

Mise au point d'un procédé de fabrication d'une boisson alcoolisée à base de manioc

Rijalalaina Rakotosaona* (1), Tolojanahary Andrianonintsoa (1) Rianasoambolanoro Rakotosaona (2),
Oliva Andrianaivoravelona (1), Edouard Andrianarison (1), Jean de Dieu Ramaroson (3), Philippe Andrianary (1)

(1) École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie chimique, B.P 1500 Antananarivo 101

(2) Institut Malgache des Recherches Appliquées B.P. 3833 Antananarivo 102.

(3) Centre National de Recherches Industrielles et Technologiques, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294 Antananarivo 101.

*Auteur correspondant : kotolala@gmail.com

Résumé

Cette étude concerne la fabrication de boisson alcoolisée à base de manioc. Nous avons mis au point les différentes étapes de fabrication de la boisson à savoir : l'extraction de l'amidon, le maltage de l'orge, la gélification, l'hydrolyse et la fermentation. Nous avons pu déterminer et optimiser avec succès les paramètres de gélification et de l'hydrolyse. Pour la gélification, un rapport eau / amidon $r=5,97$ permet d'avoir un meilleur résultat. Concernant l'hydrolyse, un diagramme en escalier est utilisé avec une durée de 15 minutes à 55°C, de 30 minutes à 62°C et enfin, de 15 minutes à 70°C pour avoir un maximum de rendement. Nous avons pu sortir une boisson de degré alcoolique de 10°, à profil chromatographique acceptable, à teneurs en acidité et en sucre réducteur balancées. Son goût est doux et se rapproche à celui du vin.

Mots-clés : Boisson alcoolisée, fermentation, manioc, hydrolyse enzymatique, malt.

1- INTRODUCTION

Le manioc (*Manihotesculenta*) est une plante à racines, originaire de l'Amérique du Sud (Muchnik et Vinck, 1984). Sa culture est importante à Madagascar, avec une production annuelle de plus de deux millions de tonnes par an. Le manioc se prête à la polyculture, il supporte la sécheresse et les sols infertiles (Ceballos., 2006). Son aptitude à se conserver en terre deux à trois ans après sa maturation lui confère des caractéristiques intéressantes. Ainsi, avec une valorisation appropriée, le manioc est une bonne option pour une source de revenu despaysans. Cette étude consiste à valoriser le manioc par hydrolyse et fermentation. Notre objectif est de réaliser une boisson alcoolisée à base de manioc.

2- METHODOLOGIE :

Le manioc est une plante riche en amidon, sa transformation en sucre fermentescible nécessite une hydrolyse avant la fermentation. Pour la fabrication de la boisson, nous nous sommes basés sur les principes généraux de fabrication de la bière et du vin. Nous avons réalisé des essais tout en étudiant un à un les paramètres exploitables afin d'optimiser la formulation et le processus. Pour cela, des analyses ont été effectuées à chaque étape de fabrication, et nous avons ajusté le procédé au fur et à mesure que nous nous sommes avancés (Rakotosaona et Andrianonintsoa 1999)

Les principales matières premières pour la fabrication de la boisson sont le manioc et l'orge. Les maniocs utilisés dans le cadre de cette étude proviennent de la région de Vontovorona, sans distinction de variété tandis que les orges pour la fabrication du malt proviennent dans la région de Vakinankaratra.

3- PROCEDES DE FABRICATION

Le procédé de fabrication peut être divisé en deux grandes parties : la préparation des matières premières et le procédé de fabrication proprement dites.

3-1- Préparation des matières premières.

3-1-1- Extraction de l'amidon

L'amidon de manioc se trouve dans les cellules de tubercule avec tous les autres constituants du protoplasme

(protéine, ...). Le procédé adopté pour l'extraction de l'amidon est présenté sur la figure 1 suivante.

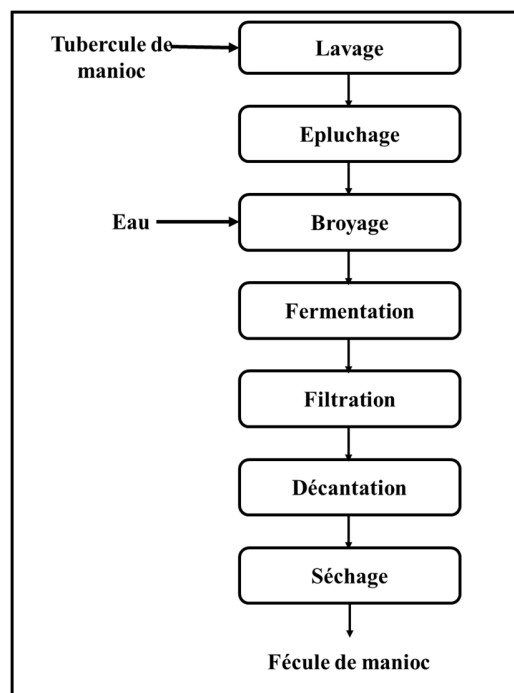


Figure 1 : Procédé d'extraction d'amidon de manioc

Après la récolte, le manioc est lavé sous un jet d'eau pour éliminer toute saleté. Cela permet de réduire toutes les contaminations apportées par le sol dans le produit final. L'étape suivante est l'épluchage qui consiste à enlever les écorces externe et interne du tubercule. En effet, le tubercule de manioc possède deux types d'écorce : l'écorce externe très fine et de couleur sombre, et l'écorce interne plus épaisse (2mm environ) de couleur claire (blanche ou rose). Ces deux couches ne renferment que très peu d'amidon et en plus c'est dans la couche externe que se trouve la plus grande partie du glucoside cyanogénétique du manioc (Favier, 1977 ; Cours et Friz, 1960).

Le tubercule est ensuite broyé avec de l'eau pour avoir la pulpe. Nous avons utilisé une râpe manuelle pour réaliser cette opération. Cette pulpe est ensuite fermentée pour hydrolyser les glucosides toxiques contenus dans le manioc. Après trois jours, l'amidon (insoluble dans l'eau) peut être extrait de la pulpe en ajoutant une grande quantité d'eau en filtrant et en décantant le mélange. Les produits toxiques sont pratiquement éliminés lors des deux étapes. Un séchage est ensuite nécessaire si on veut conserver l'amidon obtenu.

3-1-2. Fabrication du malt

Le malt est le résultat de la germination d'orge dirigée artificiellement dans des conditions d'environnement créées. Le malt est très important dans le processus car il fournit des enzymes nécessaires à l'hydrolyse de l'amidon de manioc et des réserves de protéine dans le malt lui-même. Le schéma de la fabrication du malt est représenté sur la Figure 2

La première étape concerne le calibrage et le nettoyage de l'orge. L'orge doit être lavée pour éliminer les saletés (sol, produit chimique, ...) adhérant à sa surface.

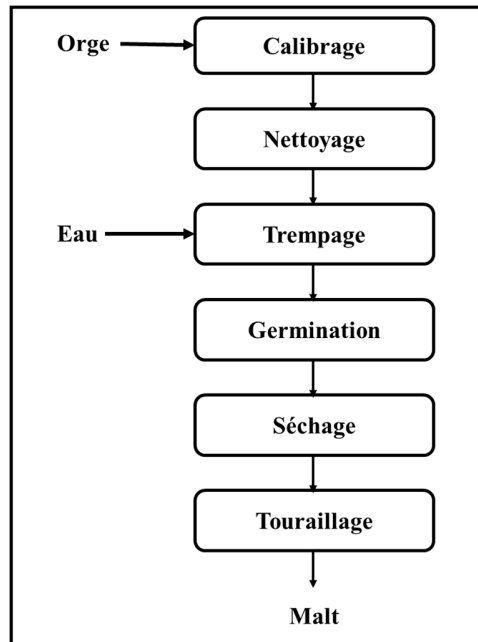


Figure 2 : Procédé de fabrication de malt

Une autre étape importante dans la fabrication du malt est le trempage qui consiste à hydrater les grains d'orge. Il comprend deux périodes bien définies : période sous eau (trempage humide) et période à l'air (trempage à sec). Le trempage sous eau consiste à immerger les grains dans l'eau tandis que le trempage à sec est une période d'aération. La durée de ces deux périodes est très importante pour avoir un produit de bonne qualité. La température et la qualité de l'eau ont également beaucoup d'influences sur la germination de l'orge. Dans notre cas, nous avons utilisé de l'eau de la JIRAMA. La température ambiante est de 18°C à 25 °C. Après plusieurs essais et optimisations, le diagramme de trempage adopté pour la fabrication du malt est présenté dans la figure 3 suivante.

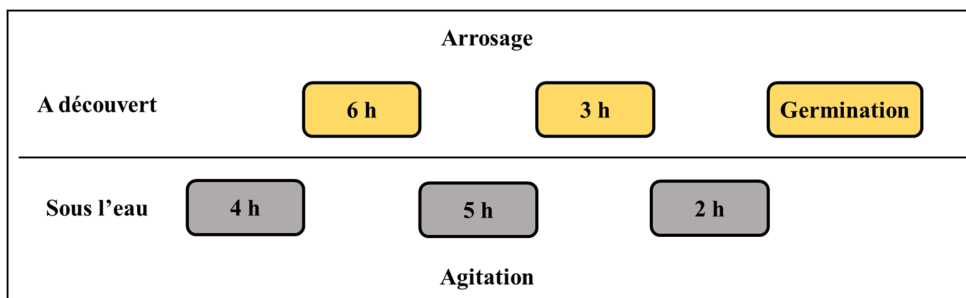


Figure 3 : Diagramme de trempage de l'orge

A la fin du trempage, une forte augmentation du volume des grains est constatée. Ils sont ensuite étalés en couche uniforme à l'air libre pour la germination. Après 5 ou 6 jours, les grains sont germés et ils sont ainsi appelés malt vert. Ce dernier peut être utilisé directement mais pour assurer sa conservation il faut le sécher. Le séchage est réalisé dans une étuve réglée à 40 ° pendant 12 h tandis que le touraillage est effectué à 70°C. Une opération de nettoyage est ensuite effectuée pour enlever les radicelles avant le stockage.

Nous avons comparé le malt obtenu avec le malt vert et le malt industriel en évaluant son pouvoir diastasique. La démarche adoptée est de mesurer la quantité de sucre réducteur formé après l'hydrolyse d'un même échantillon d'amidon avec chaque malt étudié avec les mêmes conditions opératoires dans chaque essai (Température d'hydrolyse à 62°C, durée de l'hydrolyse 1h, quantité de malt 10 g, qualité d'amidon 50 g, volume d'eau 750 mL). Les sucres réducteurs formés sont dosés avec la méthode de liqueur de Fehling. Les résultats sont dans le tableau 1 et la figure 4 suivants.

Tableau 1 : Sucre réducteur formé à partir des trois types de malt

	Malt Vert	Malt Industriel	Malt fabriqué
Sucre réducteur formé [g/L]	38,80	31,6	32,8

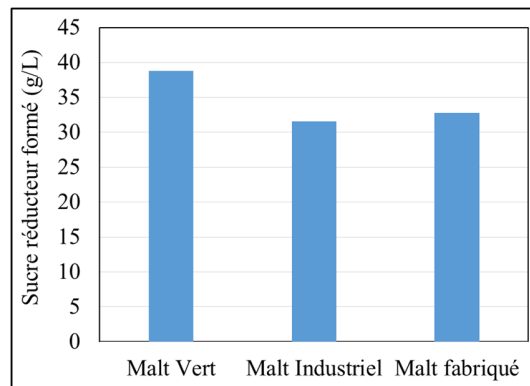


Figure 4: Comparaison des malts industriels et fabriqués

Le résultat montre que l'hydrolyse avec le malt vert permet d'avoir le plus de sucre réducteur. En effet, les enzymes dans le malt vert ne sont pas encore dégradés thermiquement par rapport aux deux malts touraillés. Le malt que nous avons fabriqué est meilleur par rapport au malt industriel. En effet, le procédé a été optimisé et comme nous travaillons à petite quantité, nous avons pu éliminer les freintes à la fin de l'opération.

3-2. Fabrication de la boisson alcoolisée à base du manioc.

La fabrication de la boisson alcoolisée proprement dite peut être résumée sur la figure 5 suivante

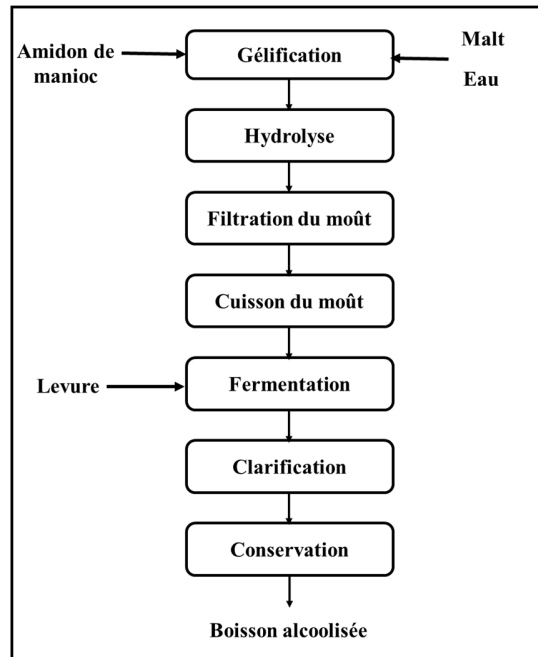


Figure 5 : Procédé de fabrication de boisson alcoolisée à base de manioc

La gélification consiste à modifier la structure de l'amidon par l'action de chaleur et de l'eau. L'amidon de structure semi-cristallin est pratiquement insoluble dans l'eau froide et à partir d'une certaine température, il devient amorphe et miscible à l'eau. La gélification préalable de l'amidon de manioc facilite l'action des enzymes présents dans le malt.

L'hydrolyse enzymatique permet d'obtenir des matières sucrées fermentescibles à partir de l'amidon gélifié. Les enzymes sont contenus dans le malt. L'hydrolyse est réalisée dans un réacteur agité et thermostaté. La quantité de malt est fixée à 20% de la charge. Le pH du milieu est maintenu à 5,4. Dans le cadre de cette étude, nous avons optimisé deux paramètres de procédé : la température et la durée de la réaction.

Après hydrolyse, le mout obtenu est filtré pour éliminer les particules insolubles. Il est ensuite cuit pendant 45 minutes pour sa stérilisation et pour la fixation de son profil glucidique. Après, il est refroidi à 25°C avant de passer à la fermentation alcoolique.

Pour la fermentation alcoolique, nous avons utilisé la levure sèche de souche : *Saccharomyces cerevisiae* à une dose de 0,46g/L. Cette levure nécessite une activation dans quelques millilitres de moût pendant 30 minutes pour avoir un bon résultat. L'avancement de la fermentation est mesuré par densimétrie (Ribereau-Gayon et Peynaud, 1966 : Moll, 1991)

A l'issue de la fermentation, la boisson obtenue est clarifiée par décantation. Pour la conservation, nous avons utilisé le metabisulfite de sodium à une dose de 0,1 g/L.

4-ETUDE DES PARAMETRES DE PROCEDE

4-1, Détermination de la quantité d'eau optimale à la gélification

Cette quantité d'eau est importante pour le procédé. En effet, si la quantité d'eau est insuffisante, la gélification n'est pas complète et l'action des enzymes n'est pas favorable. Par contre, si cette quantité est en excès, l'action des enzymes sera meilleure mais la concentration des sucres fermentescible à la fin de l'hydrolyse est très diluée et ne convient pas à la fermentation.

La démarche adoptée est la suivante : on évalue (visuellement) le comportement du mélange (malt–amidon-eau) à 70°C en ajoutant une certaine quantité d'eau dans le milieu réactionnel toutes les 5 minutes en agitant à une vitesse fixe. Les résultats sont regroupés dans le tableau 2 suivant

Tableau 2 : La quantité d'eau optimale ajoutée pendant la gélification

Temps	0 minute	5 Minutes	10 minutes	15 minutes
r	3.64	4.81	5.97	7.13
Observation	Liquide de couleur blanc, très visqueux, difficile à mélanger	Liquide gris, moins visqueux	Liquide fluide, facile à agiter	Identique au précédent (t=10 min)

Le rapport r est défini par la relation suivante :

$$r = \frac{(V_e + m_f \times \frac{H}{100})}{(m_f - m_f \times \frac{H}{100})}$$

Avec

V_e : le volume d'eau ajoutée

H : la teneur en eau de l'amidon

m_f : la masse de l'amidon

Le résultat montre que le rapport entre la quantité d'eau et la quantité d'amidon pour obtenir une viscosité convenable à l'hydrolyse est égale à 6. Dans la fabrication de la bière, ce rapport est de l'ordre de 3 à 4 (Moll, 1991). Cette différence est due à la différence de propriétés de l'amidon de malt et de maïs par rapport à celles du manioc.

4-2. Température d'hydrolyse.

Le malt contient plusieurs types d'enzyme (α -amylase, β -amylase, α -glucosydase, protéase, etc.). L'objectif est de déterminer si les enzymes contenus dans le malt gardent une température optimale commune ou s'il faut varier la température au cours du processus. Le rapport r est fixé à 6. Nous avons réalisé trois expériences :

1^{ère} expérience : On réalise une isotherme à 65°C. Ce type de diagramme de température est rencontré dans les distilleries qui traitent les matières amylicées par le malt vert. (Marillers, 1951).

2^{ème} expérience : On effectue une isotherme à 55°C pendant 30 min puis à 62°C pendant 30 min et enfin à 72°C pendant 30 min.

3^{ème} expérience : On applique le diagramme de température de l'expérience N°2 à une partie de la charge, ensuite, on fait monter la température jusqu'à 80°C. On verse une partie de la charge dans la cuve et après quelques minutes on applique à nouveau le diagramme de température de l'expérience N°2. On ne gélifie pas l'amidon versé dans la 2^e étape car la température 80°C assure sa gélification.

Les diagrammes de température (Figures 6, 7 et 8) sont utilisés par les industries de la bière (Moll, 1991).

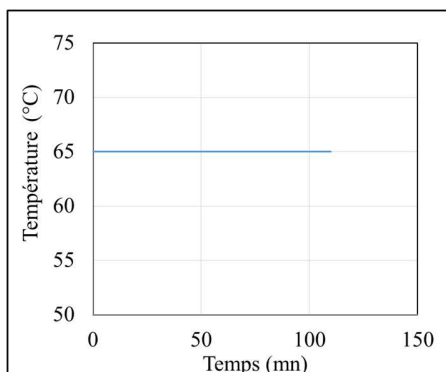


Figure 6 : Diagramme de température pour l'expérience N°1

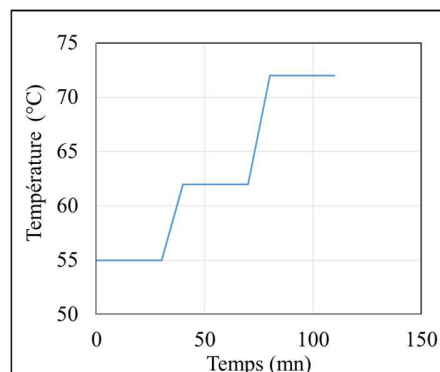


Figure 7 : Diagramme de température pour l'expérience N°2

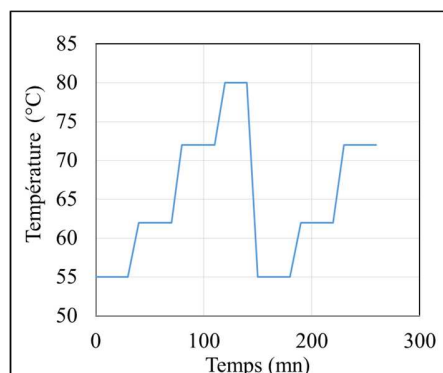


Figure 8 : Diagramme de température pour l'expérience N°3

Le rendement de la réaction est calculé pour chaque expérience en mesurant la quantité de sucre réducteur obtenu par dosage à la liqueur de Fehling. Les rendements moyens de ces expériences sont présentés dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3: Rendement moyen

	Expérience N°1	Expérience N°2	Expérience N°3
Rendement moyen	38,03%	52,75%	40,72%

Le rendement chimique est défini par la relation suivante :

$$\text{rendement} = 100 * \frac{\text{Masse du sucre reducteur formé}}{\text{Masse de l'amidon sec utilisée}}$$

Ces résultats montrent que le diagramme de température en escalier correspondant à l'expérience N°2 permet d'avoir un rendement élevé par rapport à celui de l'expérience N°1 et N°3. En fait, ce diagramme tient compte des températures optimums de chaque enzyme.

Le diagramme de température de l'expérience N°3 ressemble un peu à celui du N°2 mais le rendement moyen est de l'ordre de 40,72% contre 52,75% pour le N°2. L'expérience N°3 dure en moyenne 4 h. Ce qui peut entraîner une dégradation du sucre réducteur dans le milieu.

4-3. Durée de l'hydrolyse

Dans l'expérience précédente, nous avons fixé la durée du palier isotherme à 30 min. L'objectif de cette partie de l'étude est alors d'évaluer si cette durée est optimum ou pas. Notre démarche est de réaliser une série d'essais à température constante et de mesurer la quantité de sucre réducteur formé toutes les 15 minutes. Le rapport r est toujours fixé à 6. Les résultats sont représentés sur le tableau 4 et la figure 9 suivants :

Tableau 4 : Rendement de l'hydrolyse en fonction de la température et du temps

	15 mn	30 mn	45 mn	60 mn
Rendement pour T=55°C	38,1	38,1	38,1	-
Rendement pour T=62°C	35,42	40,07	40,36	40,36
Rendement pour T=70°C	45,87	40,06	40,06	-

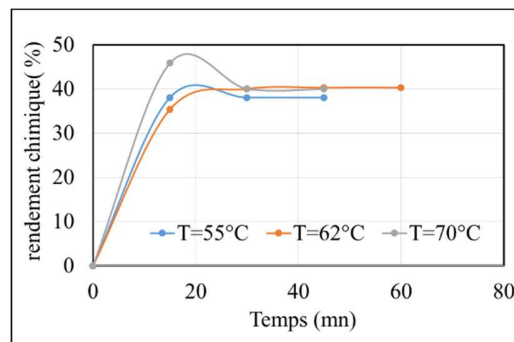


Figure 9: Rendement de l'hydrolyse en fonction du temps

Pour une température égale à 55°C, une durée de 15 min est suffisante pour avoir un rendement d'environ 38%. Pour T=60°C, une durée de 45 minutes suffit. Pour T=70°C, on observe une courbe décroissante entre 15 min et 35 min. Cela veut dire qu'il ne faut pas dépasser la durée de 15 min. Cette baisse de rendement peut être interprétée par la dégradation du sucre réducteur contenu dans le jus. Une étude complémentaire devrait être réalisée pour confirmer cette hypothèse.

4-4. Fermentation

Nous avons réalisé quatre essais de fermentation. La température initiale du jus est de 25 °C et la composition initiale de ces lots est présentée dans le tableau 5 suivant.

Tableau 5 : composition initiale des mouts avant fermentation

Lot	Sucre réducteur (g/L)	pH	Levure (g)	Volume du réacteur (mL)
A	189,5	3,7	0,3	650
B	189,5	5,5	0,3	650
C	189,5	5,8	0,3	650
D	189,5	3,8	0,3	650

Le pH du milieu est ajusté par l'ajout d'acide citrique. L'évolution de la densité du lot A et du lot B par jour est présentée sur le tableau 6 et figure 10 suivants.

Tableau 6 : Evolution de la densité au cours de la fermentation

Temps	1 ^{er} jour	2 ^e jour	3 ^e jour	4 ^e jour	5 ^e jour	6 ^e jour	7 ^e jour
Lot A	1071	1068	1053	1044	1038	1032	1030
Lot B	1071	1069	1051	1041	1034	1029	1020

L'évolution de ce dernier est suivie par une mesure journalière de densité. La figure 10 suivante présente cette évolution dans le temps.

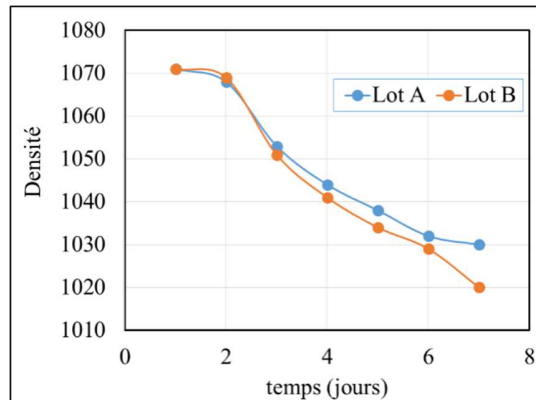


Figure 10: Suivi de la fermentation

Au début de la fermentation, dans les deux premiers jours, on constate une phase de latence là où la vitesse de fermentation est lente. Cette phase correspond à la saturation progressive du milieu en gaz carbonique. À partir du 2^e jour, on constate une phase de croissance. L'allure générale des courbes montre une évolution normale de la fermentation.

Les deux lots ne diffèrent que par leurs acidités. L'allure de la courbe montre qu'il n'y a pas de différence nette entre la vitesse de fermentation entre les deux lots. On remarque que le lot A qui est plus acide a une vitesse plus lente.

4-5- Caractéristiques des produits finis

Les caractéristiques physico-chimiques des boissons sont présentées dans le tableau 7 suivant :

Tableau 7: Caractéristiques des boissons alcoolisées

Lot	Sucre réducteur (g/L)	Acidité méq/L	Degré alcoolique	Densité
A	22,5	31	10	1,03
B	24,9	50	9,25	1,0195
C	8,1	59	10,66	1,0011
D	24,7	40	10,19	1,0204

Ce tableau montre que les densités des produits sont supérieures à 1, et on constate une forte teneur en sucres réducteurs pour les lots A, B et D. Les degrés alcooliques sont faibles comparé avec le vin. Ces résultats montrent que la fermentation n'est pas complète et donne un goût très doux aux boissons obtenues.

Les profils chromatographiques des produits finis ont été déterminés par chromatographie en phase gazeuse. Nous avons pu identifier des pics de l'éthanol en majorité, de l'acétone (0,05%) et de l'alcool isoamylique (1,25%) mais en très faible quantité. Nous avons aussi vu d'autres pics non identifiables.

5- CONCLUSION

Malgré les difficultés rencontrées au cours de cette étude, nous avons pu déterminer et optimiser avec succès les paramètres de la gélification et de l'hydrolyse. La boisson alcoolisée obtenue présente des caractéristiques physico-chimiques spécifiques qui lui confèrent un goût très doux et proche du vin.

6- BIBLIOGRAPHIE

Ceballos, H., (2006) : Variation in crude protein content in cassava (*Manihotesculenta* Crantz) roots, J. Food Compos.

Anal., 19, 589-593.

Cours, Fritz, (1960) : Le manioc, Institut de recherche agronomique de Madagascar, document N°1. Antananarivo

Favier J.C. (1977) : Valeur alimentaire des aliments de base africains : le manioc et le sorgho, ORSTOM, Paris

Moll, M. (1999) : Bières et Coolers : Définition, fabrication, composition, Tec & Doc, Paris.

Muchnik, J, et Vinck, D, (1984) : La transformation du manioc: technologies autochtones, Agence de coopération culturelle et technique : Conseil international de la langue française : Presses universitaires de France, Paris.

Mariller C (1951) : Distillerie Agricole et industrielle, levurerie Librairie J. B. Baillere et Fils, Paris

Rakotosaona, R., et Andrianonintsoa, T., (2000) : Valorisation des amyliacées: fabrication de boisson alcoolisée, mémoire de fin d'étude (ingénieur), Département Génie Chimique - Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo, Madagascar.

Ribereau-Gayon, J., Peynaud, E., (1966) : Traité d'œnologie, T1 et T2, Librairie Polytechnique Béranger, Dunod, Paris.