

Conception d'un distilleur-rectificateur pour la production semi-industrielle de l'éthanol

[Conception of a distiller-rectifier for semi-industrial production of the ethanol]

Innocent YAOU BOKOSSA¹, Justin G. GANDEHO¹, Célestin C. K. TCHEKESSI¹, Jultesse BANON¹, Nadège ADIGUN¹, Isac S. R. SENI¹, Pivot SACHI¹, and Pierre DOSSOU-YOVO²

¹Laboratoire de Microbiologie et des Technologies Alimentaires (LA.MI.T.A),
Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST),
Université d'Abomey-Calavi (UAC), 04BP 1107 Cotonou, Bénin

²Laboratoire de Recherche en Traitement et Conservation des Produits Halieutiques,
Département de Chimie de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST),
Université d'Abomey-Calavi (UAC), BP 1270 Abomey-Calavi, Bénin

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Increasing the price petroleum in recent years submits increasingly the importing countries with major difficulties, especially those underdeveloped such as Benin. The main cause of global warming is the abusive exploitation of non-renewable natural resources mainly oil. Benin is one of the cassava producing countries that can be used for production of ethanol. The latter is a renewable source of energy that can enable Benin to circumvent this escalation of fossiliferous fuels. Spite of this availability, Benin has not, up today's date, its own techniques for the production of ethyl alcohol meeting the standards. Very little data exists on the design for techniques that may lead to the production of standardized alcohol. This is why this study set itself the objective the design of necessary technical and semi-industrial production of bioethanol. The results of our works have helped to optimize the hydrolysis process of cassava with enzyme preparation based germinated sorghum. With 20-25% of the this enzyme preparation, optimum time of 4 hours of hydrolysis, under the experimental conditions the fermentation lasts 30 hours with 2 g of instant yeast into 100 ml of medium. The double-distilled of the fermented mash in the device designed and manufactured has given the ethanol at 94°. This apparatus produces up to 3kg/h of ethyl alcohol. It may be improved by the integration of heating system automatically adjustable.

KEYWORDS: Cassava, bioethanol, enzyme, hydrolysis, apparatus, biofuel.

RESUME: L'augmentation du prix de pétrole ces dernières années soumet de plus en plus les pays importateurs à de grandes difficultés, surtout ceux en voie de développement comme le Bénin. La principale cause du réchauffement climatique est l'exploitation abusive des ressources naturelles non renouvelables principalement le pétrole. Le Bénin est l'un des pays producteurs de manioc qui peut être utilisé pour la production de l'éthanol. Ce dernier est une source d'énergie renouvelable pouvant permettre au Bénin de contourner cette surenchère des énergies fossilifères. Malgré cette disponibilité, le Bénin n'a pas, jusqu'à la date d'aujourd'hui, ses propres techniques pour la production de l'alcool éthylique répondant aux normes. Très peu de données existent sur la conception des techniques pouvant conduire à l'obtention de l'alcool standardisé. C'est pour cela, la présente étude se fixe comme objectif, la conception de techniques nécessaires et la production semi-industrielle du bioéthanol. Les résultats de nos travaux ont permis d'optimiser le processus d'hydrolyse de manioc avec une préparation enzymatique à base du sorgho germé. Avec 20 à 25% de cette préparation enzymatique, 4 heures de temps optimal d'hydrolyse, la fermentation dans les conditions expérimentales dure 30 heures avec 2g de levure instantanée dans 100 mL de milieu. La bidistillation du moût fermenté dans l'appareil conçu et fabriqué a donné de l'éthanol à 94°. Cet

appareil produit jusqu'à 3Kg/h d'alcool éthylique. Il peut être amélioré par l'intégration de système de chauffage automatiquement réglable.

MOTS-CLEFS: Manioc, bioéthanol, enzyme, hydrolyse, appareil, biocarburant.

1 INTRODUCTION

Dans le contexte de la lutte contre la déforestation, la réduction de la dépendance énergétique et des émissions de gaz à effet de serre, plusieurs pays du monde adoptent l'introduction et la promotion des combustibles alternatifs [1]. Au nombre de ces alternatifs, il y a les sources d'énergie renouvelable dont principalement le bioéthanol. Cette source d'énergie peut être obtenue à partir de toute matière sucrée, amylacée ou cellulosique. Au Bénin, la matière première la plus appropriée à la production de l'éthanol est le manioc. En effet, le manioc est une plante très cultivée au Bénin [2]. Ces dix dernières années, les données fournies par les services statistiques du Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) indiquent que de 2006 à 2010, la production du manioc au Bénin s'est accrue avec un taux d'accroissement d'environ 35%. Mieux, Avec une production moyenne de 2,8 millions de tonnes de manioc par an, le Bénin pourrait être en mesure de produire 20.000 m³ d'éthanol en valorisant seulement 5% des récoltes (pas de concurrence avec les besoins alimentaires). Les principaux produits issus jusque-là des transformations du manioc au Bénin, sont : le Gari, le Tapioca, le Lafun, la cossette de manioc [3] alors qu'une racine entière de manioc renferme 86% de glucide [4], un véritable polymère de glucose, un sucre fermentescible par les microorganismes pour produire de l'éthanol.

Quant à l'éthanol, son importance se trouve aujourd'hui dans plusieurs domaines dont ceux du transport (biocarburant pour le transport), des combustibles domestiques, de l'agroalimentaire (excellent exhausteur de goût, apéritif), des produits pharmaceutiques, cosmétiques, médicaux, chimiques et industriels [5].

Plusieurs pays à travers le monde ont très tôt compris et ont réagi par la mise en place des systèmes générateurs d'énergies renouvelables.

En Amérique Latine, plus précisément au Brésil, le bioéthanol est utilisé comme biocarburant pour le transport. En effet, il a été produit à une grande échelle au Brésil où le premier « bioéthanol voiture » est apparu. Même s'il est généralement inconnu pour le consommateur moyen, un grand volume de bioéthanol est déjà utilisé en Europe où il est mélangé à de l'essence à base du pétrole jusqu'à 5 %. Il est utilisé comme un substitut de plomb, comme additif dans les entreprises médicales, pharmaceutiques ou de laboratoire et a un haut indice d'octane, ce qui améliore les performances des moteurs. Ce genre de carburant est appelé énergie écologiquement pure. Bien que l'objectif final soit le consommateur privé, peu sont conscients de cette capacité du bioéthanol à remplacer partiellement l'essence comme carburant pour le transport en Europe [6].

En Afrique, les regroupements sous régionaux ne sont pas restés en marge des idées de freiner les méfaits de la pollution due aux combustibles et carburants provenant des fossiles. C'est à ce titre qu'une étude réalisée par [1], stipule que dans son espace, le potentiel de production agricole pour la filière éthanol et biocarburant est très consistant. Aussi, la référence [7] avait remarqué que dans les années 1998, il manquait d'alcool médical dans les hôpitaux du Bénin et pour soigner les patients, il fallait recourir à l'importation. Cet état de chose a causé beaucoup de perte pour le pays. Cependant, très peu d'études ont été faites durant ces dernières années sur la production de l'éthanol au Bénin. Par conséquent, nous continuons d'importer jusqu'à nos jours d'alcool médical au Bénin alors que le pays regorge d'importantes potentialités de production de l'éthanol et ceci même pour l'exportation. Les quelques rares producteurs d'alcool emploient des dispositifs rudimentaires avec des technologies traditionnelles. Ce qui occasionne une forte destruction des palmerais suivie d'un faible rendement et même l'alcool est à faible degré [8].

Fort de ces constats remarquables, il urge d'entreprendre des études approfondies pour une optimisation et une standardisation des paramètres de production de l'éthanol à base de manioc. Cela permettra de valoriser davantage les produits vivriers sucrés ou amylacés notamment le manioc afin d'amorcer un véritable développement économique des pays producteurs en général et le Bénin en particulier. Alors, cette étude intervient pour mettre en place un dispositif de production semi-industrielle de l'éthanol afin de produire en quantité et de réduire les dépendances vis-à-vis des combustibles et carburants fossilifères d'une part et la pression que font les producteurs artisanaux d'alcool sur la végétation à travers l'abattage des palmiers à huile d'autre part. D'où l'initiation du présent travail intitulé «conception d'un distillateur-rectificateur pour la production semi-industrielle de l'éthanol». L'objectif principal de cette étude est de mettre en place une

chaîne complète de production semi-industrielle du bioéthanol à base de manioc accessible aux producteurs afin de substituer progressivement les combustibles et carburants d'origine fossile et leurs méfaits sur l'environnement.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le matériel végétal est constitué de deux variétés (douce et amère) de manioc (*Manihot esculenta*) et du sorgho rouge (*Sorghum bicolor*) achetés sur le marché local.

Le matériel biologique utilisé est la levure instantanée (*Saccharomyces cerevisiae*) de marque LESAFFRE. Cette levure est fabriquée en France par S.I. lesaffre-59703 Marcq-France acheté sur le marché local.

Les produits chimiques utilisés pour l'hydrolyse du manioc sont : l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'acide chlorhydrique (HCl) mis à notre disposition par le laboratoire de Chimie de l'Université d'Abomey-Calavi.

Le bois de chauffage acheté sur le marché local, l'énergie électrique de la Société Béninoise de l'Energie Electrique (SBEE), l'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) et une plaque chauffante sont également utilisés.

Un appareil de distillation-rectification a été conçu et fabriqué.

2.2 METHODES

La méthode utilisée est basée sur l'expérimentation, les analyses physico-chimiques, sensorielles et statistiques.

Expérimentation : l'expérimentation a porté sur l'optimisation de l'hydrolyse, fermentation du moût et des différentes étapes de production de la poudre enzymatique à base du sorgho et de l'éthanol à base de manioc.

Production de la poudre enzymatique à base du sorgho : pour la production de la poudre enzymatique, nous avons adopté le schéma technologique de [9], ci-dessous.

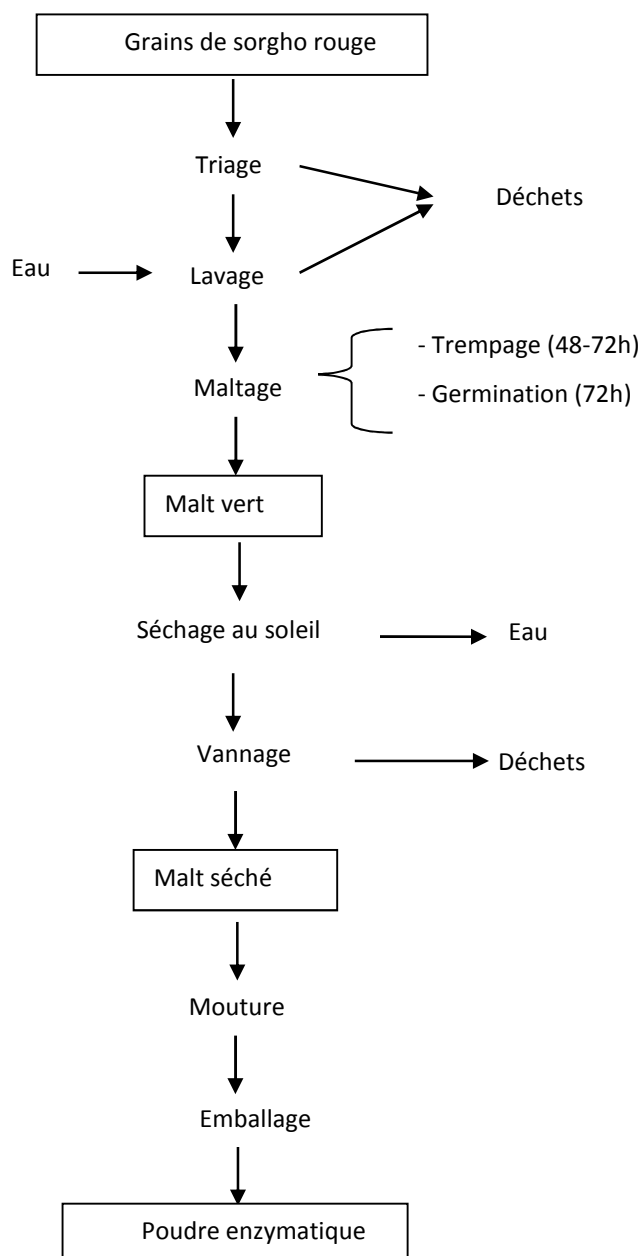


Fig.1. Diagramme de production de poudre enzymatique à base du sorgho [9]

L'Hydrolyse de manioc : Nous avons expérimenté les hydrolyses acide et enzymatique mais avant nous avons réalisé le bouillon.

Réalisation du bouillon : Dans 6 volumes d'eau nous avons mis 1 volume de la farine de manioc ou 2 volumes du broyat de racines fraîches et le mélange est porté à ébullition pendant 20 minutes. On remue pour éviter la carbonisation.

Hydrolyse acide : Après avoir laissé le bouillon refroidir jusqu'à 45-50°C, nous avons prélevé dans chacun des tubes, 100mL du bouillon de manioc. A cinq (5) des tubes on ajoute successivement 10, 20, 30, 40, 50mL d'acide sulfurique (H_2SO_4 0,1N). Après chaque 1 heure, on lit l'indice de réfraction de chaque hydrolysate. Le même exercice est répété avec l'acide chlorhydrique (HCl 0,1 N) dans cinq autres tubes contenant 100mL de bouillon chacun. Aussi, 10mL de solutions d'acides à concentrations de 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 N en acide sulfurique d'une part et en acide chlorhydrique sont ajoutées à 100mL de bouillon dans des tubes et les indices de réfraction sont lus après chaque heure.

Hydrolyse enzymatique : Après l'obtention du bouillon, on le laisse refroidir jusqu'à 45°C. Dans 5 tubes numérotés de 1 à 5, nous avons mis 100mL du bouillon de manioc auxquels sont ajoutées des quantités successives de poudre enzymatique pesées avec une balance de précision de portée 200g \pm 0,01. Le tube n° 0 a servi de témoin. Après chaque 1heure, les indices de réfraction des solutions sont lus pour quantifier les sucres fermentescibles. Nous portons le mélange (bouillon et poudre enzymatique) d'abord à 50°C et ensuite progressivement 55 ; 60 puis à 65°C.

La fermentation : Nous avons préparé 0,5L de moût sucré dans 10 bouteilles en plastique de volume 1,5 dm³ et nous y avons introduit des quantités croissantes de levure instantanée pesées avec la balance de précision. Les bouteilles ont été hermétiquement fermées. A chaque 24 heures, l'on passe à la vérification de l'avancement de la fermentation à l'aide de buchettes d'allumettes allumées à l'ouverture des bouteilles. Les conditions d'expérience, sont celles de croissance des levures : température (28-30°C) et pH (4,5-5,0).

Production de l'éthanol à base de manioc : L'ensemble des procédés se résume à travers la figure 2.

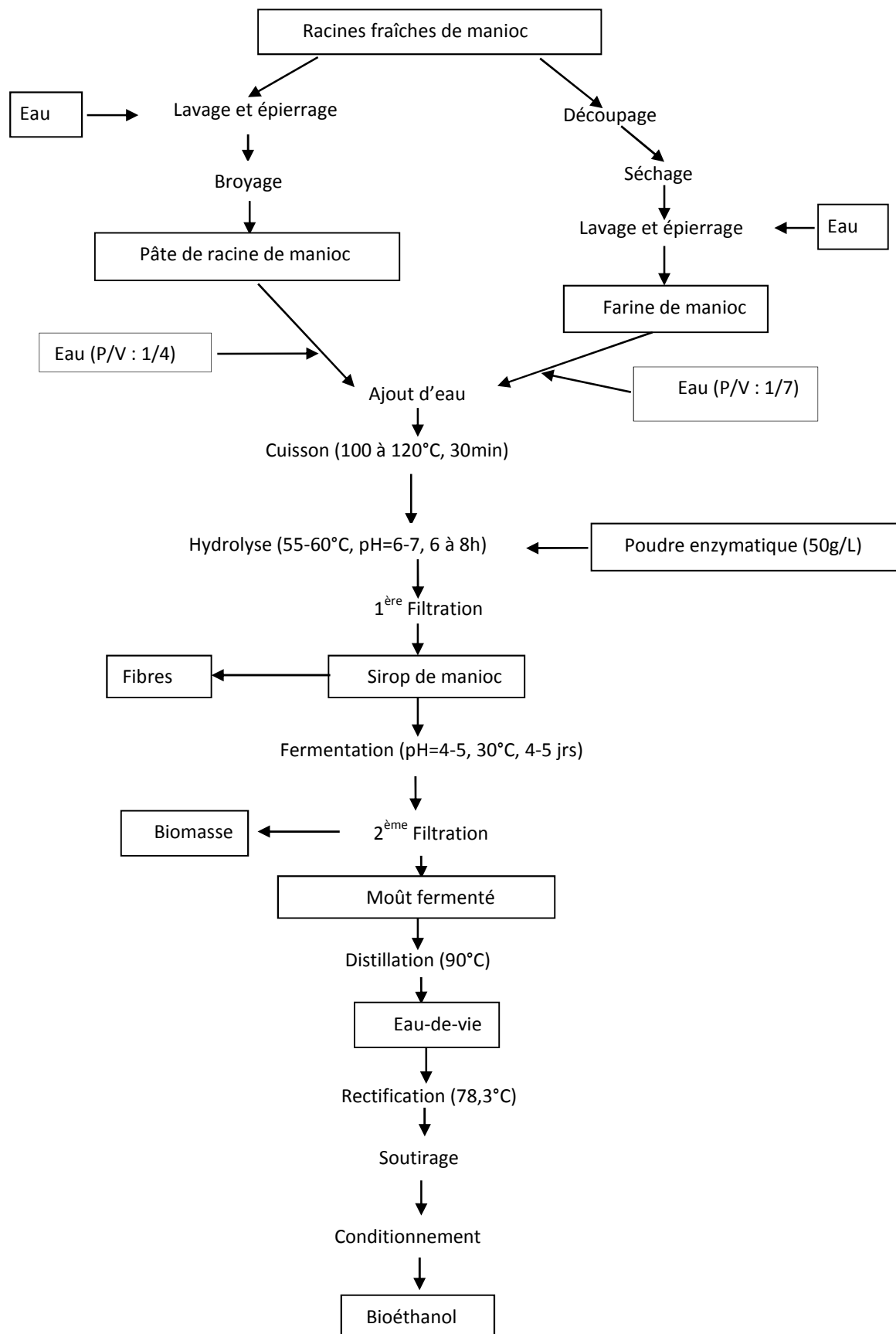


Fig. 2. Diagramme de production du bioéthanol à base de manioc

Distilleur rectificateur : Après une représentation sur papier de l'appareil nous avons procédé à sa schématisation électronique avec des logiciels appropriés tels *microsoft office Word 2007* et *picture Manager*.

Analyses physico-chimiques : Les analyses physico-chimiques sont effectuées afin de doser les sucres, déterminer les quantités du CO₂ dégagé et de l'alcool produit au cours de la fermentation ce qui peut permettre de déterminer le rendement de la fermentation.

Dosage des sucres : Le dosage des sucres a été effectué par la méthode de réfractométrie décrite par [9].

Détermination de la quantité du CO₂ dégagé : Nous disposons de 10 bouteilles de capacité 250mL. Le sirop a été dilué et la concentration du sucre a été ramenée à 15 g/L. Dans chacune d'elle, il a été préparé 100mL de sirop. On ajoute de levure. Ces bouteilles sont fermées avec un bouchon muni d'un tuyau dont l'une des extrémités est plongée dans de la bouteille et l'autre extrémité est plongée dans l'eau, on met le milieu dans les conditions de fermentation (pH= 4,5-5, 30°C). Au temps t = 0h on pèse le dispositif et à chaque deux (2) heures on reprend le poids.

Détermination de la teneur en alcool produit : La teneur en alcool a été déterminée par la méthode de [10].

Etudes statistiques des données : Nous avons utilisé les logiciels MiniTab 14 et microsoft Excel XP pour les calculs statistiques.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 DOSAGE DES SUCRES

3.1.1 ETALONNAGE DU REFRACTOMETRE

Après une étude statistique de ces données fournies par la méthode réfractométrique, il ressort que la droite de régression a pour équation, $Y = (6,44 \cdot 10^{-2}) X + 2,7$ avec (**Y : Indice de Réfraction**) et (**X : la concentration du glucose**). La représentation graphique de cette droite nous donne la courbe d'étalonnage de l'indice de réfraction en fonction de la concentration de glucose dont le graphe de la figure 3 est illustratif.

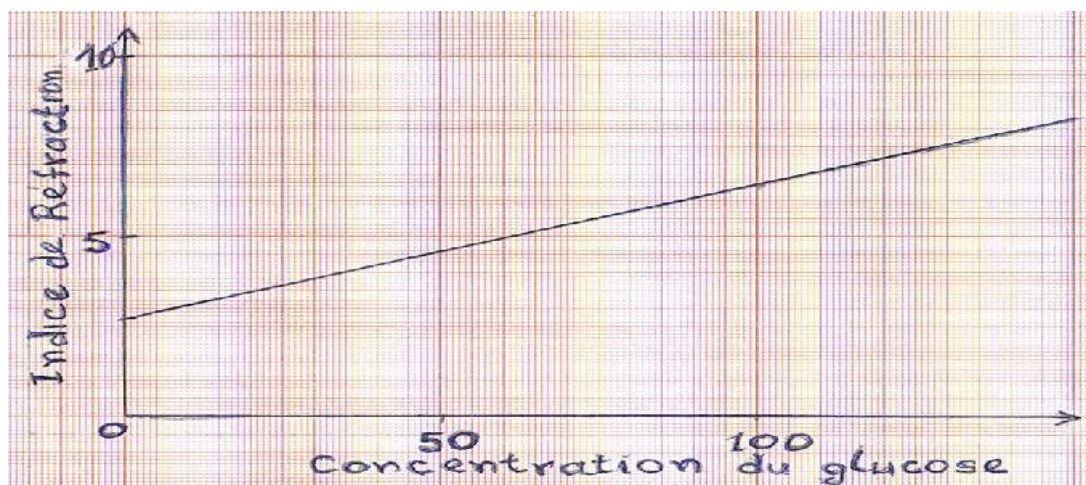


Fig. 3. Courbe d'étalonnage du réfractomètre

Le graphe de la figure 3 ci-dessus représente les indices de réfraction en fonction de la quantité en gramme de glucose dans 1dm³ d'eau. En effet, lorsque la concentration est de 0,5 g/L, l'indice de réfraction est de 4,7 et pour 1g/L de glucose en solution, l'indice est 8,6. Alors une augmentation de la concentration du glucose entraîne une augmentation de l'indice de réfraction. En se basant sur le graphe étalon nous pouvons plus facilement déterminer les concentrations des sucres dans le sirop. Du fait que la courbe ne prend pas son origine à 0 sur l'axe des ordonnées nous pouvons dire que l'eau distillée, n'étant pas déminéralisée ni totalement pure, possède alors une capacité de dévier la lumière. D'où l'indice de réfraction est non nul à l'origine. Ces résultats concordent avec ceux de [9] et de [11].

3.2 LES RESULTATS DE L'HYDROLYSE

3.3 HYDROLYSE ACIDE

3.3.1 COMPARAISON DE L'EFFICACITE DES ACIDES A CONCENTRATIONS EGALES

La courbe ci-dessous illustre les indices de réfraction en fonction des volumes des acides au cours du temps.

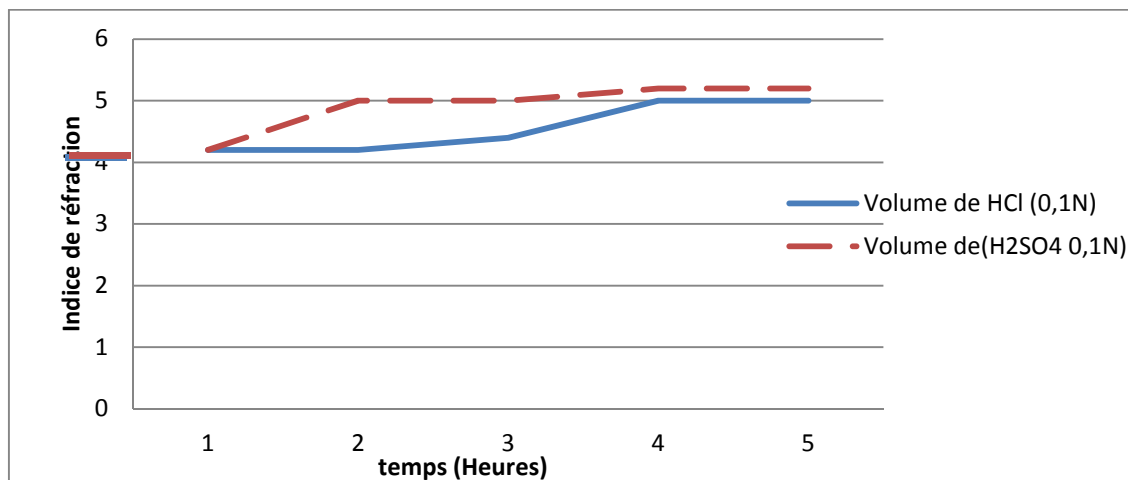


Fig. 4. Influence du type d'acide sur la concentration des sucres du sirop

Le graphe de la figure 5 illustre l'évolution de l'indice de réfraction en fonction des acides utilisé au cours du temps. De l'analyse de ce graphe il ressort que de 0 à 2 heures, l'hydrolyse n'a pas démarré avec l'acide chlorhydrique et à 3 heures l'indice de réfraction est de 4,4 puis se stabilise à 5 entre 4 et 5 heures. Par contre l'acide sulfurique entame son hydrolyse à 1 heure avec un indice de réfraction du moût de 4,4. Cet indice va à 5 en 3 heures avant de se stabiliser à 5,2 après 4 et 5 heures de temps. Nous constatons par la présente expérience qu'à concentrations égales, l'acide sulfurique hydrolyse mieux l'amidon que l'acide chlorhydrique. Les mêmes observations ont amené [12] à adopter l'utilisation de H_2SO_4 lorsqu'il travaillait sur la préparation des matières amylacées en distillerie agro-alimentaire.

3.3.2 COMPARAISON DE L'EFFICACITE DES ACIDES A CONCENTRATIONS VARIABLES

A la suite de l'hydrolyse acide à concentration égale, nous avons procédé à l'hydrolyse avec les mêmes acides dont la concentration varie. Les résultats sont traduits par le graphe ci-après.

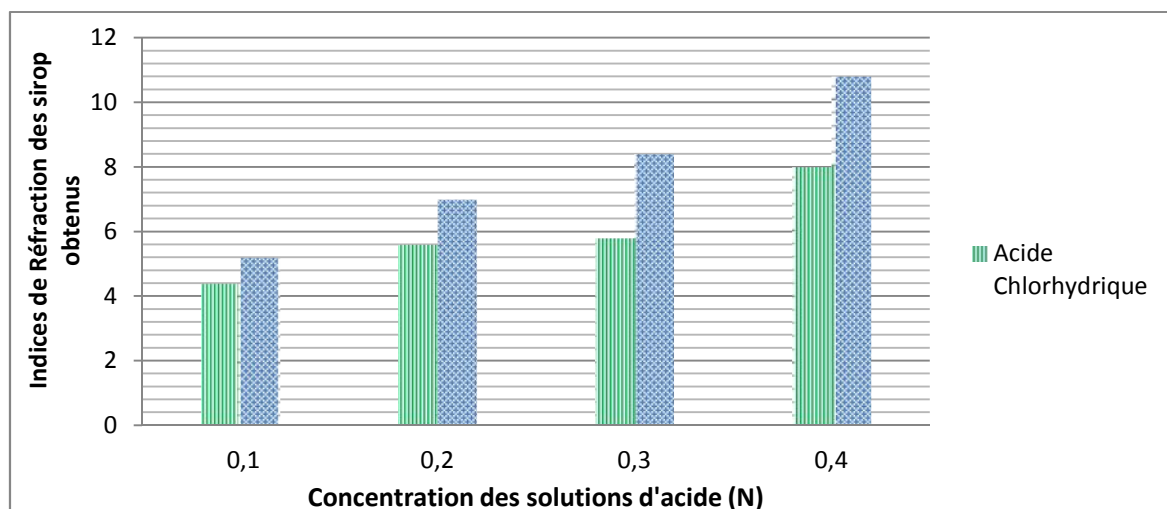


Fig.5. Indices de réfraction du sirop en fonction de la concentration d'acides chlorhydrique et sulfurique en solutions

L'hydrolyse a duré 4heures. Avec les deux acides, les indices de réfraction augmentent au fil du temps et au fur et à mesure que la solution d'acide se concentre. En effet, de 4,4 avec HCl 0,1N et de 5,2 avec H₂SO₄ 0,1N, l'indice de réfraction passe respectivement à 8 et à 10,8 en 4heures de temps d'hydrolyse avec l'acide chlorhydrique 0,4N et l'acide sulfurique 0,4N. Au cours de ces variations, on note qu'au fur et à mesure que les solutions des deux acides se concentrent, les indices de réfraction obtenus avec H₂SO₄ excèdent ceux obtenus avec HCl. Alors l'acide sulfurique convient mieux pour l'hydrolyse acide que l'acide chlorhydrique. Très peu de travaux ont été réalisés sur la comparaison de l'efficacité des acides sulfurique et chlorhydrique.

3.4 HYDROLYSE ENZYMATIQUE

3.4.1 QUANTITE DE POUDRE OPTIMALE

Les résultats obtenus avec l'hydrolyse du manioc avec la poudre enzymatique se présentent comme suit :

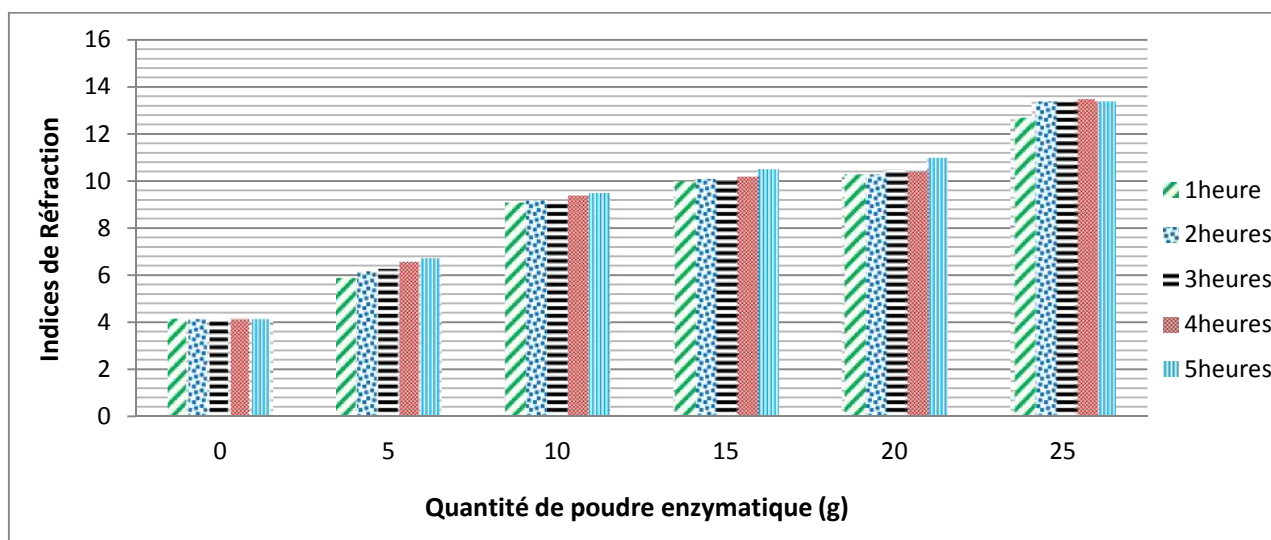


Fig. 6. Indices de réfraction en fonction de la quantité de poudre enzymatique

Les données de ce graphe montrent que ; lorsque la quantité de poudre enzymatique passe de 0 à 25 g / 100mL de bouillon, les indices de réfraction vont de 4,2 à 12,7 en 1heure ; De 2 à 3 heures, cet indice augmente jusqu'à 13,4 puis atteint 13,5 en 4 heures de temps. Mais à partir de 5 heures l'indice de réfraction commence à descendre pour reprendre la valeur de 13,4 obtenue à 3 heures. De l'analyse de ces résultats, il ressort d'une part que l'accélération de l'hydrolyse est fonction de l'augmentation de la quantité de poudre enzymatique et d'autre part que le temps optimal de l'hydrolyse est d'environ 4heures pour une quantité de 25 g/100mL. Ces résultats sont conformes à ceux de [9] lorsqu'il travaillait sur l'étude biochimique des quatre variétés Ouest Africaines de sorgho. Cette quantité de poudre enzymatique des impuretés liées aux déchets (amidon, pellicules d'enveloppe de céréale).

3.5 COMPARAISON DE L'HYDROLYSE ACIDE A L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE

Le graphe de la figure 7 ci-dessous montre l'évolution de l'indice de réfraction en fonction du temps lorsqu'on applique différents types d'hydrolyse.

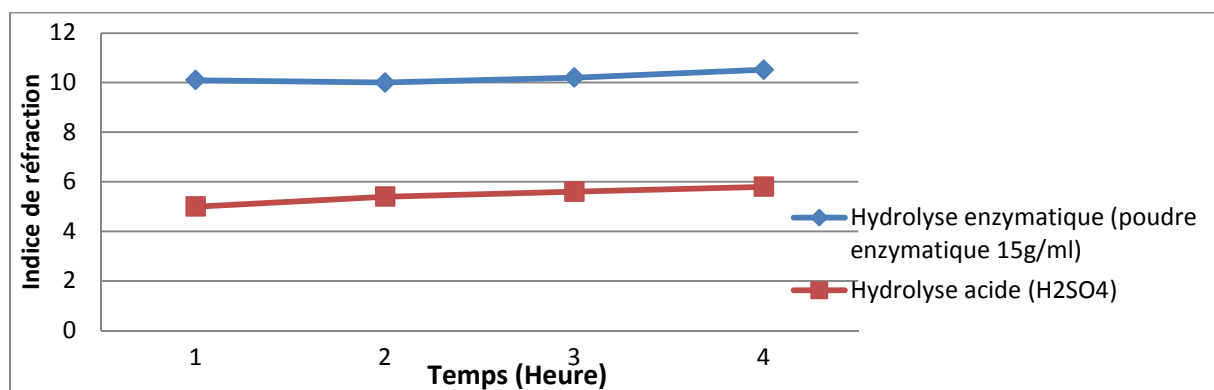


Fig. 7. Influence du type d'hydrolyse sur la concentration en sucre du sirop

Le graphe de la figure 7 montre l'influence du type d'hydrolyse de manioc sur la concentration des sucres dans le sirop. Il faut noter ici que nous avons utilisé 10mL de solution d'acide sulfurique (0,1N) pour l'hydrolyse acide et 15g/L. De 1 heure à 5 heures, l'indice de réfraction a augmenté de 10 à 10,58 lors de l'hydrolyse enzymatique alors que dans le même temps des valeurs d'indice de réfraction de 4,8 à 5,8 sont notées pour l'hydrolyse acide. Alors on en déduit que l'hydrolyse enzymatique est meilleure par rapport à l'hydrolyse acide. Ces dernières années, peu de travaux ont été réalisés en vue de comparer l'hydrolyse acide à celle enzymatique.

3.6 LES RESULTATS ET DISCUSSION DE LA FERMENTATION

3.6.1 VERIFICATION DE L'EVOLUTION DE LA FERMENTATION EN FONCTION DE LA QUANTITE DE LEVURE

Les résultats des tests de vérification du niveau d'avancement de la fermentation du moût sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Evolution de la fermentation en fonction de la quantité de ferment (*Saccharomyces cerevisiae*)

Temps (jours)	1	2	3	4	5	6	7
Quantité de levures (g/100mL de moût)							
0,5	-	-	-	-	-	-	±
0,1	-	-	-	-	±	±	+
1,5	-	-	-	-	±	±	+
2	-	-	-	±	±	±	+
2,5	-	-	±	±	±	±	+
3	-	±	±	±	±	+	+
3,5	-	±	±	±	+	+	++
4	-	±	±	+	+	++	++

NB : (-) = buchette d'allumette non éteinte ; (±) = buchette d'allumette éteinte mais très lentement (+) ou (++) = buchette rapidement éteinte

Elle est l'étape la plus importante dans la production du bioéthanol. Quand la quantité des levures instantanées augmente, la fermentation est plus rapide.

3.6.2 DYNAMISME DE LA FERMENTATION

Le graphe ci-dessous traduit le dynamisme de la fermentation

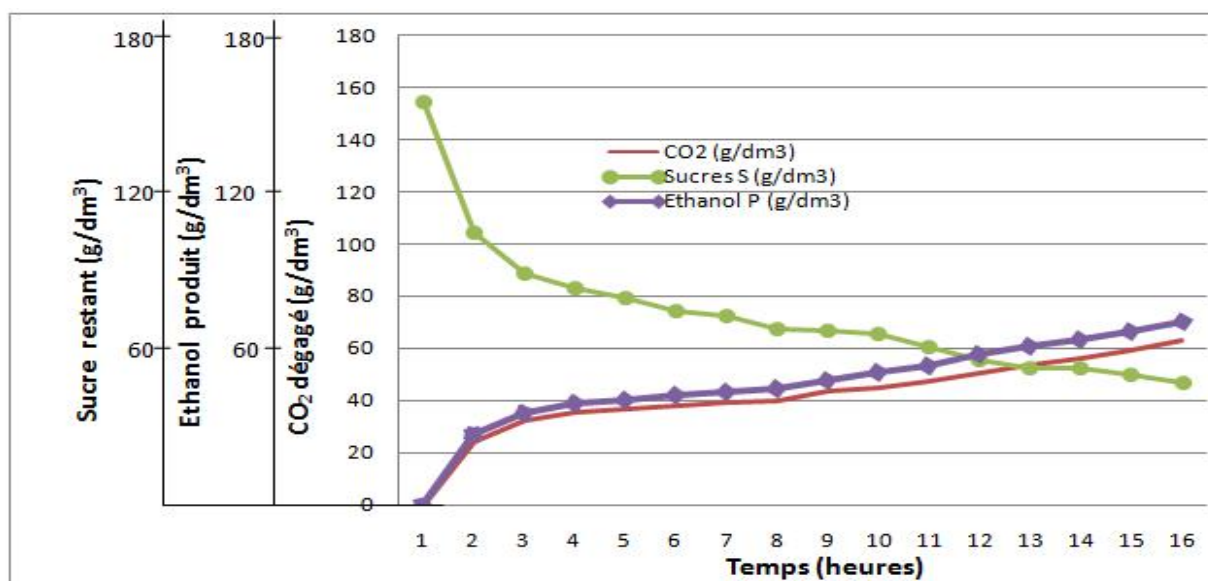


Fig. 8. Evolution des paramètres de la fermentation

Au cours de la fermentation, on note une diminution du poids du milieu de fermentation. Cette diminution de poids correspond alors à la masse de CO₂ dégagé au cours de la fermentation. La détermination de cette masse de CO₂ a permis de maîtriser l'évolution des principaux constituants du milieu de fermentation (CO₂, sucres et éthanol).

Lorsqu'on observe les courbes de la figure 8, on remarque que :

- Après 1h, le taux de sucre n'a pas varié. De 2 à 4 heures, le sucre passe de 154,4 à 88 g/dm³. Cette diminution du taux de sucre dans le milieu se poursuit jusqu'à 16 heures où le taux se trouve à 47,5 g/dm³.
- Pendant que le taux de sucre chutait, le taux du CO₂ et celui de l'alcool augmentent. Ainsi, le taux du CO₂ et l'alcool sont respectivement de 32,5 g/dm³ et de 34,5 g/dm³ à 2heures puis augmentent jusqu'à 44,52 g/dm³ pour le CO₂ et à 50,2 g/dm³ pour l'éthanol après 12 heures de fermentation puis aux environs de 16 heures de fermentation la quantité de CO₂ dégagé monte jusqu'à 65 g/dm³ et celle l'éthanol produit est d'environ 75 g/dm³.
- On note ainsi une augmentation du rendement (**rapport P/(S+P)**) de la fermentation qui passe de 0 en 1 heure à 26,15% en 2 heures. ensuite ce rendement augmente jusqu'à 51% en 8heures puis atteint 67% en 16heures.

De toutes ces analyses il ressort que dans le processus de la fermentation, le dégagement du CO₂ est toujours accompagné de la production de l'éthanol, une conséquence directe de la diminution du sucre dans le milieu. Ces observations sont en accord avec ceux de [10], lors de ses études sur les possibilités d'utilisation biotechnologique de la mélasse de canne à sucre de la République du Bénin pour l'obtention de l'éthanol et autres bioproduits.

4 CONCLUSION

Le présent travail a permis la mise en place d'une technologie de production semi-industrielle de l'éthanol à base du manioc et d'un dispositif de production du bioéthanol. Ainsi, le bioéthanol peut être produit afin de compenser les besoins actuels du pays. L'évaluation physico-chimique a montré que le bioéthanol à base de manioc obtenu est de 94° et peut ainsi être utilisé comme combustible domestique, additif alimentaire et en parfumerie. L'unité pilote fabriquée à une capacité de 82,2 Kg de bioéthanol pour 100 kg de manioc séché.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient très sincèrement l'ONG SSA : Santé et Sécurité Alimentaire pour les dispositions pratiques qu'elle a eu à prendre dans la réalisation des expériences sur son site.

REFERENCES

- [1] UEMOA, *PROJET N° 004 /2005/CR/COM/UEMOA, Etude sur le développement de la filière "éthanol / gel fuel" comme énergie de cuisson dans l'espace "UEMOA"*, Rapport, 158p, 2007.
- [2] PDRT et CAD/FSA, *Annuaire statistique, Campagnes agricoles 2004-2007 et 2008-2010*, MAEP, 2010, 236p, 2011.
- [3] PDRT et CAD/FSA, *Annuaire statistique, Campagnes agricoles 1997-2000 et 2001-2004*, MAEP, 268p, 2006.
- [4] C. Wheatley and G. Chuzel, *Cassava Encyclopedia of food science, food technology and Nutrition*, Accra, R., ROBINSON, M.K. and SADLER, M.J. Ed Academic press, 1: 734-743, 1993.
- [5] BRILLAT-SAVARIN, *Le bioéthanol pour sauver le monde* ; pp. 56-59, 69-72, 2006.
- [6] UNION EUROPEENNE, "*Creating Markets for Renewable Energy Technologies EU-RES Technology Marketing Campaign*" *Bioéthanol Production and Use*, Ed. European Commission Press Release IP/07/155, 07/02/2007. Pp 3-6, 10-12, 2006.
- [7] Y. I. BOKOSSA, A. GBANKOTO et F. TOUKOUROU, *Production, commercialisation, importation et exportation du manioc et ses produits dérivés au Bénin*, Rapport d'enquête ; pp. 22-27, 1996.
- [8] Anonyme, *Production du "Sodabi" au Bénin*, 11 p, 2011.
- [9] D. J. HOUEHANOU, *Biochimie des quatre variétés Ouest Africaines de sorgho (Sorghum bicolor) au cours du maltage*, 72pp Mémoire de master MTA/FAST/UAC ; 72p, 2010.
- [10] Y. I. BOKOSSA, *Etude des possibilités d'utilisation biotechnologique de la mélasse de canne à sucre de la république du Bénin pour l'obtention de l'éthanol et autres bioproduits*, thèse de doctorat ; Institut Supérieure d'Industries Alimentaires et Gustatives – PLOVDIV (Bulgarie) version française, pp. 66-72, 1993.
- [11] M. F. DEMAGNON, *Réaction d'hydrolyse de manioc par des préparations gluco-enzymatiques à base de sorgho malté et la fermentation alcoolique* ; Mémoire de master MTA/FAST/UAC ; 72p, 2012.
- [12] Mariller, *Distillerie agricole et industrielle*, éd., Paris 632p, 1950.