

## Contribution à l'analyse de la variance (ANOVA) et à l'analyse en composante principale (ACP) pour l'évaluation de quelques caractéristiques de la qualité analytique de Lotoko, boisson traditionnelle distillée produite à Kinshasa

### [ Contribution to the analysis of variance (ANOVA) and the principal component analysis (PCA) for the evaluation of some characteristics of the analytical quality of Lotoko, a traditional distilled drink produced in Kinshasa ]

*Tabu Wa Bomesi Ernest<sup>1</sup>, Sifa Kwa Mungu Danie<sup>1,2</sup>, and Vawazola Nsimaketo Victor Héritier<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Chimie et Industries Agricoles, BP 117  
Kinshasa XI, RD Congo

<sup>2</sup>Direction de Protection de l'Environnement Minier, Ministère des Mines Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 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:** Lotoko is a traditional drink obtained from the distillation of mash resulting from uncontrolled spontaneous fermentation of cassava and malted corn; it is heavily consumed by a large section of the Kinshasa population, generally proletarians. This study conducted in Kingabwa, a district of Kinshasa Limete was intended to contribute to the statistical analysis by ANOVA and PCA of the physico-chemical characteristics and metallic trace elements of Lotoko. From this study, it appears that the specific density of Lotoko between 0.9691 and 0.9788 is statistically similar in all production units, while the pH (below 4.0), alcohol (15 to 16% by volume), turbidity (3.70 to 46.70 NTU), iron (0.06 and 0.18 mg/l), lead (0.10 and 0.20 µg/l) and copper (less than 0.01 mg/l) were not. During the principal component analysis (PCA) of different samples of the drink under study, the first two dimensions were retained because they represented 85% of the information contained in the database. The first dimension revealed a first link between alcohol, pH and iron, explaining 61.4% of the total variance; another between density, turbidity, accounts for 26.1% of the variance. The second dimension revealed that two producers are close to each other by pH and all three others are different. No variable weighs on all the other variables, nor does it influence them.

**KEYWORDS:** Distillation, Puree, Statistical analysis, Physico-chemical characteristics, Metallic trace elements.

**RESUME:** Le Lotoko est une boisson traditionnelle obtenue de la distillation de la purée issue d'une fermentation spontanée non-contrôlée de manioc et de maïs malté; il est fortement consommé par une importante frange de la population kinoise, généralement prolétaire. Cette étude menée à Kingabwa, un quartier de Kinshasa Limete avait pour but de contribuer à l'analyse statistique par l'ANOVA et l'ACP des caractéristiques physico-chimiques et des éléments traces métalliques de Lotoko. De cette étude, il ressort que la densité spécifique du Lotoko entre 0,9691 et 0,9788 est statistiquement semblable dans toutes les unités de productions alors que le pH (en dessous de 4,0), l'alcool (15 à 16 % en volume), la turbidité (3,70 à 46,70 NTU), le fer (0,06 et 0,18 mg/l), le plomb (0,10 et 0,20 µg/l) et le cuivre (inférieur à 0,01 mg/l) ne l'étaient pas. Au cours de l'analyse en composante principale (ACP) de différents échantillons de la boisson sous étude, les deux premières dimensions ont été retenues parce qu'elles ont représenté 85 % des informations contenues dans la base des données. La première dimension a révélé un premier lien entre l'alcool, le pH et le fer, expliquant 61,4 % de la variance totale; un autre entre la densité, la turbidité, représente 26,1 % de la variance. La seconde dimension a révélé que deux producteurs sont proches l'un à l'autre par le pH et tous les trois autres se distinguent. Aucune variable ne pèse sur l'ensemble des autres variables, ni ne les influence.

**MOTS-CLEFS:** Distillation, Purée, Analyse statistique, Caractéristiques physico-chimiques, Eléments traces métalliques.

## 1 INTRODUCTION

Dans l'ensemble du territoire de la République Démocratique du Congo (RDC), la distillation de la purée fermentée d'une manière spontanée et contrôlée à base de maïs et du manioc permet de produire une boisson alcoolisée qui porte des noms différents selon les régions [1]. De ces breuvages figurent la boisson traditionnelle alcoolisée et distillée congolaise appelée Lotoko en Lingala [2].

Un atout que semble présenter cette boisson pour la population prolétaire congolaise est que, contrairement aux boissons distillées modernes, les unités de production de Lotoko sont artisanales et ne nécessitent pas des équipements, ni des moyens sophistiqués. Par conséquent, elles ne requièrent pas un investissement lourd et offrent à leurs propriétaires, principalement les femmes, une certaine autonomie financière issue de la vente de Lotoko, une boisson alcoolisée à la portée de toutes les bourses (Tabu et Bangala, 2020). Le Lotoko est très consommé à Kinshasa et dans le reste du pays, surtout dans sa partie nord, et mérite l'attention du monde scientifique et du pouvoir public.

Lors de l'élaboration de Lotoko dans les unités de production, les paramètres techniques et technologiques (qualité de la mouture, ratio matière première/eau, pH, température, durée) ne sont généralement pas pris en compte ou insuffisamment par les opérateurs-producteurs afin de permettre toutes les activités nécessaires au bon déroulement des principales étapes successives de process afin d'obtenir une boisson de bonne qualité. Bien que bon marché, le doute plane sur les caractéristiques physicochimiques et la teneur en éléments traces métalliques (ETM) de cette boisson susceptible d'engendrer des sérieux problèmes de santé publique du fait de leur consommation.

De plus en plus, les chercheurs s'intéressent aux boissons alcoolisées traditionnelles eu égard à la place qu'elles occupent dans les communautés africaines dans le souci de mieux les caractériser ou de proposer des améliorations quant aux conditions opératoires conduisant à leur obtention. Diakabana et al. ont évalué la technologie appliquée dans la production de "Lungwila" à base de la canne à sucre dans l'objectif de la caractériser et d'en optimiser les conditions opératoires [3]; Habamubgu et al. ont effectué des analyses chimiques et microbiologiques sur trois types de boissons alcoolisées traditionnelles consommées au Sud-Kivu pour en déterminer la qualité sanitaire [4]. Dans le même ordre d'idée, Tabu et Bangala ont estimé que deux groupes de facteurs peuvent être à l'origine des problèmes sanitaires et technologiques de ces types de boissons [5]. Il s'agirait, d'une part, de l'usage d'un équipement rudimentaire entraînant des grandes irrégularités dans les caractéristiques physico-chimiques (pH, taux d'alcool, teneur en glucides, turbidité, etc.) et organoleptiques et, d'autre part, de la flore fermentaire des boissons traditionnelles locales qui ne correspondent pas aux normes sanitaires recommandées pour les spiritueux, les vins, moins encore les bières.

C'est dans ce contexte que le présent travail se propose de faire une application statistique par l'ANOVA et l'ACP sur les données physico-chimiques et des ETM d'étudier de manière systématique le processus de l'élaboration de Lotoko produit dans le quartier Kingabwa, localisée en périphérie de la commune de Limete à Kinshasa. L'intérêt de cette étude est d'acquies de connaître les caractéristiques analytiques de la qualité de Lotoko en vue d'ouvrir la voie vers l'amélioration de sa production et enfin son industrialisation.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette recherche a été conduite à Kingabwa, un quartier périphérique de la commune de Limete dans la ville de Kinshasa. Ci-dessous est donnée la carte tirée de Google Map qui indique la localisation du lieu d'échantillonnage.

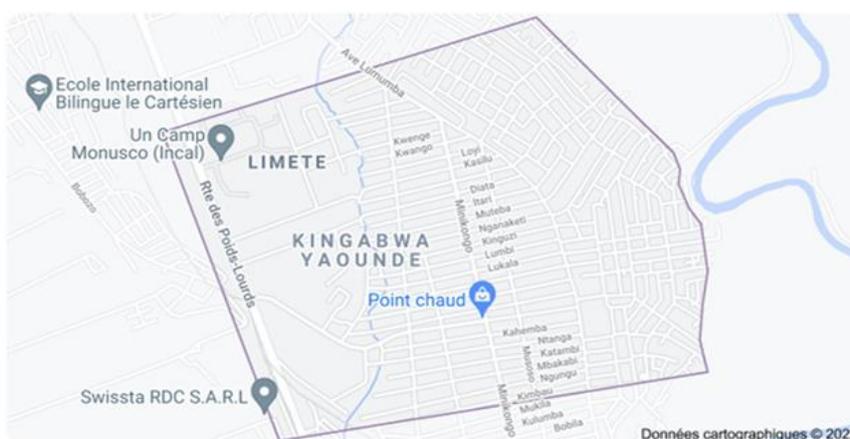


Fig. 1. Carte géographique de Kingabwa/Limete (Google Map, 2022)

La figure 1 indique la localisation du lieu d'échantillonnage tirée de la carte de Google Map.

## **2.2 MATÉRIEL**

Le matériel d'étude était constitué de la boisson produite, commercialisée et vendue, Lotoko.

## **2.3 MÉTHODES**

### **2.3.1 ECHANTILLONNAGE DES UNITÉS DE PRODUCTION PAR "BOULE DE NEIGE"**

L'élaboration artisanale de Lotoko étant interdite en RDC, la population d'étude a été identifiée par la méthode d'échantillonnage dite "boule de neige" (Lafont, 2016), une méthode non probabiliste, non aléatoire, empirique; c'est à partir d'une unité de production de Lotoko connue du quartier Kingabwa, les autres unités de production de la filière ont été identifiées.

### **2.3.2 PRÉLÈVEMENT DES DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS POUR ANALYSE**

Quinze échantillons ont été acquis par achat auprès de cinq unités de production du quartier Kingabwa codées PA, PB, PC, PD et PE, à raison de 3 échantillons par unité de production. Ces échantillons ont été codés respectivement PAK1, PAK2 et PAK3 pour 3 différentes productions issues PA; PBK1, PBK2 et PBK3 pour PB; PCK1, PCK2 et PCK3 pour PC; PDK1, PDK2 et PDK3 pour PD; PEK1, PEK2 et PEK3 pour PE.

### **2.3.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES**

Pour déterminer la teneur en alcool en volume de Lotoko, un alcoomètre a été utilisé [6]. La mesure de la densité spécifique de Lotoko a été réalisée selon la méthode pycnométrique. 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. La mesure de la turbidité a été réalisée par néphélométrie basée sur l'effet optique. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières en suspensions non dissoutes. La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Les dosages des éléments traces métalliques Fe, Cu et Pb ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique à l'aide d'une flamme air acétylène oxydante en utilisant une lampe à cathode creuse au fer pour le Fe, à la longueur d'onde de 248,3 nm, au cuivre pour le Cu, à la longueur d'onde de 324,7 nm, et au plomb sans flamme, en utilisant un modificateur de matrice sur la boisson spiritueuse Lotoko [7].

**Tableau 1. Méthodes d'analyses de quelques caractéristiques de Lotoko**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Méthode de détermination</b>	<b>Référence</b>
Alcool	Hydrométrie	OMIL R 44
Densité	Pycnométrie	OIV-MA-BS-05
pH	Electrochimie	OIV-MA-BS-13
Turbidité	Néphélométrie	OIV-MA-BS-28
Cuivre	Absorption atomique	OIV-MA-BS-30
Fer	Absorption atomique	OIV-MA-BS-31
Plomb	Absorption atomique	OIV-MA-BS-32

Le tableau 1 résume les méthodes de détermination des paramètres étudiés de Lotoko et leurs références bibliographiques.

## **2.4 ANALYSE STATISTIQUE**

Toutes les données obtenues ont été soumises à l'analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4 USA (Statistical Analysis System version 9.4) et par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) à l'aide logiciel SPSS 21 (Statistical Package Program for Social Sciences Version 21). Le niveau de signification retenu a été de 0,05. Les différences statistiques avec une valeur de probabilité inférieure à 0,05 ( $p < 0,05$ ) ont été considérées comme significatives [8]. L'ACP a permis de ressortir les relations qui existent entre les variables mesurées: pH, densité spécifique, alcool, turbidité, fer, cuivre et plomb et les ressemblances entre producteurs dans la composition finale des produits obtenus [9], [10].

### 3 RESULTATS

#### 3.1 VALEURS DES RÉSULTATS DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DE LOTOKO

Toutes les valeurs des données d'analyses analytiques de produit fini Lotoko des cinq unités de production sont repris dans le tableau 2.

**Tableau 2. Caractéristiques de la composition analytique de Lotoko**

Productrice	Production	Alcool	Densité	pH	Turbidité	Fer	Cuivre	Plomb
PA	PAK1	18,00	0,9710	3,37	4,10	0,125	0,010	0,00
	PAK2	15,00	0,9764	3,38	18,10	0,175	0,010	0,00
	PAK3	15,00	0,9776	3,25	6,10	0,150	0,010	0,00
	Moyenne	16,00 ± 1,73	0,9750 ± 0,00	3,33 ± 0,1	9,43 ± 7,57	0,15 ± 0,03	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PB	PBK1	16,00	0,9670	3,44	7,09	0,130	0,010	0,00
	PBK2	15,00	0,9772	3,31	13,20	0,150	0,010	0,10
	PBK3	15,00	0,9691	3,35	29,44	0,085	0,010	0,10
	Moyenne	15,33 ± 0,58	0,9711 ± 0,00	3,37 ± 0,1	16,58 ± 11,56	0,12 ± 0,03	0,010 ± 0,00	0,07 ± 0,06
PC	PCK1	15,00	0,9760	3,33	12,30	0,065	0,010	0,00
	PCK2	15,00	0,9652	3,39	3,70	0,055	0,010	0,00
	PCK3	15,00	0,9718	3,53	7,69	0,070	0,010	0,00
	Moyenne	15,00 ± 0,00	0,9710 ± 0,00	3,42 ± 0,1	7,90 ± 4,30	0,06 ± 0,01	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PD	PDK1	16,00	0,9677	3,44	36,02	0,040	0,010	0,00
	PDK2	15,00	0,9749	3,37	19,40	0,085	0,010	0,00
	PDK3	15,00	0,9639	3,52	31,24	0,125	0,010	0,00
	Moyenne	15,33 ± 0,58	0,9688 ± 0,01	3,44 ± 0,10	28,89 ± 8,56	0,08 ± 0,04	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PE	PEK1	15,00	0,9788	3,42	43,80	0,085	0,010	0,00
	PEK2	15,00	0,9766	3,41	46,70	0,085	0,010	0,00
	PEK3	15,00	0,9758	3,44	30,80	0,084	0,010	0,20
	Moyenne	15,00 ± 0,00	0,9771 ± 0,00	3,42 ± 0,00	40,43 ± 8,47	0,08 ± 0,00	0,010 ± 0,00	0,07 ± 0,12

Les normes des éléments traces métalliques de l'EU Drinking Water Quality Standards [11] (European Council, 1998) et de WHO Guidelines for Drinking Water Quality [12] (WHO, 2017) sont de 0,20 mg/l pour le fer, de 2,00 mg/l pour le cuivre et de 0,20 µg/l pour le plomb.

#### 3.2 EFFETS DES UNITÉS DE PRODUCTION SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUES ET DES ETM

##### 3.2.1 EFFETS DE PRODUCTEURS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO

**Tableau 3. Effets de producteurs sur la composition de Lotoko**

Productrice	Alcool	Lettre du Groupe	Densité	PH	Lettre du Groupe	Turbidité	Lettre du Groupe	Fer	Lettre du Groupe	Cuivre	Plomb	Letter Group
PE	15,0	B	0,9771	3,4	AB	40,4	A	0,08467	C	0,01	0,06667	A
PA	16,0	A	0,9751	3,3	C	9,3	D	0,1501	A	0,01	0	B
PB	15,3	AB	0,9711	3,4	BC	16,6	C	0,1217	B	0,01	0,06667	A
PC	15,0	B	0,8709	3,4	AB	7,9	D	0,06333	C	0,01	0	B
PD	15,3	AB	0,9688	3,4	A	28,9	B	0,08333	C	0,01	0	B
Pvalue	0,0425		0,3897	0		<.0001		<.0001		0	0	
Ecart type	0,79		0,13	0		14,3		0,03		0	0	

Lorsque toutes les caractéristiques ou variables sont analysées sur le plan statistique, les résultats font ressortir six méthodes de préparation. Ainsi, pour la teneur en alcool, ils se répartissent en trois groupes; alors qu'il y en a quatre pour la densité et le pH. La turbidité donne aussi quatre groupes, le fer donne trois et il y a deux groupes pour le cuivre et le plomb.

**Contribution à l'analyse de la variance (ANOVA) et à l'analyse en composante principale (ACP) pour l'évaluation de quelques caractéristiques de la qualité analytique de Lotoko, boisson traditionnelle distillée produite à Kinshasa**

Le p-value de la densité spécifique étant de 0,39 (0,39 > 0,05), elle n'a aucune influence statistiquement significative sur les producteurs. La densité spécifique est donc statistiquement la même chez tous les fabricants et ne varie pas d'un producteur à l'autre. Tous les autres composés ayant un p-value inférieur à 0,05 varient avec les producteurs.

**3.2.2 EFFET DE PRODUCTIONS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO**

*Tableau 4. Effets de productions sur la composition de Lotoko*

Production	Alcool	Lettre du groupe	Densité	pH	Lettre du groupe	Turbidité	Lettre du groupe	Fer	Lettre du groupe	Cuivre	Plomb	Lettre du groupe
PAL1	18	A	0,9713	3,4	CD	4,1	N	0,125	D	0,01	0	C
PAL2	15	C	0,9764	3,4	C	18,1	H	0,1753	A	0,01	0	C
PAL3	15	C	0,9776	3,3	G	6,1	M	0,15	B	0,01	0	C
PBL1	16	B	0,967	3,4	B	7,1	L	0,13	C	0,01	0	C
PBL2	15	C	0,9772	3,3	F	13,2	I	0,15	B	0,01	0,1	B
PBL3	15	C	0,9691	3,4	DE	29,4	F	0,085	E	0,01	0,1	B
PCL1	15	C	0,6757	3,3	EF	12,3	J	0,065	H	0,01	0	C
PCL2	15	C	0,9652	3,4	C	3,7	O	0,055	I	0,01	0	C
PCL3	15	C	0,9718	3,5	A	7,7	K	0,07	G	0,01	0	C
PDL1	16	B	0,9677	3,4	B	3,6	C	0,04	J	0,01	0	C
PDL2	15	C	0,9749	3,4	CD	19,4	G	0,085	E	0,01	0	C
PDL3	15	C	0,9639	3,5	A	31,2	D	0,125	D	0,01	0	C
PEL1	15	C	0,9789	3,4	B	43,8	B	0,085	E	0,01	0	C
PEL2	15	C	0,9766	3,4	C	46,7	A	0,085	E	0,01	0	C
PEL3	15	C	0,9758	3,4	B	30,8	E	0,084	F	0,01	0,2	A
Pvalue	0		0,4951	<.0001		<.0001		<.0001		0	<.0001	
Ecart type	0,79		0,13	0,07		14,3		0,038		0	0,057	

L'analyse statistique des effets de différentes productions sur la composition de Lotoko a permis de regrouper les producteurs en dix-huit différents groupes. Ces variables se distinguent en trois groupes pour l'alcool, en sept pour la densité et le pH, en quinze pour la turbidité, en dix pour le fer et en trois pour le plomb. Les analyses statistiques révèlent que toutes les valeurs de la composition analysée, exceptée celle de la densité spécifique, ayant un p-value de 0,50 sont significativement différentes d'une production à une autre (p < 0,05).

**3.2.3 EFFET DE L'INTERACTION PRODUCTEURS ET PRODUCTIONS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO**

*Tableau 5. Effets de l'interaction producteurs-productions sur la composition de Lotoko*

Producteur	Production	Alcool	Lettre du groupe	Densité	pH	Lettre du groupe	Turbidité	Lettre du groupe	Fer	Lettre du groupe	Cuivre
PA	PAL1	18	A	0,9713	3,4	CD	4,1	N	0,125	D	0,01
PA	PAL2	15	C	0,9764	3,4	C	18,1	H	0,1753	A	0,01
PA	PAL3	15	C	0,9776	3,3	G	6,1	M	0,15	B	0,01
PB	PBL1	16	B	0,967	3,4	B	7,1	L	0,13	C	0,01
PB	PBL2	15	C	0,9772	3,3	F	13,1	I	0,15	B	0,01
PB	PBL3	15	C	0,9691	3,4	DE	29,4	F	0,085	E	0,01
PC	PCL1	15	C	0,6757	3,3	EF	12,3	J	0,065	H	0,01
PC	PCL2	15	C	0,9652	3,4	C	3,7	O	0,055	I	0,01
PC	PCL3	15	C	0,9718	3,5	A	7,7	K	0,07	G	0,01
PD	PDL1	16	B	0,9677	3,4	B	36,0	C	0,04	J	0,01
PD	PDL2	15	C	0,9749	3,4	CD	19,4	G	0,085	E	0,01
PD	PDL3	15	C	0,9639	3,5	A	31,2	D	0,125	D	0,01
PE	PEL1	15	C	0,9789	3,4	B	43,8	B	0,085	E	0,01
PE	PEL2	15	C	0,9766	3,4	C	46,7	A	0,085	E	0,01
PE	PEL3	15	C	0,9758	3,4	B	30,7	E	0,084	F	0,01
Pvalue		0,0		0,4951	<.0001		<.0001		<.0001		0

Ecart type		0,8		0,13	0,1		14,3		0,03		0
------------	--	-----	--	------	-----	--	------	--	------	--	---

Les effets de l'interaction producteurs-productions sur la composition de Lotoko a permis de regrouper les producteurs en dix-huit différents groupements. La densité spécifique avec p-value entre 0,39 à 0,50, donc supérieur à 0,05; il n'existe donc aucune interaction statistiquement significative entre les variables au seuil de 95% aussi bien pour les producteurs et les productions et producteurs-productions.

### 3.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) DES CARACTÉRISTIQUES LOTOKO

#### 3.3.1 VALEURS PROPRES

L'analyse du graphique 1 indique que les deux premières dimensions permettent de visualiser le maximum d'informations comprises dans le jeu de données à 87,5% d'informations. Ces dernières sont analysées avec respectivement 61,4 % pour la dimension 1 et 26,1 % pour la dimension 2.

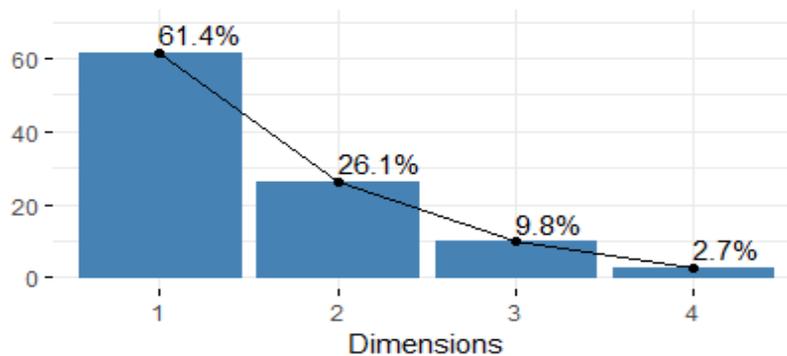


Fig. 2. Valeurs propres

#### 3.3.2 QUALITÉ DE LA PRÉSENTATION DES VARIABLES DANS LES DIMENSIONS

L'analyse du graphique 1 indique que les deux premières dimensions permettent de visualiser le maximum d'informations comprises dans le jeu de données à 87,5% d'informations. Ces dernières sont analysées avec respectivement 61,4 % pour la dimension 1 et 26,1 % pour la dimension 2.

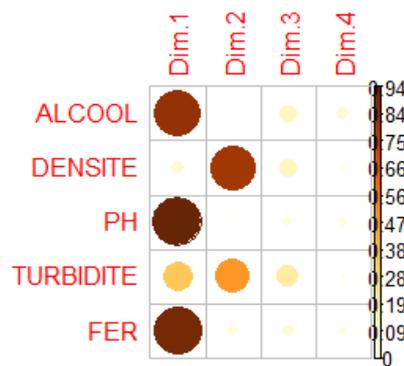


Fig. 3. Répartition des variables entre les dimensions

#### 3.3.3 CORRÉLATION ENTRE LES VARIABLES

Dans le graphique 4, la dimension 1 est exprimée vers son pôle positif par l'alcool et le fer qui présentent une corrélation positive entre eux car ils sont proches l'un à l'autre, tandis que vers son pôle négatif se trouve le pH. Cependant la dimension 2 est déterminé par la turbidité et la densité vers son pôle positif. Le taux d'alcool et le pH évoluent de manière opposée. Il ressort aussi que le fer et la densité évoluent dans un même cadran, alors que l'alcool, le pH et la turbidité évoluent chacun dans son quadrant.

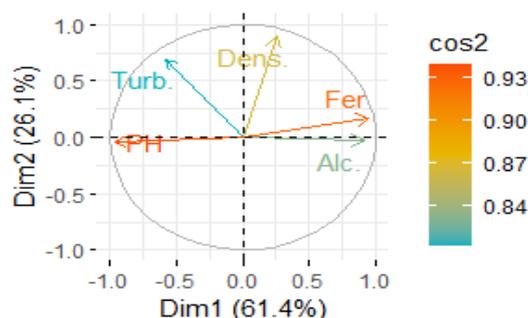


Fig. 4. Corrélation entre les variables

L'examen des matrices de corrélation entre variables prises deux à deux dans les tableaux 6 (corrélations brutes) et 7 (corrélations partielles) révèle que les variables sont très peu liées car la corrélation est vraiment inférieure de 0,50 en valeur absolue. Par conséquent aucune variable ne pèse sur l'ensemble des variables et n'entraîne avec lui l'ensemble des autres variables.

Tableau 6. Matrices de corrélations brutes entre les caractéristiques de Lotoko

	Turbidité	Fer	pH	Densité	Alcool
Turbidité	1	-0,29007	0,24366	0,09421	-0,28562
Fer	-0,29007	1	-0,31413	0,15065	0,09302
pH	0,24366	-0,31413	1	0,09691	0,01431
Densité	0,09421	0,15065	0,09691	1	0,0547
Alcool	-0,28562	0,09302	0,01431	0,0547	1

Tableau 7. Matrices de corrélations partielles entre les variables de Lotoko

	Turbidité	Fer	pH	Densité	Alcool
Turbidité	1	-0,23467	0,16696	0,13877	-0,29014
Fer	-0,23467	1	-0,28298	0,21297	0,01968
pH	0,16696	-0,28298	1	0,12531	0,08638
Densité	0,13877	0,21297	0,12531	1	0,07316
Alcool	-0,29014	0,01968	0,08638	0,07316	1

### 3.3.4 CORRÉLATION ENTRE LES INDIVIDUS

L'analyse de la similarité entre les caractéristiques de Lotoko de différents producteurs montre que les boissons des producteurs 3 et 4 se ressemblent par conséquent, elles ont des caractéristiques plus proches que d'autres. Tous les trois autres producteurs sont dans trois quadrants différents.

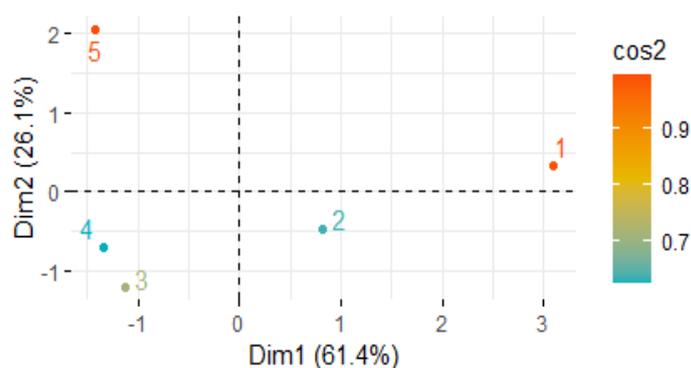


Fig. 5. Répartition des individus entre les dimensions

Légende: 1 = PA; 2 = PB; 3 = PC; 4 = PD; 5 = PE

L'analyse de la similarité entre les caractéristiques de Lotoko de différents producteurs montre que les boissons des producteurs 3 et 4 se ressemblent par conséquent, elles ont des caractéristiques plus proches que d'autres. Tous les trois autres producteurs sont dans trois quadrants différents. Entre l'échelle 0,7 à 0,9, tous les individus sont représentés. Entre l'échelle 0,7 à 0,9, tous les individus sont représentés.

### 3.3.5 CORRÉLATION ENTRE LES VARIABLES ET LES INDIVIDUS

Le graphique 6 permet de regrouper les producteurs aux variables ou caractéristiques analysées prédominantes.

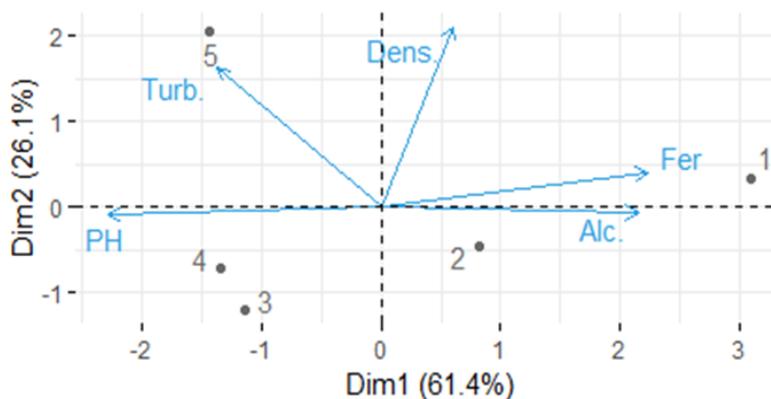


Fig. 6. Corrélation entre les variables et les individus

Légende: 1 = PA; 2 = PB; 3 = PC; 4 = PD; 5 = PE

Le producteur 1 (PA) se classe dans le premier quadrant où l'on retrouve le fer et la densité. Le producteur 2 (PB), se trouve dans le deuxième quadrant avec l'alcool. Les producteurs 3 (PC) et 4 (PD) se réunissent au troisième quadrant avec le pH le plus élevé par rapport aux autres; donc ils se ressemblent. Le producteur 5 (PE) se retrouve dans le quatrième quadrant avec la plus forte turbidité.

L'alcool et le fer sont corrélés positivement puisque leurs vecteurs représentatifs forment un angle aigu. Par contre, l'alcool et le pH sont corrélés négativement car leurs vecteurs représentatifs forment un angle obtus.

## 4 DISCUSSION

Avec une teneur en alcool de 15,0 à 18,0 % vol, le Lotoko titre plus de 15,0 % vol d'alcool, il se nomme alors boisson alcoolisée distillée ou encore boisson spiritueuse [13]. Cette faible teneur de l'alcool est due aux procédés de bioconversion-fermentation pour des raisons déjà été évoquées. En plus la teneur d'alcool de Lotoko dépend souvent de mélange de fractions de distillation: tête, cœur et queue que l'unité de production mixe pour un avoir un taux d'alcool de son produit fini. Pour les consommateurs des boissons fortes, les têtes de distillation leurs sont directement vendues en cas de besoin. Le Lotoko reste encore faible en alcool pour les consommateurs des boissons fortement alcoolisées et il est prisé par les kinois de toutes les couches d'âge suite à son taux d'alcool relativement léger. Ces taux d'alcool de Lotoko sont inférieurs aux titres alcoométriques des boissons distillées fait maison au Nigéria qui ont été compris entre 32,2 et 42,6 % vol [14] (Brands et al., 2007) et ceux de la production d'alcool distillé artisanal et clandestin au Maya en Guatemala sont de  $18,7 \pm 5,0$  % vol [15]. Le Kwete, dont il a été question plus haut, a une teneur en éthanol de  $13,3 \pm 5,17$  % v/v [18].

La densité spécifique de Lotoko oscille entre 0,9670 et 0,9766. Cette valeur relativement faible est le résultat de grandes quantités de matières premières utilisées qui n'ont pas eu le temps de dédoubler leurs amidons en sucres fermentescibles et non fermentescibles par la fermentation non-hygiénique spontanée incontrôlée à l'étape de bioconversion-fermentation. Elle traduit le degré de non solubilité des matières organiques totales telles que les sucres résiduels non fermentés et des particules en suspension dans le liquide.

Le pH de la boisson est compris entre 3,4 et 3,5. Cette acidité provient de grandes activités des microorganismes: levures et bactéries lactiques pendant la fermentation spontanée incontrôlée. Il est aussi dû à la nature qualitative et quantitative des matières premières utilisées et aux paramètres technologiques tels que la température, la durée de la bioconversion et fermentation combinées, comme rapporté par N'Tcha et al [16]. Ourega et al. avaient montré que les fortes acidités observées au niveau des bières 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 [17]. Les résultats des analyses physicochimiques de Kwete, une boisson traditionnelle

ougandaise fermentée à température ambiante préparée à partir de grains de maïs mais parfois mélangée avec des grains de mil avait donné un pH de  $3,35 \pm 0,09$  [18].

La turbidité comprise entre 3,71 à 46,70 NTU est représentative de la transparence de Lotoko et peut être affectée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales dans le Lotoko. La grande variabilité de la turbidité est liée au mode de chauffage artisanale de l'alambic et à la régulation manuelle des températures d'ébullition et de distillation. En effet, l'intensité du foyer de feu exige une surveillance permanente d'autant plus que la source de chaleur n'est pas régulée automatiquement. Cette surveillance de la distillation étant manuelle, en d'autres termes liée à l'attention de l'opérateur, une moindre distraction de ce dernier dans la régulation des températures entraîne un écoulement d'une infime partie de la purée fermentée dans la boisson finale; ce qui augmente la turbidité par toutes les matières en suspension laissées passer par inadvertance. Notons que l'unité de production PE (Unité de production 5) était le plus distrait lors de la distillation car il a les turbidités plus élevées que tous les autres. La turbidité des boissons alcoolisées traditionnelles distillées non enregistrées n'est pas suffisamment documentée.

Les dosages des éléments traces métalliques dans le Lotoko revêt toute son importance. En effet, ces ETM (fer, cuivre et plomb) comprennent d'une part les substances importantes pour la santé de l'homme et d'autre part des matières cancérogènes. Le fer est en faible concentration dans le Lotoko de toutes les unités de productions allant de 0,04 à 0,18 mg/l pour une norme de 2,00 mg/l. Il est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. On le trouve dans les eaux douces naturelles à des teneurs allant de 0,5 à 50,0 mg/l. Le fer peut également être présent dans l'eau potable en raison de l'utilisation de coagulants à base de fer ou de la corrosion des conduites en acier et en fonte lors de la distribution de l'eau [19]. Le teneur en cuivre est inférieur à 0,01 mg/l dans toutes les unités de productions et de loin inférieur aux spécifications de 2 mg/l, à l'instar du taux obtenu dans le "Cuxa" clandestin au Maya (Guatemala) où cette dose est inférieure aux taux de  $1,03 \pm 1,45$  [15]. Sur les quinze unités de productions enquêtées, trois échantillons contenaient le plomb mais un seul a une proportion à la limite des spécifications, soit 0,2 µg/l. Le plomb est rarement présent dans l'eau du robinet que les unités de productions de Lotoko utilisent en raison de sa dissolution à partir de sources naturelles; toutefois, sa présence peut résulter principalement des systèmes de plomberie domestiques contenant du plomb dans les tuyaux, les soudures, les raccords ou les branchements aux habitations [19]. L'utilisation de fûts usagés de pétrole de récupération en métal et d'autres matériaux, non destinés initialement à entrer en contact avec des produits alimentaires, peut aussi constituer une source de contamination des préparations des boissons traditionnelles. Ceci a été observé par Lachenmeier et al. lors de la distillation de Cuxa, un alcool artisanal distillé à base de canne à sucre au Guatemala, dans lequel le cuivre a été détecté dans la majorité des échantillons étudiés [15].

La comparaison des valeurs de décision ou p-value de différents paramètres physicochimiques et des ETM, au seuil de signification de 5 %, fait ressortir dans l'ensemble deux procédures ou catégories de résultats de préparation:

- Catégorie I: Dans ce groupe, les densités spécifiques de différentes préparations de Lotoko ont des valeurs moyennes statistiquement identiques (avec de p-value 0,39 et 0,50) chez tous les producteurs, dans toutes les productions et en tenant compte des toutes les interactions producteurs-productions
- Catégorie II: Dans ce groupe, les paramètres ont des valeurs moyennes statistiquement différentes (p-value de 0,00) chez tous les producteurs, dans toutes les productions et en tenant compte de l'interaction producteurs-productions. Il s'agit de la teneur en alcool, du pH, de la turbidité, de la teneur en fer, en cuivre et en plomb

Il ressort de ces deux catégories qu'il y a variabilité des caractéristiques physico-chimiques et de teneur des éléments traces métalliques dans l'élaboration qui conduit aux produits finis Lotoko échantillonnés.

Les différentes catégorisations qui se sont révélées à la lumière des analyses statistiques peuvent s'expliquer par le fait que l'élaboration de Lotoko se déroule d'une manière artisanale et empirique par la fermentation spontanée et non contrôlée. Ces résultats issus de l'analyse de la variance et la comparaison des valeurs de p-value démontrent qu'en dépit du protocole routinier mis en œuvre par les unités de production, il existe plusieurs contraintes technologiques que ces derniers rencontrent durant leurs préparations. Comme il avait constaté, à l'instar du brassage qui se déroule dans les conditions ambiantes sans contrôle technologique, la purée est fermentée d'une manière spontanée et incontrôlée avec comme conséquence la présence de beaucoup d'extraits fermentescibles récupérables et non récupérables. C'est ce qui explique que tous les tests d'iode sont négatifs durant le processus de production. Il y a aussi le fait que les densités du début et de fin fermentation sont très élevées et, par conséquent les atténuations apparentes et réelles faibles. Il y a lieu de noter que la densité spécifique d'un moût ou d'une purée à la fin fermentation dépend d'une manière générale de la qualité de la matière première, de la répartition granulométrique de la mouture, de conditions technologiques brassicoles à savoir temps, température et pH, de la vigueur de malaxage, ainsi que des paramètres de fermentations telles que la température et la population levurienne [20], [21]. Tous ces paramètres ne sont pas contrôlés dans l'élaboration artisanale de Lotoko.

Les connaissances sur l'ACP des boissons alcoolisées traditionnelles distillées n'étant pas suffisamment documentée, il est difficile de d'enrichir les discussions. Toutefois, quelques points ont été notés.

Dans la caractérisation physico-chimique et microbiologique de Kpètè-Kpètè, un ferment des bières traditionnelles produites au Bénin, trois axes ont été aussi considérés pour l'interprétation des résultats avec 86,80 % [16].

Dans l'axe 1, la turbidité et le pH sont liées par le mode de procédé de surveillance manuelle de la distillation qui peut laisser passer une infime partie de purée fermentée. Le fer, par son abondance dans la croute terrestre et par sa présence fort probable dans l'eau de ville (WHO, 2006) utilisée par les brasseuses, se concentre aussi sur le premier axe.

Par la conversion de l'amidon de manioc et de maïs en sucres fermentescibles et non fermentescibles ainsi que la fermentation spontanée non contrôlée combinées dans un même vaisseau, la densité se retrouve dans l'axe 2 car beaucoup d'extraits restent dans la purée de Lotoko en fin fermentation.

Tous les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques aux différentes étapes de la fabrication de Lotoko ont des valeurs qui sont proches avec des petits écarts justifiés, insinuant que les acteurs de ces distilleries traditionnelles utilisent tous presque le même mode opératoire pour l'élaboration de leurs Lotoko. Les principales limitations des procédés de fermentation spontanée comprennent leur inefficacité, les faibles rendements de produit et la qualité variable du produit. Alors que les fermentations spontanées améliorent généralement la sécurité des aliments en raison d'une réduction du pH et par la détoxification, dans certains cas, il existe des problèmes de sécurité liés aux pathogènes bactériens associés à la matière première ou aux pratiques non hygiéniques pendant le traitement [22]. Pour ce qui est de la législation nationale sur les boissons alcoolisées, les boissons traditionnelles distillées, dont le Lotoko qui est le plus célèbre à Kinshasa, se pratiquent en dehors des circuits officiels sous contrôle gouvernemental. Elles sont classées parmi les boissons non enregistrées [23]. Même si elles échappent totalement à la réglementation nationale, elles sont produites, commercialisées et consommées d'une manière officieuse clandestinement. Comme de nombreux systèmes informels, l'élaboration de Lotoko existe depuis plusieurs décennies et est non seulement intimement liée à la culture communautaire, mais aussi à l'économie, source d'emploi et de finance pour les familles des producteurs dont la plupart sont des femmes. Il fournit une alternative abordable à l'alcool commercial industrialisé. La production de l'alcool artisanal distillé Cuxa à base de canne à sucre produit au Guatemala n'était ni réglementée et ni formalisée [15]. Par contre la production de la boisson traditionnelle distillée Akpeteshie a été légalisée par le gouvernement de la première République du Ghana car elle n'était pas autorisée à être produite par l'administration coloniale de l'époque, d'autant plus que les spiritueux pouvaient contenir des composants alcooliques toxiques en raison du manque de connaissances scientifiques. Cette autorisation de production étant donnée, les brasseurs d'Akpeteshie se sont organisés en coopératives pour fournir cette boisson aux "State Distilleries" et "The West African Distilleries Ltd" qui l'utilisent comme matière première pour la fabrication du Ghanas Gin et du Kantamanto Gin [24]. Le monde scientifique congolais devrait aussi mener des études sur l'identification de différentes boissons alcoolisées produites et consommées sur l'ensemble du territoire national et mettre au point les standards de qualité physico-chimiques et microbiologiques ainsi que des ETM des boissons alcoolisées afin de pousser l'autorité étatique congolaise de s'inspirer des outils internationaux, notamment les plans OMS/FAO, pour actualiser les textes législatifs et normatifs existants afin de libéraliser la production, la commercialisation et la consommation des boissons produites localement [25].

## 5 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de contribuer à l'application de l'Analyse de la Variance (ANOVA) et de l'analyse en composante Principales (ACP) pour l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et des éléments traces métalliques (ETM) de Lotoko produit, commercialisé et vendu à Kinshasa. Des résultats obtenus, il ressort que la qualité de Lotoko est loin d'être standard pour toutes les unités de production du point de vue paramètres physicochimiques et présence des éléments traces métalliques; cette qualité varie dans l'unité de production et entre les unités de production; les teneurs des éléments traces métalliques détectés: le fer, le cuivre et le plomb révèlent qu'ils ne constituent pas un danger pour les consommateurs de Lotoko. De ce qui précède, l'hypothèse émise, selon laquelle le processus de l'élaboration de Lotoko est tributaire des conditions technologiques qui conduisent à l'obtention d'un produit, Lotoko, qui n'a pas les mêmes caractéristiques physicochimiques, est confirmée. Que des investigations soient menées dans le temps et l'espace pour mettre en évidence la présence d'autres métabolites à l'instar des autres alcools (comme le méthanol, le propanol, l'isobutanol par exemple) et des acétaldéhydes, afin de permettre de prendre des mesures spécifiques pour l'innocuité de la boisson dans le but d'améliorer la sûreté, la qualité et la sécurité de la production traditionnelle de Lotoko et surtout pour une voie vers une application industrielle.

## REFERENCES

- [1] A. Heutz de Lemp. *Boissons et civilisations en Afrique*. Presses Universitaires de Bordeaux. Université Michel de Montaigne-Bordeaux 3. Domaine Universitaire. 33607 PESSAC CEDEX – France, Page 475, 2001.
- [2] P. Diakabana, M.G. Dzondo, J.E. Moussounga, A.W.G. Sompila, M.A.B. Madiélé, L. Messo, S.C. Kobawila et D. Louembé. 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*. ISSN: 2319-7706 Volume 6 Number 11 (2017) pp. 3541-3551, 2017.
- [3] P. Diakabana, J.Dhellot, B.S. Dinga, S.C. Kobawila et D. Louembé. *Evaluation of the traditional technology of production of lungwila, a wine of sugarcane of Congo*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4), 1557-1569, 2014.

- [4] S.S. Habamubgu, M. Kazadi et K.M. Kafumba. Evaluation chimique et microbiologique des boissons locales nouvellement introduites et produites par la population du Sud-Kivu: cas des groupements de Katana et Bugorhe. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 8 No. pp. 736-742, 2014.
- [5] W.B.E. Tabu et 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), 94-105, 2020.
- [6] OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale). Alcoomètres et aéromètres pour alcool et thermomètres utilisées en alcoométrie, 2021. [En ligne] Disponibilité: [https://www.oiml.org/fr/files/pdf\\_r/r044-f85.pdf](https://www.oiml.org/fr/files/pdf_r/r044-f85.pdf) (le 31/03/2022).
- [7] OIV (Organisation intergouvernementale de la vigne et du Vin) *Recueil des Méthodes d'Analyse des Boissons Spiritueuses d'Origine Vitivinicole*, 2022. [En ligne] Disponible: <https://www.oiv.int/fr/standards/recueil-des-methodes-d%E2%80%99analyse-des-boissons-spiritueuses-d%E2%80%99origine-vitivinicole> (le 19/07/2022).
- [8] R. Payne. *Anova and design*. Genstat. 21ème Edition. VSN International. United Kingdom, 2020. [En ligne] Disponible: <https://genstat.kb.vsnl.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/AnovaGuide.pdf> (05/11/2021).
- [9] A. Kassambara. *Méthodes des Composantes Principales dans R: Guide Pratique*, 2007. [En ligne] Disponible: <http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-r-guide-pratique/73-acp-analyse-en-composantes-principales-avec-r-l-essentiel/> (08/04/2022).
- [10] P-L. Gonzalez. *L'analyse en composantes principales (A.C.P.)*, 2018. [En ligne] Disponible: <https://maths.cnam.fr/IMG/pdf/A-C-P.pdf> (30/12/2019).
- [11] European Council, 1998.
- [12] WHO, *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*, 2017. [En ligne] Disponible: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf> (15/11/2021).
- [13] P. Neyrat. *Boissons alcoolisées distillées*. 2008. [En ligne] Disponible: <https://www.e-sante.fr/boissons-alcoolisees-distillees/guide/1571> (18/11/2021).
- [14] B. Brands, S.E. Obiora, J. Rehm et D.W. Lachenmeier. *Composition of surrogate alcohol from South-Eastern Nigeria*. *African Journal of Drug & Alcohol Studies*, 6 (2), 2007.
- [15] D.W. Lachenmeier, F. Kanteres et J. Rehm. Artisanal alcohol production in Mayan Guatemala: Chemical safety evaluation with special regard to acetaldehyde. *Science of the Total Environment* 407 5861-5868, 2009.
- [16] C. N'Tcha, G. Vieirap-Dalogue, B.P. Agbobatinkpo, A.P. Kayode, A.D. Adeyeni, J.T.C. Codjia, et L. Baba-Moussa. *Caractérisation physico-chimique et microbiologique du Kpètè-Kpètè, un ferment des bières traditionnelles produites au Bénin*. *Annales des sciences agronomiques* 19 (2) volume spécial: 69-88, 2015.
- [17] D.A. Ourega, L.B. Koffi, K.F. N'Guessani, G.J. Nemlin, K. Tano, et K.M. Dje. et al.,. 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). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol. 10 No. 2, pp. 666-677, 2015.
- [18] C.M.B.K. Muyanja et B.S. Namugumya. Traditional processing, microbiological, physiochemical and sensory characteristics of Kwete, a Ugandan fermented maize-based beverage. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, Volume 9 No. 4, 2009.
- [19] WHO (World Health Organization). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*, 2017. [En ligne] Disponible: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf> (15/11/2021).
- [20] W. Kunze. *Technology Brewing and Malting*, 6th English edition. VLB Berlin, 2019.
- [21] R. Willaert. *The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation*, Dans: Y. H. Hui (Editor), *Handbook of Food Products Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada pp.443 – 506, 2006.
- [22] P. Muredzi. *Use of Biotechnology in Traditionally Fermented African Foods*. School of Industrial Sciences and Technology Harare Institute of Technology, Ganges Rd, Belvedere, 2014.
- [23] H.D. Zakpa, E.E. Mak-Mensah. et O.A. Avio. *Effect of storage conditions on the shelf life of locally distilled liquor (Akpateshie)*. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9 (10), pp. 1499-1509, 8 March, 2010.
- [24] WHO (World Health Organization). *Global status report on alcohol and health*, 2014. [En ligne] Disponible [https://www.who.int/iris/bitstream/10665/112736/1/9789240692763\\_eng.pdf](https://www.who.int/iris/bitstream/10665/112736/1/9789240692763_eng.pdf) (01/07/2019).
- [25] W.B.E. Tabu et 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), 94-105, 2020.