

Caractéristiques physico-chimiques des bières de plantain produites à partir de rebuts de plantain de différentes variétés de Côte d'Ivoire (Orishele, French 2 et Corne 1)

[Physico-chemical characteristics of plantain beers produced from waste plantain varieties of Côte d'Ivoire (Orishele, French Horn 2 and 1)]

Digbeu Armand OUREGA¹⁻², Louis Ban KOFFI², Kouadio Florent N'GUESSAN¹, Gnopo Jean NEMLIN², Kablan TANO¹, and Koffi Marcellin DJE¹

¹UFR des Sciences et Technologies des Aliments, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Cote d'Ivoire

²Laboratoire de Technologie de Bingerville, Centre National de Recherche Agronomique, 01 BP 1740 Abidjan 01, Cote d'Ivoire

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: In order to reduce plantain post-harvest losses in Côte d'Ivoire by product processing, three plantain varieties (Orishele, French Horn 2 and 1) most cultivated were used at high ripening level to produce beers according two methods (PP and PS method). The results indicate that the physicochemical parameters of the different varieties of dough plantains used in the study vary significantly from one variety to another plantain except vitamin C. The average yield in musts PP is 63.79% while the musts PS is 59.96%. The beers produced vary according to the variety of plantains and the production method. The pH of the beer produced according to the method PP (PP beers) is between 4.45 and 4.59. It is more acidic (pH 3.88 to 4.26 pH) in PS beers. The lowest value is obtained in the PS beer Orishele. Moreover, the highest content in dry matter by refractometry (DMR) (10.87 ° Brix), total sugars (47.2 g / L) and reducing sugars (4.49 g / L) were recorded in beers PS Orishele. PS method provides a stronger beer protein and vitamin C. The beers produced PP and PS do not contain methanol or propanol. The ethanol concentrations ranging from 3.6% to 6.77% alcohol vol alcohol vol.; the highest level of ethanol was detected in PP 2 French beer (6.77%) and the lowest (3.6%) in the PS Horn beer 1. Tartaric acid is predominantly organic acid present in all types of beer produced. Tartaric acid contents are in the range of 64.18 to 120.66 g / L in the PP beers and 57.33 to 63.90 g / L PS beers. Other organic acids detected ie citric acid, butyric acid, malic acid, lactic acid, tannic acid, oxalic acid, acetic acid, fumaric acid and salicylic are low and vary from 0 to 20.81 g / L. The PCA analysis showed that the six types of beers produced are different.

KEYWORDS: Beer, alcoholic fermentation, wort, plantain, sorghum, Variety.

RESUME: Dans le but de contribuer à la réduction des pertes post-récolte du plantain en Côte d'Ivoire par la fabrication de nouveaux produits, les trois variétés de plantain les plus cultivées (Orishele, French 2 et Corne 1) au stade de mûrissement très avancé (phase de sénescence) ont été utilisées pour produire des bières selon deux méthodes (méthode PP et méthode PS). Les résultats indiquent que les paramètres physico-chimiques des pâtes des différentes variétés de plantains utilisés au cours de l'étude varient significativement d'une variété de plantain à une autre excepté la vitamine C. Le rendement moyen en moût PP est de 63,79 % tandis que celui en moût PS est de 59,96 %. Les paramètres physico-chimiques des bières produites varient également en fonction de la variété de plantain et de la méthode de production. Le pH des bières produites selon la méthode PP (bières PP) est compris entre 4,45 et 4,59. Il est plus acide (pH 3,88 à pH 4,26) dans les bières PS. La valeur la plus faible est obtenue dans la bière PS Orishele. Par ailleurs, les valeurs les plus élevées d'extrait sec réfractométrique (10,87 °Brix), de sucres totaux (47,2 g/L) et de sucres réducteurs (4,49 g/L) ont été enregistrées dans les bières PS Orishele. La méthode PS permet d'obtenir une bière à plus forte teneur en protéines et en vitamine C. Les bières produites PP et PS ne contiennent ni méthanol, ni propanol. Les teneurs en éthanol varient de 3,6 % vol.alc à 6,77 % vol.alc. ; le taux d'éthanol le plus élevé a été détecté dans la bière PP French 2 (6,77 %) et le plus faible (3,6 %) dans la bière PS Corne

1. L'acide tartrique est l'acide organique majoritairement présente dans tous les types de bières produites. Les teneurs en acide tartrique sont de l'ordre de 64,18-120,66 g/L dans les bières PP et de 57,33-63,90 g/L dans les bières PS. Les autres acides organiques détectés à savoir l'acide citrique, l'acide butyrique, l'acide malique, l'acide lactique, l'acide tannique, l'acide oxalique, l'acide acétique, l'acide Fumarique et l'acide salicylique sont faibles et varient de 0 à 20,81 g/L. L'analyse par ACP a montré que les six types de bières produites sont différents.

MOTS-CLEFS: Bière, Fermentation alcoolique, Moût, plantain, Sorgho, Variété.

1 INTRODUCTION

Le plantain (*Musa spp*) du groupe génomique (AAB) est un fruit climactérique très périssable. C'est l'une des denrées alimentaires de base des populations des zones intertropicales humides [1]. Il représente, par ordre d'importance, la quatrième culture vivrière du monde, après le riz, le blé et le maïs [2]. Le plantain est un aliment vital pour beaucoup de pays tropicaux car il est classé comme la denrée alimentaire la moins coûteuse à la production [3].

En Côte d'Ivoire, la production annuelle de plantain s'élevait à 1 500 000 tonnes en 2012 [4]. Il est le vivrier le plus consommé avec 53,4 % en milieu urbain et 46,6 % en milieu rural [5]. Ces fruits sont le plus souvent utilisés pour la préparation de certains mets traditionnels tels que le foutou, l'aloco, le claclo, l'apiti, le locounou, etc. et d'autres produits alimentaires dont entre autre la farine protéinée [6]. Cependant les pertes après récolte sont énormes et atteignent 40 % de la production; ce qui correspond à 600 000 tonnes en 2012. Ces pertes sont dues à la mauvaise organisation de la collecte et de la production, aux conditions de transport déplorables, aux pertes dans les champs où les fruits à maturités avancées ne sont plus vendables [7]. Les techniques d'entreposage sous atmosphère contrôlée et osmotique développées par les chercheurs pour prolonger la durée de conservation du plantain restent hors de portée pour les populations des pays en développement comme la Côte d'Ivoire.

Beaucoup d'études ont été réalisées sur la transformation de la banane, et du plantain notamment la production de boissons alcoolisées ou non alcoolisées, de différentes farine pour l'alimentation des enfants [8], [9], [10], [11]. Certaines études technologiques réalisées ont eu pour buts de comparer les caractéristiques biochimiques et organoleptiques des variétés de plantain French et Orishele [12], d'une part et d'autre part à comparer la qualité nutritionnelle et les propriétés fonctionnelles des farines de trois hybrides de plantain avec celle de la variété Orishele [13], [14]. D'autres études ont consisté à produire de la bière en combinaison avec du sorgho [15], [16] respectivement avec les variétés *Musa acuminata* et *Musa robusta*, mais très peu de travaux dans ce sens ont été réalisés sur le plantain. Ces auteurs ont montré l'efficacité de l'adjonction de la banane de type *Musa acuminata* et *robusta* à la farine de sorgho à produire des bières.

Si la banane et le plantain sont utilisées en Inde, au Brésil et dans certains pays de l'Afrique de l'Est et du Centre tels que l'Ouganda, la Burundi, la République Démocratique du Congo et le Bénin pour produire de la bière afin de les valoriser, ce n'est pas le cas en Côte d'Ivoire où les espèces et les variétés de plantain sont différentes de celles des autres pays et limitées à la transformation traditionnelle. Dans le but de contribuer à la réduction des pertes post-récolte du plantain en Côte d'Ivoire par la mise au point de nouveaux produits, nous nous sommes proposés dans ce travail de produire de la bière à partir de rebuts de plantain de différentes variétés et d'en étudier les caractéristiques physico-chimiques.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué des variétés de plantain et des grains de sorgho. Trois variétés de plantain ont été utilisées dans cette étude : Corne 1 (*Afoto*), French 2 (*Agnrin*) et Orishele. Ce matériel provient du Centre National de Recherche Agronomique, précisément de la plantation expérimentale d'Azaguié (village située à 50 km au nord d'Abidjan 5° 38' N, 4° 05' W). Les variétés de plantain ont été récoltées au stade vert mature, puis entreposées pendant 3 semaines pour maturation. Les grains de sorgho rouge ont été achetés sur le marché de Yopougon à Abidjan et maltés au laboratoire suivant le procédé traditionnel de maltage pour la fabrication de bière de sorgho.

2.2 FERMENT

La levure de marque Safelevure (*Saccharomyces cerevisiae*) achetée dans le commerce a servi de matériel biologique pour la fermentation.

2.3 MÉTHODES DE PRODUCTION DES BIÈRES

Les opérations unitaires utilisées pour la production des bières de plantain sont présentées à la figure 1. Le procédé technologique comprend les deux grandes étapes classiques à savoir la production de moûts et la fermentation alcoolique. Pour la production des moûts, deux méthodes ont été utilisées : la méthode pure plantain (PP) pour la fabrication des bières PP et la méthode plantain-sorgho associé (PS) pour les bières PS. Dans la méthode PP, les fruits récoltés au stade vert mature, ont été entreposés pendant 21 jours dans des emballages plastiques hermétiquement fermés pour obtenir du plantain au stade de mûrissement très avancé (phase de sénescence). Ils ont ensuite été lavés, épluchés et broyés à l'aide d'un mixeur pour obtenir une pâte. A 1 kg de pâte de plantain obtenu, 3 L d'eau distillée ont été ajoutés. Une fraction de 2 L du mélange a été précuite pendant 30 min à une température de 45° C à 75° C puis a été filtrée pour obtenir le moût pur plantain (moût PP). Le moût PP subit une cuisson à 100°C pendant 1 h 30 min et est filtré à nouveau puis laissé refroidir. Le moût PP refroidi est centrifugé à 4000 tours pendant 20min. Après centrifugation, le moût PP est ensemencé avec la levure dans la proportion de 1 g de ferment par litre de moût. Homogénéisé, le moût PP est laissé fermenter pendant 7 jours à température ambiante $\pm 27^{\circ}$ C. Après la phase de fermentation alcoolique, le moût PP fermenté est gardé en maturation à 4° C pendant 3 jours, puis filtré avec le papier Whatman N°4 pour obtenir la bière PP. Dans la méthode PS, la pâte de plantain produite dans les mêmes conditions que précédemment a été mélangée avec la farine de sorgho malté dans les proportions de 2:1 (P/P). La farine de sorgho malté a été préparée selon la méthode [17]. Le moût obtenu à partir du mélange plantain et sorgho (moût PS) a été utilisé pour la production de bières PS dans les mêmes conditions que la bière PP. Au total six types de bières ont été produits à partir des trois variétés de plantain. Les pâtes de plantain et les bières ont été échantillonnées pour les analyses physico-chimiques.

2.4 RENDEMENT EN MOÛT DE PRODUCTION

Le rendement en moût de la production a été déterminé par le rapport de masse entre la quantité de moûts obtenus et la quantité de matière première utilisée selon la formule ci-dessous.

$$R_p = \frac{M_m}{M_p} ; \quad R_p : \text{Rendement en moût de production (\%)} ; M_m : \text{Masse du moût obtenu (kg)}$$

$M_p : \text{Masse de matière première (kg)}$

2.5 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

L'acidité titrable a été déterminée par la méthode de [18], le pH a été obtenu à l'aide d'un pH-mètre (pH mètre CyberScan, Malaisie) et l'extrait sec réfractométrique (ESR) a été déterminé à l'aide d'un réfractomètre portable (ATAGO, Sodium chlorure, Japon). Le taux d'humidité a été déterminé par la méthode [19], Les teneurs en sucres totaux et réducteurs ont été obtenues respectivement par la méthode [20] et la méthode de [21]. Les teneurs en protéines ont été déterminées par la méthode de [22]. Le taux de cendre a été déterminé par le rapport de la masse de l'échantillon après incinération à 550°C pendant 6 h sur la masse de l'échantillon avant incinération. La détection des alcools (éthanol, méthanol et propanol) a été réalisée par la chromatographie en phase gazeuse (Shimadzu G M-9AM, Japon) munie d'une colonne capillaire Porapak Q de 1,8 m de long et 100 mm de diamètre intérieur et 120 mm de diamètre extérieur. Les températures de l'injecteur, du détecteur et de la colonne sont de 200°C, 250°C et 120°C respectivement avec un débit du gaz vecteur de 2kg/cm². Le volume de solution de référence et d'échantillon de bière injecté à l'aide de seringue est de 1µl. Pour l'analyse quantitative, les concentrations ont été déterminées à partir de la moyenne des surfaces des pics des solutions de référence et celles des différents composés élués. La détermination des concentrations en vitamine C et en acides organiques a été réalisée par chromatographie liquide haute performance (HPLC) de type Shimadzu en suivant les protocoles de [23] et la méthode combinée de [24] et de [25] respectivement. Les mesures ont été effectuées en triple pour chaque analyse.

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS Statistics 20.0 et Statistica 7.1. Le test de Newman et Keul au seuil de 5 % a été utilisé pour classer les moyennes des paramètres physico-chimiques des bières produites. Les différences statistiques avec une valeur de probabilité inférieure à 0,05 ($P < 0,05$) sont considérées comme significatives. L'Analyse des composantes principales utilisée a permis d'explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus.

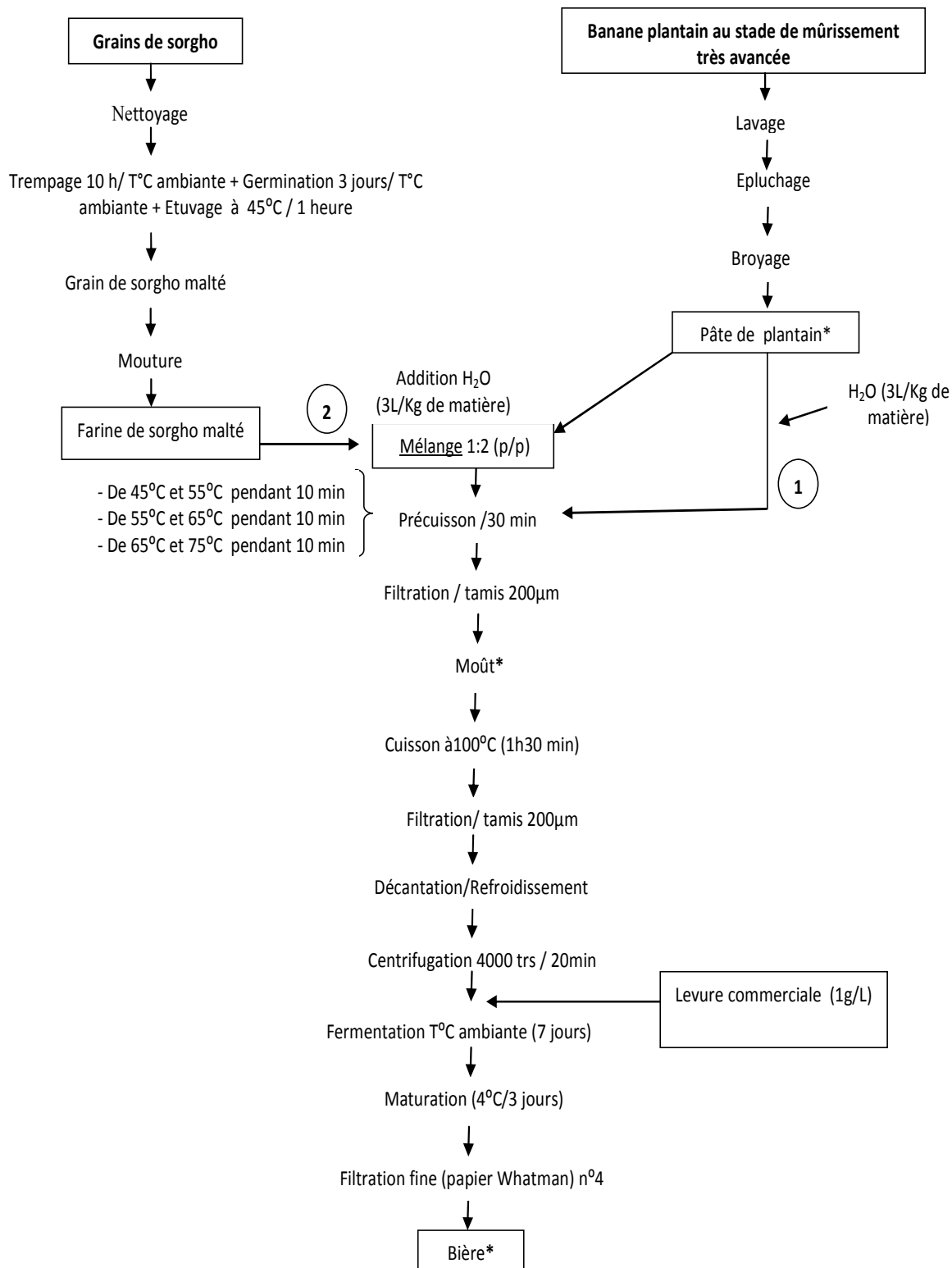


Figure 1 : Procédé technologique de fabrication de la bière à base de plantain

1 : Procédé technologique de fabrication de la bière de pur plantain

2 : Procédé technologique de fabrication de plantain-sorgho associé ; * : Echantillons analysés

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES PATES DE PLANTAIN

Les valeurs moyennes de taux d'humidité, de pH, d'acidité titrable, d'extrait sec réfractométrique, de sucres totaux, de sucres réducteurs, de taux de cendre et de teneur en vitamine C déterminées pour les pâtes de différentes variétés de plantain après le stade de mûrissement avancé sont consignées dans le Tableau 1. Les analyses statistiques révèlent que toutes les valeurs moyennes des paramètres analysés, exceptée celle de la vitamine C, sont significativement différentes d'une variété de plantain à une autre ($p < 0,05$). Ainsi, les pâtes de plantain utilisées au cours de cette étude pour la production des bières contiennent au moins 85 % d'eau, et la variété French 2 présente la valeur la plus faible (85,93 %). La pâte Orishele présente l'acidité titrable et le taux de cendres les plus faibles (0,58 % et 0,77 % respectivement) par contre ses teneurs en extrait sec réfractométrique, en sucres totaux et en sucres réducteurs sont plus élevées. Les valeurs sont respectivement de 15,3 °Brix, 159,3 g/L et 12,2 g/L. La pâte French 2 présente l'acidité titrable et le taux de cendres les plus élevées (0,83 % et 1,08 % respectivement), mais les plus faibles teneurs en ESR et en sucres totaux. Le pH des pâtes étudiées est compris entre 4,33 et 4,62. La teneur en vitamine C des variétés Orishele et French 2 (24,97 mg/100 mL) est différente de celle de la variété Corne 1 qui est de (49,67 mg/100 mL).

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des pâtes de plantain des variétés Orishele, French 2 et Corne 1

Variétés de plantain	T _H (%)	pH	AT (% acide lactique)	ESR (°Brix)	ST (g/L)	SR (g/L)	Taux de cendres (%)	Vit C (mg/100 mL)
Orishele	86,6±0,3 ^b	4,62±0,02 ^a	0,58±0,01 ^c	15,3±0,1 ^a	159,3±12,6 ^a	12,2±0,7 ^a	0,77±0,04 ^c	24,97±0,15 ^b
French 2	85,9±0,1 ^c	4,33±0,02 ^c	0,83±0 ^a	12,1±0,1 ^c	110,1±5,4 ^c	10,2±0,3 ^b	1,08±0,01 ^a	24,97±0,15 ^b
Corne 1	87,6±0,2 ^a	4,41±0,01 ^b	0,76±0,05 ^b	13,7±0,1 ^b	144,3±4,6 ^b	7,9±0,1 ^c	0,93±0,02 ^b	49,67±0,57 ^a

T_H : Taux d'humidité ; AT : Acidité titrable ; ESR : Extrait sec réfractométrique ; ST : Sucres totaux ; SR : Sucres réducteurs ; Vit C : Vitamine C ; les valeurs moyennes ayant la même lettre dans les colonnes ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

3.2 RENDEMENT EN MOÛT DE PRODUCTION

Le rendement en moût de production PS varie significativement avec la variété de plantain utilisée par contre il est identique pour les productions PP des variétés Orishele et Corne 1 (Tableau 2). Le rendement en moût PP le plus élevé est obtenu avec la variété French 2 (70,40 %) alors que dans les productions PS, c'est la variété Orishele qui donne le rendement le plus élevé (60,37 %). Le rendement moyen en moût PP est de 63,79 % tandis que celui en moût PS est de 59,96 %.

Tableau 2 : Rendement en moût selon les variétés de plantain utilisées pour la production des bières (%)

Variété de plantain	Moût PP	Moût PS
Orishele	60,60±0,20 ^b	60,37±0,01 ^a
French 2	70,40±0,60 ^a	59,43±0,15 ^c
Corne 1	60,36±0,04 ^b	60,08±0,01 ^b
Moyenne	63,79±4,97	59,96±0,42

Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

PP : Pur plantain ; PS : Plantain-sorgho associé

3.3 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES BIERES

Le pH des bières PP est compris entre 4,45 et 4,59 (Figure 1). Il est plus acide (pH 3,88 à pH 4,26) dans les bières PS.

L'acidité titrable des bières PS Orishele (1,52 %) et celui des bières PS Corne 1 (0,91 %) sont les plus élevées ; celles des bières PP des mêmes variétés de plantain (0,54 % et 0,37 % respectivement) sont les plus faibles. Pour la variété French 2 c'est la bière PS qui a donné la plus forte valeur d'acidité titrable (0,76 %).

Tout comme l'acidité titrable, les teneurs en ESR, en sucres totaux et en sucres réducteurs sont plus élevées dans les bières PS que dans les bières PP exceptées les bières produites à partir de la variété French 2. En outre, les valeurs sont plus élevées dans les bières PS Orishele que dans les bières PS Corne 1. Les teneurs dans les bières PS Orishele sont de 10,87 °Brix,

47,2 g/L et 4,49 g/L respectivement pour l'ESR, les sucres totaux et réducteurs. Les teneurs en protéines des bières PS varient entre 0,26 mg/mL et 0,33 mg/mL. Ces teneurs sont plus élevées que celles des bières PP qui sont comprises entre 0,06 mg/mL et 0,22 mg/mL. Les taux de cendres sont statistiquement identiques dans tous les types de bière exceptée la bière PS French 2 qui présente un taux de cendres plus élevé de 1,2%. La teneur en vitamine C est comprise entre 0,07 mg/100 mL et 1,19 mg/100 mL dans les bières PP et entre 0,89 mg/100 mL et 1,73 mg/100 mL dans les bières PS. Par ailleurs, les bières PS et PP Corne 1 présentent les teneurs les plus élevées tandis que les bières PS et PP Orishele présentent les teneurs les plus faibles.

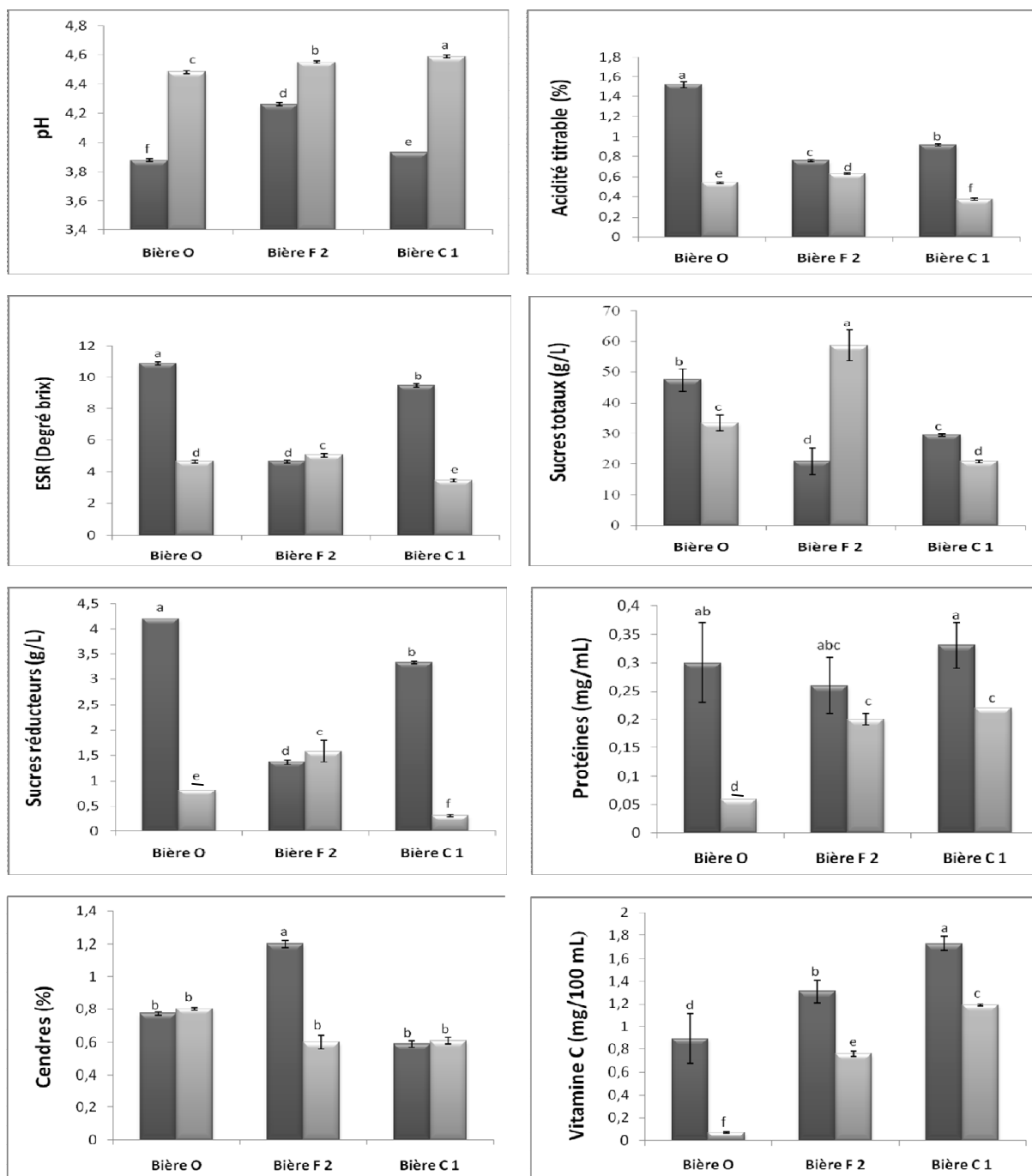


Figure 1 : Caractéristiques physico-chimiques des bières produites à partir de différentes variétés de plantain (■ Bières PS, □ Bières PP) ; O = Orishele ; F 2 = French 2 et C 1 = Corne 1 ; les histogrammes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$)

3.4 COMPOSITION ET TENEURS EN ALCOOLS DES BIERES

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse pour la détection du méthanol, du propanol et de l'éthanol a révélé la présence de l'éthanol dans tous les échantillons analysés. Le méthanol et le propanol n'ont été détectés dans aucun échantillon. Les teneurs en éthanol dans les différentes bières varient de 3,6 % vol.alc (bière PS Corne 1) à 6,77 % vol.alc (bières PP french 2). L'analyse statistique des résultats montre par ailleurs que la teneur en éthanol des bières varie selon la variété de plantain utilisée pour la production (Figure 2).

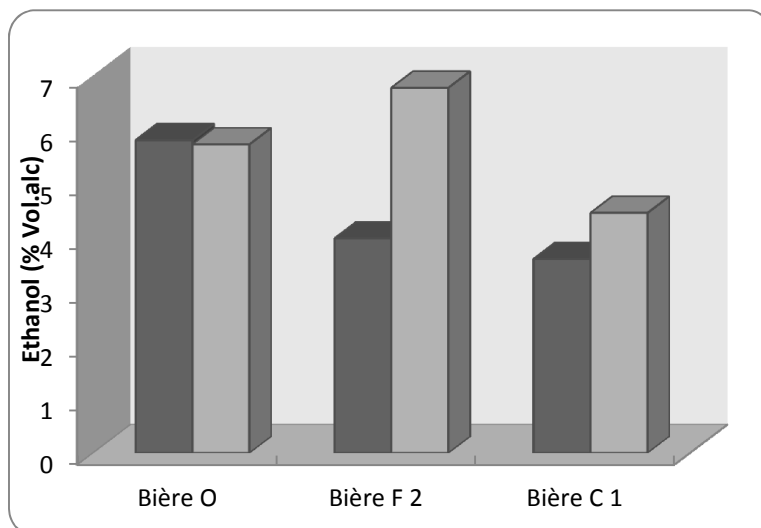


Figure 2: Teneur en éthanol des bières produites à partir de différentes variétés de banane

(■ Bières PS ; □ Bières PP) ; O = Orishele ; F 2 = French 2 et C 1 = Corne 1

3.5 PROFIL DES ACIDES ORGANIQUES DES BIERES

Les acides organiques détectés au cours de cette étude sont l'acide tannique, l'acide oxalique, l'acide tartrique, l'acide citrique, l'acide malique, l'acide butyrique, l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide fumarique et l'acide salicylique (Figure 3). L'acide salicylique présent dans toutes les bières PS n'a été dans aucune des bières PP.

L'acide tartrique et l'acide citrique sont les deux acides organiques majeurs des bières PP. Les concentrations en acide tartrique et en acide citrique sont respectivement de 120,66 g/L et 24,08 g/L dans la bière PP Orishele ; 104,08 g/L et 45,53 g/L dans la bière PP French 2 ; 64,18 g/L et 23,54 g/L dans la bière PP Corne 1. Les teneurs en acide tartrique sont statistiquement différentes dans les bières PP, par contre celles de l'acide citrique sont identiques dans les bières PP Orishele et PP Corne1 au seuil de 5%. Les concentrations en acides organiques mineurs varient de 0 g/L à 7,8 g/L.

Dans les bières PS, l'acide tartrique est l'acide organique majeur. Les teneurs sont de l'ordre de 57,33 g/L à 63,9 g/L. Les teneurs en acide tartrique sont statistiquement identiques. Les concentrations en acides organiques mineurs varient de 0 g/L à 20,81 g/L

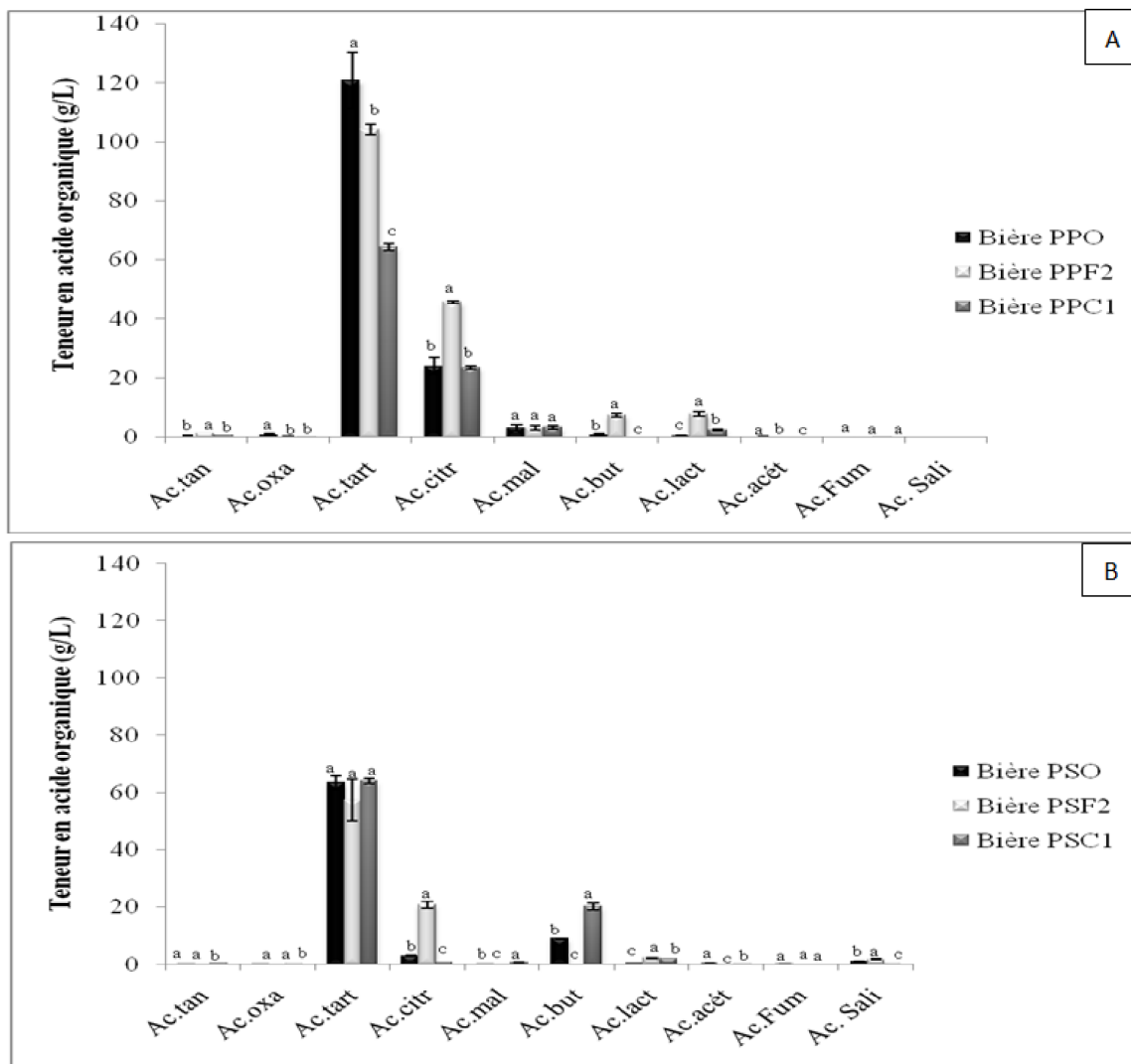


Figure 3: Profil des acides organiques dans les bières PP (A) et bières PS (B) des différentes variétés de plantain

Ac.tan : acide tannique ; Ac.oxa : acide oxalique ; Ac.tart : acide tartrique ; Ac.citr : acide citrique ; Ac.mal : acide malique ; Ac.but : acide butyrique ; Ac.lact : acide lactique ; Ac.acét : acide acétique ; Ac.fum : acide fumarique ; Ac.Sali : acide salicylique ; O = Orishele ; F 2 = French 2 et C 1 = Corne 1

3.6 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) DES PARAMETRES DES BIERES

L'ACP effectué à partir des 19 paramètres analysés pour chaque bières produites a permis de retenir deux composantes principales (Axe 1 et Axe 2) qui explique 69,13 % de la variance totale des données (Tableau 3). Les variables qui principalement contribuent de façon positive (coefficient > 0,700) à l'Axe 1 sont l'acidité titrable, l'extrait sec refractométrique, Les sucres réducteurs et la teneur en protéines. Le pH, l'acide tartrique, l'acide citrique et l'acide malique contribue de façon négative à l'Axe 1. Sur l'Axe 2, les sucres totaux, le taux d'alcool et l'acide fumarique contribue de façon négative (Tableau 3). La figure 4 permet le regroupement des différentes bières produites. La bière PS Corne 1 est plus rapprochée de la bière PS Orishele sur l'Axe 1 positivement. Elle est caractérisée par une forte teneur en protéines par contre la bière PS Orishele l'est par une forte acidité et un taux de sucres reducteurs élevé. La bière PS French 2 est plus rapprochée de la bière PP Corne 1 sur l'Axe 2 positivement. Elle est caractérisée par une forte teneur en cendres alors que la bière PP Corne 1 l'est par un pH faiblement acide. La bière PP Orishele et bière PP French 2 sont plus rapprochées sur l'Axe 1 négativement. La bière PP Orishele est caractérisée par un pH, des taux d'acides malique, citrique, et malique faibles et une forte teneur en acide tartrique par contre la bière PP French 2 est caractérisée par un fort taux d'alcool.

Tableau 3 : Corrélation des variables des bières PP et PS avec les facteurs de l'analyse en composantes principales après rotation varimax

	Axe 1	Axe 2
PH	-0,920	0,344
AT	0,777	-0,530
ESR	0,806	-0,566
ST	-0,190	-0,932
SR	0,807	-0,586
PROT	0,858	-0,023
Vitamine C	0,676	0,353
T cendre	0,188	0,524
% alcool	-0,548	-0,760
Ac.tan	-0,606	-0,375
Ac.oxa	-0,517	-0,136
Ac.tart	-0,785	-0,394
Ac.citri	-0,879	-0,046
Ac.mal	-0,917	-0,073
Ac.buty	0,580	-0,452
Ac.lact	-0,466	-0,296
Ac.acét	0,101	-0,766
Ac.Fum	-0,052	-0,938
Ac.Sali	0,519	0,358

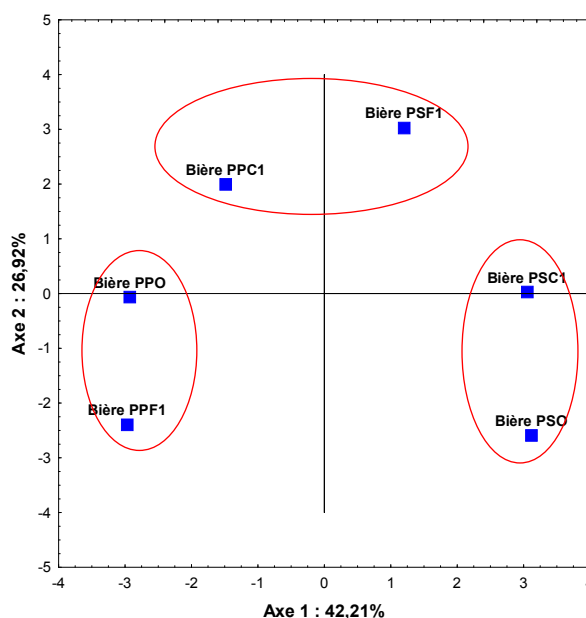


Figure 4 : Diagramme de distribution des caractéristiques des bières PP et PS des différentes variétés de plantain
O = Orishele ; F 2 = French 2 et C 1 = Corne 1

4 DISCUSSION

L'analyse des paramètres physico-chimiques des pâtes des différentes variétés de plantain utilisées au cours de l'étude montre que tous les paramètres (excepté la vitamine C) varient significativement d'une variété de plantain à une autre. Ces résultats sont en accord avec les travaux de [12]. En effet, ces auteurs ont montré que les farines issues des variétés de plantain Orishele et French 2 (*Agnrin*) ont des caractéristiques physico-chimiques significativement différentes. Par ailleurs, nos résultats montrent que les teneurs en sucres totaux et réducteurs de la variété Orishele sont supérieures à celles de la variété French 2. Ce résultat est par contre contraire à celui de ces auteurs. Ceci pourrait être lié au fait que les études n'ont pas été conduites sur le même stade de mûrissement. Notre étude a été effectuée au stade plus noir que jaune tandis que celle des auteurs précités a été réalisée au stade jaune avec des points noirs. Les teneurs en ESR comprises entre 12,1°Brix et 15,3°Brix de même que les teneurs en sucres totaux comprises entre 110,1 g/L et 159,3 g/L sont proches de celles du moût sucré de sorgho rapporté par [26]. Les pâtes contiennent donc suffisamment de sucres pour mener une fermentation alcoolique. Le pH acide des pâtes qui varie de 4,33 à 4,62 témoigne de la présence d'acide organique dans la pulpe à maturité très avancée. Ce résultat corrobore avec les travaux [12]. En effet, ces auteurs ont montré qu'au cours du mûrissement, le pH des variétés Orishele et French 2 (*Agnrin*) diminue significativement respectivement de 6,06 (stade vert) à 4,85 (stade jaune avec point noir) et de 5,86 (stade vert) à 4,06 (stade jaune avec point noir). Pour ces auteurs, cette diminution du pH serait due à une augmentation du taux d'acides dans la pulpe de banane plantain. Les pâtes de plantain utilisées au cours de notre étude renferment au moins 85 % d'eau, cela serait dû à une migration osmotique de l'eau de la peau à la pulpe au cours du mûrissement du fait de la concentration élevée en sucres de ces derniers à la suite de l'hydrolyse de l'amidon en sucre [27],[28]. Ainsi le faible taux d'humidité observé chez la variété French 2 de 85,93 % se justifierait du fait de sa faible teneur en ESR de 12,1°Brix.

Les bières obtenues à la fin de la fermentation alcoolique présentent un pH plus acide (3,88 à 4,26) lorsqu'elles sont produites à partir du plantain additionné de sorgho. Cette acidification s'accompagne dans les trois cas de bière d'une augmentation de l'acidité titrable. Ces observations peuvent s'expliquer par la présence de la farine de sorgho dans le moût du plantain ce qui favoriserait la production d'acides organiques soit par la levure et soit par les bactéries lactiques

contaminants. Aussi, les valeurs de pH des bières pures plantain sont dans le même ordre de grandeur que les valeurs rapportées par [16] pour les bières de plantain de l'espèce *Musa acuminata* et par [17] pour les bières de sorgho produites en Côte d'Ivoire. La présence de sorgho a favorisé l'hydrolyse de l'amidon et des autres sucres complexes en sucres simples et ceci expliquerait une teneur plus élevée de sucres dans les bières PS Orishele et PS Corne 1 que dans les bières PP Orishele et PP Corne 1. Pour ce qui concerne les bières produites à partir de la variété French 2 l'addition de sorgho serait au contraire défavorable à l'hydrolyse des sucres complexes mais favoriserait la consommation de sucres simples par la levure. Ainsi en fin de fermentation le taux de sucres totaux dans les bières PS French 2 est nettement inférieur à celles des bières PP French 2. La dégradation des sucres est due à l' α amylase produite par les levures ou autres bactéries amylolytiques et l'activité de ses enzymes peuvent être influencé par la composition chimique du milieu.

Les teneurs plus élevées en protéines et en vitamine C dans les bières PS respectivement de 0,26-0,33 mg/mL et de 0,89-1,73 mg/100 mL pourraient se justifier par l'utilisation des grains de sorgho germés. La germination est donc un processus qui mobilise plusieurs activités enzymatiques de l'embryon végétal. Ces valeurs de protéines se situent dans la marge trouvée par [17] pour les bières de sorgho mais les valeurs de vitamine C sont inférieures aux valeurs déterminées par [17] et par [16] exceptée la bière PS Corne 1. Chez [17] l'étape de fermentation spontanée est assurée par un milieu complexe dont essentiellement de bactéries et aussi de levures. Ces microorganismes auraient contribué à la synthèse de vitamine C. Dans notre étude ici la levure sélectionnée de *Saccharomyces cerevisiae* utilisée uniquement expliquerait la faible teneur en vitamine C. La plus forte teneur en vitamine C dans la bière PS Corne 1 serait due au taux élevé de cette vitamine dans la pâte. Tout comme dans la bière de sorgho produite en Côte d'Ivoire, les composés toxiques que sont le méthanol et le propanol, identifiés dans certaines boissons artisanales, n'ont pas été détectés dans les bières obtenues. La consommation de la bière de plantain ne présente donc pas de danger en ce qui concerne ces alcools toxiques pour le consommateur. Les bières produites contiennent de l'éthanol à des taux se situant entre 3,6 % et 6,77 %. Ces taux sont similaires aux taux indiqués par [27] pour le tchapalo et [16] pour la bière de banane. Ils sont cependant supérieurs aux taux indiqués pour le burukutu et le pito [29]. Les bières produites sont proches des pourcentages alcooliques des bières industrielles vendues sur le marché ivoirien comprise entre 4,5 % et 8 % de degré alcoolique.

Les acides organiques agissent de façon prépondérante dans la définition des caractéristiques organoleptiques des boissons. Ils agissent aussi en tant que tampon, empêchant ainsi la variation du pH du cytosol des levures et la modification de leur métabolisme [30]. La composition et la concentration de chacun d'eux est par conséquent essentielle pour la qualité du produit final [31]. La plupart des acides organiques identifiés au cours de cette étude ont été trouvés aussi dans les bières modernes comme dans les bières traditionnelles de sorgho mais à des concentrations différentes. Ces différences pourraient être liées à la matière première, au procédé de brassage ou au procédé de fermentation [32],[33]. L'acide tartrique qui est l'acide organique majeur des bières de plantain constitue la base de cette acidité alors que dans les bières de sorgho, c'est l'acide lactique qui en constitue la base [17],[27],[34]. Sa teneur est plus élevée dans les bières PP que dans les bières PS.

L'analyse en composante principale a montré que les six types de bières sont différents quant à leur propriétés physico-chimiques cependant elles ont pu être regroupés deux à deux. La bière PS Corne 1 à la bière PS Orishele, La bière PS French2 à la bière PP Corne 1 et la bière PP Orishele et la bière PP French 2.

5 CONCLUSION

L'étude a montré que, les bières produites à partir des pâtes de plantain au stade de murissement très avancé ont des propriétés physico-chimiques statistiquement variables d'une variété de plantain à une autre. Les plantains Orishele, French 2 et Corne 1 utilisés révèlent une bonne aptitude à produire de la bière, avec des degrés alcooliques qui varient de 3,6% vol.alc à 6,77% vol.alc. L'apport de sorgho, dans la bière de plantain influence le pH du milieu et augmente la qualité nutritionnelle par apport de vitamine C et protéines. Les bières produites ont un pH qui varie de 3,88 à 4,59 et ne contiennent ni méthanol, ni propanol, qui sont des alcools toxiques généralement observés dans les productions artisanales. En outre, l'acide tartrique détecté est l'acide organique majoritaire de tous les types de bières de plantains produites. L'ACP confirme que les six types de bières produites sont différents. Il serait donc intéressant d'étudier l'acceptabilité des bières produites par les consommateurs et de déterminer leurs durées de conservation.

REFERENCES

- [1] R. Nkendah, E. Akyeampong, "Données socioéconomiques sur la filière plantain en Afrique Centrale et de l'ouest." La revue internationale sur bananiers et plantain, 12 (1), 8-13, 2003.
- [2] FAO, "L'économie de la banane 1985-2002," 1p, 2003.
- [3] T. Du Montcel, "Plantain bananas In: The Tropical agriculturalist." The Macmillon Press LTD. London. 103p, 1993
- [4] FAO, Programme cadre pays 2012- 2015. P. 12,2012
- [5] BNETD (Bureau National d'Etude Technique et de Développement), "Rapport final sur le plan directeur du développement agricole," p.12, 1998.
- [6] K. Mosso, M.Lingani, S. Angbo, K.F, Konan, A. Kamenan, "Mise au point de la farine protéinée de bananes plantain: application: fabrication de biscuits secs." *Ind. Aliments Agric.*, 107 (3) : 135-138, 1990.
- [7] IRFA (Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes), "Réduction des pertes post-récolte du plantain," Projet IVC/87/003, PNUD/FAO. Rapport final, 32 p., IRFA Cote d'ivoire, 1991.
- [8] P.I. Akubor, "Production and quality evaluation of a nonfermented beverage prepared from dehydrated plantain pulp," *European Food Research and Technology*, 220: 152-155, 2005.
- [9] A.C. Carreño, S.M. Aristizábal L., "Utilisation de bananes plantain pour produire du vin." *InfoMusa*, 12. 2-4, 2003
- [10] E. Juarez-Garcia, E. Agama-Acevedo, S.G. Sáyago-Ayerdi, S.L. Rodríguez-Ambriz, Bello-Pérze, "Composition Digestibility and Application in Breadmaking of Banana Flour." *Plant Food for Human Nutrition* 61:131-137, 2006.
- [11] B. M. G. Carvalho & D. P. Silva & C. V. Bento & A. A. Vicente & J.A. Teixeira & M. d. G. A. Felipe & J. B. Almedia e Silva, "Banana as adjunct in Beer Production: Applicability and Performance of Fermentative Parameters." *Appl Biochem Biotechnol* 155: 356-365, 2009.
- [12] E. Assemand, F. Camara, F. Kouamé, V. Konan, L. P. Kouamé, "Caractérisation biochimique des fruits de plantain (*Musa paradisiaca* L.) variété « Agnrin » de Côte d'Ivoire et évaluation sensorielle de ses produits dérivés." *Journal of Applied Biosciences* 60 : 4438-4447, 2012.
- [13] k.k.Akouakou, S. Coulibaly, L. O. Atchibri, G. Kouamé, A. Meité, "Evaluation nutritionnelle comparative des fruits de trois hybrides de bananiers (CRBP 39, FHIA 17 et FHIA 21) avec ceux de la variété Orishele," *Tropicicultura*, 30(1), 49-54, 2012.
- [14] S. Coulibaly, F.A. Tetchi, M. Adou, N.G. Amani N.G, "Comparative characterization of some functional properties of flours of new plantain hybrids with the Orishele variety (*Musa* spp.) as control". *Emir. J. Food Agric.*, 25(1), 1-9, 2013
- [15] S.Singh, D. Trupti, S. Kiran, Kulkarni, "Alcoholic banana beverage- Aspects in fermentative production, *Journal of food processing and preservation*," 33: 312-329, 2009.
- [16] A.E.Dahouenon, R. G. Degnom, E. S. Adjou, D. C.K. Sohounhloue, "Stabilisation de la bière produites à partir de matières amylacées locales (*Sorghum bicolor* et *Musa acuminata*) par adfjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*," *Journal of Applied Biosciences*, 51: 3596-3607, 2012.
- [17] S Aka S., Djeni N.T., N'guessan K.T, Kouadio Célestin YAO, Koffi Marcellin DJE. (2008). Variabilité des propriétés physico-chimiques et dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 04(2) 274- 286, 2008
- [18] M.V. Kimaryo, G.AMassawi, Olasupo N.A., Holzapfel W.H. (2000). "The use of a starter culture in the fermentation of cassava for the production of 'Kivunde', a traditional Tanzanian food product." *Int. J.FoodMicrobiol.*, 56: 179-190, 2000.
- [19] AOAC, (2000). Official methods of analysis of AOAC methods; 17th edn. AOAC international Gaithersburg. MD, USA, Official method.920.124, 926.08, 955.30, 2001.14
- [20] M.Dubois, K.A. Gilles, J.K.Hamilton, P.A.Rebers, F. Smith, "Colorimetric method for determinations of sugars and related substances," *Anal. Chem.*, 280: 350-356, 1956.
- [21] P. Bernfeld, "Amylases β and α . In: *Methods in enzymology* 1." SP Colswick, NO Kaplan. Eds. Academic Presse inc, New York, pp. 149-154, 1955.
- [22] O.H.Lowry, J. Rosebroughn, Farr A.R., J.Randallr, "Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, 265-275, 1951.
- [23] B. Albuquerque, Fernando C. Lidon and A. Edouardo Leitão "Ascorbic acid quantification in melon samples- the importance of the extraction medium for hplc analysis," Brief communication, *Gen.Appl. Plant Physiology*. 31(3-4), 247-251, 2005.
- [24] F. Karacdeniz, "Main organic acid distribution of authentic citrus juices in Turkey." *Journal of Agriculture and Forestry*, 28: 267-271, 2004.
- [25] OIV.<http://news.reseau-concept.net/images/oiv/Client/MA-F-INT-00TABMAT%202005%20web.pdf>
Recueil international des méthodes d'analyse des vins et des moûts-OIV- Acides organiques – Méthode générale par HPLC MA-F-AS313-05-ACIORG, (2005)

- [26] M.K. Dje, K.F. N'guessan, T.N. Djeni, T.A. Dadie, "Biochemical Changes during Alcoholic Fermentation in the Production of "Tchapalo" a Traditional Sorghum Beer." *International Journal of Food Engineering* V4, Issue 7 Article 2, 2008.
- [27] Mohapatra Debabandya, Sabyasachi Mishra, Venkatesh Meda. Plantains and their postharvest uses: an overview. *Stewart Postharvest Review*, 5:4, 1-11, 2009
- [28] Kajuna STAR, Bilanski WK and Mittal GS. Textural changes in banana and plantain pulp during ripening. *Journal of Science Food and Agriculture* 1998: 75: 244–250.
- [29] A.I. Sanni, A.A. Onilude, I.F. Fadahunsi, R.O. Afolabi, "Microbial deterioration of traditional alcoholic beverages in Nigeria." *Food Res Int*, 32:163-167, 1999.
- [30] Torija M.J., Beltran M., Novo M., Poblet N., Rozès A.M., Guillamón J.M. (2003). Effect of organic acids and the nitrogen source on alcoholic fermentation: Study of their buffering capacity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51: 916-922, 2003.
- [31] M. Herrero, I. Cuesta, L.A Garcia, M. Diaz, Change in organic acids during malolactic fermentation at different temperatures in yeast fermented apple juice." *J. Inst. Brew.*, 105, 191-195, 1999.
- [32] S. Cortacero-Ramirez, A. Segura-Carretero, M. Hernainz-Bermudez de Castro, A. Fernandez-Gutierrez, "Determination of low-molecular-mass organic acids in any type of beer samples by coelectroosmotic capillary electrophoresis." *J. Chromato. A*, 1064, 115-119, 2005.
- [33] A.Santalad, P. Teerapornchaisit, R. Burakham, S. Srijaranai, "Capillary zone electrophoresis of organic acids in beverages." *LWT-Food Sci. Technol.*, 40(10), 1671-1854, 2007.
- [34] K.F. N'guessan, S. Aka, N.T. Djeni, K.M. Dje, "Effect of traditional starter inoculation rate on sorghum beer quality." *Journal of Food Technology*, 6 (6), 271-277, 2008.