

## Étude sur la production d'éthanol à partir du jus d'*Anacardium occidentale* L. « Darkassou ».

### Study on ethanol production by juice fermentation of *Anacardium occidentale* L. "Darkassou".

Diop<sup>1\*(2,5)</sup> C., Guèye<sup>2</sup> K. G., Tine<sup>3</sup> E., Seck<sup>4</sup> M, Mbaye<sup>5(1,2)</sup> A., H'Meidy<sup>6(7)</sup> I.O., Tine<sup>7(6)</sup>A.

#### Résumé

Le présent travail est une investigation sur le potentiel de production d'éthanol par fermentation alcoolique à partir du jus de pommes d'*Anacardium occidentale* L. 'Darkassou'. Quatre variétés d'*Anacardium occidentale* sont choisies : une variété sénégalaise courte, une variété sénégalaise longue « khadija » une variété brésilienne et une variété béninoise. Le jus obtenu par pressage de pommes a été mis à fermenter et à partir du jus fermenté, trois souches de levures ont été isolées dont une amilolytique a été identifiée. Un suivi de l'évolution des sucres solubles totaux, du pH et de la teneur en éthanol a été réalisé. Les résultats obtenus indiquent une production toutefois limitée d'éthanol, cependant il est apparu que l'utilisation de la souche amilolytique sur du jus peu filtré pourrait améliorer la production d'éthanol.

#### Mots clés

*Anacardium occidentale* L., fermentation, pH, sucres, éthanol, levures.

#### Abstract

This present work consists to test the ability of the juice of *Anacardium occidentale* L. (cashew apple) to product ethanol by alcoholic fermentation. Four varieties of *Anacardium occidentale* were chosen: a Senegalese variety named « short », a long Senegalese variety named « khadija », a Brazilian variety and a beninese variety, on which four colonies of yeasts were identified by their form and their color. The juice obtained by pressing apples is put into fermentation. With the fermented juice we'll have three stumps included an amilolytic one. The observation of the total soluble sugars evolution, the pH and the ethanol content are here achieved as well as the identification of the yeasts isolated. Comforting results were obtained, but the ethanol productions might be improved by applying the amilolytic yeast on a non filtered juice in order to increase the ethanol production.

#### Keys words

*Anacardium occidentale* L., fermentation pH, sugars, ethanol, yeasts.

<sup>1\*</sup>Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Techniques Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal.

Correspondant : DIOP Cheikh (ISE) Email: [namorydiop@yahoo.fr](mailto:namorydiop@yahoo.fr). Tel : 77.501.42 61.

<sup>2</sup> Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Techniques Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal.

<sup>3</sup> Laboratoire de Microbiologie Appliquée et de Génie Industriel, École Supérieure Polytechnique de Dakar.

<sup>4</sup> Enda – Syspro, ENDA /TM Dakar, Sénégal.

<sup>5</sup> Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Techniques Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal.

<sup>6 (7)</sup> Laboratoire de Photochimie et d'Analyse, Département de chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal.

## 1. Introduction

Au Sénégal, pour la satisfaction des ménages en combustibles ligneux des prélèvements importants sont effectués sur les ressources forestières. Cette surexploitation de ressources forestières a des conséquences négatives sur l'environnement, par la perte accrue de la productivité agricole et par la désertification. Parallèlement des quantités importantes de pommes de cajou sont produites chaque année (36.808 tonnes) dont la majorité retourne au sol. L'exploitation rationnelle de cette biomasse pour produire de l'éthanol par fermentation alcoolique, destiné à des fins énergétiques pourrait contribuer à alléger la facture pétrolière du pays et à améliorer sa position par rapport aux changements climatiques (rejets de CO<sub>2</sub>), par rapport aussi aux rejets de SO<sub>2</sub> etc. [1][2][3].

L'éthanol est obtenu à partir de la fermentation de substrats organiques sous l'action des micro-organismes qui secrètent des enzymes. Parmi les micro-organismes utilisés la levure tient une place prépondérante, en particulier pour la production industrielle d'alcool, de vin, de la bière et du pain [4]. Parmi les substrats utilisés figurent les substrats naturels renfermant des sucres fermentescibles (glucose, fructose, maltose, galactose, et saccharose). Ainsi, on utilise pour les fermentations, des matières végétales telles que la canne à sucre et ses dérivés (mélasse de sucreries et sirop) [4], les céréales (orge, maïs, blé, seigle, riz...), les tubercules (pomme de terre, manioc, la betterave sucrière) [5], les fruits (raisins, pommes, poires, petits fruits, fruits exotiques...) et les sèves de végétaux (palmier, aggrave, etc.). Aujourd'hui la production d'alcool a profité du progrès technologique dû à l'amélioration des connaissances biochimiques et biotechnologiques (sélection des souches, optimisation des paramètres de fermentation, matériels etc.) et par l'addition d'autres matières premières telles la banane, la mangue, les fruits du

dattier du désert, les pommes à cidre, et la pastèque.

L'objectif de cette présente étude est une contribution, pour trouver une source nouvelle de diversification de la production d'éthanol, améliorer la sécurité énergétique, et valoriser les déchets issus des pommes de *Anacardium occidentale L.*

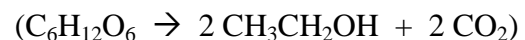
## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. L'obtention du jus des fruits

Elle consiste d'abord à l'identification des variétés de cajou en se basant sur la taille et la forme des pommes et des noix, et à la récolte dans la région de Fatick au Sénégal au mois d'avril et au mois de juillet, ensuite à l'obtention du jus par pressage suivi d'une filtration. Quatre variétés d'*Anacardium occidentale* sont choisies pour l'étude: une variété sénégalaise courte, une variété sénégalaise longue « khadija » une variété brésilienne et une variété béninoise sur lesquelles quatre colonies de levures ont été identifiées à l'œil nu par leur forme et leur couleur. Trois sont utilisées pour la fermentation alcoolique après repiquage en bouillon Sabouraud, il s'agit des levures dénommées Lcaj1 ou CM, Lcaj2 ou CC et Lcaj3 ou PC.

### 2.2. La fermentation

C'est grâce à L. Pasteur [6][7], par ses études sur le vin et la bière, qu'il fut démontré, que la fermentation alcoolique dont l'équation est établie au préalable par Lavoisier [8] et Gay Lussac [9]



est le résultat de l'action des levures sur le sucre de raisin en absence d'oxygène, après une première multiplication en aérobiose [10][11].

Pour suivre la fermentation, on dispose du matériel suivant :

– Autoclaves : horizontale MELAG TYP 23 et verticale SMI AVX 90 EI, pour la

- stérilisation de la cuve de fermentation et du petit matériel ;
- étuve P SELECTA maintenue à 30°C pour l'incubation des milieux de culture et fermentaires ;
- flux stérile ;
- spectromètre Bausch et Lomb ;
- pH-mètre SCOTT GERATE CG 832 relié à une sonde INGOLD U 455 ;
- unité de fermentation « Prelude » comprenant une cuve de fermentation de deux litres et ses accessoires, l'ensemble étant relié à un ordinateur équipé d'un logiciel permettant de contrôler et de calibrer tous les paramètres suivis lors de la fermentation ;
- erlenmeyers de 100 mL, de coton cardé pour boucher les erlenmeyers ;
- solutions de soude (NaOH) 1N et de potasse (KOH) 3N.

Une fermentation spontanée en aérobiose permettant de suivre l'évolution du sucre et la quantité d'éthanol obtenue est d'abord réalisée. Elle permet de caractériser la microflore naturelle en isolant les micro-organismes en particulier les levures. Ensuite la fermentation contrôlée en anaérobiose est réalisée, elle est fournie en levure par le moût de la fermentation spontanée. Pour chaque variété de pommes, 200 ml de jus sont prélevés répartis dans des erlenmeyers et le pH ajusté (élevé à 7) par de la soude. Les erlenmeyers sont ensuite bouchés par du coton cardé et stérilisés à l'autoclave vertical à 120°C sous la pression d'un bar pendant 45mn. Après stérilisation, le moût levuré est inoculé (environ le tiers du jus) dans les erlenmeyers en condition stérile et les milieux sont portés à 30°C dans l'étuve.

A intervalles réguliers, toutes les 24h on note le pH du milieu et des prélèvements de 5ml sont effectués pour déterminer le taux d'alcool éthylique par la méthode de Cordebard [12]. L'éthanol ainsi obtenu est filtré puis oxydé en acide acétique par un excès de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en solution nitrique. L'excès de

$K_2Cr_2O_7$  est ensuite dosé par iodométrie. Enfin on détermine la quantité de sucres solubles totaux par la méthode colorimétrique au phénol sulfurique [13].

Après cette fermentation contrôlée à l'étuve, la fermentation anaérobiose est réalisée en réacteur pour les variétés Sénégalaises (Khadija et sénégalaise courte). Pour cela le pH est ajusté à 7 par KOH 3N et l'ensemble est stérilisé à l'autoclave vertical, le jus de la variété « khadija » est ici dilué au quart.

Après stérilisation de la cuve, le moût levuré est ajouté en condition stérile pour éviter des contaminations. Toutes les quatre heures, on prélève quelques millilitres de jus sur lesquels on effectue le dosage de l'éthanol et des sucres solubles totaux. Une fermentation contrôlée à l'étuve est aussi réalisée pour étudier l'action comparative des levures sur les différents jus. C'est ainsi que pour chaque variété une dilution au quart du jus est faite, puis le pH ajusté à 7 par une solution de NaOH ensuite l'ensemble est stérilisé à l'autoclave horizontale à 120°C pendant 45mn.

### 2.3. L'identification des levures isolées du jus de cajou

A la fin de la fermentation spontanée les souches naturelles du jus sont isolées en boîte de Pétri sur milieu Sabouraud gélosé. Les milieux de culture utilisés sont le milieu d'isolement Sabouraud pour le dénombrement et la caractérisation morphologique des souches et des solutions de sucres (glucose, saccharose, amidon et cellulose) de 20 % préparées séparément.

Les critères utilisés pour identifier les levures sont répartis en deux grandes catégories :

- d'une part les caractères morphologiques par l'examen macroscopique des colonies isolées, en observant les caractères culturels en milieux Sabouraud liquide sur tubes, et solide ou gélosé coulé sur boîtes de Pétri ;

- et d'autre part les caractères physiologiques et biochimiques basés essentiellement sur l'aptitude à l'assimilation et à la fermentation des substrats carbonés et des substrats azotés. La détermination de l'aptitude à la fermentation de ces composés est réalisée sur un milieu liquide de Wickerham contenant un indicateur coloré [14] [15]. L'assimilation de certains composés carbonés est pratiquée sur un grand nombre de substrats et enfin les tests de croissance sont pratiqués pour déterminer la température optimale en ensemençant les souches à 30°C, 37°C et 40°C.

### 3. Résultats et discussions

En se basant sur les résultats de l'étude des caractères morpho physiologiques des souches isolées de jus d'*Anacardium occidentale* L., on peut conclure que les souches Lcaj1, Lcaj2 et Lcaj3 appartiennent à la classe des Ascomycetes, que les souches Lcaj1 et Lcaj3 appartiennent à la famille des Saccharomycetaceae et au genre Saccharomyce. Cependant la détermination de leurs espèces (*S. bayanus*, *S. cerevisiae*, *S. kluyveri*, *S. paradoxus*, *S. pastorianus*, *S. unisporus*) reste à être déterminée, de même que la détermination de l'espèce Lcaj2 (*Sch. japonicus*, *Sch. Pombe*) appartenant au genre Schizosaccharomyce qui reste aussi à être déterminée. Au cours de la fermentation, l'acidité du milieu augmente, en particulier pour les variétés béninoise et « khadija » (respectivement 3,6 et 3,4), le pH de départ étant acide de par la composition du jus (vitamine C, acides...). Pour avoir un maximum de croissance de microorganismes et optimiser le rendement en alcool éthylique la fermentation spontanée est relancée en neutralisant l'acidité des jus avec de la soude (NaOH) jusqu'à un pH de 6,80.

### 3.1. Résultats de la fermentation spontanée

L'évolution des jus après six jours de fermentation montre les quantités obtenues suivantes :

- Pour la variété Béninoise, la concentration en sucre est égale à 32,500 g/L, la concentration en alcool produit est égale à 0,368 en g/L et le pH de 3,6 ;
- Pour la variété Sénégalaise courte, la concentration en sucre est égale à 33,500 g/L, la concentration en alcool produit est égale 0,385 en g/L et le pH de 4,0 ;
- Pour la variété Sénégalaise longue « Khadija », la concentration en sucre est égale à 37,700 g/L, la concentration en alcool produit est égale 0,270 en g/L et le pH de 3,4.

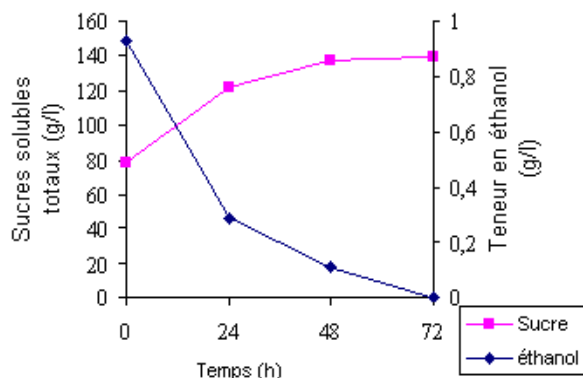
Ces résultats montrent que le jus de la variété sénégalaise longue « Khadija » a une teneur en sucres solubles totaux la plus élevée et que la durée de la fermentation devrait être augmentée pour avoir une dégradation totale du sucre. Les pH des milieux fermentaires (3,4 à 4) montrent que l'on est en présence d'une fermentation acide. Ce qui nous a amené à ajuster le pH et à faire une fermentation qui sera par la suite contrôlée.

Les microorganismes qui se développent avec la variété sénégalaise courte sont les plus efficaces pour la transformation du sucre en éthanol car les rendements en alcool sont plus appréciables. Cette teneur en éthanol plus élevée s'obtient avec le jus de cette variété le plus trouble tiré directement de la presse. L'explication serait que les microorganismes sont majoritairement présents sur la peau de la pomme et que le jus contient plus de substrat issu de la pulpe. La conclusion suivante pourrait être tirée: plus le jus est trouble plus les micro organismes sont importants et plus la disponibilité en substrat est importante.

### 3.2-Résultats de la fermentation contrôlée

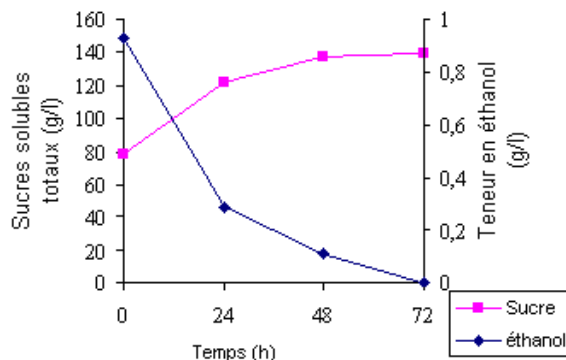
#### 3.2.1. Jus de la Variété brésilienne

Le pH de départ est de 4,3 (cf. Fig. n°1). Pendant 24h on observe une hydrolyse des glucides dont le taux de sucre passe de 78,33 à 95,45 g/L, accompagnée d'une disparition de l'alcool dans le jus avant fermentation. Après 24h on observe une dégradation du sucre qui est transformé en alcool avec une teneur en éthanol inférieure à 0,4 g/L contre 0,93 g/L au départ. A partir de 48h le sucre disponible étant transformé en alcool, l'hydrolyse des glucides intacts reprend jusqu'à une concentration de sucre 160 g/L. Ce phénomène n'est toutefois pas accompagné de production d'alcool. Le pH varie peu, de 4,37 à 4,5.



**Fig. 1 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété brésilienne à pH naturel 4,3.

Après ajustement du pH à 7(cf. Fig. n°2), l'hydrolyse des glucides a lieu au bout de trois jours et s'accompagne d'une consommation totale de l'alcool présent dans le jus. Le taux de sucre passe de 78,33 à 130 g/L sans production d'alcool. La teneur en alcool au départ qui est de 0,93 g/L est la concentration maximale que peut donner le jus de la variété brésilienne.

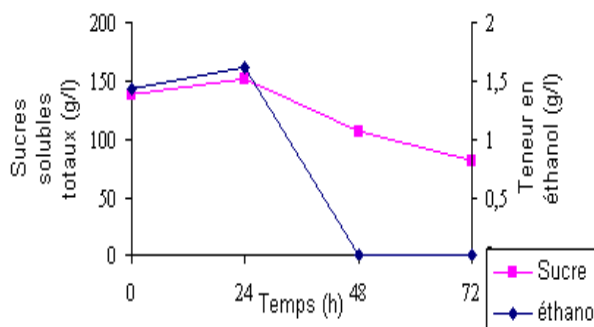


**Fig. 2 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété brésilienne à pH 7.

La symétrie des deux courbes montre ici que les levures se nourrissent de l'éthanol pour scinder les glucides complexes.

#### 3.2.2 Jus de la Variété « Khadija »

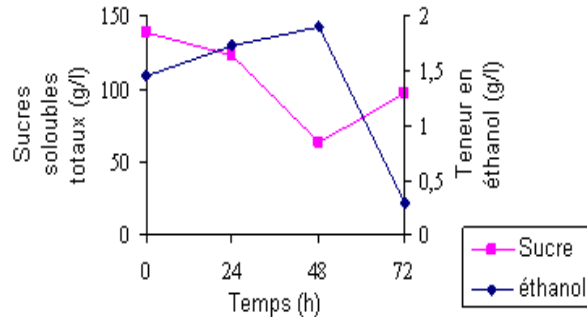
Durant les vingt quatre premières heures (cf. Fig. n°3), on observe une hydrolyse des glucides couplée à une production d'alcool de taux égal à 1,61 g/L. Au-delà des 24h l'alcool est consommé très rapidement et le taux tombe à 0 g/L au bout de 48h. Le taux de sucre diminue aussi, passant de 151,36 g/L à 81,06 g/L en 48h. Cette consommation des sucres n'est pas accompagnée de fermentation alcoolique, car le milieu devient plus acide (pH 4,0) et par conséquent impropre au développement des levures. [16][17].



**Fig. 3 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise « khadija » à pH naturel 4,3.

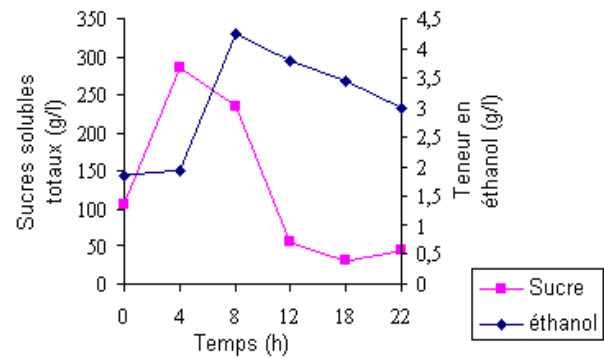
A pH 7 (cf. Fig. n°4), il y'a une disparition des glucides durant les premières 48h et une production d'alcool d'environ 2 g/L. Après

48h, la concentration du milieu en sucre avoisinant 60 g/L, il y'a une hydrolyse des glucides complexes sans production d'alcool, car l'acidité du milieu (pH = 5,1) inhibe le métabolisme des levures.



**Fig. 4 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise « khadija » à pH 7.

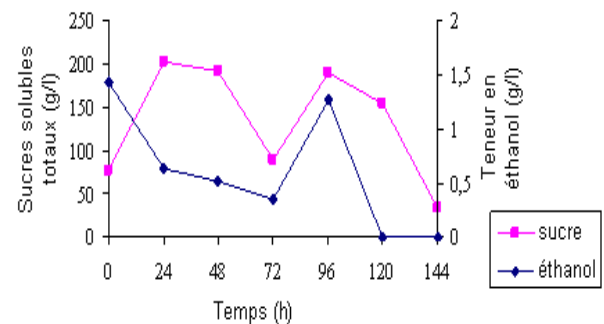
En réacteur de deux litres (cf. Fig. n°5), entre 0 et 4h il y a hydrolyse des glucides complexes, avec un taux de sucre qui passe de 106,7 g/L à 286,2 g/L, et un taux d'alcool qui varie peu. Entre 4h et 8h les sucres fermentescibles sont utilisés par les levures ainsi le taux d'alcool passe de 2 g/L à 4,25 g/L. Au-delà de 8h les taux d'alcool et de sucre diminuent progressivement, mais plus rapidement pour le sucre. Durant les premières heures de fermentation la souche pure de levure Lcaj3 transforme le sucre complexe en sucre simple puis en alcool. La production d'alcool et l'hydrolyse simultanées observées lors des essais précédents (cf. Fig. n°3 page 7 et Fig. n°4 page 7) sont le travail des trois souches présentes dans le jus de cajou. Le jus dilué avant fermentation donne un rendement en alcool meilleur que le jus non dilué. Cela résulte de la forte concentration en sucre au départ qui est un facteur limitant pour la fermentation alcoolique.



**Fig. 5 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise « khadija » à pH 7 en réacteur.

### 3.2.3 Jus de la Variété sénégalaise courte

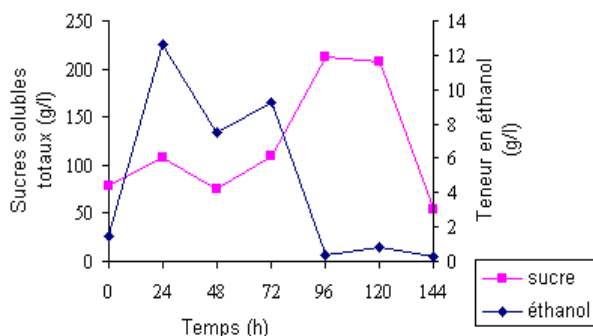
Au début de la fermentation le pH est de 4,7(cf. Fig. n°6). Pendant les premières 24h la teneur en sucres solubles totaux augmente de 78,03 g/L à 202,42 g/L. Entre 24h et 72h, le sucre simple disponible est consommé, puis l'hydrolyse reprend entre 72 à 96h avant de tomber à 40 g/L au bout de 144h. Durant les premières 72h, le taux d'alcool dans le milieu diminue progressivement à cause de l'acidité du milieu (pH variant de 4,6 à 3,8) qui est un facteur inhibiteur de la fermentation alcoolique, En effet l'éthanol produit est toujours en deçà de la concentration de départ.



**Fig. 6 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise courte à pH naturel 4,69.

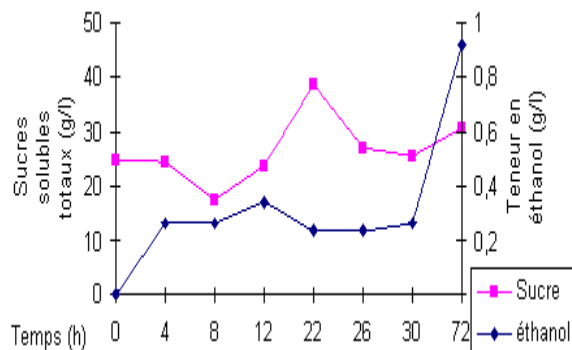
Au début de la fermentation le pH du milieu est ajusté à 7(cf. Fig. n°7). Au bout de 24h on constate une hydrolyse et une légère production d'alcool, de l'ordre de 11,21 g/L. Entre 24 et 48h, les taux d'alcool et de sucre diminuent dans le milieu suite à

une consommation par les levures. Après 48h, l'hydrolyse des glucides reprend simultanément à une production d'alcool qui ne dépasse pas 9,20 g/L alors que le sucre atteint une valeur d'environ 200 g/L avant d'être totalement métabolisé. Au delà de 96h, il y a une légère production d'éthanol suivie d'une fermentation non alcoolique du fait d'un pH qui évolue vers l'acidité car on note que le sucre est consommé et que l'alcool disparaît du milieu.



**Fig. 7 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise courte à pH 7.

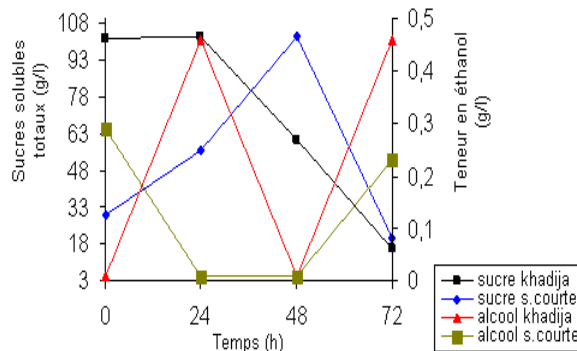
En comparant la Fig. 8 ci-dessous à la Fig. n°7 on voit une similitude de l'allure des deux courbes. Ceci serait le fait de la levure qui utilise d'abord les sucres disponibles avant d'hydrolyser les polymères en sucres simples. Le faible taux d'alcool obtenu en réacteur (0,92 g/L) contre 11,21 g/L d'alcool à l'étuve à 30°C serait du à une oxygénation accidentelle du milieu.



**Fig. 8 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de la variété sénégalaise courte à pH ajusté à 7 en réacteur.

#### 4. Comparaison de l'action des souches sur le jus des différentes Variétés

En présence de la levure Lcaj1 (cf. Fig. n°9), on observe sur la variété « khadija », une légère augmentation du taux de sucre au bout de 24h, Figure n°9, ensuite ce sucre est consommé entre 24 et 72h pour atteindre un taux de 16,30 g/L contre 102 g/L au début de la fermentation. Avec la variété sénégalaise courte on a d'abord une hydrolyse des glucides par la levure Lcaj1 en 48h avec production de sucre de l'ordre de 100 g/L. Le sucre est ensuite utilisé par la levure Lcaj1 et sa concentration tombe à 20,65 g/L au bout de 72h. Il y'a disparition de l'alcool dans le milieu au bout de 24h et il n'est produit qu'à partir de 48h avec un maximum de 0,23 g/L au bout de 72h. Cela signifie qu'en présence de la variété sénégalaise courte, la levure Lcaj1 hydrolyse les sucres complexes en sucres simples avant transformation en alcool. Les quantités d'alcool obtenues (0,46 g/L pour la variété « khadija » et 0,23 g/L pour la variété sénégalaise courte) montrent que la teneur en sucres fermentescibles de la variété sénégalaise courte était très faible au départ (29,66 g/L) l'hydrolyse des sucres complexes a eu lieu pendant les premières heures de fermentation. Et quand la même quantité de sucre que la variété « khadija » est atteinte, la levure libérée de l'inhibition de l'alcool reprend lentement sa production. Cela signifie sans doute que c'est une souche sensible à une teneur en alcool supérieure à 0,5 g/L environ.

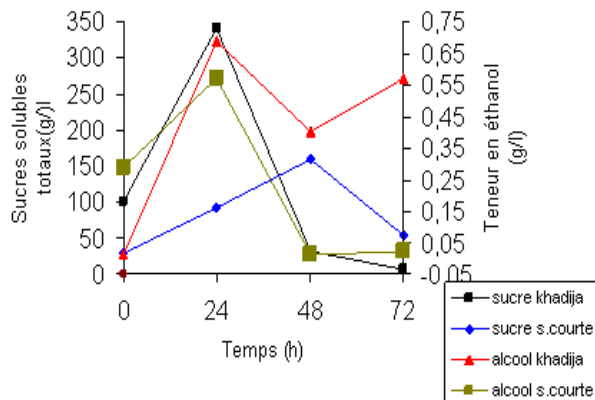


**Fig. 9 :** Evolution du sucre et de l'alcool du jus de différentes variétés de cajou fermenté par la levure Lcaj 1.



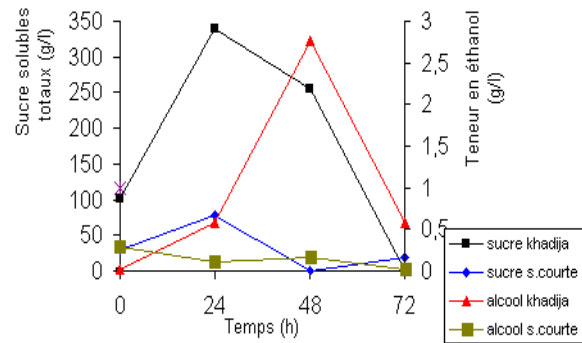
Avec la variété « khadija » (cf. Fig. n°10), on note une production simultanée de sucre et d'alcool (0,69 g/L) pendant les premières 24h (Figure n°10). Ensuite le sucre est presque entièrement dégradé entre 24 et 48h de réaction, dans le même temps le taux d'alcool baisse jusqu'à 0,40 g/L, pour revenir à 0,57 g/L au bout de 72h. La production d'alcool atteint son maximum en 24h (0,65 g/L) avec la levure Lcaj2.

Avec la variété sénégalaise courte, il y'a une hydrolyse des glucides complexes au bout de 48h, puis la quantité des sucres solubles totaux diminue dans le milieu mais reste supérieure à la concentration initiale (54,5 g/L contre 29,66 g/L au début de la fermentation). Dans ce cas l'alcool atteint son taux maximum en 24h (0,57 g/L) puis disparaît au bout des 48h.



**Fig. 10 :** Evolution des sucres solubles totaux et de la teneur en éthanol du jus de cajou de différentes variétés fermenté par la levure Lcaj 2.

Avec la variété « khadija » (cf. Fig. n°11), il y'a une hydrolyse des glucides dont la concentration passe de 101,71 g/L à 339,31 g/L en 24h de fermentation, puis le sucre est dégradé au bout des 72h pour donner de l'alcool avec un maximum de 2,76 g/L en 48h, suivi d'une forte baisse. Par contre avec la variété sénégalaise courte il y a une légère hydrolyse des glucides en 24h ce qui ne s'accompagne pas de production d'alcool. On note ici qu'avec la levure Lcaj3 on ne produit pas assez d'éthanol avec la variété sénégalaise courte.



**Fig. 11 :** Evolution du sucre et de l'alcool du jus de différentes variétés de cajou fermenté par la Levure Lcaj3.

En comparant ces résultats avec ceux de Gaye [18] sur la fermentation de la mélasse de canne à sucre et du jus de pastèque on constate que le jus de cajou est 7 à 5 fois moins riches en sucres solubles totaux que la mélasse de canne à sucre (518 g/L) mais il est 4 à 6 fois plus concentré en sucres solubles totaux que le jus de pastèque. Ces deux produits ont donné respectivement en fermentation non agitée 6,6° alcoolique soit 33,12% et 5° alcoolique soit 25,16%. Par contre avec le jus de cajou on a obtenu, après distillation du jus de la variété sénégalaise courte fermenté par la levure Lcaj2, 20 g/L d'éthanol soit 2,5° alcoolique, à peu près la moitié de ce qui est obtenu avec la mélasse et la pastèque [18,19].

## 5. Conclusion

Ces résultats montrent que la concentration optimale est de 30 à 40 g/L soit 3% à 4% de sucres solubles totaux pour avoir un bon rendement en alcool à partir du jus de cajou. Au-delà, la fermentation alcoolique est inhibée. Le jus de départ doit être dilué, car les concentrations initiales qui sont de 78 g/L soit 7,8% de sucres totaux pour les variétés béninoise, brésilienne et sénégalaise courte et de 137,88 g/L soit 13,78% pour la variété sénégalaise « khadija » ne donnent pas de bons rendements. Ces résultats sont proches de ceux donnés par Agnoloni [20]. Une dilution au quart est faite pour la variété « khadija » et de moitié pour les autres variétés, afin de permettre la production



d'un taux élevé en alcool. On note que le jus de cajou est naturellement acide car le pH varie de 3 à 4 selon les variétés récoltées et que cette acidité est défavorable à une bonne fermentation alcoolique. En ajustant le pH à 7 pour toutes les variétés exception faite de la variété brésilienne, des teneurs en alcool plus élevées qu'en fermentation à pH naturel sont obtenues.

La production d'éthanol à partir de la pomme de cajou et sa valorisation à des fins énergétiques présente un intérêt immédiat. Sa forte teneur en sucres solubles totaux (78 g/L à 138 g/L selon la variété) en fait un substrat pour la fermentation alcoolique une fois les paramètres d'inhibition maîtrisés (inhibition par le substrat, inhibition par l'éthanol produit et inhibition par le pH du milieu). Parmi les variétés de cajou obtenues, le jus de la variété « khadija » contient le taux de sucres solubles totaux le plus élevé (13,7%) alors que les autres variétés ont à peu près la même teneur (7%). L'ajustement du pH est bénéfique pour toutes les variétés et les productions maximales en éthanol sont de 12 g/L par le jus de la variété sénégalaise courte fermenté à l'étuve à 30°C, et de 4,5 g/L par le jus de la variété sénégalaise « khadija » en réacteur. Ces productions d'éthanol sont encore faibles mais pourraient être améliorées en utilisant la levure amilolytique Lcaj2 sur un jus non trop filtré en vue d'augmenter l'apport en substrat. La quantité de pomme de cajou produite annuellement (36.808 tonnes) peut permettre d'obtenir une quantité de bio-éthanol suffisante pour fabriquer un combustible tel que le gel-fuel capable de concurrencer le bois de chauffe et le charbon de bois. Mais auparavant il serait nécessaire d'améliorer ce travail en réduisant la durée de la fermentation et en augmentant le degré alcoolique des moûts et en perfectionnant les techniques d'extraction de l'éthanol.

## 6. Bibliographie

- [1] Leiper K.A., Schlee C., Tebble I., and Stewart G. The fermentation of beet sugar Syrup to produce bioethanol. *Journal of the Institute of Brewing*. 2006, **112**(2), 122-133.
- [2] Mohanty S., Ray P., Swain M.R., and Ray R.C. Fermentation of cashew (*Anacardium Occidentale L.*) "apple" into wine *Journal of food processing preservation*. 2006, **30** (3), 314-322.
- [3] Garruti D.S., Franco M. R. B, Da Silva M. A., Janzanti N. S., and Alves G. L.
- [4] Evaluation of volatile flavour compounds from cashew apple (*Anacardium Occidentale L.*) juice by the osme gas chromatography olfactometry technique. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 2003, **83**, 1455-1462.
- [5] Senghor, F. Production de l'éthanol par fermentation de la mélasse de canne à sucre. Dakar. Mémoire d'Ingénieur Génie Chimique. 1980. 50p.
- [6] Bourgeois, C.M., Larpent J.P. Microbiologie Alimentaire. Les fermentations alimentaires. Technique et Documentation -Lavoisier. 1989. Tome 2, 335p.
- [7] Pasteur L. Mémoire sur la fermentation alcoolique. *Compt. Rend.* 1857, **45**, 1032-1036.
- [8] Pasteur L. Mémoire sur la fermentation alcoolique. *Ann. Chim. Phys.* 1860, **58**, 323-426.
- [9] Lavoisier A.L. *Traité élémentaire de chimie*. Paris : Cuchet. 1789.
- [10] Gay Lussac J.L. Extrait d'une mémoire sur la fermentation. *Ann. Chim.* 1810, **76**, 245-259.

- [11] Pasteur L. Études sur le vin. Première édition. Tome III. 1866, 20 - 27 Masson, Paris.
- [12] Barnett J.A. Beginings of microbiology and biochemistry: the contribution of yeast research. Microbiology. 2003, **149**, 557-567.
- [13] Université Mohammed v. faculté de médecine et de pharmacie. Rabat. 2<sup>ème</sup> année de pharmacie, travaux pratiques. Toxicologie I.  
<http://www.medramo.ac.ma/fmp/docm/2aptp.pdf>.
- [14] Dubois, M. Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, and Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 1956, **28** : 350-356.
- [15] Guiraud J. and Galzy P. L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Les Éditions de L'USINE, Paris. 1980, 236p.
- [16] Cipollina C. Alberghina L., Porro D. and Vai M. Towards understanding of the complex structure of growing yeast populations. Journal of Biotechnology elsevier. 2006,  
[www.elsevier.com/locate/jbiotec](http://www.elsevier.com/locate/jbiotec).
- [17] [16] Goffrini, P., Ferrero I., and Donnini C. Respiration-dependent utilization of sugars in Yeasts: A determinant role for sugar transporters. Journal of Bacteriology, 2002, **154**, N°2 427-432.
- [18] Martins B., Carneiro H., and Castro-Gómez R. J. H. Chemical and microbiological evaluation of ensiled sugar cane with different additives. Brazilian Journal of Microbiology. 2006, **37**: 499-504.
- [19] Gaye, M. Production d'alcool éthylique à usage pharmaceutique par fermentation et étude comparative de deux substrats : Mélasse de canne à sucre et jus de Pastèque. Thèse de Pharmacie, N°6. Dakar, UCAD. 2000, 75p.
- [20] De Vasconcelos J.N., Lopes C.E, and França F.P. Continuous Ethanol Production Using Yeast Immobilized on Sugar-Cane Stalks. Brazilian Journal of Chemical Engineering 2004, **21**, (3), pp 357-365.
- [21] Agnoloni, M. and Giuliani, F. La culture de l'anacardier. Bibliothèque Agricole Tropicale. Instituto Agronomico per Oltremare. 1977, 174p.