

Caractérisation des moûts et bières du sorgho *Safrari* houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*

[Characterization of *Safrari* sorghum worts and beers hopped with *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii*]

Zangué S.C. Desobgo¹, Fantha Y. Naponni², et Emmanuel J. Nso³

¹Chargé de cours, Département de Génie Alimentaire et Contrôle Qualité
Institut Universitaire de Technologie (IUT) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

²Technicien supérieur, Département de Génie Alimentaire et Contrôle Qualité
Institut Universitaire de Technologie (IUT) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

³Maitre de Conférences, Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie
Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré,
Ngaoundéré, Cameroun

Copyright © 2013 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: The objective of this work consisted in studying the procedures of the manufacture of beer from sorghum, in order to be able to put forward its qualities and to develop the local bittering substances such as *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii*. In this study, *Safrari* sorghum cultivar was malted and brewed under laboratory controlled conditions. Different types of beers were manufactured using combinations of *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii* as tropical hops. The extract, reducing sugars, free amino nitrogen (FAN) of worts hopped with *Vernonia amygdalina* and *Nauclea diderrichii* was respectively from: 16 °P; 8 g/L to 25 g/L; 193 mg/L to 263 mg/L. Concerning final beer, the same residual characteristics were respectively from: 4.5 °P to 6.5 °P; 1 g/L to 2.5 g/L; 17 mg/L to 60 mg/L. pH of worts and beer ranged from 3.5 to 4.5.

KEYWORDS: *Safrari*, *Vernonia amygdalina*, *Nauclea diderrichii*, wort, beer, characterization.

1 INTRODUCTION

Le sorgho (*Sorghum bicolor*. (L.) Moench) est une céréale tropicale des régions semi-arides où il sert de source importante de nourriture [1]. C'est la source d'énergie la plus importante dans la partie septentrionale du Cameroun. Avec 500000 tonnes de production annuelle [2], cette production est importante. Dans la condition de concurrence des entreprises multinationales, le sorgho est la meilleure alternative à l'orge pour le brassage de bière blonde [3]-[4]. En effet, le sorgho est utilisé dans la production des bières opaques traditionnelles et des boissons sans alcool dans les pays en voie de développement et jusque récemment, dans la production de la bière industrielle [5]-[6]. Dans les années 1970, on recensait 700 femmes brassant de la bière (*Bili-Bili*) à Maroua [7]. En 2001 ce chiffre était largement dépassé avec une production moyenne supérieure à 100 litres de bière par cycle de production pour une mise de 40 kg de sorgho [8]. La bière de sorgho est largement consommée par les pauvres et contribue significativement à l'alimentation des populations. La production de *Bili-Bili* revêt un caractère socio-économique remarquable [9] puisqu'il est abondamment utilisé au cours des cérémonies traditionnelles. Par cette production croissante de *Bili-Bili*, les populations féminines de cette partie septentrionale du

Cameroun, directement concernées par la production de cette boisson, augmentent ainsi leur pouvoir d'achat. En effet, la bière de sorgho (*Bili-Bili*) participe à l'autonomie financière de ces femmes [10]. La femme qui traite régulièrement entre 100 et 150 tasses de sorgho, deux fois par semaine, peut disposer de revenus de 120000 FCFA par mois [9].

Un certain nombre de contraintes freinent le développement de ce secteur d'activité. D'une part, la production reste strictement artisanale, et donne un produit qui ne se conserve que 24 heures. D'autre part, le faible rendement de la production et les caractéristiques organoleptiques de cette bière la rendent de loin moins agréable que les bières industrielles très appréciées dans les villes africaines. Les exigences de qualité de plus en plus strictes notamment au niveau des populations urbaines nécessitent la mise au point d'une bière africaine standardisée bien conditionnée et de bonne qualité organoleptique et sanitaire, aussi compétitive que la bière de malt d'orge. Ainsi, des essais d'amélioration de la qualité et de conditionnement des bières locales africaines ont été réalisés notamment au Nigeria et en Afrique du sud [11].

La substitution du houblon par les plantes locales amères a fait l'objet de très peu d'études. Les houblons commerciaux sont amers, ainsi, les plantes tropicales avec des principes amers ont été étudiées en tant que substituts potentiels du houblon. Les travaux ont montré l'utilisation des feuilles amères de *Gongronema latifolium* dans le brassage de la bière éthiopienne. Une bière blonde acceptable avec *Vernonia amygdalina*. *Garcinia kola*, peut être produite [12] et, elle rehausse la saveur des boissons locales lors de la mastication, tout en les buvant. Les travaux ont montré la réussite du développement d'un substitut de houblon tropicale à partir d'un mélange de *Gongronema latifolium*, *Vernonia amygdalina* et *Garcinia kola* combinés dans le rapport de 1 : 1,41 : 2,89, respectivement [13]-[14].

Le travail proposé ici a l'intention de contribuer au développement de ces idéaux, sachant que plusieurs types de brassage et de configurations sont testées et étudiées dans de nombreuses institutions et les brasseries, et les concepts sont améliorées en matière d'efficacité en utilisant *Humulus lupulus*, mais l'utilisation des houblons tropicaux ne sont évidemment pas si fréquent.

2 ANALYSES DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

2.1 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

La détermination de la teneur en eau des céréales est obtenue par perte de masse.

Le sorgho malté est broyé à l'aide d'un broyeur. Ensuite, 25g farine est séchée à l'étuve pendant 24h à 105°C. L'humidité résiduelle exprimée en pourcentage est calculée selon la formule suivante :

$$H = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

H : teneur en eau % (m/m) ; M_0 : masse avant passage à l'étuve ; M_1 : masse après passage à l'étuve.

2.2 DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ GERMINATIVE

La détermination du pourcentage de grains viables dans un échantillon est obtenue en utilisant le peroxyde d'hydrogène comme catalyseur de croissance [15].

Le trempage de deux lots de 200 grains a été effectué à température ambiante (22-25°C), dans une solution de peroxyde d'hydrogène de concentration 7,5 g/l pendant 2 jours. Par la suite, la solution épuisée a été remplacée par une solution fraîche puis, le trempage a été effectué pendant deux jours supplémentaires. À la fin de ce trempage, la solution a été versée et on a procédé au décompte des grains qui ont germés.

La capacité germinative exprimée en pourcentage a été calculée suivant la formule :

$$CG = \frac{200 - N_{ng}}{2}$$

CG : Capacité germinative (%) ; N_{ng} : Nombre de grains qui n'ont pas germé.

2.3 DÉTERMINATION DE L'ÉNERGIE GERMINATIVE (MÉTHODE BRF)

Il est basé sur la détermination du pourcentage de grains susceptibles de totalement germer si, l'échantillon est normalement malté [15].

Deux papiers filtre ont été placés chacun au fond de deux boîtes de pétri. Ensuite, 4ml et 8ml d'eau distillée ont été ajoutées respectivement dans chaque boîte. Deux lots de 100 grains chacun doivent ont été placés. Celles-ci doivent être

couvertes et placées dans un emballage à l'abri de la lumière. Les grains doivent être incubés pendant 24, 48 et 72h. Les grains qui ont germés devront être par la suite comptés. L'énergie germinative a été calculée à l'aide de l'expression :

$$EG = 100 - N_{ng}$$

EG : Énergie germinative (%) ; N_{ng} : Nombre de grains qui n'ont pas germé.

2.4 DÉTERMINATION DU POIDS DE 1000 GRAINS

La détermination de la masse moyenne d'un grain est prise comme paramètre qualitatif au cours du brassage [15]. Deux lots de 40g de sorgho chacun doivent être pesés et débarrassés des poussières et matières étrangères. Puis, chaque lot de grains a été recompté et pesé. La masse de 1000 grains a été évaluée par l'expression :

$$P_m = \frac{1000M(100 - H)}{100N_g}$$

P_m : masse (g) de 1000 grains secs ; M : Masse (g) du lot pesé après le décompte des grains ; H : Teneur en eau des grains (%) ; N_g : Nombre de grains comptés dans le lot.

3 PROCÉDÉ DE FABRICATION

3.1 EXTRACTION DES SUBSTANCES AMÉRISANTES

Elle s'est déroulée de manière différente :

Les feuilles de *Vernonia amygdalina* sont broyées et 1,5kg de ces feuilles broyées sont introduits dans 4 L d'eau ensuite laissé au repos pendant 3h, filtré et conservé au réfrigérateur (4°C) ;

Cependant pour l'extraction de *Nauclea diderrichii*, les écorces de *Nauclea diderrichii* sont prélevées, découpées en petits morceaux, et 1kg est introduit dans 3 L d'eau distillée, laissé au repos pendant 3h, filtré et conservé au réfrigérateur (4°C).

3.2 PROCÉDURE DE MALTAGE DU SORGHO

Les grains de sorgho sont triés dans le but d'enlever les souillures visibles et les grains cassés. Le trempage des grains est effectué en prélevant un kilogramme de grains que nous introduisons dans 3 litres d'eau pendant 24h à la température ambiante ($\approx 25^\circ\text{C}$). Après la trempe, les grains sont étalés sur des sacs en jute au sol et recouverte pour une durée de 3 jours avec une aspersion chaque 6h. Par la suite les grains germés sont portés au séchoir (CKA 2000-AUF) à 40°C pour une période de 4 jrs. Après ce séchage le malt est débarrassé des radicules et conservé au réfrigérateur.

3.3 LE BRASSAGE

Le sorgho malté est moulu à l'aide d'un broyeur Polymix PX-MFC 90D (VWR International S.A.S. Le Périgas 201, rue Carnot, 94126 Fontenay-sous-Bois cedex, France), 200g de farine sont pesés et introduit dans un bécher de 1000 ml. 800 ml d'eau distillée sont ajoutés et l'ensemble est bien agité à l'aide d'une spatule pour éviter la formation des flocons. Le tout est ensuite mis au bain marie (Memmert) à 45°C pendant 1h en agitant à l'intervalle de 5 minutes. Par la suite, le mélange est retiré du bain marie et laissé décanter. Après décantation, le surnageant (170 ml) contenant des enzymes endogènes est retiré et gardé. Le reste est gélatinisé au bain marie (Memmert) à 100°C pendant 45min avec agitation toutes les 5 minutes. Après gélatinisation le bain marie est porté à 65°C pour un brassage. Pour plus d'hydrolyse ce surnageant est réintroduit dans le mélange, et le tout est brassé pendant 1h30min avec agitation toute les 5minutes. Après ce brassage, le moût est refroidit, filtré et enfin centrifugé à l'aide de la centrifugeuse Heraeus.

3.4 HOUBLONNAGE DU MOÛT

Dès le début de l'ébullition, 10ml de substances amérissantes (selon les différents types de combinaisons) sont introduits dans 200 ml de moût et, l'ensemble est laissé à ébullition pendant 5min. Les moûts houblonnés sont introduits dans des bocal opaques de 300 ml bien stérilisés. Le tableau 1 présente les différentes combinaisons en substance amérissantes :

Tableau 1. différents combinaisons en substances amérisantes

1	2	3	4	5	6
V=0/N=10	V=2,5/N=7,5	V=5/N=5	V=7,5/N=2,5	V=10/N=0	V=0/N=0

Avec : V = *Vernonia amygdalina* ; N = *Nauclea diderrichii* ; (V=0/N=10 → *Vernonia amygdalina* = 0 ml et *Nauclea diderrichii* = 10 ml)

3.5 FERMENTATION

Après houblonnage, les moûts sont refroidis à température ambiante (25 °C) afin d'ensemencer les levures. L'ensemencement s'est fait en introduisant 5ml de levures préalablement préparé en prélevant 2,5g des levures (*Saccharomyces cerevisiae* en provenance des Brasseries du Cameroun) et en les introduisant dans 200ml de solution de maltose à 12°B pour 24 h, ensuite la solution de maltose est reversée dans une nouvelle solution à 12 °B pour 48h. La fermentation du moût s'est faite sur 10 jrs.

4 ANALYSE DU MOÛT ET DE BIÈRE

4.1 DÉTERMINATION DE L'EXTRAIT (°P)

Elle permet de déterminer la quantité de sucre produit après hydrolyse de l'amidon en utilisant un réfractomètre à mains. Une goutte de solution est répandue sur la surface réfringente d'un réfractomètre à main et l'intensité de la lumière réfractée est mesurée.

Une goutte de chaque moût et bière est placée sur la surface en verre du réfractomètre à main de marque Euromex dont les fonctions sont basées sur la réfraction de la lumière. Les teneurs en sucre exprimées en degré Brix (°B) sont directement lues sur les graduations du réfractomètre. La conversion est ensuite faite en degré Plato.

4.2 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN SUCRES RÉDUCTEURS DES MOÛTS ET DES BIÈRES

Les sucres réducteurs sont dosés par une méthode colorimétrique avec le réactif à l'Acide 3,5-Dinitrosalicylique (DNS). C'est une réaction d'oxydoréduction non stœchiométrique permettant de quantifier les sucres réducteurs. Dans cette réaction, la fonction aldéhyde du sucre libre (réducteur) est transformée en fonction carboxylique par le DNS (oxydant). L'absorbance du DNS oxydé est lue à 540 nm.

Les moûts ou bières (0,1 ml) préalablement dispersés dans les tubes à essais sont mélangés avec 7,9 ml d'eau distillée. La solution est ensuite mélangée avec 2 ml du réactif au DNS puis incubé au bain marie bouillant pendant 10 min. La densité optique à 540 nm est lue au spectrophotomètre UV/Visible. Une solution standard de maltose de 0,5 mg/ml est utilisée pour réaliser la droite d'étalonnage. Les quantités de sucres réducteurs sont obtenues à partir de la droite d'étalonnage [16].

4.3 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN ACIDES AMINÉS LIBRES DES MOÛTS ET DES BIÈRES

La détermination de la teneur en acides aminés libres contenus dans le moût est obtenue par colorimétrie à la méthode à la ninhydrine [15]. La méthode donne une estimation des acides aminés, en tenant compte des groupements α-aminés terminaux des peptides et protéines. La proline est partiellement estimée à la longueur d'onde utilisée.

A 1ml d'échantillon est ajoutée 99 ml d'eau distillée pour obtenir la dilution de 1/100. Dans trois tube à essais, sont placés 2 ml chacun d'échantillon dilué. A chacun des tubes à essais, 1 ml de réactif coloré (composé de : disodiumhydrogène-phosphate, dihydrogène-phosphate de potassium, ninhydrine, fructose et eau) est ajouté. Les tubes sont placés dans un bain d'eau bouillante pendant 16 min. Après, ils sont refroidis au bain d'eau jusqu'à 20-25°C. A chacun nous ajoutons 5 ml de la solution de dilution (composé de : Iodate de potassium, eau et alcool à 96 %). L'absorbance à 570 nm doit être lue au spectrophotomètre UV/Visible. Les résultats obtenus sont comparés à celui du blanc et du standard. Le blanc est préparé avec 2 ml d'eau distillée au lieu du moût dilué. Pour le standard, 2 ml de glycine est introduits à la place du moût dilué.

La teneur en acides aminés libres est déterminée grâce à la relation :

$$AAL = \frac{2A_1d}{A_2}$$

AAL : acides aminés libres (mg/L) ; A₁ : Absorbance de la solution test à 570 nm ; A₂ : Absorbance moyenne des solutions standard ; d : Facteur de dilution.

4.4 DÉTERMINATION DE L'ACIDITÉ TOTALE TITRABLE SUR LE MOÛT ET SUR LA BIÈRE

Avec la soude à 0,1N en présence de la phénolphthaléine, 5ml de moût ou de bière à analyser sont titrés. La titration est arrêtée lorsque la solution vire au rose persistant pendant 30 secondes, ensuite la descente du volume de soude sur la burette est lue [17].

L'acidité totale titrable est donnée par la relation :

$$ATT = \frac{N_b \times V_b \times 1000}{V_a} \times k$$

N_b : normalité de la soude ; V_b : volume (ml) de la soude ; V_a : volume (ml) de l'échantillon ; $k = 0,067$ (acide malique) ; $k = 0,8$ (acide acétique)

5 RESULTAT ET DISCUSSION

5.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES DU CULTIVAR SAFRARI

Les caractéristiques physico-chimiques liées aux tests d'acceptation et de potentialités brassicoles permettent d'apprécier la valeur des résultats du tableau 2 qui montre que la teneur en eau de *Safrari* malté ($10,27 \pm 0,00\%$) est inférieure à 13% qui est la teneur en eau maximale recommandée pour la conservation des céréales [18]. Les grains sont donc en bon état de conservation. La capacité germinative, l'énergie germinative (4ml) et l'énergie germinative (8ml) dont les valeurs sont de 100%, 98% et 96 respectivement respectent les normes requises [15]. Les grains sont ainsi aptes pour le maltage. Le poids de mille grains dont la valeur est de $42,96 \pm 0,09g$ est dans la même gamme de littérature [19]. Ces résultats permettent donc de postuler que *Safrari* est apte au maltage et la qualité de l'extrait pouvant être obtenue au terme du brassage pourra être considérable.

Tableau 2. Récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques du cultivar Safrari

Test	H (%)	P_m (g)	CG (%)	EG% (4ml)	EG% (8ml)
	$10,27 \pm 0,15$	$42,96 \pm 0,09$	100	98 ± 1	96 ± 1

5.2 CARACTÉRISTIQUES DES HOUBLONS TROPICAUX

Le tableau 3 présente les différentes caractéristiques des substances amérisantes utilisées pour la fabrication de différentes bières. On constate globalement une différence entre ces deux houblons tropicaux. En effet, *Vernonia amygdalina* est plus riche en sucres réducteurs ($2,37 \pm 0,10$ g/L), acides aminés libres ($7860 \pm 12,10$ mg/L) et moins acide ($6,9 \pm 0,14$) que *Nauclea diderrichii* qui, par contre est plus riche en extrait ($1,62 \pm 0,05$ °P).

Tableau 3. Caractéristiques physicochimiques des substances amérisantes

	Sucres réducteurs (g/L)	AAL (mg/L)	Extrait (°P)	pH	ATT_M (g/L)	ATT_a (g/L)
<i>N. diderrichii</i>	$0,10 \pm 0,009$	$666,67 \pm 5,60$	$1,62 \pm 0,05$	$4,15 \pm 0,10$	$0,13 \pm 0,04$	$2,14 \pm 0,11$
<i>V. amygdalina</i>	$2,37 \pm 0,10$	$7860 \pm 12,10$	$0,97 \pm 0,02$	$6,9 \pm 0,14$	$0,12 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,18$

5.3 EXTRAIT

La figure 1 présente l'évolution d'extrait des bières houblonnées par *V. amygdalina* et *N. diderrichii*. Les différentes courbes sur la figure ont la même allure. On constate néanmoins que les moûts houblonnés par les couples $V=0/N=10$; $V=7,5/N=2,5$ et la référence ($V=0/N=0$), ont un meilleur comportement au cours de la fermentation. En effet, en 4 jours de fermentation on atteint la phase stationnaire (on passe de $16^\circ P$ à $4,5^\circ P$) de la fermentation, avec une consommation de $11,5^\circ P$. Soit une atténuation de 71,87%. Ceci traduirait un relatif bon comportement des levures au cours de la fermentation. Par contre les autres moûts ($V=2,5/N=7,5$; $V=5/N=5$; $V=10/N=0$) présentent quelques difficultés à être fermentés tous les sucres. En effet, la phase stationnaire est atteinte au bout de 5 jours pour le meilleur des cas ($V=10/N=0$) et au bout de 7 jours pour le pire des cas ($V=5/N=5$). Tout ceci avec un extrait résiduel de $6,5^\circ P$, soit une atténuation de 59,37%. D'où une fermentation moins aisée. Les teneurs relativement élevées en extraits résiduels après fermentation, s'expliqueraient par une assimilation limitée des sucres par *Saccharomyces cerevisiae* [20]. Ces fractions étant constituées de sucres non

fermentescibles [18]-[20]-[21]. Une autre explication serait la teneur en extrait initial qui est élevée. En effet, les moûts de densités élevées contribueraient à réduire la performance des levures ceci, à cause de la forte pression osmotique qui aurait une influence négative majeure [22].

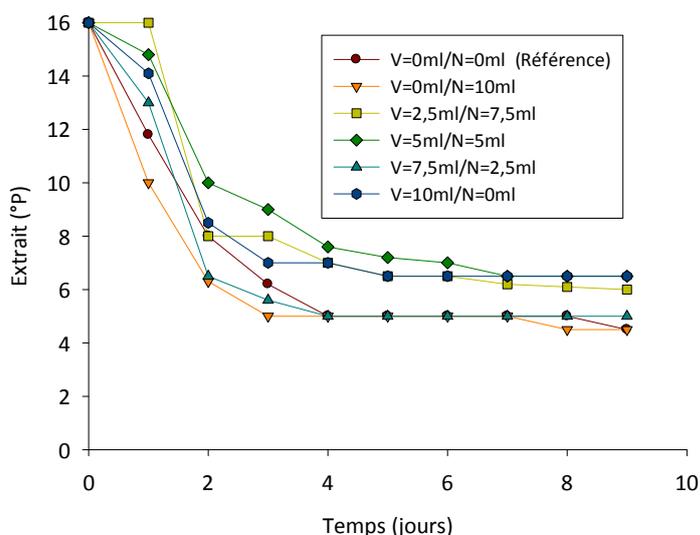


Fig. 1. Evolution de l'extrait au cours de la fermentation des moûts de Safrari (houblonnés par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*)

5.4 LES SUCRES RÉDUCTEURS

Les sucres sont les éléments indispensables pour la fermentation alcoolique en brasserie car ils constituent la source principale d'énergie pour le métabolisme des levures. La figure 2 présente l'évolution de la teneur en sucres réducteurs des différents types de bières houblonnées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. On constate que, les moûts au départ ne possèdent pas la même teneur en sucres réducteurs pourtant, tous sont issus d'un même brassin. Ceci s'expliquerait par les réactions de Maillard qui s'opèreraient au pendant l'opération d'houblonnage [23]-[24]. En effet, en plus des acides aminés libres déjà présents dans les moûts, l'ajout de *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* apporterait un supplément en acides aminés libres (tableau 3) qui, entreraient en réaction avec les sucres réducteurs des moûts, réduisant ainsi la quantité en sucres réducteurs disponibles avant la fermentation [25]-[26]-[27]-[28]. De cette figure 2, sachant que le profil de sucres ne varie pas avant et après le houblonnage [20], ces variations quantitatives des sucres réducteurs disponibles après houblonnage permettrait de suggérer une différence de type d'acides aminés libres entre *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*, cette dernière contiendrait moins d'acides aminés libres qui participent aux réactions de Maillard (V=10/N=0 ; V=7,5/N=2,5 et V=5/N=5).

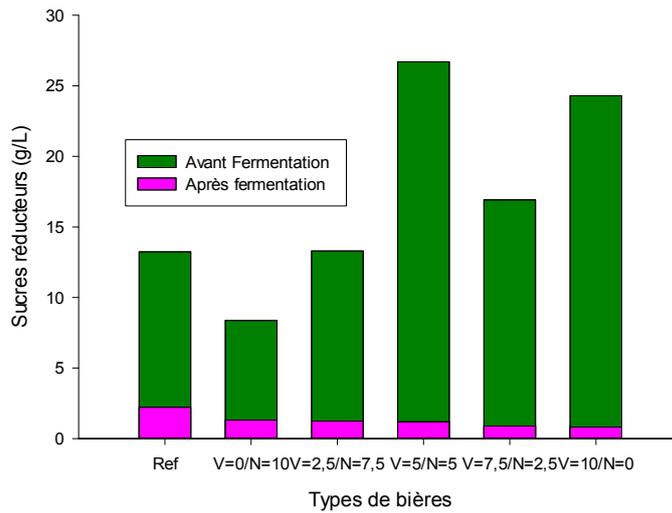


Fig. 2. Teneurs en sucres réducteurs des différents types de bières houblonnées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation)

5.5 ACIDES AMINÉS LIBRES

Dans un moût, les composés azotés à faible poids moléculaires, dont les acides aminés libres sont déterminants non seulement pour le pouvoir fermenteur de la bière mais également pour la saveur et la mousse de la bière [20]. La figure 3 présente le résultat de la détermination de la teneur en acides aminés libres des différents types de bières houblonnées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* cette figure révèle la baisse de la teneur en acides aminés libres dans la bière finie, cette baisse coïncide avec la consommation des acides aminés libres par les levures. En effet, au cours de la croissance de *Saccharomyces cerevisiae*, les acides aminés libres sont catabolisés [29]. Le reste d'acides aminés libres dans le milieu participerait à la flaveur de la bière [18]-[20]. Les différences quantitatives observées entre les teneurs en acides aminés libres des moûts (figure 3) seraient dues non seulement aux réactions de Maillard pendant le houblonnage mais également dues aux réactions de complexation avec les polyphénols, causant le trouble à chaud [18]-[20].

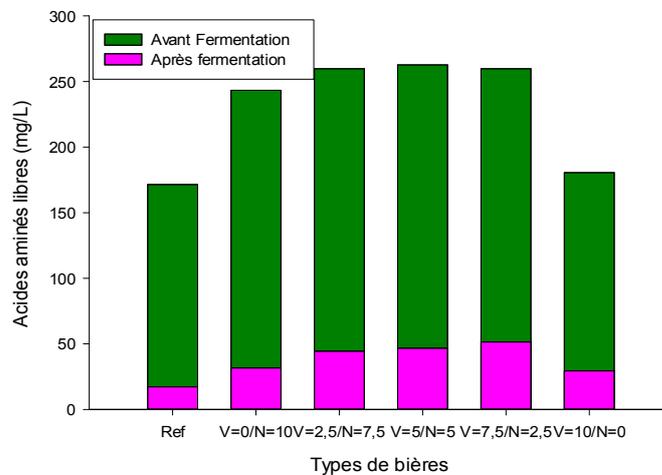


Fig. 3. Teneurs en acides aminés libres des différents types de bières amérisées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation)

5.6 ACIDITÉ TOTALE TITRABLE

La figure 4 présente le résultat de l'évolution de l'acidité totale titrable de différentes bières amérisées par *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après la fermentation). Pour ce qui est des différentes acidités, on constate qu'elles augmentent au cours de la fermentation. Cette acidité serait due d'une part aux constituants de la matière première (sorgho), d'autre part aux acides présents dans les extraits de *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. Enfin, la fermentation conduirait à la production des alcools (acides faibles) et autres constituants tel que le CO₂ dont une partie se solubiliserait pour donner l'acide carbonique. Il est à noter que pH de toutes les bières était compris entre 3,5 et 4,5.

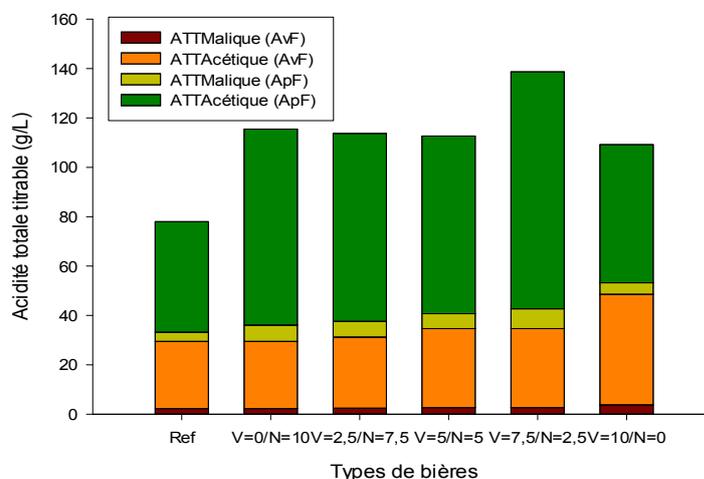


Fig. 4. Evolution de l'acidité totale titrable (malique et acétique) des différents types de bières amérisées à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* (avant et après fermentation).

6 CONCLUSION

L'objectif du travail était de caractériser les bières houblonnées grâce à *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. Ainsi, au terme de ce travail, on constate comme l'a déjà énoncée la littérature que, ces deux plantes permettraient d'amériser convenablement les bières de sorgho et par conséquent seraient de potentiels substituts à *Humulus lupulus*. Bien qu'utilisés dans la pharmacopée traditionnelle pour leurs vertus médicinales et leurs facultés à combattre certains germes, *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii* n'influencent pas la fermentation de la bière au regard de l'échantillon de référence. Ces deux plantes se sont révélées aussi comme d'excellentes sources d'apport en acides aminés libres, améliorant ainsi les caractéristiques des moûts avant la fermentation. Il serait néanmoins intéressant pour compléter le travail de ressortir le profil qualitatifs des sucres et acides aminés avant et après houblonnage.

REFERENCES

- [1] J. R. N. Taylor, "Overview: Importance of sorghum in Africa," Department of Food Science, University of Pretoria, Pretoria, South Africa, 2004.
- [2] FAO. (2010, 28/11/2010). *Production de sorgho au Cameroun (tonnes) (FAO Statistics Division 2010 ed.)*. Available: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- [3] A. O. Aisien, "Sorghum: A suitable source for brewing beer?," *Brewing and Distilling International*, vol. 2, pp. 20-22, 1988.
- [4] M. O. Ilori, J. O. Ogundiwin, and S. R. Adewusi, "Sorghum malt brewing with sorghum/maize adjuncts," *Brewing and Distilling International*, vol. 3, pp. 10-31, 1991.
- [5] G. H. Palmer, "Cereal for malting and brewing," in *Cereal science and technology*, G. Palmer, Ed., ed Aberdeen, Scotland: Aberdeen University Press, 1989, pp. 61-242.
- [6] J. R. N. Taylor and J. Dewar, "Developments in sorghum food technologies," in *Advances in Food and Nutrition Research*, J. Taylor, Ed., ed San Diego, USA: Academic Press, 2001, pp. 217-264.

- [7] C. Seignobos, "La bière de mil dans le Nord-Cameroun : un phénomène de mini-économie," in *Recherches sur l'approvisionnement des villes et la croissance urbaine dans les pays tropicaux*, ed: Mémoires du Ceget – CNRS, 1976, pp. 1-39.
- [8] E. Lopez and J. Muchnik, "Des systèmes agroalimentaires dans la ville? Le cas de Maroua au Nord-Cameroun," *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, vol. 32, pp. 145-163, 2001.
- [9] C. Seignobos and H. Tourneux, *Le Nord-Cameroun à travers ses mots. Dictionnaire de termes anciens et modernes. Province de l'extrême Nord*. Paris: IRD/Karthala, 2002.
- [10] J. Koulandi, *Le bili-bili et la « libération » de la femme tupuri (idées et réflexions pour un débat constructif sur l'avenir de la communauté tupuri du Tchad et du Cameroun)*, Editions et Média ed. Guider: Ka'arang, 1999.
- [11] S. A. Odunfa, "African Fermented Foods," in *Microbiology of fermented foods*. vol. 2, B. J. B. Wood, Ed., ed: Elsevier Appl. Sci. Publ. Lond., 1985, pp. 155-191.
- [12] N. Okafor and G. N. Aniche, "West African hop substitute for sorghum lager," *Brewing and Distilling International*, vol. 13, pp. 200-204, 1983.
- [13] C. E. Okoro, "Development of Tropical Hops substitute for the Nigerian Brewing Industry," Msc Msc Thesis, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria, 1990.
- [14] C. E. Okoro, "Development of hop substitutes from tropical plants," *J. Agric. Technol*, vol. 1, pp. 30-35, 1993.
- [15] Analytica-EBC, *European Brewery convention*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 1998.
- [16] G. L. Miller, "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar," *Analytical Chemistry*, vol. 31, pp. 426-428, 1959.
- [17] AFNOR, "Association Française de Normalisation," in *Recueil des Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits*, AFNOR, Ed., 1 ed. Paris, 1982.
- [18] J. S. Hough, D. E. Briggs, R. Stevens, and T. W. Young, *Malting and brewing science*, University Press ed. vol. 2. London: Chapman and Hall, 1982.
- [19] E. J. Nso, P. E. Ajebesone, C. M. Mbofung, and G. H. Palmer, "Properties of three sorghum cultivars used for the production of *Bili-Bili* beverage in Northern Cameroon," *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 109, pp. 245-250, 2003.
- [20] D. E. Briggs, C. A. Boulton, P. A. Brookes, and R. Stevens, *Brewing science and practice*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2004.
- [21] D. E. Briggs, *Malts and malting*, 1 ed. London: Blackie Academic & Professional, 1998.
- [22] E. J. Lodolo, J. L. F. Kock, B. C. Axcell, and M. Brooks, "The yeast *Saccharomyces cerevisiae*-the main character in beer brewing," The South African Breweries Ltd (SAB)2008.
- [23] R. Ikan, *The Maillard reaction*. Chichester: John Wiley, 1996.
- [24] S. E. Fayle and J. A. Gerrard, *The Maillard reaction* vol. 14. London: Royal Society of Chemistry, 2002.
- [25] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "The response surface methodology as a reliable tool for evaluating the need of commercial mashing enzymes for alleviating the levels of reducing sugars of worts of malted sorghum: case of the *Safrari* cultivar," *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 2, pp. 5-15, 2011.
- [26] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Use of response surface methodology for optimizing the action of mashing enzymes on wort reducing sugars of the *Madjeru* sorghum cultivar," *African Journal of Food Science*, vol. 5, pp. 91-99, 2011.
- [27] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Modeling the action of technical mashing enzymes on extracts and free-amino nitrogen yields of the *Madjeru* sorghum cultivar," *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 2, pp. 29-44, 2011.
- [28] Z. S. C. Desobgo, E. J. Nso, and D. Tenin, "Optimisation of the Action of Commercial Mashing Enzymes on Wort Extracts and Free Amino Nitrogen of the *Safrari* Sorghum Cultivar," *Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas*, vol. 48, pp. 77-86, 2011.
- [29] M. Jones and J. S. Pierce, "Proceedings of the 25th Congress of European Brewery Convention ", Interlaken1970.