



Conception, et prototypage du Bill-Cook 200 GM un biofermenteur pour la production de la bière de sorgho (*bil-bil*)

DJOULDE DARMAN Roger ^{1*}, WOUWE Dieudonné ²

¹*Institut Universitaire de Technologie (IUT) Université de Ngaoundere BP. 455 Ngaoundere Cameroun

² École Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua BP : 46 Maroua

*Auteur correspondant : djoulde@gmail.com

Submitted on 13th August 2021. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st October 2021
<https://doi.org/10.35759/JABs.166.9>

RESUME

Objectifs : Ce travail a pour objectif de standardiser et semi automatiser le système de production de la bière de sorgho et d'alléger la tâche des productrices.

Méthodologie et résultats : Dans une première partie un diagnostic du procédé artisanal de fabrication de *bil-bil* a été effectué afin d'identifier les causes responsables de la pénibilité du travail et de la mauvaise qualité de cette boisson. La deuxième partie a consisté à proposer des améliorations au niveau des ustensiles utilisées pour automatiser à moitié le procédé et ainsi alléger le travail. Quatre points critiques ont été identifiés par les productrices : le matériel, les méthodes de production, le milieu et la main d'œuvre. Ainsi pour tenter de résoudre ces problèmes mentionnés, un prototype de bi fermenteur (Bill Cook 200GM) a été conçu, dimensionné puis matérialisé.

Conclusions et application des résultats : Ce bioréacteur a permis d'améliorer les conditions de production de la bière artisanale et réduire la pénibilité du travail chez les productrices. Les améliorations introduites ont concernés deux opérations unitaires sur les quatre points critiques relevés : la cuisson et la fermentation. On a comme corolaire une amélioration de la qualité du produit fini (*bil-bil*). On peut ainsi entrevoir une production de bière artisanale à plus grande échelle en passant à un système de production semi-industriel.

Mots clés : Bière, sorgho, biofermenteur, prototype, procédés, fermentation, cuisson.

Design, and prototyping of Bill Cook 200 GM a biofermentor for the production of sorghum beer (*bil-bil*)

ABSTRACT

Objective: The objective of this work is to standardize and semi-automate the sorghum beer production system and to lighten the workload of artisanal brewers.

Methodology and Results: In a first part, a diagnosis of the artisanal process of bil-bil manufacturing was carried out in order to identify the causes responsible for the laboriousness of the work and the bad quality of this drink. The second part consisted in proposing improvements in the utensils used to automate half of the process and thus lighten the work. The producers identified four critical points: the material, the production methods, the environment and the

workforce. In an attempt to solve these problems, a prototype of a bi-fermenter (Bill Cook 200GM) was designed, dimensioned and materialized.

Conclusion and application of results: This bioreactor has made it possible to improve the conditions of production of craft beer and to reduce the workload of the producers. The improvements introduced concerned two unitary operations out of the four critical points identified: cooking and fermentation. As a result, there is an improvement in the quality of the finished product (*bil-bil*). There will be a production of craft beer on a larger scale by moving to a semi-industrial production system.

Keywords: sorghum, biofermentor, *bil-bil*, design, prototype, processes, fermentation, cooking.

INTRODUCTION

Le sorgho (*Sorghum bicolor*. (L.) Moench) est une source importante de nourriture notamment d'énergie alimentaire dans la partie septentrionale du Cameroun (Chevassus., *et al.*, 1979 ; Zangué *et al.*, 2013) avec une production annuelle de 680 000 tonnes (Mathieu, 2002). Au Cameroun et à comme dans les pays de la sous-région, le sorgho sert à la production d'une bière traditionnelle appelée « bil-bil » (Touwang *et al.*, 2018). En 2001 jusqu'à nos jours le rendement de production journalier est estimée à 100 litres et plus de bière par batch de production pour 40 kg de sorgho (Moity-Maïzi, 2001, Mathieu, 2002). Cette bière est largement consommée et contribue significativement à l'alimentation des populations (Roger *et al.*, 2013). Elle représente sur le plan socio-économique une plus-value d'autant plus qu'elle est très prisée pour cérémonies traditionnelles (Mathieu, 2002 ; Tourneu, 2013). La bière de sorgho participe à l'autonomie financière des femmes (Koulandi, 1999). Considérant sa place prépondérante pour le marché, l'amélioration

de la qualité et la quantité du *bil-bil* serait une activité génératrice de revenus supplémentaires et gagnerait des parts inestimables des marchés des bières importées (Djitog, *et al.*, 2002). D'où la nécessité d'améliorer son procédé de production. Si des propositions d'amélioration boostées par des études scientifiques sont disponibles (Roger *et al.*, 2013 ; Bayoi *et al.*, 2016, Touwan *et al.*, 2018) aucune activité de recherche développement ne s'est penché sur l'amélioration des équipements de production. En effet, la réalisation des équipements plus adaptés afin de réduire la pénibilité du travail et essayer de standardiser le procédé de production artisanal de « *bil-bil* » pourrait booster. L'objectif de ce travail est de concevoir, dimensionner et réaliser un prototype de bioréacteur dans l'optique de contribuer à stabiliser la bière de sorgho et réduire la pénibilité du travail des productrices impliquées dans cette activité de production de « *bil-bil* ».

MATERIEL ET METHODES

Schéma général de la conception : La méthodologie employée pour mener à bien ce travail qui porte sur la conception, et la

réalisation du Bill-Cook 200 GM un prototype de biofermenteur pour la production de la bière de sorgho (*bil-bil*) est résumée dans la figure 1.

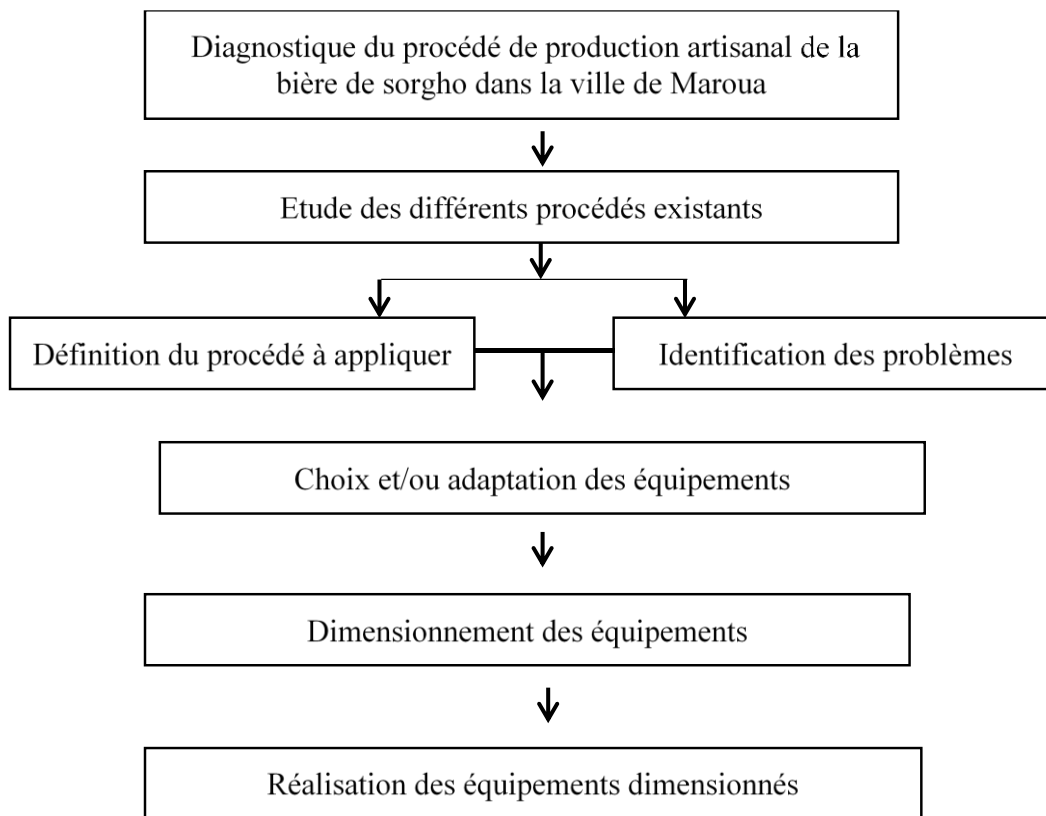


Figure 1 : Diagramme descriptif de la méthodologie employée

Diagnostic du procédé de production de *bil-bil* : Pour atteindre cet objectif une enquête a été réalisée auprès d'une quarantaine de productrices de la bière de sorgho (*bil-bil*) dans quatre quartiers de la ville de Maroua au Nord Cameroun zone de grandes productions de la bière de sorgho. En effet, d'après Seignobos (2002), ces secteurs regroupent le plus grand nombre de populations non islamisées d'autant plus que ce sont-elles qui produisent cette bière et fonctionnent au rythme des marchés hebdomadaires.

Identification des problèmes rencontrés lors de la production artisanale du *bil-bil* : Cette étape a consisté à identifier les problèmes les plus importants dans le procédé production artisanal de la bière de sorgho dans la ville de Maroua et aussi identifier toutes les causes possibles des problèmes puis intervenir en priorité par la réalisation du biofermenteur. Les outils de la qualité qui ont été utilisés pour atteindre cet objectif sont le diagramme

d'Ishikawa et Brainstorming (Stefanovic *et al.*, 2014).

Choix et adaptation des équipements : Pour chaque opération unitaire, il existe une multitude d'équipements capable de réaliser l'opération. Le choix a consisté à déterminer pour chaque opération l'équipement adéquat en tenant compte de sa performance, son coût, le niveau de sa technologie (facile à réaliser), l'encombrement. L'adaptation intervient quand il faut modifier une partie de l'équipement (ou l'ensemble) pour des raisons citées précédemment.

Calcul et dimensionnement des équipements : Le dimensionnement des équipements s'est fait en suivant deux étapes du procédé de production de « *bil-bil* » (cuisson et fermentation). Chaque équipement est divisé en ses différentes composantes et chaque composante fait l'objet d'un dimensionnement. Les formules mathématiques utilisées sont pour la plupart

des formules théoriques et empiriques obtenues selon Psimon et Meunier., 1976, Roustan *et al.*, 2009, Sinnot, 2005 et Aiba *et al.*, 1977.

Calcul et dimensionnement de la Cuve de fermentation : C'est le dispositif dans lequel se déroule la transformation des sucres en éthanol et CO₂. Il doit donc être muni de tous les accessoires utiles pour garantir cette réaction. Il s'agit :

D'un système d'agitation ;

D'un système de refroidissement.

Le dimensionnement de cette cuve consiste à déterminer le volume, le diamètre, et la hauteur de la cuve. Le volume est déterminé à partir du volume de produit à traiter.

Détermination du volume total de la cuve (Vt) : Il a été déterminé de façon empirique en tenant compte de deux paramètres :

- Le volume unitaire de produit à fermenter (Vp = 150 L = 0.15 m³)
- Le taux de remplissage de la cuve (3/4 du volume de la cuve)

$$Vt = \frac{4}{3} Vp$$

Avec VP : volume du produit ; Vt : volume total de la cuve.

Détermination du diamètre et la hauteur de la cuve : Le volume totale de la cuve a été déterminé par la relation $Vt = \pi R^2 H$ et comme, un fermenteur classique est généralement une cuve cylindrique fermée et dont le rapport hauteur /diamètre varie entre deux et cinq ; ainsi on pose H / D = 2 d'où :

$$Vt = \frac{\pi}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^2 H$$

Détermination Hauteur réelle de la cuve réaction permettant d'estimer la capacité nette réactive du fermenteur : La hauteur réelle de la cuve réaction permettant d'estimer la capacité nette réactive du fermenteur est donnée par la relation :

$$H^? = \frac{VP}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Détermination de h différence entre la hauteur maximale du liquide le couvercle du fermenteur : Elle représente la distance de

sécurité (h) à respecter pour éviter les phénomènes de débordement susceptibles d'entraîner une contamination du moût ou un déversement accidentel du moût or en connaissant la hauteur maximal. La hauteur de sécurité h peut alors être déterminée par différence, par la relation :

$$H = H^? + h$$

Détermination du volume de pied de cuve (V1) et volume sécurité (V3) : Volume du pied de cuve permettant de réensemencer une nouvelle production sans apport à nouveau d'inoculum. Représente le volume de garde du ferment il est donné par la relation suivante :

$$V_1 = \frac{\pi}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^2 h$$

Le volume de sécurité (V3) peut donc ainsi être déterminé par différence car $Vt = Vp + V3 + V1$

Calcul et dimensionnement de la double enveloppe du fermenteur : Dimensionner la double enveloppe revient à déterminer :

- Sa surface d'échange qui permettra de trouver l'espace entre la paroi du fermenteur et la double enveloppe,
- la chaleur à fournir pour le refroidissement du moût,
- le débit de circulation du fluide de refroidissement, et la vitesse de l'eau froide dans la double enveloppe.
- Son coefficient d'échange global.

Détermination de la surface d'échange (S) :

La surface d'échange de la double enveloppe pour les fermenteurs à volume supérieur à 35m³ est de 1,5 m² par 1 m³ et de 2,5 m² pour les volumes inférieurs. Comme la cuve à dimensionner a un volume inférieur à 35 m³, alors la surface d'échange a été déterminée par la relation suivante :

$$S = Vt \times 2,5 \text{ (Trambouze, 2005)}$$

La double paroi prise dans son ensemble peut être assimilable à un cylindre (comme la cuve elle-même). Alors connaissant sa surface d'échange avec la paroi de la cuve, l'épaisseur

(E) qui la sépare est donné par la relation suivante : $S = 2\pi \times E \times H$

Détermination de la quantité de chaleur à fournir pour refroidir de 100° à 25°C : La quantité de chaleur à fournir pour refroidir de 100° à 25°C sera déterminée par la formule :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta\theta$$

Avec :

m : masse du liquide à fermenter

ρ = masse volumique du moût (1050kg/m³)

C_p = capacité calorifique du moût (assimilée à celle de l'eau 4,18kJ/kg. K)

La puissance nécessaire au refroidissement sera donc : $P = Q / t$

Le débit de circulation du fluide de refroidissement (l'eau glycolée ou l'eau simple) dans la double enveloppe est donné par la relation suivante :

$$Q_e = \frac{P}{C_{pe}(T_{2e} - T_{1e})}$$

T_{1e} : température d'entrée de l'eau simple dans la double enveloppe (10°C)

T_{2e} : température du milieu à refroidir (100°C)

C_{pe} : chaleur massique de l'eau (4180 J/Kg°C)

La vitesse de l'eau froide dans la double enveloppe sera donc donnée d'après la réaction :

$$V_e = Q_e / \rho \cdot S$$

Le dispositif d'agitation : L'agitation du produit se fera par le gaz carbonique (CO₂) produit pendant la fermentation qui se chargera pendant sa remontée d'agiter le système.

Dimensionnement du dispositif d'aération : Les dispositifs d'aération utilisés sont constitués dans la majorité des cas par un disque ou une couronne circulaire munie de trous dans sa partie supérieure et les petits réacteurs sont en général munis d'un trou dont le diamètre varie entre 1 à 3mm. Pour ce cas le dispositif d'aération sera constitué d'un trou de 2 mm.

Calcul et dimensionnement du Cuiseur : La cuisson de moût de la bière de sorgho se fera dans une cuve fermée munie d'un agitateur. La cuisson de ce moût se fera à 100 °C pendant 3 heures.

Cuve

Détermination du volume total de la cuve (V_t) : En tenant compte du volume du produit a fermenté le volume total du cuiseur a été fixé à 160 litres soit 0,16 m³.

Détermination du diamètre et la hauteur de la cuve

Le volume totale de la cuve est donné par la relation $V_t = \pi R^2 H$ on aura donc :

$$V_t = H \times \pi D^2 / 4$$

Avec : D = diamètre de la cuve ; H = hauteur de la cuve.

Dimensionnement du dispositif d'agitation du cuiseur : L'agitation a pour but d'homogénéiser la température du milieu de cuisson et d'accélérer les vitesses de contact entre les différents phases c'est-à-dire, phase liquide, et phase solide.

Dimensionnement de l'agitateur : Le système d'agitation se compose des mobiles d'agitation, d'un arbre manuel.

Dimensionnement du mobile d'agitation : La détermination des dimensions du mobile d'agitation passe d'abord par le choix du mobile. Afin de favoriser l'échauffement, le mécanisme d'agitation se situe dans le réservoir du cuiseur. Ainsi pour cette conception le type d'agitateur choisi est une turbine à 4 pales inclinées à 45°, comme l'illustre la figure 16. C'est un mobile mixte de conception simple. Ses caractéristiques sont les suivantes : Écoulement radial/axial ; $D/T = 0,2$ à $0,6$; $V_p = 1$ à 6 ; $N_{qp} = 0,8$; $N_p = 1,5$.

D'après les travaux de RUSHTON une cuve agitée est dimensionnée en tenant compte des relations suivantes :

- Diamètre du mobile d'agitation : $d = D/3$
- Hauteur du mobile par rapport au fond de la cuve : $Y = d = D/3$
- Longueur des pâles : $L = d/4$
- Hauteur des pales : $w = d/5$
- Chicane (collées à la paroi) de largeur $b = D/10$

Dimensions de l'arbre d'agitation : Le dimensionnement est basé sur la détermination de :

- la vitesse de rotation
- la puissance nécessaire à son entrainement
- diamètre de l'arbre qui porte les mobiles.

Détermination de la vitesse de rotation : La vitesse de rotation est déterminée à partir de la formule du nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\rho D^2 N}{\mu} \Rightarrow N = \frac{Re \mu}{\rho D^2}$$

Avec $\mu=50$ mPa.s ; **D** : diamètre de la cuve
 Connaissant le type de mobile d'agitation, on peut fixer le nombre de Reynolds en fonction du nombre de puissance du mobile et du type de débit qu'il soit axial ou radial.

Et sachant que pour les mobiles de débit à type (Roustan *et al.*, 2005) :

- axial Re est inférieur de 10^4
- radial Re est supérieur de 10^5

Comme nous somme en débit mixte radial/axial le nombre de Reynolds Re a été fixé à 10^4

Détermination de la puissance de l'agitateur : La puissance de l'agitateur est donnée par la relation :

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} \quad (\text{Sinnot, 2005})$$

Avec :

N_p = nombre de puissance

P = puissance de l'agitateur (W)

P = masse volumique du fluide (kg/m³)

N = vitesse de rotation de l'agitateur (tr/s)

La vitesse périphérique (V_p) du mobile d'agitation (en m.s⁻¹) se calcule grâce à la formule suivante :

$$V_p = \pi N d$$

Détermination du moment de torsion de l'arbre d'agitation : Dimensionner un arbre d'agitation revient à déterminer son diamètre, en supposant l'arbre en torsion ou en flexion. Dans ce cas on considère que l'arbre est en torsion avec un coefficient de sécurité de 1,2.

$$\left(\frac{Mt}{\frac{\pi}{16} \times Ta} \right)^{\frac{1}{3}}$$

D'où le moment de torsion se calcule par la relation suivante :

$$Mt = \frac{p}{2\pi N}$$

Avec **Mt** : moment de torsion **Ta** : contrainte admissible de torsion

Détermination du temps de réaction : Connaissant la vitesse de rotation, on peut déterminer le temps de réaction d'après la formule :

$$Tr = (Ntr / N)$$

Avec :

N : la vitesse de rotation (tours par seconde)

Tr : temps de réaction exprimé (secondes).

Ntr : une valeur expérimentale de la fréquence de rotation pour les régimes turbulents obtenue par la relation :

$$Ntr = 16,9 (D / d)^{1,67} (H / D)^{0,5}$$

Dispositifs de régulation et de contrôle : Les paramètres fermentaires seront mesurés à l'aide de sondes et une fois les paramètres mesurées, elles doivent être régulées c'est à dire maintenues en des valeurs tel que l'écart entre les valeurs mesurées et les valeurs réels soient nulles. Les paramètres qui doivent être contrôlés et régulés sont : Température ; aération/agitation ; pH ; PCO₂ ; anti-mousse.

Dispositifs nécessaires pour la régulation

- sonde des températures ou capteurs de température (thermomètres à mercure) pour le contrôle de la température du moût ;
- double paroi du fermenteur pour régulé le refroidissent du moût ;
- des substances anti mousses comme les huiles naturelles, pour le contrôle de la mousse ;
- manomètre pour le contrôle de la PCO₂.

Calculs, Dessins et Analyses statistiques : Microsoft Excel 2010 a permis d'effectuer les opérations mathématiques et les calculs.

- Le Logiciel Autocad 2013 a permis de dessiner et représenter les dimensions du bioréacteur ;
- Logiciel SPSS 20.0 a permis de faire la collecte des réponses, d'analyser et traiter

les données recueillis pendant les enquêtes. Les résultats sont exprimés en pourcentage.

RESULTATS

Identification des causes de difficultés rencontrées dans le procédé artisanal de production de *bil-bil* : Le digramme d'Ishikawa et le brainstorming (Stefanovic *et al.*, 2014) ont permis de faire ressortir les différentes causes de difficultés rencontrées dans le procédé artisanal de production de *bil-bil*. Il en ressort quatre sources possibles responsables à savoir : le matériel, le milieu de

travail, la main d'œuvre, et les méthodes de production. Le diagramme d'Ishikawa de la figure 3 résume les sources probables de difficultés rencontrées dans le procédé artisanal de production de la bière de sorgho responsable de la pénibilité de travail dans le procédé de production et de la mauvaise qualité de cette boisson.

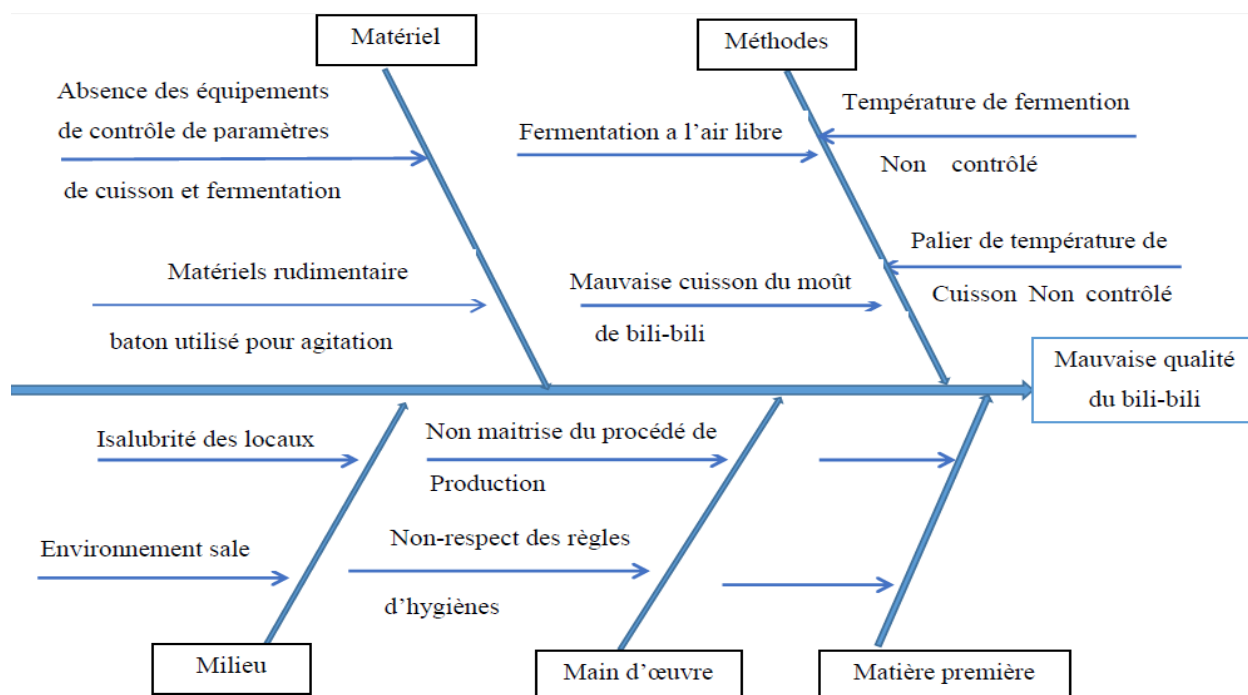


Figure 3 : Diagramme d'Ishikawa des causes responsables de difficultés rencontrées dans le procédé artisanal de production de la bière de sorgho.

Matériel : Les résultats du diagnostic montrent que le type de matériel utilisé lors de la production artisanale de la bière de sorgho (*bil-bil*) est rudimentaire. La figure 4 dont les données brutes sont consignées en annexe 6 révèlent que 62,5% des productrices utilisent

le matériel rudimentaire contre 37,5% qui utilisent le matériel amélioré ceci explique le fait que production du *bil-bil* est resté strictement artisanale au fil du temps, et aussi le fait de la non disponibilité du matériel plus adapté pour la production de cette boisson.

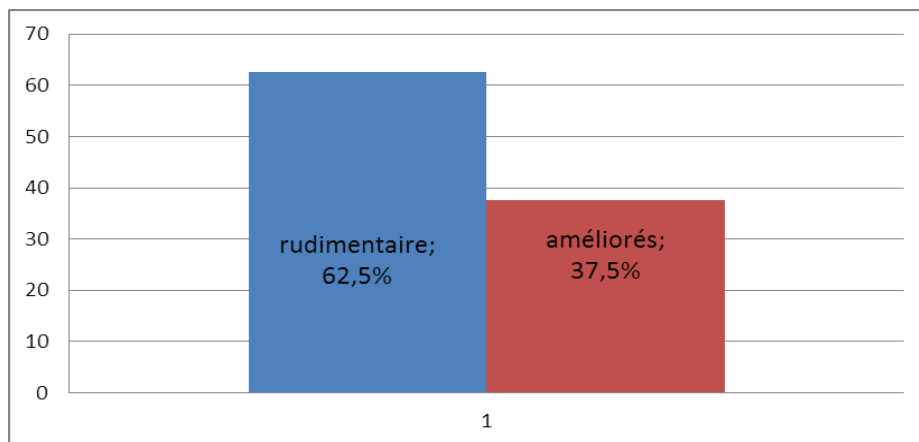


Figure 4 : Types de matériels utilisés par les productrices de *bil-bil*

En effet dans le procédé traditionnel de production de *bil-bil* il y a un manque crucial d'équipements de mesure de précision et contrôle des paramètres optimaux des opérations unitaires de cuisson et fermentation. Il a été constaté que lors de la production du *bil-bil* les brasseuses utilisent un bâton pour l'agitation du moût et des canaris pour la cuisson et fermentation. Ces outils sont parfois source de contamination du moût de *bil-bil*. Pour donc apporter une solution à ce problème un dispositif d'agitation aseptique a été conçu

et matérialisé. De même lors de la cuisson du moût le dispositif de chauffage et d'agitation ne permettent pas une bonne dispersion de la chaleur à l'intérieur de la cuve de cuisson d'où la température n'est pas homogène dans l'enceinte. Ceci est dû à l'effet "vortex" observé lors de l'agitation du moût. Pour remédier à ce problème une cuve cuisson muni des contre pales a été conçu et réaliser afin d'éviter l'effet "vortex". La planche 1 suivante montre le matériel utilisé dans la production artisanale de la bière de sorgho.



a)- Foyer traditionnel de cuisson du moût de *bil-bil*



b)- bâton d'agitation du moût de *bil-bil*



c)-canari de fermentation du moût de *bil-bil*

Planche 1 : ustensiles utilisés pour la production artisanale du *bil-bil*, clichés.

Méthodes de production du *bil-bil* : Les résultats du diagnostic de la méthode de production du *bil-bil* ont permis d'identifier deux opérations unitaires responsables de la pénibilité de travail et de la variabilité des caractéristiques physico-chimiques lors des différentes productions de cette boisson. Ces deux opérations sont la cuisson et la fermentation. Les résultats de la figure 5 révèlent que 52,5% des productrices rencontrent des difficultés au niveau de la cuisson du moût, 15% au niveau de la fermentation, 30% au niveau de la

fermentation et la cuisson. En effet dans la méthode traditionnelle de cuisson du moût de *bil-bil* les paliers de températures de cuisson ne sont pas respectés ce qui fait que la température du moût pendant la cuisson n'est pas homogène dans le fond de la cuve de cuisson et ses périphéries provoquant parfois la caramélisation des sucres du moût de *bil-bil*. Ce phénomène de caramélisation des sucres du moût peut être responsable de la variabilité des caractéristiques organoleptiques et technologiques du moût de *bil-bil*.

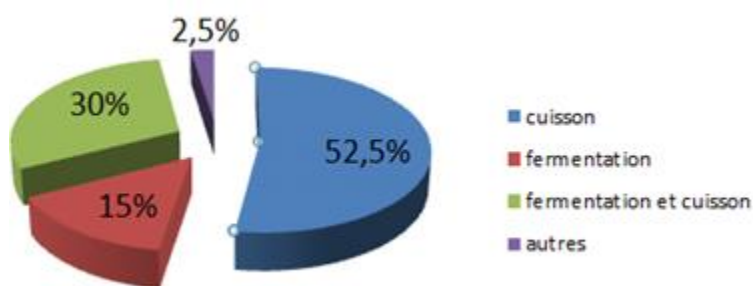


Figure 5 : pourcentage des opérations unitaires qui causent de difficulté aux productrices

De même l'opération de fermentation traditionnelle du moût de *bil-bil*, se fait sans contrôle des paramètres optimaux de fermentations (température, pH etc...), de plus elle se fait dans des canaris à l'air libre et pour l'ensemencement les productrices utilisent le

levain ce qui pourrait favoriser la contamination du *bil-bil* par d'autres espèces de microorganismes responsables de la synthèse de métabolites secondaires. Les photos de la planche 2 présente l'opération de fermentation traditionnelle du *bil-bil*.



Planche 2 : opération de fermentation artisanale de *bil-bil*, clichés

Main d'œuvre : La main-d'œuvre ne maîtrise pas les procédés de production ce qui entraîne des variabilités dans la qualité des bières obtenues d'une production à l'autre. De plus, le non-respect des règles élémentaires d'hygiène des productrices peuvent favoriser la contamination de la matière première.

Milieu : Les conditions d'hygiène et de propreté sont déplorables dans le lieu de production. Il y a la présence des mouches dans le milieu de production, des eaux usées, des déchets (drèches, déchets fécaux...) et autres ordures dans le milieu de production du *bil-bil*

ce qui expose le produit à la contamination par plusieurs types de microorganismes.

Dimensionnement des équipements

Dimensions du cuiseur : C'est dans cette cuve que s'effectueront la cuisson et l'homogénéisation de moût de *bil-bil*. C'est une cuve cylindrique verticale, munie d'une turbine d'agitation à 4 pales inclinées à 45° et d'un système de chauffage constitué d'une bouteille et une plaque à gaz. Ses caractéristiques après calculs sont condensées dans le tableau 1 suivant.

Tableau 1 : caractéristiques de la cuve de cuisson de moût de *bil-bil*

Cuve	Volume total	0,16 m ³
	Diamètre	0,57 m
	Hauteur	0,63 m
Dispositif d'agitation	Diamètre du mobile d'agitation	0,19 m
	Hauteur du mobile par rapport au fond de la cuve	0,19 m
	Longueur des pâles d'agitation	0,047 m
	Hauteur des pâles d'agitation	0,038 m
	Largeur des contres pâles	0,057 m
	Vitesse de rotation (N)	2 tr/s
	Puissance d'agitation (P)	3,119 W
	La vitesse périphérique (V _p) du mobile d'agitation	1,19 m/s
	Le moment de torsion (Mt)	0,2483 N.m
	La force radiale (Fr)	2,76 N
temps de réaction exprimé (tr)	7,08 s	

Dimensions du fermenteur : C'est une cuve cylindrique dans laquelle se déroule la fermentation (transformation des sucres du moût de *bil-bil* en éthanol et CO₂). Il est muni

d'un système de refroidissement et l'agitation se fait par le gaz produit lors de la fermentation du moût de *bil-bil*. Le tableau 2 présente les caractéristiques du fermenteur.

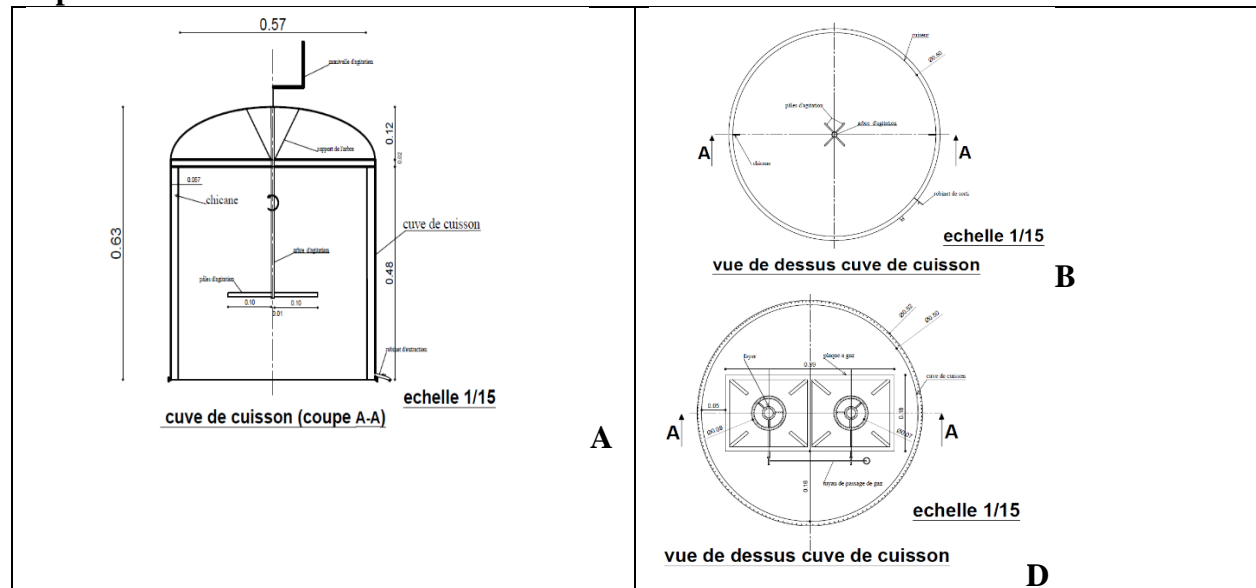
Tableau 2 : caractéristiques du fermenteur de production de la bière de sorgho.

Cuve de fermentation	Volume total du fermenteur	0,2 m ³
	Volume du produit	0,15 m ³
	Volume de sécurité	0,0343 m ³
	Volume de pied de cuve	0,0157 m ³
	Diamètre	0,50 m
	Hauteur total du fermenteur	1 m
	hauteur du produit	0,76 m
	hauteur de sécurité	0,24 m
	surface spécifique de la double paroi	0,5m ²
	Épaisseur de la double paroi	0,07 m
Système de refroidissement	Quantité de chaleur pour le refroidissement	65835 kJ
	Puissance de refroidissement	36,57 kJ/s
	Débit de circulation du fluide de refroidissement	0,097kg/s
	vitesse de l'eau froide dans la double enveloppe	1,94.10 ⁻⁴ m/s

Plans et dessins de réalisation du Bill-Cook 200 GM : Le logiciel Autocad 2013 du dessin assisté par ordinateur a permis de représenter

et visualiser les différentes composantes du dispositif.

Dispositif de cuisson du moût de bil-bil



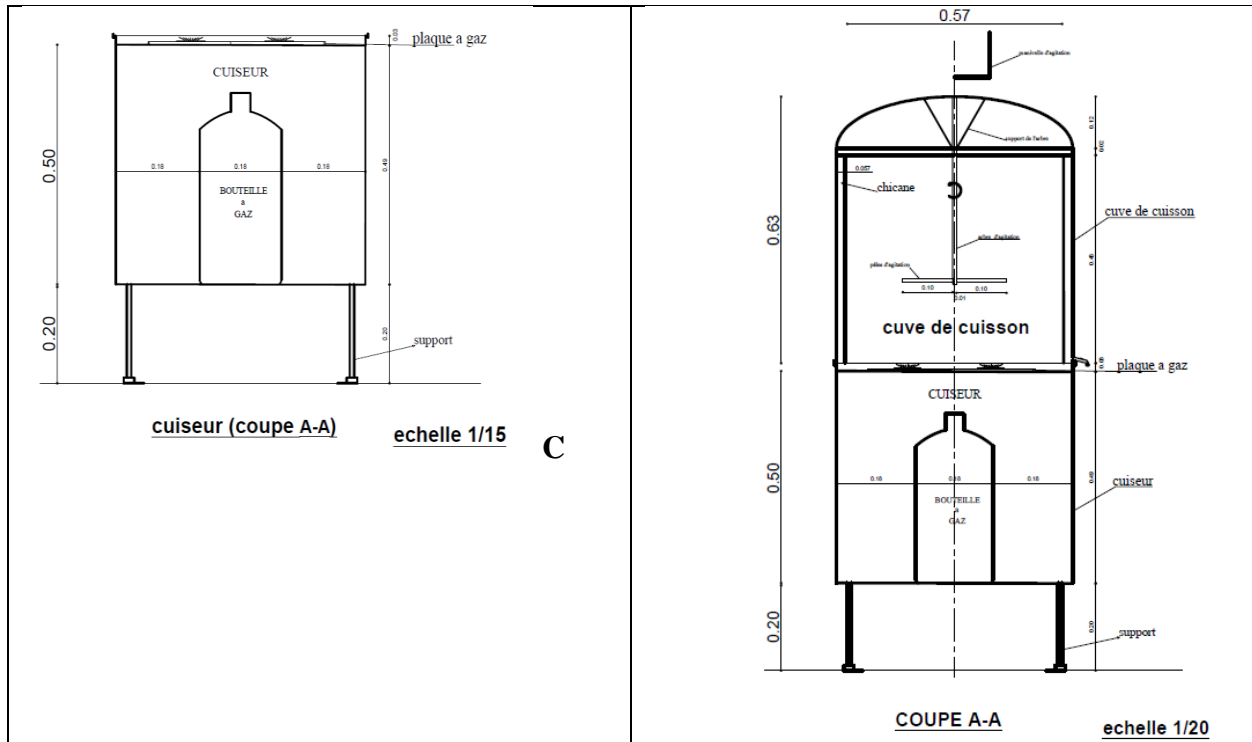


Figure 6 : Cuve de cuisson en coupe (A-A) (A), Dessin de la cuve de cuisson vue de dessus en coupe (A-A) (B), cuiseur en coupe (A-A) (C) cuiseur vue de dessus en coupe (A-A) (D), Dispositif de cuisson Assemblé

Dispositif de fermentation

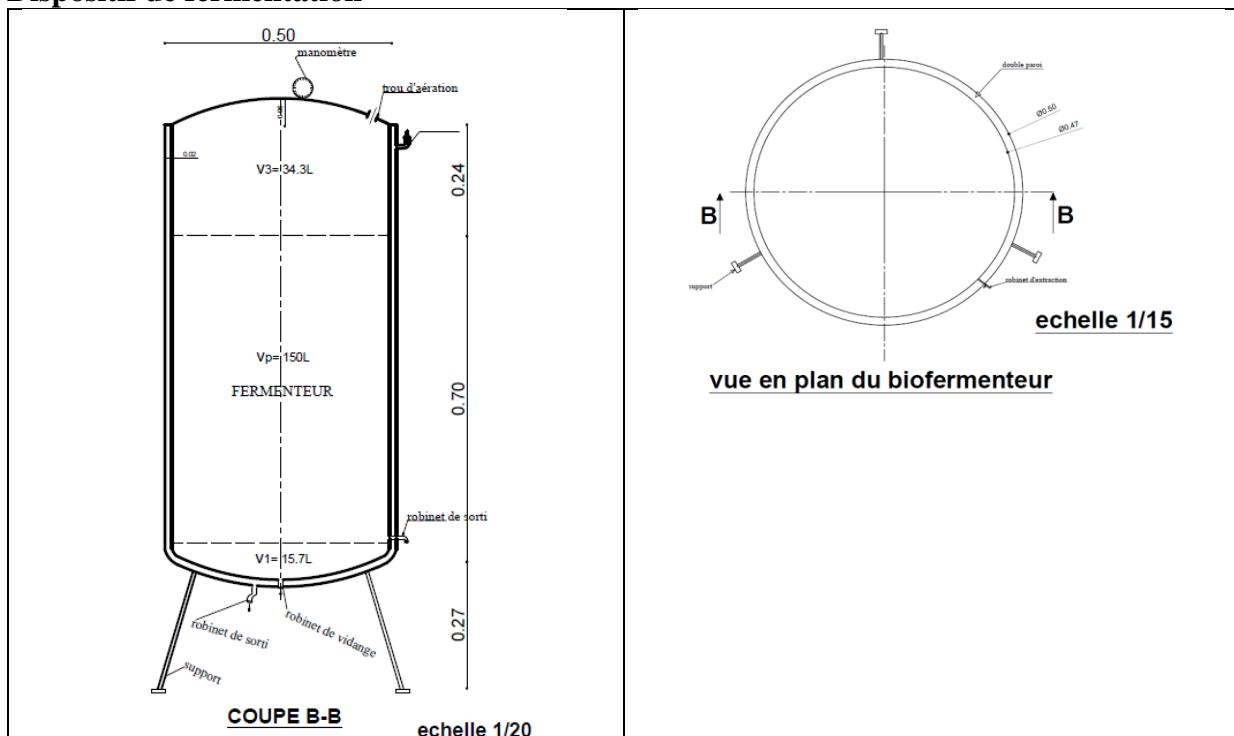
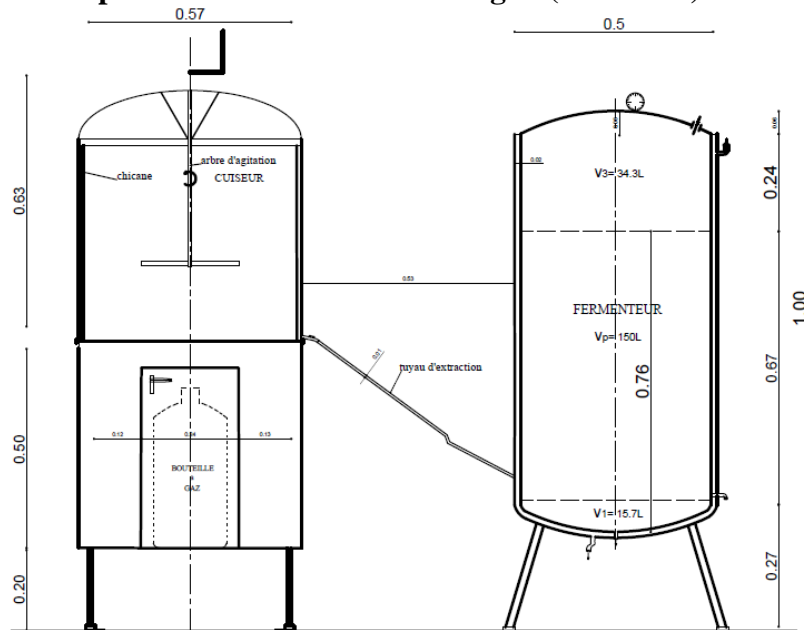


Figure 7 : Dessin du biofermenteur en coupe (B-B) et plan

Dispositif assemblé de production de la bière de sorgho (Bill-Cook)



vue en face du bioreacteur

Figure 8 : Dessin du dispositif final de production de la bière de sorgho (Bill-Cook)

Montage des équipements : Après les étapes de diagnostic du procédé artisanal de production de *bil-bil*, et de dimensionnement des équipements un dispositif de production de bière de sorgho qui aura pour rôle d'améliorer le procédé de cuisson et de fermentation de la bière de sorgho a été réalisé. La réalisation

s'est effectuée dans un atelier de soudure dans la ville de Maroua. Pour mener cette activité à terme une équipe constituée des techniciens qualifiés en soudure a été mise en place. Elle s'est déroulée en plusieurs étapes les planches (3,4, 5 ,6 et 7) illustre ces différentes étapes.



Planche 3 : Matériels utilisé pour la réalisation du dispositif de production du *bil-bil*, clichés



Planche 4 : Cintrage du matériel, clichés



Planche 5 : étape de mise d'une couche d'antirouille, clichés (2016).



Planche 6 : différentes étapes de soudage, clichés



Planche 7 : finition par mise d'une couche de peinture, cliché (2016)

En fin la planche 8 présente la photo du dispositif finale de production de la bière de sorgho réalisé.



Planche 8 : Bill-Cook 200 GM de production de la bière de sorgho, cliché (2016)

Caractéristiques finale du prototype Bill-Cook 200 GM : Les caractéristiques finales du bill-cook présentées dans les tableaux 5 et 6 font ressortir les différences entre les dimensions obtenues par des calculs théoriques et celles obtenues après la matérialisation du biofermenteur. Ces différences peuvent être dues aux erreurs

conceptuelles, aux erreurs de calculs lors du dimensionnement des composantes du biofermenteur et aux contraintes de réalisation (soudure, matériels utilisés.). Elles peuvent aussi s'expliquer par le fait que les formules mathématiques utilisées pour dimensionner ont été établis pour les modèles destinés à la production industrielle.

CONCLUSION

Il était question dans ce travail d'améliorer les conditions de production des productrices et contribuer à standardiser la qualité de la bière artisanale *bil-bil*. Pour atteindre ces objectifs un diagnostic du procédé de fabrication de la bière de sorgho a été réalisé afin recenser les difficultés rencontrées par les brasseuses. Le digramme d'Ishikawa complété du brainstorming ont permis de rechercher les différentes causes de difficultés rencontrées dans le procédé artisanal de production de *bil-bil* et y apporter des solutions. D'après les résultats quatre sources sont responsables à savoir : le matériel, le milieu de travail, la main d'œuvre, et les méthodes de production. En effet les résultats des enquêtes révèlent que 62,5% des productrices utilisent le matériel rudimentaire contre 37,5% qui utilisent le matériel amélioré et que 52,5% des productrices rencontrent des difficultés au niveau de la cuisson, 15% au niveau de la fermentation, 30% au niveau de ces deux

opérations unitaires. Afin donc de résoudre ces problèmes et contribuer à standardiser le *bil-bil* un prototype de bio fermenteur le Bill-Cook 200 GM a été réalisé. Ce biofermenteur aura pour rôle d'améliorer les conditions de production des productrices en allégeant la tâche au niveau des opérations unitaires de cuisson et fermentation, il pourrait aussi servir de base à la mise au point d'un dispositif plus adapté à la fabrication de *bil-bil* à un coût réduit dans la zone du septentrion où la bière de sorgho est une boisson dont le potentiel n'est pas assez exploité.

Pour compléter ce travail, il sera judicieux de :

- Dimensionner les autres équipements nécessaires (pompes, vannes, tuyauterie) ;
- Faire une analyse des risques et des dangers des équipements de production ;
- Effectuer une évaluation économique ;
- sensibiliser les productrices de *bil-bil* sur le bien-fondé de ces améliorations ;

REMERCIEMENTS

Ce travail a été entièrement financé par le Projet C2D Sorgho Coopération France Cameroun. Nos remerciements vont à l'endroit de l'Institut De recherches Agronomiques pour

le Développement pour les facilités de laboratoires et la bonne collaboration pour l'atteinte des Objectifs du projet CD2-PAR

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aiba S., A. E. Humphrey, N. Mills., 1977. Biochemical Engineering, 450 pages.
- Bayoï, J. R., Darman, D. R., & Etoa, F. X., 2016. Technologie de fabrication, propriétés physico-chimiques et microbiologiques de la bière «kapsiki blanche» produite dans les monts Mandara au Nord-Cameroun. *Afrique Sciences*, 12(6), 123-134.
- Chevassus., A. Faveier, S. J.C., Joseph, A., 1979. Technologie traditionnelle et valeur nutritionnelles des « bières » de sorgho du Cameroun. 24 pages.
- Djitog, D., Koumaro, M. et Maoura, N., 2002. Organisation des unités de transformation artisanale en zone de savanes : Cas de la transformation du sorgho en bière locale bil-bil à Moundou au Tchad.
- Ilori, M. O., & Adewusi, S. R. A. 1991. Effect of ammonia on the malting losses of some improved Nigerian sorghum varieties. *Journal of the Institute of Brewing*, 97(2), 111-113.
- <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1991.tb01059.x>

- Kleih, U and Ravi, S B and Rao, B D and Yoga and, B., 2000. Industrial Utilization of Sorghum in India. Monograph. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Koulandi, J. 1999. Le Bil-bil et la «libération de la femme tupuri», idée de réflexion pour un débat constructif sur l'avenir de la communauté tupuri du Tchad et du Cameroun. Karang : écriture à média.
- Mathieu B., 2005. Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique : Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 239 pages.
- Mathieu Bertrand. 2002. Le sorgho repiqué au Nord-Cameroun : valoriser le savoir-faire des paysans et organiser la filière. In : La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional. Comas Jordi, Gomez MacPherson Helena. FPC, FAO, ICRISAT. Madrid : AECEI, 161-180. ISBN 84-7232-898-8 Réunion internationale sur la culture du sorgho de décrue en Afrique du Centre et l'Ouest, Nouakchott, Mauritanie, 11 Mars 2001/15 Mars 2001.
- Moity-Maïzi, P. 2001. Systèmes agroalimentaires localisés : terroirs, savoir-faire, innovations (No. 32). Éditions Quae.
- Psimon et R. Meunier., 1976. Microbiologie Industrielle et génie biochimique, Edition Masson et Cie, 566 pages
- Renouf, V., 2006. Description et caractérisation de la diversité microbienne durant l'élaboration du vin : Interactions et équilibres - Relation avec la qualité du Vin - oatao (univ-toulouse.fr)
- Roger, D. D., Venassius, L., Justin, E. N. J., & Franccedil, E., 2013. Processing of Amgba: A sorghum-maize based beer, brewed in Cameroon. Journal of brewing and distilling, 4(1), 11-18. <https://doi.org/10.5897/JBD12.004>
- Roustan, M., Pharamond, J. C., & Line, A., 1999. Agitation. Mélange : Concepts Théoriques Base. Ed. Techniques Ingénieur.
- Seignobos, C., 2002. La lente disparition de l'éleusine dans le bassin du lac Tchad, d'une nourriture de base au rituel et à la pharmacopée. Cuisine et société en Afrique. Histoire, saveurs, savoir-faire, Paris, Karthala, 103-115.
- Sinnott R., K., 2005. Chemical Engineering Vol 6 Chemical Engineering Design. Fourth edition, Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP30 Corporate Drive.
- Stefanovic, S., Kiss, I., Stanojevic, D., & Janjic, N., 2014. Analysis of technological process of cutting logs using Ishikawa diagram. Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering, 7(4), 93.
- Tourneux, H., 2013. Les préparations culinaires. Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad, 289.
- Touwang Charles, Nso Emmanuel Jong, Ndjouenkeu Robert., 2018. Production Du Bil-bil, Biere Traditionnelle De Sorgho Du Nord Cameroun : Diversité Des Procédés De Production Et Qualité Des Produits, European Scientific Journal December edition Vol.14, No.36 ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857- 743 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p20](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p20), <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p207>

- Trambouze P., 2005. Techniques de l'ingénieur. Réacteurs chimiques : Technologie. J4020 Paris France.
- Zangué, S. C., Desobgo, Fanta, Y. Naponni, Emmanuel, J. Nso., 2013. Caractérisation des mouts et bières du sorgho Safrari houblonnés avec *Vernonia amygdalina* et *Nauclea diderrichii*. Journal International d'Innovation et Appliqué des Études ISSN 2028-9324 vol. 2, pages 83-91.