

Analyse de l'hydrolyse de l'amidon lors de l'élaboration de Lotoko, boisson traditionnelle distillée produite à Kinshasa, République Démocratique Congo

Ernest Wa Bomesi TABU*, Daniel-Bienvenu Kwa Mungu SIFA et Héritier Nsimaketo VAWAZOLA

Université de Kinshasa (UNIKIN), Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département de Chimie et Industries Agricoles, BP 117 Kinshasa XI, RDC

(Reçu le 29 Août 2023 ; Accepté le 05 Octobre 2023)

* Correspondance, courriel : tabuernerest@gmail.com

Résumé

Le Lotoko est une boisson obtenue par distillation d'une purée fermentée de manioc et de malt de maïs. La présente étude vise à contribuer à la compréhension de l'étape combinée et unique de bioconversion-fermentation. Elle a consisté à réaliser le suivi de paramètres physico-chimiques qui impactent sur l'effet de cette étape combinée : pH, température, densité spécifique, atténuations apparente et réelle, extrait réel, taux estimatif de l'alcool et test à l'iode. Les types d'échantillons qui ont été testés sont le résidu de distillation, l'empois d'amidon, la purée au début et à la fin de la fermentation. Les résultats d'analyses ont montré que les valeurs observées de température et de pH des différents échantillons ne sont pas spécifiquement recommandées aux conditions technologiques de brassage. Elles ne peuvent permettre le déroulement des activités enzymatiques des amylases apportées par les grains de maïs maltés pour faciliter l'hydrolyse complète d'amidon en sucres simples. Les valeurs d'atténuations apparente et réelle sont faibles ; les extraits réels sont élevés, et les taux d'alcool sont faibles, par conséquent la présence de l'amidon avant la distillation révélée par le test négatif à l'iode est la preuve de l'hydrolyse partielle de l'amidon contenu dans la purée fermentée. La non-adéquation des conditions technologiques (pH et température) ne permet pas un bon dédoublement enzymatique de l'amidon en sucres simples utilisables par la levure pour la production de l'éthanol.

Mots-clés : *purée, bioconversion, fermentation, hydrolyse, amidon.*

Abstract

Analysis of starch hydrolysis during the production of Lotoko, a traditional distilled beverage produced in Kinshasa, Democratic Republic of Congo

Lotoko is a drink obtained by distilling a fermented mash potato of cassava and corn malt. The present study aims to contribute to the understanding of the combined and unique bioconversion-fermentation step. It consisted of monitoring physicochemical parameters which impact the effect of this combined step: pH, temperature, specific density, apparent and real attenuations, real extract, estimated alcohol content and iodine test. The sample types tested were distillation residue, starch and mashed potato at the start and end of fermentation. The analysis results showed that the observed temperature and pH values of different samples are not specifically recommended for technological brewing conditions. They cannot allow the

enzymatic activities of the amylases provided by the malted corn grains to facilitate the complete hydrolysis of starch into simple sugars. Apparent and real attenuation values are low; real extracts are high, and alcohol levels are low, therefore the presence of starch before distillation revealed by the negative iodine test is evidence of partial hydrolysis of the starch contained in the fermented mashed potato. The unsuitability of the technological conditions (pH, temperature) does not allow good enzymatic splitting of the starch into simple sugars usable by the yeast for the production of ethanol.

Keywords : *mash, bioconversion, fermentation, hydrolysis, starch.*

1. Introduction

En République Démocratique du Congo (RDC), la distillation de la purée fermentée préparée à base de maïs et/ou du manioc permet de produire une boisson alcoolisée qui porte des noms différents selon les régions. Parmi ces breuvages figure la boisson traditionnelle alcoolisée et distillée appelée Lotoko en Lingala. La purée de cette boisson est préparée par malaxage de la pâte de manioc et de la farine du malt de maïs [1]. Le maïs et le manioc peuvent contenir environ 74 à 87 % (en masse sèche) d'hydrates de carbone [2]. Ces denrées de base sont constituées principalement de l'amidon qui est un polymère de glucose [3, 4]. La principale raison de leur utilisation est la facilité d'approvisionnement pour les utilisateurs au niveau local à un coût relativement abordable. Un avantage que semble présenter cette boisson par rapport aux boissons modernes, résulte de la nature des unités de production qui sont artisanales et ne nécessitent pas des équipements, ni des moyens sophistiqués. Par conséquent, elles ne requièrent pas un investissement lourd. Les propriétaires, principalement les femmes sont à même d'entretenir de telles unités grâce à une certaine autonomie financière issue de la vente de Lotoko. La boisson est à la portée de toutes les bourses [4,5]. En outre, le Lotoko est très consommé à Kinshasa et dans le reste du pays, surtout dans sa partie nord. Il mérite l'attention du monde scientifique et du pouvoir public. Au cours du processus de fermentation des hydrates de carbone, comme l'amidon, leur hydrolyse préalable en sucres simples (glucose) assimilables par les microorganismes, spécialement les levures, est nécessaire. Elle est réalisée par des enzymes, spécialement les amylases, provenant soit des microorganismes, soit du maltage. Ces enzymes interviennent dans le processus de brassage comprenant l'empesage, la liquéfaction et la saccharification de l'amidon [4, 6]. Le bon déroulement de l'activité de ces enzymes amylolytiques implique la maîtrise de plusieurs paramètres technologiques entre autres la concentration du substrat, la tolérance à l'éthanol, la pression osmotique, la disponibilité des nutriments, la température et le pH pour une hydrolyse optimale de l'amidon en sucres fermentescibles et non fermentescibles [4, 7]. En guise d'exemple, [4] donne des renseignements sur les conditions technologiques (pH et températures) optimales de quelques enzymes au cours du brassage : pour la β -amylase, le pH optimum varie de 5,4 à 5,6 avec une température comprise entre 60 et 65 °C ; pour la α -amylase, il faut un pH optimum de 5,5 à 5,8 pour une température de 70 - 75 °C et pour la dextrinase limite, le pH optimum va de 5,1 à 5,5 pour une température variant de 55 - 60 °C. Chaque fermentation à son taux visé de la chute de la densité spécifique et par conséquent elle a aussi son atténuation cible. Une faible température de brassage occasionne un faible extrait et une fermentabilité élevée tandis qu'une température de brassage élevée entraîne un fort extrait et une faible fermentabilité [8]. Par rapport à l'élaboration de Lotoko, les paramètres technologiques précités ne sont généralement pas pris en compte ou insuffisamment dans les unités de production. D'une manière générale, il existe un déficit d'information sur la bioconversion de l'amidon et la fermentation de la purée dans le processus de l'élaboration de Lotoko [1, 9] d'une part et sur la qualité du produit élaboré d'autre part. L'insuffisance de la littérature ou la carence de données sur le processus combiné de bioconversion-fermentation dans un même récipient, étape incontournable lors de l'élaboration des boissons distillées traditionnelles ou artisanales telle que le Lotoko, justifierai la présente

étude dont l'objectif est de suivre l'évolution de huit paramètres physico-chimiques de la bioconversion-fermentation à savoir la température, le pH, la densité spécifique, les atténuations apparente et réelle, l'extrait réel, le taux estimatif d'alcool et le test de saccharification ou le test d'iode durant la préparation des purées destinées à l'élaboration de Lotoko dans cinq unités de distillerie artisanale du quartier Kingabwa à Kinshasa.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Le matériel sur lequel a porté la présente étude était constitué de :

- Les cossettes de manioc et les malts de maïs provenant de différents ports fluviaux et des marchés de Kinshasa, sans distinction de variété ;
- l'équipement constitué d'une balance, d'un fut plastique 200 l (fermentaire), d'un demi-fut métallique (alambic), d'un passoir, d'un demi-fut métallique 200 l (condenseur), de trois tuyaux en acier inoxydable pour la condensation des vapeurs de la purée, de l'entonnoir en plastique, d'un récipient de collecte de distillat en verre ou en plastique ;
- les produits des étapes opérationnelles unitaires : empois d'amidon, purée début et fin de la fermentation, résidu de distillation et la boisson finie Lotoko.

2-2. Méthodes

2-2-1. Suivi du procédé de fabrication de la boisson Lotoko

La technologie artisanale de l'élaboration de la boisson *Lotoko* a été suivie et diagnostiquée (technique d'observation et d'interview) auprès de cinq acteurs de la filière de production de la boisson Lotoko résidant au quartier Kingabwa dans la Commune de Limete à Kinshasa, Capitale de la République Démocratique du Congo, afin d'en percevoir les différentes étapes du procédé de fabrication et d'en élaborer un diagramme de fabrication.

2-2-2. Analyses des paramètres physico-chimiques aux étapes de l'élaboration de Lotoko

Cette analyse s'est faite sur les échantillons récoltés de cinq (5) unités de production de la boisson Lotoko ayant servi des sites pour la présente expérimentation. Ces unités de production, ainsi nommées : A, B, C, D et E, sont toutes installées quartier Kingabwa dans la commune de Limete. Il sied de noter que toutes les analyses faites ont été effectuées après trois répétitions chacune.

2-2-2-1. Mesure de la température au cours de la fabrication

La mesure de la température a été effectuée, *in situ*, dans les réacteurs de fabrication artisanale, à l'aide d'un thermomètre baladeur à mercure, de type Nahita, gradué de - 10 à 110 °C. La sonde du thermomètre a été plongée dans la préparation contenue dans les réacteurs. Il s'en est suivi la lecture de la température indiquée et exprimée en degré Celsius (°C). Cette mesure a concerné les résidus de distillation, l'empois d'amidon de manioc, la purée en début et fin fermentation.

2-2-2-2. Mesure du pH de la salade et de la purée

Le pH-mètre de marque Edge pk avec électrodes a été utilisé après calibrage de mesures par deux solutions étalons à pH 4,00 et 7,00. Chaque échantillon a été placé dans un bécher de 50 ml et l'électrode du pH-mètre y a été plongée. L'électrode a été soigneusement rincée à l'eau distillée à chaque nouvelle lecture [10].

2-2-2-3. Mesure de la densité spécifique de la purée

La mesure de la densité spécifique de la purée au début de la fermentation (DI) et à la fin de la fermentation (DF) a été réalisée selon la méthode psychométrique [10].

2-2-2-4. Atténuation de la purée en fermentation

▪ Atténuation Apparente

L'atténuation apparente donne une approximation de la proportion de sucres qui a été consommée lors de la fermentation entre le prélèvement de densité initiale (DI) et celui de densité finale (DF) et se calcule de la manière suivante :

$$\text{Atténuation apparente (\%)} = 100 \times \frac{DI-DF}{DI-1} \quad (1)$$

avec, DI : Densité Initiale de la purée au début de la fermentation ; DF : Densité Finale de la purée à la fin de la fermentation.

D'une manière pratique, c'est la valeur d'atténuation apparente qui est souvent utilisée pour rendre compte de la valeur de l'atténuation de la bière.

▪ Atténuation réelle

L'atténuation réelle est obtenue en employant l'extrait réel (la masse réelle de sucre) à la place de l'extrait apparent par le calcul suivant :

$$\text{Atténuation réelle} = 100 \times \left[1 - \frac{\text{Extrait Réel}}{DI (\text{°Plato})} \right] \quad (2)$$

2-2-2-5. Extrait réel de Lotoko

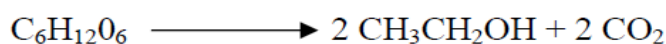
L'extrait réel (souvent noté RE en anglais, ce qui signifie Real Extract) est la masse réelle de sucre contenue dans la boisson alcoolisée finale tenant compte de la teneur d'alcool actuel et de l'imprécision du densimètre. Cette valeur exprimée en Plato se calcule à partir de la densité initiale et de l'extrait apparent de la densité finale [11]. Le calcul est le suivant :

$$\text{Extrait Réel} = 0.1808 * DI \text{ °Plato} + 0.8192 * DF \text{ °Plato} \quad (3)$$

où, DI : Densité Initiale ou Début de la Fermentation ; DF : Densité Finale ou Densité en Fin de la Fermentation.

▪ Estimation du taux d'alcool dans la purée

L'estimation du taux d'alcool se fait par les mesures de densité de la purée avant et après la fermentation. Après l'exposition de la purée à l'air libre, les microorganismes en général et particulièrement la levure vont transformer le sucre (glucose, C₆H₁₂O₆) en alcool éthylique (CH₃CH₂OH) et en dioxyde de carbone (CO₂) selon l'Équation :



De cette Équation, la molécule d'éthanol a une masse molaire de 46,0688 et celle du dioxyde de carbone est 44,0098. Le rapport de la masse est une constante égale à $1,04678 = 1,05$. Donc pour 1 g de CO₂ qui s'échappe de tank de la fermentation, il y a production de 1,05 g d'alcool. En prenant la masse de la purée fermentée pour 100 %, et considérant la masse de l'alcool, le pourcentage en masse de l'alcool dans la purée est estimé avec la formule qui suit.

$$[\text{Densité initiale}] - [\text{Densité finale}] = \text{Atténuation} \quad (4)$$

$$\Delta D = D \text{ initiale} - D \text{ finale}$$

Cette atténuation est due au gaz formé (CO₂) qui s'échappe du fermenteur de l'élaboration de la purée. Avec la quantité de CO₂, la masse de l'alcool dans le fermenteur est obtenue par la relation :

$$[\text{Masse d'alcool}] = [\text{Masse de dioxyde de carbone}] \times 1,05. \quad (5)$$

En prenant la masse de la purée fermentée pour 100 %, et considérant la masse de l'alcool, le pourcentage en masse de l'alcool dans la purée est estimé avec la Formule qui suit :

$$[\text{Pourcentage en masse d'alcool}] = \frac{[\text{Masse d'alcool}]}{[\text{Densité finale}]} \times 100 \quad (6)$$

A partir de la densité spécifique finale, la masse totale est calculée. Le rapport de la masse calculée par la densité de l'alcool donne le pourcentage en volume. Maintenant que la masse finale de la solution (purée) et la masse d'alcool sont connues, le pourcentage massique d'alcool a été mesuré en faisant le rapport entre les deux masses et le résultat est exprimé en pourcentage massique. Pour trouver le pourcentage en volume, il suffit de diviser le pourcentage massique par 0,789 qui est la densité de l'alcool.

$$[\text{Pourcentage en volume d'alcool}] = \frac{\text{Pourcentage en masse}}{\text{Densité d'alcool}} \quad (7)$$

Le calcul des atténuations apparente et réelle, exprimées en pourcentage (%), l'extrait réel (°P) et l'estimation du taux d'alcool, ont été effectués en ligne sur le site web [11] par introduction des valeurs de la densité de la purée au début de la fermentation (DI) et de la fin de la fermentation (DF).

2-2-2-6. Test d'iode

Quelques gouttes du réactif de Lugol (solution 0.02 N d'iode et d'iodure de potassium dans l'alcool) ont été ajoutées à la purée à la fin de la fermentation pour certifier l'hydrolyse de l'amidon au cours du procédé de l'élaboration de Lotoko. L'apparition de la coloration bleue signe la présence de l'amidon dans la purée fermentée (test négatif) [12].

3. Résultats

3-1. Diagramme de l'élaboration de la boisson Lotoko

Les observations faites et les interviews réalisées lors des visites effectuées dans les installations des acteurs de la filière de production ont permis de subdiviser les étapes de production de la boisson Lotoko en quatre étapes, il s'agit de la préparation de la matière première (i), la bioconversion qui se confond avec la fermentation (ii), la distillation (iii), le recueillement et conditionnement (iv). Ces étapes unitaires sont schématisées dans la figure 1 montrant le diagramme dans une distillerie artisanale de Lotoko.

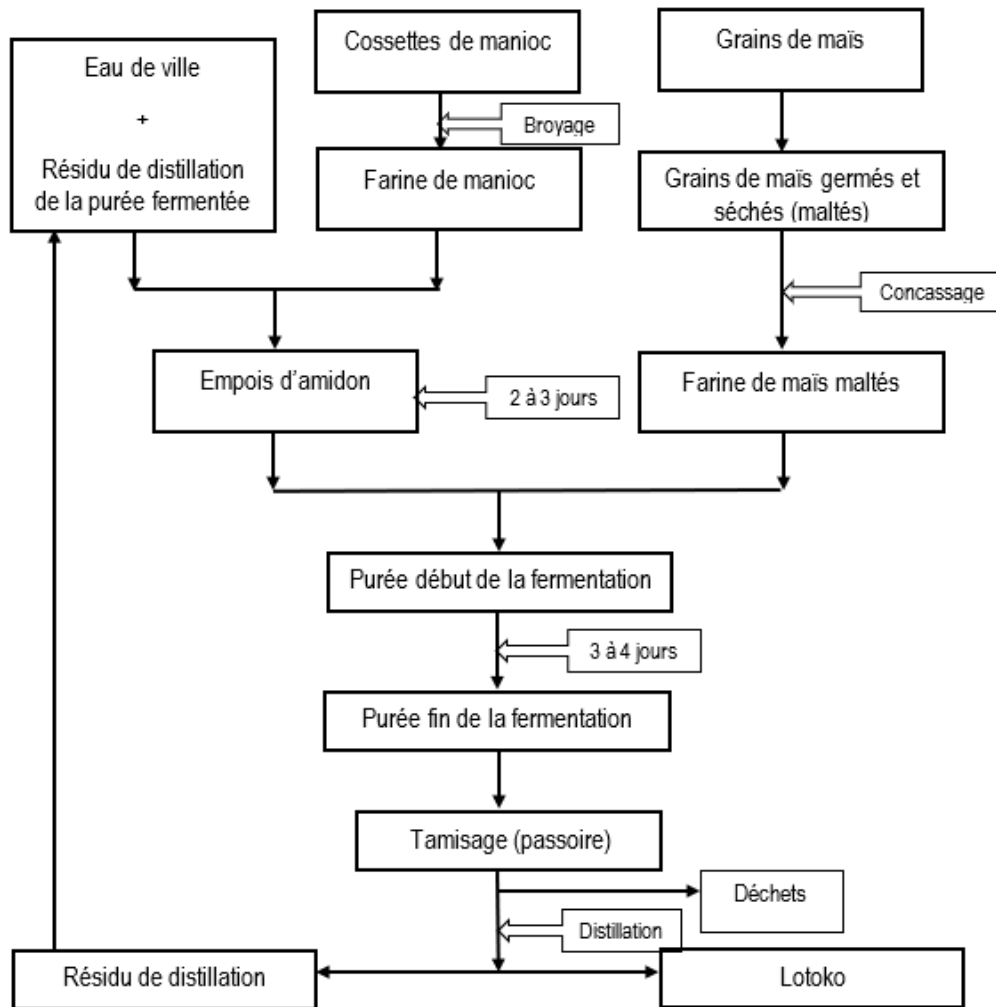


Figure 1 : Diagramme schématisé de l'élaboration de Lotoko (Observation de l'auteur)

3-1-1. Traitements des matières premières

Les unités de productions utilisent l'eau de la ville et les matières premières amylacées (les cossettes de manioc et les grains de maïs malté). Les unités de production s'approvisionnent aux marchés locaux du quartier Kingabwa et aux ports fluviaux situés le long du fleuve Congo au niveau de Kingabwa (Baramoto, Maman Ingalu, CELZA, etc.). La farine de cossettes de manioc et celle de maïs malté, est produite à partir de l'unité de production utilisant un broyeur à marteaux de fortune sec, sans calibrage spécifique. Deux tamis de différentes mailles préfabriquées artisanalement sont utilisés ; l'un pour le manioc (très petites mailles fines) et l'autre pour le maïs (petites mailles).

3-1-2. Malaxages

Le malaxage est réalisé dans un demi-fut usagé en plastique à l'aide d'une spatule en bois. Les mélanges sont réalisés en deux temps ; le premier est celui de la mouture de manioc avec le résidu du reste de la distillation précédente, s'il y en a. Selon que le mélange est épais ou pas, un ajout supplémentaire de l'eau de la ville à la température ambiante est effectué afin d'avoir une pâte moyennement visqueuse. Le résidu du reste de la distillation précédente est utilisé dans deux à trois cycles de production puis éliminés à l'égout. Après un repos de 2 à 3 jours pour baisser la température du premier mélange, l'empois d'amidon de manioc est mélangé avec la mouture de malt de maïs. Le second malaxage est utile pour un apport des enzymes de malt.

3-1-3. Bioconversion-fermentation

Le dédoublement ou la bioconversion de l'amidon de manioc et du maïs en sucres fermentescibles ou non fermentescibles par les enzymes de malt ainsi que la fermentation spontanée non-hygiénique et non contrôlée commence directement d'une manière combinée après le second malaxage. Cette étape dure 3 à 4 jours. La purée fermentée obtenue est tamisée afin de la débarrasser des surnageant, des brisures, des sédiments et d'autres impuretés avant la distillation.

3-1-4. Distillation

La distillation traditionnelle de Lotoko est effectuée dans des matériaux de récupération pour la plupart des unités de productions. La **Figure 2** en schématise les principaux constituants :

- Un feu ouvert [A] pour la distillation ;
- Un fût métallique de récupération [B] contenant la purée fermentée et posé sur des pierres ;
- Un demi fut-usagé [C] contenant de l'eau traversé par trois ou quatre tubes en aluminium inoxydable [D] servant de passage de la vapeur condensée ;
- Un entonnoir en plastique ou d'un sachet enroulé [E] à sortie des tuyaux de condensation
- Un récipient en verre (dame jeanne) ou en plastique, ou d'un bidon usagé [F] pour recueillir le produit final.



Figure 2 : Schéma d'une distillerie typique pour la distillation de Lotoko (Auteur)

Le processus de distillation se fait de manière empirique et artisanale suivant les séquences successives qui sont :

- Poser un demi-fut contenant la purée de la fin de la fermentation tamisée sur des moellons ou des pierres ;
- allumer un feu en bois en dessous du demi-fut pour chauffer le liquide à distiller. Afin d'éviter que la purée colle au fond du récipient, le feu est souvent doux et sa surveillance est permanente par l'opérateur ;
- fermer avec un couvercle en bois lorsque la purée a chauffé et commence à présenter les bulles d'ébullition ;
- badigeonner les alentours du couvercle par une pâte faite de farine de manioc et de maïs pour une obturation hermétique ;
- éviter les pertes de chaleur.

Puisque l'alambic artisanal est rempli en laissant un head-space, les vapeurs issues de la purée fermentée s'élèvent et gagnent cet espace vide d'où elles se condensent partiellement. Une partie d'entre elles refluent vers le fermenteur après condensation tandis qu'une autre partie des vapeurs emprunte le chemin des tuyaux inclinés en aluminium inoxydable et se dirige vers le bac à eau servant de réfrigérant à la sortie desquels va couler le distillat. Dès que les premières gouttes de la boisson commencent à sortir des tubes de condensation, le refroidissement manuel intermittent commence par l'eau contenue dans le récipient de condensation jusqu'à la fin de la distillation. En cas d'élévation de la température de l'eau de refroidissement selon l'estimation sensorielle de l'opérateur, elle est renouvelée par une autre eau à la température ambiante.

3-1-5. Mélange et conditionnement

La boisson produite est conditionnée suivant une certaine procédure :

- Le distillat est généralement collecté approximativement en fractions de 3 litres pour la tête, 10 litres pour le cœur et moins ou plus de 7 litres pour la queue selon la qualité gustative de l'alcool appréciée par l'unité de production ;
- le mélange se fait dans le bidon usagé de 20 litres contenant déjà la moitié des 3 premiers litres de la boisson distillée et des 10 litres de la distillation suivante. Le dernier lot de la boisson obtenue est mélangé ensemble dans un bidon de 20 litres dans le but d'obtenir un Lotoko équilibré et ayant une caractéristique particulière recherchée par les consommateurs.

L'autre partie des trois (3) premiers litres, mis à part, servira à corriger le taux d'alcool de la boisson finale ou sera vendue aux consommateurs de Lotoko préférant un taux d'alcool fort c'est-à-dire plus que la normale.

3-2. Paramètres physico-chimiques aux différentes étapes de l'élaboration de Lotoko

Les mesures de température effectuées *in situ* et les analyses physico-chimiques des échantillons de boissons récoltés aux cinq (5) unités de production de Lotoko et analysés au laboratoire ont donné des valeurs consignées dans les **Tableaux 1 à 8**. Ceux-ci renseignent sur les températures de l'empois d'amidon, de la purée en début et en fin de la fermentation ainsi que du résidu de distillation (**Tableau 1**), les valeurs de pH de l'empois d'amidon, de la purée en début et en fin de la fermentation (**Tableau 2**), les densités spécifiques de la purée en début et en fin de la fermentation (**Tableau 3**), l'atténuation apparente de la purée en fin de la fermentation (**Tableau 4**), l'atténuation réelle de la purée en fin de la fermentation (**Tableau 5**), l'extrait réel de la purée en fin de la fermentation (**Tableau 6**), le taux estimatif d'alcool de la purée en fin de la fermentation (**Tableau 7**) ainsi que les résultats du test d'iode sur l'empois d'amidon, la purée en début et en fin de la fermentation ainsi que le résidu de distillation (**Tableau 8**)

Tableau 1 : Température de l'empois d'amidon, de la purée en début et en fin de la fermentation ainsi que du résidu de distillation issus de cinq unités de production

| Producteurs | Température (°C) | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Empois d'amidon de manioc | Purée au début de la fermentation | Purée en fin de la fermentation | Résidu de distillation |
| Producteur A | 74 ± 1,00 | 35 ± 0,58 | 33 ± 0,58 | 94 ± 1,15 |
| Producteur B | 76 ± 0,58 | 35 ± 0,00 | 35 ± 0,58 | 95 ± 0,58 |
| Producteur C | 78 ± 0,00 | 35 ± 0,00 | 34 ± 0,58 | 95 ± 0,58 |
| Producteur D | 75 ± 0,58 | 25 ± 0,58 | 35 ± 0,00 | 95 ± 1,15 |
| Producteur E | 77 ± 0,58 | 34 ± 0,58 | 34 ± 0,58 | 95 ± 0,58 |

Les températures de résidus de distillation varient entre $94 \pm 1,15$ et $95 \pm 1,15^{\circ}\text{C}$ pour avoir le malaxage de l'empois d'amidon de $74 \pm 1,00$ et à $78,00^{\circ}\text{C}$ qui sont requises au début d'empesage de l'amidon. Par contre les températures de fermentation commencent et se terminent aux températures environnantes ou ambiantes.

Tableau 2 : *Valeurs de pH de l'empois d'amidon, de la purée en début et en fin de la fermentation issue de cinq unités de production de Lotoko*

| Producteurs | Valeurs de pH | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Empois d'amidon de manioc | Purée au début de la fermentation | Purée en fin de la fermentation |
| Producteur A | $4,46 \pm 0,02$ | $4,22 \pm 0,01$ | $4,16 \pm 0,01$ |
| Producteur B | $4,30 \pm 0,01$ | $4,26 \pm 0,01$ | $4,12 \pm 0,01$ |
| Producteur C | $4,40 \pm 0,01$ | $4,31 \pm 0,02$ | $4,24 \pm 0,01$ |
| Producteur D | $4,44 \pm 0,01$ | $4,39 \pm 0,01$ | $4,22 \pm 0,01$ |
| Producteur E | $4,47 \pm 0,01$ | $4,46 \pm 0,02$ | $4,30 \pm 0,01$ |

Les pH de l'empois d'amidon compris entre $4,30 \pm 0,01$ et $4,47 \pm 0,01$. Les pH au début et à la fin de fermentation ont aussi des valeurs aussi faibles de $4,22 \pm 0,01$ à $4,46 \pm 0,02$ pour le début fermentation et de $4,12 \pm 0,01$ à $4,30 \pm 0,01$ en fin de la fermentation.

Tableau 3 : *Densité spécifique de la purée en début et en fin de la fermentation, issus de cinq unités de production de Lotoko*

| Producteurs | Densité spécifique | |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | Purée au début de la fermentation | Purée en fin de la fermentation |
| Producteur A | $1,10451 \pm 0,00$ | $1,06501 \pm 0,00$ |
| Producteur B | $1,10423 \pm 0,00$ | $1,06217 \pm 0,00$ |
| Producteur C | $1,10503 \pm 0,00$ | $1,04346 \pm 0,00$ |
| Producteur D | $1,10503 \pm 0,00$ | $1,05167 \pm 0,00$ |
| Producteur E | $1,10521 \pm 0,00$ | $1,06177 \pm 0,00$ |

Les densités spécifiques oscillent entre $1,10423 \pm 0,00$ à $1,10521 \pm 0,00$ au début de la fermentation et à la fin de la fermentation entre $1,04346 \pm 0,00$ à $1,06501 \pm 0,00$.

Tableau 4 : *Atténuation apparente (%) de la purée en fin de la fermentation issue de cinq unités de production de Lotoko*

| Producteurs | Atténuation apparente (%) de la purée en fin de la fermentation |
|--------------|---|
| Producteur A | $35,76 \pm 1,40$ |
| Producteur B | $38,17 \pm 0,43$ |
| Producteur C | $56,48 \pm 0,91$ |
| Producteur D | $48,59 \pm 1,85$ |
| Producteur E | $39,16 \pm 2,64$ |

Les atténuations apparentes balancent entre $35,76 \pm 1,40$ et $56,48 \pm 0,91$ %.

Tableau 5 : Atténuation réelle (%) de la purée en fin de la fermentation issue de cinq unités de production de Lotoko

| Producteurs | Atténuation réelle (%) de la purée en fin de la fermentation |
|--------------|--|
| Producteur A | 29,29 ± 1,15 |
| Producteur B | 31,21 ± 0,35 |
| Producteur C | 46,27 ± 0,75 |
| Producteur D | 39,81 ± 1,52 |
| Producteur E | 32,08 ± 2,17 |

Les atténuations réelles se situent entre $29,29 \pm 1,15$ et $46,27 \pm 0,75$ %.

Tableau 6 : Extrait réel (°P) de la purée en fin de la fermentation issue de cinq unités de production

| Producteurs | Extrait réel (°P) de la purée en fin de la fermentation |
|--------------|---|
| Producteur A | 17,50 ± 0,27 |
| Producteur B | 16,94 ± 0,16 |
| Producteur C | 13,36 ± 0,20 |
| Producteur D | 14,96 ± 0,40 |
| Producteur E | 16,91 ± 0,55 |

Ce **Tableau** renseigne que les extraits réels des purées varient de $13,36 \pm 0,20$ à $17,50 \pm 0,27$ °P. Ces extraits réels sont très élevés.

Tableau 7 : Taux estimatif d'alcool de la purée issue de cinq unités de production en fin de la fermentation

| Producteurs | Taux estimatif d'alcool (% v/v) de la purée en fin de la fermentation |
|--------------|---|
| | X ± SD |
| Producteur A | 5,43 ± 0,23 |
| Producteur B | 5,75 ± 0,04 |
| Producteur C | 8,44 ± 0,15 |
| Producteur D | 7,32 ± 0,25 |
| Producteur E | 5,97 ± 0,38 |

La variation de taux estimatif d'alcool se situe entre $5,43 \pm 0,238$ et $8,44 \pm 0,15$ % (vol/vol). Ces teneurs en alcool sont faibles.

Tableau 8 : Résultat du test d'iode sur l'empois d'amidon, la purée en début et en fin de la fermentation ainsi que le résidu de distillation issue de cinq unités de production

| Producteurs | Résultats du test d'iode de toutes les productions dans les cinq distilleries artisanales | | | |
|--------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | Empois d'amidon de manioc | Purée au début de la fermentation | Purée en fin de la fermentation | Résidu de distillation |
| Producteur A | Négatif | Négatif | Négatif | Négatif |
| Producteur B | Négatif | Négatif | Négatif | Négatif |
| Producteur C | Négatif | Négatif | Négatif | Négatif |
| Producteur D | Négatif | Négatif | Négatif | Négatif |
| Producteur E | Négatif | Négatif | Négatif | Négatif |

Chez tous les producteurs, tous les tests d'iode ont donné des résultats négatifs qui témoignent de la présence de l'amidon non converti dans toutes les étapes de la préparation de Lotoko.

4. Discussion

Dans une perspective de suivi de neuf paramètres physico-chimiques intervenant au cours de la bioconversion-fermentation des purées destinées à l'élaboration de Lotoko, cette étude a récolté et analysé les échantillons provenant de cinq (5) producteurs de cette boisson. Il ressort des résultats obtenus que chacun de tous ces producteurs de Lotoko utilise un seul broyeur à marteau et deux tamis différents conçu empiriquement pour réduire la matière première en farine. L'un de tamis aux mailles très fines pour le manioc et l'autre de petites mailles pour le malt de maïs. Dans le processus de traitement des matières premières pour le brassage, la longueur et le nombre de marteaux, la taille des perforations du tamis et la vitesse de rotation influencent la taille des particules de la mouture [12]. Par conséquent les farines ou moutures obtenues n'ont pas été réduites à des dimensions appropriées afin de faciliter la pénétration ultérieure de l'eau. Ceci peut réduire l'efficacité de l'extraction des extraits fermentescibles et non fermentescibles pour un bon rendement de brassage en vue de la fermentation [4, 12]. Après le malaxage de la mouture de manioc avec le résidu de la distillation précédente, l'empois d'amidon obtenu atteint une température oscillante entre $74 \pm 1,00^\circ \text{C}$ et $78 \pm 0,00^\circ \text{C}$. Cette température est trop élevée pour l'activité des enzymes extractives. En effet, au cours de cette étape, la température de l'empois d'amidon devrait augmenter progressivement jusqu'à $50-60^\circ \text{C}$ à partir de son mélange avec une proportion d'eau tiède représentant 70-80 % du volume total [13]; cela permettrait d'obtenir un bon empesage de l'amidon avec ses trois étapes successives (gonflement, gélatinisation et solubilisation) [14]. L'amidon ainsi empesé serait désormais susceptible d'être attaqué par des enzymes intervenant au cours du brassage. En outre, il a été constaté que l'empois d'amidon préparé subit une agitation manuelle à l'aide d'une spatule en bois. Or, durant l'empâtage, les grumeaux de moutures qui ne s'hydratent pas ne peuvent pas être convertis en sucres, ce qui donne une maiche ou purée avec présence d'amidon. Les distilleries modernes évitent cet écueil en pratiquant une homogénéisation par agitation mécanique vigoureuse, au nombre de tours par seconde bien déterminé.

Ceci permet la formation d'une maiche ou purée homogène avec une répartition uniforme de la température spécifique de l'étape concernée [15]. Dans la technologie artisanale de l'élaboration de Lotoko, la bioconversion de l'amidon en sucres (fermentescibles et non fermentescibles) ainsi que la fermentation spontanée démarrent concomitamment dans un même récipient. Elles constituent les résultats du métabolisme d'une microflore diverse, abondante, apportée par la matière première et le milieu environnant. D'un point de vue technologique, le fait que ces deux étapes soient combinées en une étape unique, que l'on peut qualifier de "bioconversion-fermentation", constitue un obstacle majeur pour la bioconversion totale de l'amidon en sucres simples et la production suffisante de l'alcool. En effet, il a été constaté que la plupart des denrées alimentaires africaines préparées par fermentation à partir de la flore spontanée présentent des faibles rendements de conversion de la matière première et une grande variabilité de qualité d'une préparation à une autre [16]. Toutefois, sur un plan pratique, les phénomènes biochimiques qui se déroulent dans un même vaisseau lors de la bioconversion-fermentation et qui concourent à l'élaboration de Lotoko ne sont pas encore suffisamment élucidés dans la perspective de l'amélioration de la production de boissons traditionnelles locales. Dans les brasseries et les distilleries modernes, la bioconversion ou le dédoublement de l'amidon en sucres (fermentescibles et non fermentescibles) ainsi que la fermentation contrôlée de moût ou de la purée se déroulent dans deux vaisseaux différents et sont deux étapes unitaires opérationnelles bien séparées. Ces étapes se distinguent par des ratios matières premières/eau de brassage, des pH, des couples températures-temps spécifiques pour le travail enzymatique lors du brassage et une souche sélectionnée de *Saccharomyces cerevisiae* utilisée pour la fermentation du moût [17]. Les fortes acidités observées au niveau des boissons alcoolisées locales produites en Afrique s'expliqueraient par la production d'acides organiques par la levure au cours de la fermentation alcoolique et/ou par les bactéries lactiques au cours de la fermentation lactique [18]. En effet, l'acidité du moût pendant la fermentation provient de l'activité

des microorganismes, à savoir les levures et les bactéries lactiques. Elle est aussi due à la nature qualitative et quantitative des matières premières utilisées ainsi qu'aux paramètres technologiques tels que la température, la durée de la bioconversion et de la fermentation [19]. Cette observation est illustrée par les analyses physicochimiques de *Kwete*, une boisson traditionnelle ougandaise fermentée à température ambiante préparée à partir de grains de maïs, parfois mélangée avec des grains de mil, qui avaient donné un pH de $3,35 \pm 0,09$ [20]. Au cours de la fabrication de la bière dans les brasseries modernes, le pH du moût passe de 5,4 - 5,6 (moût biologique acidifié 5,2 - 5,0) à une valeur de 4,3 - 4,6 et reste ensuite constant [21]. Au cours de la fermentation alcoolique, la densité du mélange traduit le degré de solubilité des matières organiques totales telles que les sucres résiduels non fermentés et des particules en suspension dans la purée [17]. Comparativement aux purées de Lotoko, les moûts de whisky ont généralement une densité spécifique comprise entre 1,1050 et 1,1080 avec un pH d'environ 5,0 en début de la fermentation et qui tombe généralement à une densité en dessous de 1,0000 en fin de la fermentation [22]. L'atténuation apparente représente une approximation de la proportion de sucres qui a été consommée pendant la fermentation entre le moment de prélèvement de Densité Initiale (DI) et celui de la Densité Finale (DF) alors que l'atténuation réelle est obtenue en employant l'extrait réel (la masse réelle de sucre) au lieu de l'extrait apparent [23]. La procédure industrielle de préparation du whisky donne 100 % d'atténuation apparente et 81,92 % d'atténuation réelle, avec un extrait réel compris respectivement entre 4,49 et 4,61 ° P et un taux d'alcool en volume estimé compris respectivement entre 14,33 et 14,76 % [22].

Dans la production de Lotoko, la densité spécifique des moûts reste souvent autour 1,0400 et chute à environ 1,0080 à la fin de la fermentation. Ceci aboutit à des atténuations apparente et réelle respectivement de 79,20 % et 64,88 % ainsi qu'un extrait réel de 3,51 ° P et un taux d'alcool estimatif de 4,23 % d'alcool en volume [22, 24]. Ces résultats aboutissent à des tests d'iode négatifs au niveau de toutes les étapes de l'élaboration de Lotoko. En effet, dans ces conditions, l'amidon de manioc et du malt de maïs n'ont pas été complètement dégradés, les sucres fermentescibles n'ont pas été récupérés car le rendement réel de l'extrait obtenu dépend de l'activité biochimique durant le brassage [5, 15]. Ces tests négatifs à l'iode révèlent aussi l'inefficacité des conditions technologiques de l'élaboration de Lotoko dans les conditions artisanales pour dédoubler complètement l'amidon [25]. En considérant l'analyse qui vient d'être faite et vue la grande attractivité des boissons traditionnelles, à l'instar de Lotoko, par une importante tranche de la population kinoise, l'autorité congolaise devrait songer à un mécanisme intermédiaire, bon marché de production de ces boissons afin de sécuriser les consommateurs. Aussi, les chercheurs congolais devront conduire des études sur l'identification de différents breuvages alcoolisés (ou non) produits, vendus, commercialisés et consommés sur toute l'étendue du territoire national et ainsi mettre au point les références standardisées de caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ainsi que des ETM de ces boissons alcoolisées. Cela permettrait de pousser l'autorité étatique congolaise à s'inspirer des mécanismes internationaux, notamment les plans actualisés OMS/FAO, pour mettre à jour les textes législatifs et normatifs existants afin de réguler et libéraliser la production, la commercialisation, la vente et la consommation des boissons produites localement [26, 27].

5. Conclusion

Dans cette étude, neuf (9) paramètres technologiques déterminant la qualité physicochimique de la boisson traditionnelle distillée Lotoko ont été suivis au cours de la préparation de cette boisson dans le but de mieux les comprendre et les caractériser. Les résultats obtenus ont révélé qu'aucun de ces paramètres ne correspond aux valeurs spécifiquement recommandées au cours d'une opération de brassage avec comme principales conséquences le faible taux d'extraction de la matière première fermentescible, les faibles niveaux d'atténuations apparentes et réelles des boissons produites tandis que leurs extraits réels sont élevés. Cette étude démontre que le monde scientifique peut être d'un grand secours aux producteurs et consommateurs de cette boisson en étudiant les paramètres technologiques optimaux de production de cette boisson afin de les améliorer et en faire une des boissons recommandables du pays sinon de la planète.

Références

- [1] - P. DIAKABANA, M.G. DZONDO, J. E. MOUSSOUNGA, A. W. G. SOMPILA TAMBA, A. B. MADIELE MABIKA, L. MESSO, S. C. KOBAWILA and D. LOUEMBE, " Behavior of Grains in the Course of the Smothering Phase of the Traditional Process of Malting of Corn (*Zea mays* sp.) in the Production of Lotoko, a Brandy of the Basin of Congo ". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (11) (2017) 3541 - 3551 p., <http://www.ijcmas.com>
- [2] - J. WATERSCHOOT, S. V GOMANG, E. FIERENS and J. A. DELCOUR, " Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches ", *Starch - Stärke.*, 67 (2015) 14 - 29, <https://doi.org/10.1002/star.201300238C>
- [3] - C. ALAIS, G. LINDEN et L. MICLO, " Biochimie alimentaire " — 6^e édition de l'Abrégé, Ed. Masson, Paris, (2020)
- [4] - W. KUNZE, " Technology Brewing and Malting ", Ed. VLB Berlin, Germany, 6th revised English edition, (2019)
- [5] - W. B. E. TABU and M. D. B. BANGALA, " Analyse de la conformité des boissons alcoolisées consommées à Kinshasa aux exigences techniques et légales (Synthèse bibliographique) ", *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 3 (2) (2020) 94 - 105, <http://www.rafea-congo.com>
- [6] - N. IMBRECKX, Technologie brassicole, 3^e édition, Éditeur : EdiPro, (2023) 250 p.
- [7] - L. LINGSHANG, Z. LONG, C. XIULING, L. QIAOQUAN, Z. CHANGQUAN and W. CUNXU, " The relationship between enzyme hydrolysis and the components of rice starches with the same genetic background and amylopectin structure but different amylose contents ", *Food Hydrocolloids*, Vol. 84, (2018) 406 - 413 p., <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.029>
- [8] - R. MAWONIKE, B. CHIGUNYENI and M. USARA CHIPUMURO, Process improvement of opaque beer (chibuku) based on multivariate cumulative sum control chart, *Journal of Institut Brewing and Distillation*, 124 (2017) 16 - 22, <http://DO-10.1002/jib.466>
- [9] - C. TSHIMUANGA and C. OTOMBA, " Economie localisée face aux enjeux de revenu des firmes artisanales productrices de la boisson alcoolisée "Lotoko" à Kisangani, Tshopo, RDC ". *Afrique Science*, 19 (3) (2021) 92 - 104, <http://afriquescience.info>
- [10] - Organisation Internationale de la vigne et du vin, "Recueil des méthodes internationales des boissons spiritueuses d'origine vitivinicole", Edition 2019, Paris, (2019)
- [11] - UNIVERS BIÈRE, " Biochimie Brassage ". http://univers-biere.net/bio_brassage.php (17/03/2022), (2022)
- [12] - J.-F. CRUZ, D. JOSEPH HOUNHOUGAN, M. HARVARD et T. FERRE, " La transformation des grains ", Collection Agricultures tropicales en Poche, Quæ, *Presses agronomiques de Gembloux*, CTA, Versailles, Gembloux, Wageningen, (2019) 182 p. + cahier quadri 16 p.
- [13] - S. A. BAHRANI, " Modification des propriétés physico-chimiques de l'amidon par procédés hydrothermiques : Contribution à l'étude des transferts couplés chaleur-masse ". Autre. Université de La Rochelle, (2013). Français. ffNNT: 2012LAROS366ff. fftel-00823904. <https://theses.hal.science/tel-00823904>
- [14] - H. ANGELLIER, " Nanocristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites. Matériaux ". Université Joseph-Fourier - Grenoble I, (2005). Français. ffNNT : ff. fftel-00010699, <https://theses.hal.science/tel-00010699>
- [15] - Z. BERK, " Food Process Engineering and Technology ", Ed. Elsevier Science, Third Edition, United States of America, (2018) 742 p.
- [16] - P. MUREDZI, Use of Biotechnology in Traditionally Fermented African Foods, https://www.researchgate.net/publication/264799618_Use_of_Biotechnology_in_Traditionally_Fermented_African_Foods (2013) (06/02/2024)
- [17] - M. IORIZZO, F. COPPOLA, F. LETIZIA, B. TESTA and E. SORRENTINO, " Role of Yeasts in the Brewing Process : Tradition and Innovation ", *Processes*, 9, 839 (2021) <https://doi.org/10.3390/pr9050839>

- [18] - D. A. OUREGA, L. B. KOFFI, K. F. N'GUESSANI, NEMLIN G. P., TANO K. and K. M. DJE, " Caractéristiques physico-chimiques des bières de plantain produites à partir de rebuts de plantains se différents variétés de Côte d'Ivoire (Orishe, French 2 et Corne 1) ", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (2) (2015) 666 - 677, <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- [19] - E. TABU WA BOMESI, V. H. VAWAZOLA NSIMAKETO, E. KIMBEMUKEN THASUR, A. FEZA KAMARI, D.-B. SIFA KWA MUNGU, " Etude de la dynamique de la flore microbienne isolée de la purée en fermentation destinée à la distillation de Lotoko ", *Congo Sciences*, Vol. 10, N°3 (2022)
- [20] - B. S. NAMUGUMYA and C. M. B. K. MUYANJA, " Traditional processing, microbiological, physiochemical and sensory characteristics of Kwete, a Ugandan fermented maize based beverage ", *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9 (4) (2009) 1684 - 5374, <http://doi:10.4314/ajfand.v9i4.43876>
- [21] - H. M. EBLINGER, in *Handbook of brewing*, Ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2009) 206 - 224
- [22] - M. J. WAITES, N. L. MORGAN, J. S. ROCKEY and G. HIGTON, " *Industrial Microbiology : An Introduction* ", Ed. Oxford and Malden, Massachusetts, (2001)
- [23] - T. P. LYONS, " Production of Scotch and Irish whiskies : their history and evolution ", in *The Alcohol Textbook*, Ed. Nottingham University Press, Nottingham, (2003)
- [24] - J. A. DELCOUR and R. C. HOSENEY, " Review of Principles of Cereal Science and Technology, Review of Principles of Cereal Science and Technology ", *Journal of Agricultural & Food Information*, 11 (3) (2010) 256 - 257, <https://doi.org/10.1080/10496505.2010.494137>
- [25] - C. W. BAMFORTH, " New brewing technologies: setting the scene ", in : "Brewing New technologies", Ed. Woodhead Publishing Limited, California, (2006)
- [26] - C. PUANTES MANCOPE, " Modélisation des équilibres entre phases et simulation de la distillation des eaux-de-vie en vue d'une meilleure compréhension du comportement des composés volatils d'arôme ", Thèse de doctorat en Génie des procédés. Université Paris-Saclay (ComUE), (2017)
- [27] - P. AWAD, V. ATHES, M. ESTBEN DELCOUX, G. Ferrari, G. SNAKKERS, P. RAGUENAUD and P. GIAMPAOLI, Evolution of volatile compounds during the distillation of cognac spirit, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, r65 (2017) 7736 - 7748, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>