/url?q=http://fr.wikipedia.org/wiki/Carburant>

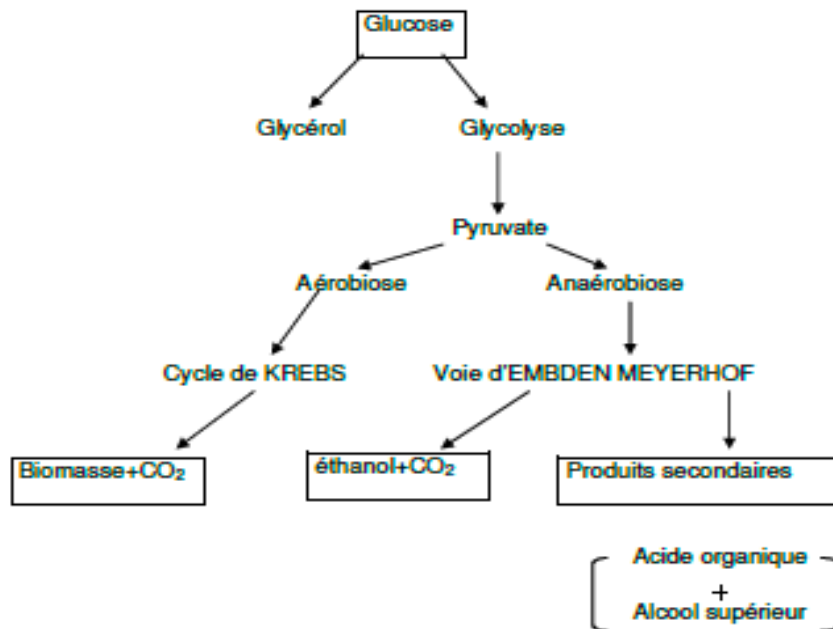
[45] Fermenteur.pdf (J.P LARPENT, ‘‘Biotechnologie des levures’’ ; René SCRIBAN ‘‘Biotechnologie’’ ; www.gazettelabo.tm.fr)

[46] <http://www.chemistry.mcmaster.ca/~chem2o6/labmanual/microscale/msdistn.html>

ANNEXES

ANNEXEI

Les voies de transformation ou métabolisme du Glucose dans le microorganisme



ANNEXEII

Autre méthode de dosage des sucres réducteurs

Test avec la liqueur de fehling

Mode opératoire et calcul du taux de sucre réducteur en utilisant la liqueur de Fehling :

_ Préparation de la liqueur de Fehling :

-prélever à l'aide d'une pipette graduée un volume V de liqueur de Fehling A, le placer dans une fiole de volume au moins 2V.

-prélever ensuite à l'aide d'une autre pipette graduée un volume V de liqueur de Fehling B et le verser dans la fiole renferme la liqueur de Fehling A: on obtient une solution de couleur bleu foncé

_ Teneur en sucre réducteur :

Avant l'hydrolyse

_ Pipeter 1 ml de jus et le mettre dans une fiole jaugée de 100ml

_ Ramener le volume à 100ml avec de l'eau distillée

- _ Pipeter 2ml de liqueur de Fehling près à l'emploi (couleur bleu) et mettre dans un tube à essai, ajouter quelques pierres ponce
- _ Verser la solution du jus par trois ou quatre gouttes à la fois dans la liqueur de Fehling que l'on maintiendra en ébullition pendant tout le dosage
- _ Noter V1 le volume de la solution versée pour obtenir un virage de la coloration bleue au rouge brique

$$G1 \text{ (teneur en glucose en g/l)} = \frac{0,0041 \times 100 \times 1000}{V1}$$

Après l'hydrolyse

On refait la même manipulation et noter V2 le volume de la solution qui réduit la liqueur de Fehling.

$$G2 \text{ (teneur en glucose en g/l)} = \frac{0,0041 \times 100 \times 1000}{V2}$$

G2 est la teneur totale en sucre réducteur à la fin de l'hydrolyse et (G2 – G1) est le taux de sucre réducteur formé pendant l'hydrolyse Enzymatique.

- _ La liqueur de Fehling n'est pas seulement utilisée pour calculer le taux de sucre contenue dans un mélange, mais aussi pour connaître la présence du sucre réducteur dans un composé.

Manipulation :

.Prélever deux gouttes de liqueur de Fehling et verser dans un tube à essai contenant deux à quatre gouttes de solution à tester.

. Placer dans un bain marie bouillant pendant 3mn. La couleur initiale est bleue tandis que la couleur finale reste bleue ou vire au vert, au rouge brique, au jaune.

Si la couleur finale reste bleue, cela veut dire qu'il n'y a pas de sucre réducteur dans la solution.

Si la couleur du liquide vire au vert (bleu vert), il y a de sucre réducteur mais en très faible quantité

Si la couleur vire au rouge brique, le mélange ou la solution contient du sucre réducteur

Si la couleur vire au jaune, le sucre réducteur du milieu à tester est concentré.

ANNEXE III

Culture discontinue de *Saccharomyces cerevisiae*

Les sels de sulfate de magnésium(MgSO_4) à 1g /l, sulfate d'ammonium(NH_4) $_2$ SO_4 à 2g /l et de dihydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4) à 5g/l ont été versés dans le sirop de glucose ainsi préparé (milieu de culture). Ensuite, le milieu de culture a été incubé à 10% par le levain (V/V). La température, le pH, la concentration du substrat ainsi que la vitesse d'agitation ont été ajustés en fonction des conditions expérimentales.

ANNEXE IV

Fermentation



ANNEXE V

Distillation



ANNEXE VI

Degrés d'alcool

N°	Degrés d'alcool (°GL)	Densité
1	50	0,9318
2	55	0,9216
3	60	0,9112
4	65	0,8992
5	70	0,8871
6	75	0,8743
7	80	0,8608
8	85	0,8464
9	90	0,8306
10	95	0,8128

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
SIGLES ET ACRONYMES	IV
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES PHOTOS.....	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1. ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	3
<i>CHAPITRE 1. GENERALITE SUR LA PATATE DOUCE</i>	4
I.1. Etudes botaniques	4
I.1.1. Systématique de la plante [2].....	4
I.1.2. Description morphologique de la plante [3] [4]	5
I.1.2.1. Les racines :.....	5
I.1.2.2. Tubercules.....	5
I.1.2.3. Tiges	5
I.1.2.4. Les feuilles.....	6
I.1.2.5. Les inflorescences	6
I.1.2.6. Fleurs :.....	6
I.1.2.7. Fruits	7
I.1.2.8. Graines	7
I.1.3. Physiologie [6] [39].....	8
I.1.3.1. Le cycle de développement.....	8
I.1.4. Ecologie [7].....	9
I.1.4.1. Besoins en chaleur	9
I.1.4.2. Besoins en eau	9
I.1.4.3. Besoins en lumière.....	9
I.1.4.4. Besoins en sol.....	9
I.1.4.5. Besoins en altitude.....	9
I.1.5. Variétés [5]	10
I.1.6. Utilisation [3]	10
I.1.6.1. Le tubercule	10
I.1.6.2. Les feuilles et tiges	10
I.1.7. Qualité nutritionnelle élevée [5] [9] [10] [11] [13] [40] [42].....	10
I.1.7.1. Valeur nutritive	11

I.1.7.2.	Glucides	12
a.	Pigments :	12
b.	Lipides	13
c.	Substances polyphénoliques	13
d.	Enzymes	13
e.	Vitamines	14
f.	Éléments minéraux	14
g.	Protéines	14
I.1.8.	Intérêt diététique et médicinal [3] [5] [7] [9] [10] [40] [41] [43]	14
I.1.8.1.	Propriétés antioxydantes :	15
I.1.8.2.	Anthocyanines	15
I.1.8.3.	Acides phénoliques:	15
I.1.8.4.	Protéine inhibitrice de la trypsine	15
I.1.8.5.	Caroténoïdes :	16
I.1.8.6.	Propriété anticancéreuse:	16
I.1.8.7.	Autres propriétés :	16
I.2.	Répartition géographique	16
I.3.	Techniques culturales	17
I.3.1.	Préparation du sol	17
I.3.2.	Choix des boutures	17
I.3.3.	Préparation des boutures	17
I.3.4.	Plantation	18
I.3.5.	Récolte	19
I.4.	Maladie [3]	19
I.4.1.	Les maladies	19
CHAPITRE 2.	GENERALITES SUR LES BOISSONS ALCOOLISEES	21
II.1.	Généralités sur l'alcool	21
II.1.1.	Généralités [23] [25] [29] [34] [35] :	21
II.1.2.	Classification de l'alcool	22
II.2.	Définition [17] [18]	23
II.3.	Historique [20]	24
II.2.1.	Différentes sortes de boissons alcoolisées [17] [18] [20]	24
II.2.2.	Technique de fabrication [14, 15,16]	25
II.2.2.1.	SHOCHU	26
II.2.2.2.	LA BIERE	26
II.2.2.3.	LE VIN	26
CHAPITRE 3.	HYDROLYSE ENZYMATIQUE	28
III.1.	Les enzymes	28
III.2.	Procédé de l'hydrolyse enzymatique	28
III.2.1.	Préparation de la graine de paddy	28
III.2.2.	Germination de graine de paddy	29
III.2.3.	Extraction de l'enzyme [36] [25]	29

III.2.4.	Préparation de substrat.....	29
III.2.5.	Hydrolyse proprement dite [22] [26].....	29
III.3.	Propriétés des enzymes et les enzymes mises en jeu.....	30
III.3.1.	Propriétés des enzymes [21]	30
III.3.2.	Les enzymes mises en jeux [21] [28] [32] [33].....	30
CHAPITRE 4.	<i>LES PROCEDES DE FERMENTATION ALCOOLIQUE ET LA DISTILLATION</i>	32
IV.1.	Fermentation	32
IV.1.1.	Historique [22] :.....	32
IV.1.2.	La fermentation alcoolique à partir de sucre réducteur [49]	32
IV.1.3.	Agents de fermentation alcoolique [22] [26]	33
IV.1.4.	Les facteurs affectant la fermentation [23]	34
IV.1.5.	Le substrat [25].....	35
IV.1.6.	Besoins en éléments minéraux [26]	35
IV.1.7.	L'aération	36
IV.1.8.	La température.....	37
IV.1.9.	Le pH.....	37
IV.1.10.	L'agitation	38
IV.1.11.	L'éthanol	38
IV.1.12.	Le gaz carbonique [25] :	38
IV.2.	Distillation [24] [29] [30].....	39
PARTIE 2.	ETUDES EXPERIMENTALES	41
CHAPITRE 5.	<i>HYDROLYSE ENZYMATIQUE PAR LA METHODE DE MALTAGE</i>	42
V.1.	Transformation de patate douce rouge.....	42
V.1.1.	Principe.....	42
V.1.2.	Matériel végétal et appareillage.....	42
V.1.1.1.	Matériel végétal.....	42
V.1.1.2.	Appareillage	42
V.1.3.	Mode opératoire	42
V.2.	Détermination du taux d'humidité de la farine	43
V.2.1.	Principe.....	43
V.2.2.	Appareillage.....	43
V.2.3.	Mode opératoire	43
V.2.4.	Expression des résultats	43
V.2.1.1.	Taux de la farine.....	44
V.2.1.2.	Taux d'humidité de la farine	45
V.3.	Détermination de la teneur en amidon de la farine par la méthode d'Ewers	46
V.3.1.	Principe.....	46
V.3.2.	Matériels	46
V.3.3.	Méthodes	46
V.3.1.1.	Préparation des solutions	46
V.3.1.2.	Détermination du pouvoir rotatoire total P.....	46
V.3.1.3.	Détermination du pouvoir rotatoire P' des substances solubles dans l'éthanol.....	47

V.3.1.4.	Expression des résultats	47
V.4.	Méthode de maltage	50
V.4.1.	Principe	50
V.4.2.	Méthodes	50
V.4.1.1.	Préparation du lait de malte	50
V.4.1.2.	Extraction de l'enzyme à partir de la graine de paddy	51
V.5.	Dosage des sucres réducteurs par la méthode de SUMNER ET HOWELL	51
V.5.1.	Principe	51
V.5.2.	Matériels	52
V.5.3.	Réactifs	52
V.5.4.	Mode opératoire	52
V.5.4.1.	Préparation des solutions de la gamme étalon de glucose	52
V.5.4.2.	La concentration en glucose dans chaque tube est donnée par la relation :	53
V.6.	Hydrolyse	53
V.6.1.	Gélification de la farine	53
V.6.2.	Hydrolyse de la farine gélifiée par le lait de malt	53
V.6.3.	Dosage des sucres réducteurs formés	54
V.6.4.	Défécation de l'hydrolysate	54
V.6.5.	Dosage des sucres réducteurs	54
V.7.	Obtention du sirop de glucose	54
V.8.	Expression des résultats	55
V.8.1.	Gamme étalon de glucose	55
V.8.1.1.	Teneur en sucres réducteurs de la farine	55
V.8.1.2.	Rendements d'hydrolyse	57
CHAPITRE 6.	RESULTATS ET INTERPRETATIONS	58
VI.1.	Gamme étalon de glucose	58
VI.2.	Concentrations en sucres réducteurs	60
VI.3.	Optimisation de la température et pH	61
Optimisation de la vitesse d'agitation et pH :		62
VI.4.	Interprétation des résultats	65
VI.5.1.	Optimisation de la concentration	65
VI.5.2.	Optimisation de la température et pH	66
VI.5.3.	Optimisation de la vitesse d'agitation et pH	67
VI.5.	Optimisation des paramètres	67
VI.6.	Conclusion	68
CHAPITRE 7.	FERMENTATION ALCOOLIQUE	69
VII.1.	Matériels	69
VII.1.1.	Le milieu de culture	69
VII.1.2.	Les additifs d'agent de fermentation	69
VII.2.	Mode opératoire	69
VII.2.1.	Pré-culture	69
VII.2.2.	Les éléments minéraux introduits lors de la Fermentation	69

VII.3.	Suivi de la fermentation	70
VII.4.	Interprétation	71
CHAPITRE 8.	<i>DISTILLATION</i>	72
VIII.1.	Schéma de montage et matériel utilisé	72
VIII.2.	Mode opératoire	72
VIII.3.	Récapitulatif des résultats de la fermentation	73
VIII.4.	Interprétation	73
PARTIE 3.	COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES ET DISCUSSION	75
CHAPITRE 9.	<i>PREMIERE COMPARAISON</i>	76
CHAPITRE 10.	<i>DEUXIEME COMPARAISON</i>	77
X.1.	Comparaison de la teneur en amidon [39]	77
X.2.	Comparaison des plantes amylacées dans le cadre de l'hydrolyse enzymatique et de la fermentation alcoolique	78
PARTIE 4.	ASPECT ENVIRONNEMENTAL	79
CONCLUSION		82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		83
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES		87
ANNEXES		A
TABLE DES MATIERES		88

Titre : « CONTRIBUTION A LA VALORISATION DE PATATE DOUCE POUR LA PRODUCTION D'ALCOOL »



Nombre de pages: 88
Nombre de figures: 10
Nombre de photos : 03
Nombre de tableaux: 17

RESUME

La teneur en amidon de la patate douce rouge de la province de Tuléar et d'Antananarivo, est mesurée à partir de la farine. La farine est le substrat pour la production de sirop de glucose. Le sirop a été utilisé comme substrat pour la fermentation à l'aide de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Quatre paramètres ont été optimisés: la concentration du substrat, la température, le pH et la vitesse initiale d'agitation. L'efficacité de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon de la farine a atteint le maximum de 72,64% correspondant à une concentration de sucre réducteur 97,09g / l. Par fermentation alcoolique, un rendement optimal de 81,10% et 80,75% (Tuléar et Antananarivo) d'alcool a été obtenue. En plus des intérêts scientifiques de cette étude, a des intérêts notamment industriels et environnementaux.

Mots-clés: la patate douce, sirop glucose, l'enzyme, malt, hydrolyse enzymatique, fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, l'alcool.

SUMMARY

The starch content of the sweet red potato from the province of Tulear and of Antananarivo, is measured from the flour. The flour was the substrate for the production of glucose syrup. The syrup was then used as a substrate for fermentation using yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Four parameters were optimized: the initial substrate concentration, temperature, pH, and stirring speed. The efficiency of enzymatic hydrolysis of the starch of the flour has reached the maximum of 107.55% corresponding to a concentration of reducing sugar 97,09g/l. By alcoholic fermentation, an optimum yield of 81,10% and 80,75% (Tuléar and Antananarivo) of alcohol was obtained. In addition to the scientific interests of this study, the plant has particularly industrial and environmental interests.

Keywords: sweet potato, syrup glucose, enzyme, malt, enzymatic hydrolysis, fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, alcohol.

Author: TAHINJANAHARY Fetimamy
Author's address: 2Rue Samuel Ramahefa Ambohijatovo Antananarivo
Phone: +261331313463
E.mail: fetimitia@gmail.com
Rapporteur: Mr ANDRIANARY Philippe Antoine