

## **Suivi technique, analytique et microbiologique de la « *bili bili* », bière traditionnelle tchadienne**

**Nanadoum MAOURA<sup>1\*</sup>, Mbailao MBAIGUINAM<sup>1</sup>, Claude GAILLARDIN<sup>2</sup>  
et Jacques POURQUIE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratoire de recherche sur les substances naturelles - Faculté des sciences exactes et  
appliquées, BP 1027 N'djaména, Tchad*

<sup>2</sup>*Laboratoire de microbiologie et de génétique moléculaire. INA-PG INRA CBAI BP 01,  
78 850 Thiverval Grignon, France.*

(Reçu le 10 Septembre 2005, accepté le 07 Janvier 2006)

\* Correspondance, courriel : [nanadoum@yahoo.com](mailto:nanadoum@yahoo.com)

### **Résumé**

Pour améliorer notre connaissance du procédé artisanal de fabrication de la « *bili bili* », nous avons effectué un ensemble de mesures (durées des étapes, températures, pH, concentrations et masses de matière sèche, sucres totaux et fermentescibles, acide lactique, éthanol, dénombrement des bactéries aérobies mésophiles, bactéries lactiques et levures) sur des échantillons prélevés à différentes stades de sa fabrication. Les influences des conditions de mise en œuvre du procédé artisanal sur les processus de maltage, brassage, acidification et fermentation ont été analysées. Les résultats obtenus ont permis d'identifier et de caractériser les principaux phénomènes physico-chimiques et biologiques qui sous-tendent l'élaboration de cette bière. Cela a montré que la « *bili bili* » résulte des mêmes processus technologiques que les bières modernes auxquels se superpose une double fermentation lactique. Ces résultats ont permis également de suggérer des améliorations du procédé conduisant à de significatives économies d'énergie.

**Mots-clés :** *Sorgho, «bili bili», nutrition, technologie, physico-chimie, microbiologie.*

### **Abstract**

**Technical, analytical and microbiological follow-up of the "bili bili", Chadian traditional beer**

To improve our knowledge of the artisanal process of manufacture of the "bili bili", we carried out some measurements (operation time, temperature, pH, concentrations and

mass of dry matter, total carbohydrates, fermentable carbohydrates, lactic acid, ethanol, number of total bacteria, lactic bacteria and yeast) at different stages. The influence of operating conditions on the artisanal process of malting, mixing, acidification and fermentation were analyzed. The results obtained made it possible to identify and characterize the main physico-chemical and biological changes during the production of this beer. Moreover, as the European beers the "bili bili" results the same technological process but showed a double lactic fermentation. These results also made it possible to suggest improvements of the production procedure that could economize the energy significantly.

**Keywords :** *Sorghum, «bili bili», nutrition, technology, physico-chemistry, microbiology.*

## 1. Introduction

La *bili bili* est une boisson alcoolisée traditionnelle consommée dans plusieurs pays d'Afrique dont le Tchad. En Afrique de l'Ouest, elle est connue sous le nom de *Tchapalo*. Comme la plupart des bières indigènes africaines à base de mil ou de sorgho, la *bili bili* est considérée à la fois comme aliment et boisson et de ce fait est quelque fois désigné sous le nom de « *manger boire* » par certains consommateurs [1-3]. Les données analytiques sur la valeur nutritive des bières indigènes africaines ont montré leurs richesses en calories, en vitamines du groupe B et en acides aminés essentiels tels que la lysine qui font d'elles un complément nutritionnel d'appoint [2-6].

La *bili bili* est par ailleurs une source de revenus non négligeables pour les femmes fabricantes et les producteurs du sorgho et mil. Si les échecs de fabrication sont relativement rares, la rentabilité générale est faible et la régularité de la qualité organoleptique du produit et sa tenue à la conservation sont insuffisantes. Il est évident que toute amélioration de ces critères en vue d'optimiser les rendements doit s'appuyer sur la connaissance des processus physiques, chimiques et biologiques qui entrent en jeu dans le procédé de fabrication.

L'étude des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques survenant au cours des différentes étapes du procédé de la fabrication de *bili bili* s'avère nécessaire. Cela pourra conduire à attribuer à chacune des étapes la ou les fonctions technologiques qu'elles assurent et de suggérer des améliorations du procédé pouvant conduire à de significatives économies d'énergie et à l'amélioration de la stabilisation de cette boisson.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2-1. Matériel**

Une enquête préliminaire auprès de soixante onze (71) femmes, appelées localement « vendeuses », a permis d'établir la séquence d'opérations uniformément mises en œuvre pour une fabrication type de « bili bili ». Les seules mesures physiques dont disposent les vendeuses sont des mesures de temps et des mesures volumiques sommaires. Les seules analyses sont les évaluations organoleptiques obtenues par dégustation ou flairage au cours de la fabrication. Au cours du procédé, la suspension initiale de farine de sorgho malté subit différentes opérations de décantation, chauffage, séparation et fermentation. Une première campagne d'échantillonnage et de mesures a montré qu'il était impossible de réaliser un échantillonnage non destructif représentatif de la masse de produit échantillonnée, ceci du fait de la trop forte hétérogénéité spatiale des teneurs de matières en suspension dans le produit et de l'interdiction qui nous était faite d'homogénéiser parfaitement les produits avant échantillonnage. A l'exception de la matière première, nous avons donc restreint nos analyses chimiques aux seules phases liquides clarifiées des échantillons prélevés. Quatre essais de fabrication indépendants de la « bili bili » réalisés par une fabricante ont été suivis.

### **2-2. Mesures effectuées sur le terrain**

A chaque essai, la quantité de farine mise dans l'eau pendant l'empâtage et le volume final de la maïsche sont mesurés. Au cours du procédé, la durée de chaque opération, le volume des différentes fractions résultantes et la température sont mesurés. Le pH a été relevé sur des aliquotes de 100 mL équilibré à la température ambiante (27 à 30°C). La température et le pH sont également relevés toutes les 30 minutes durant la cuisson du résidu de décantation et l'ébullition du moût.

### **2-3. Prélèvement des échantillons**

A chaque essai, un « coro », unité de mesure correspondant à environ 2,5 kg de farine, est prélevé dans un sachet stérile en plastique et 800 mL des différentes fractions liquides sont prélevés dans des flacons stériles. Vingt (25) échantillons successifs par préparation sont ainsi constitués.

## **2-4. Analyses physico-chimiques et microbiologiques**

### **2-4-1. Analyses physico-chimiques**

La teneur en matière sèche a été déterminée selon la norme *NF V03.707* à partir de 5 g d'échantillon des farines et sur le surnageant de centrifugation de 100 mL d'échantillon des fractions liquides par pesée différentielle après passage à l'étuve à 130°C pendant 2 heures.

La teneur en amidon a été évaluée selon la méthode colorimétrique de la norme *ISO 6647* sur les extraits aqueux de la farine ou sur le surnageant de centrifugation des fractions liquides à 4000 tours/min pendant 10 minutes.

Les teneurs en sucres solubles totaux et en protéines des extraits aqueux de la farine et des fractions liquides ont été déterminées respectivement selon la méthode au phénol sulfurique [7] et selon la méthode Lowry [8]. Les sucres fermentescibles (glucose, maltose et maltotriose), l'acide lactique et l'éthanol des extraits aqueux de la farine et des fractions liquides ont été déterminés par HPLC. Une colonne Aminex<sup>®</sup> HPX-87H Ion Exclusion (Biorad, Hercules, Californie, Etats-Unis) précédée d'une pré colonne (Biorad) a été utilisée. Vingt cinq (25) µL de l'échantillon sont injectés dans l'éluant, une solution de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 mM circulant à un débit de 0,5 mL/min à température ambiante.

### **2-4-2. Dénombrements de la flore microbienne**

La flore bactérienne aérobie mésophile a été dénombrée sur le milieu PCA (Plate Count Agar, Difco n° 479) supplémenté de cycloheximide à 0,5 % après 24 à 48 heures d'incubation à 30 °C.

La flore lactique a été dénombrée sur le milieu MRS [9] supplémenté de cycloheximide à 0,5 % après 24 à 48 heures d'incubation en anaérobiose à 30 °C.

La flore levurienne a été dénombrée sur le milieu YPD (Extrait de levure 10 g ; bactopectone 10 g ; glucose 10 g ; bacto agar 20 g et eau désionisée 1 L) supplémenté de chloramphénicol à 1 % après 48 à 72 heures d'incubation à 28 °C. Les dénombrements ont été réalisés en triple sur des dilutions décimales des échantillons et les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies sont considérées.

## **3. Résultats**

Les résultats de l'enquête préliminaire ont permis de décrire schématiquement le procédé artisanal de la préparation de la bili bili (*Figure 1*).

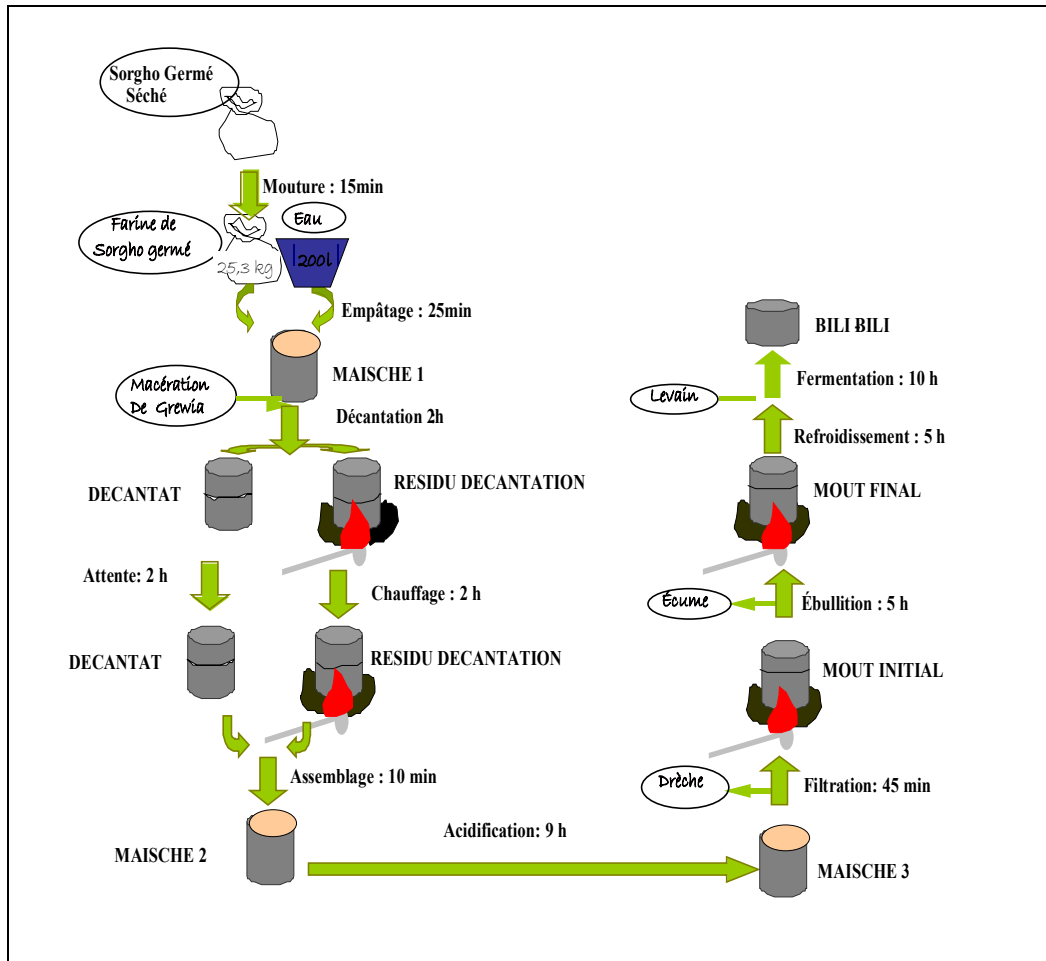


Figure 1 : Procédé artisanal de la fabrication de Bili Bili

### 3.1. Paramètres physiques

Les durées des opérations du procédé artisanal sont présentées dans le **Tableau 1**. Les durées de chaque étape ont présenté des variabilités différentes suivant l'opération effectuée. Cette variabilité a été la plus forte pour les opérations de chauffage dont les durées se sont étagées de 1 h 30 min à 2 h 45 min pour la cuisson du résidu de décantation et de 4 h 30 min à 6 h pour celle du moût. Les quantités de farine mises en oeuvre varient de 26,78 à 40,7 kg avec une moyenne de 31,5 kg. Bien que la dispersion des taux de matière sèche ait été importante (66 à 92 %), la dispersion des masses utilisées s'est révélée plus faible (22,9 à 26,9 kg), du fait d'une corrélation inverse entre les taux de matière sèche des farines et leurs densités.

**Tableau 1 : Durée des opérations du procédé artisanal de fabrication de la bili bili**

Essai	Durée des opérations					
	Macération	Décantation	Cuisson	Acidification	Ebullition	Fermentation
1	20 min	1 h 40 min	1 h 30 min	9 h 30 min	4 h 30 min	10 h 00 min
2	25 min	2 h 30 min	2 h 00 min	9 h 00 min	5 h 00 min	10 h 00 min
3	22 min	1 h 43 min	2 h 24 min	9 h 30 min	6 h 00 min	10 h 00 min
4	30 min	2 h 00 min	2 h 45 min	9 h 00 min	5 h 00 min	10 h 00 min
<b>Moy.</b>	<b>24 min</b>	<b>1 h 50 min</b>	<b>2 h 10 min</b>	<b>9 h 20 min</b>	<b>5 h 12 min</b>	<b>10 h 00 min</b>

Les volumes d'eau mis en œuvre à chaque opération ont été constants et correspondent à la capacité d'un fût de 200 L. Les volumes de décantât, de résidu de décantation, de maïs 2 et de moût initial étaient également déterminés par la capacité des fûts dans lesquels ils sont recueillis et ne présentent donc pratiquement pas de variabilité. Il n'a pas été observé de perte d'eau par évaporation au cours du chauffage du résidu de décantation, par contre cette perte est significative lors de la cuisson du moût dont le volume moyen passe de 168,5 à 145,2 L (**Tableau 2**)

**Tableau 2 : Quantités (en kg) de farine mise en œuvre et volume (en litres) des différentes fractions liquides**

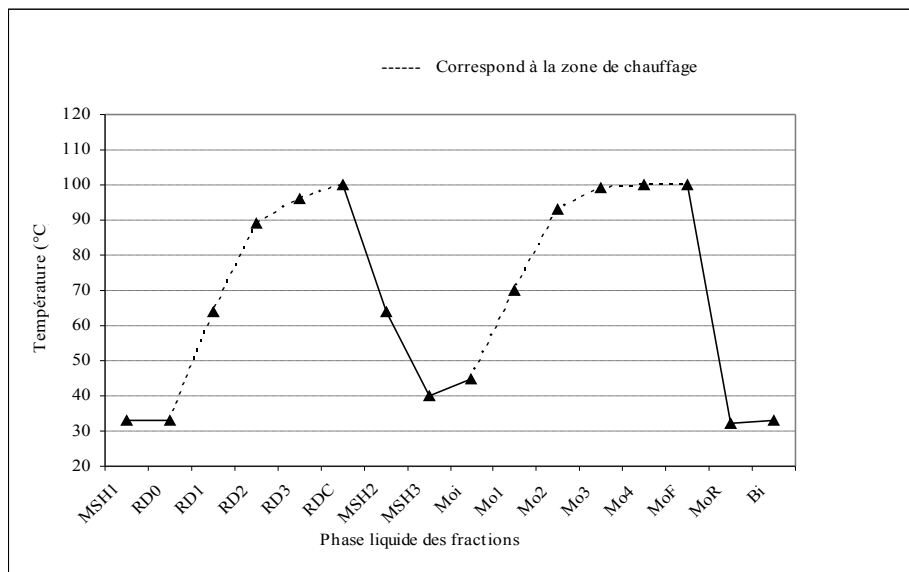
Essai	Farine (kg)	Volume des fractions liquides (en litres)								
		MSH1	Déc 1	Déc 2	RD	RDC	MSH 2	Mo I	Mo F	Bi
1	31,35	220	110	110	110	110	220	166	140	140
2	40,07	220	110	110	110	110	220	165	145	145
3	26,85	220	110	110	110	110	220	170	150	150
4	26,76	220	110	100	100	100	220	173	146	146
<b>Moy.</b>	<b>31,5</b>	<b>220</b>	<b>112,5</b>	<b>112,5</b>	<b>107,5</b>	<b>107,5</b>	<b>220</b>	<b>168,5</b>	<b>145,25</b>	<b>145,25</b>

Avec :

*MSH1 = Maïs fin empâtage-macération ; Déc 1 = Décantât fin séparation ; Déc 2 = Décantât fin attente ; RD = Résidu de décantation ; RDC = Résidu de décantation cuisson ; MSH2 = Maïs fin assemblage ; Mo I = Moût initial ; Mo F = Moût fin ébullition ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation ; Moy. = moyenne*

La **Figure 2** montre l'évolution de la température au cours du procédé. Les températures relevées dans les fractions de la « maïs » initiale, du décantât, du moût initial et de la « bili bili », sont pratiquement celle de l'ambiante (en moyenne 32°C ±2). Au cours de la cuisson du résidu de décantation, la température atteint après trente

minutes la valeur de 70°C rapportée comme température de gélatinisation de l'amidon de sorgho [9]. Pendant la cuisson du moût, l'ébullition est maintenue pendant plus de 2 heures.

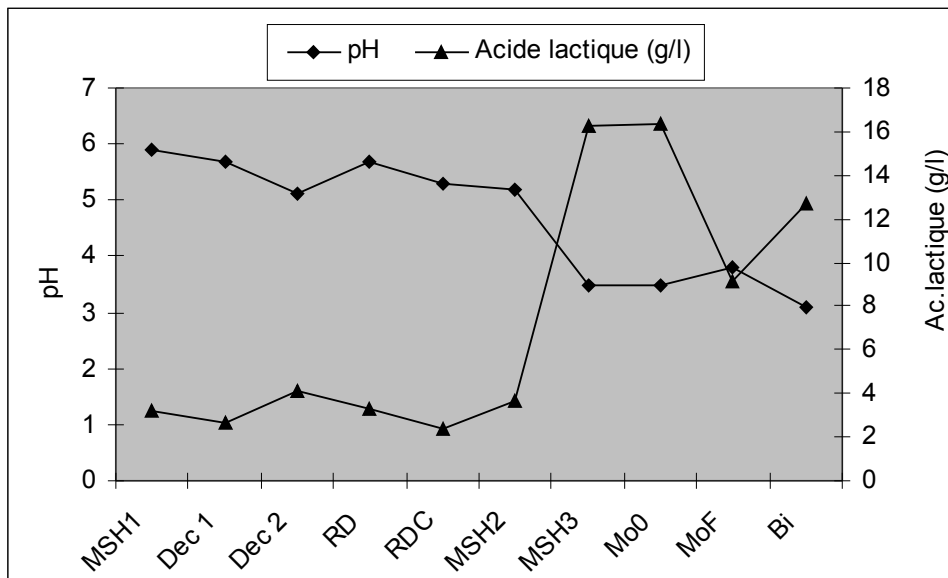


**Figure 2 :** Evolution de la température au cours du procédé artisanal de fabrication de la bili bili.

Avec :

*MSH1 = Maische fin empâtage-macération ; Déc 1 = Décantat fin séparation ; Déc 2 = Décantat fin attente ; RD 1, 2, 3 = Résidu de décantation après 30, 60 et 90 minutes de chauffage; RDC = Résidu de décantation à la fin de la cuisson ; MSH2 = Maische fin assemblage ; MSH3 = Maische fin acidification ; Moi = Moût initial ; Mo 1, 2, 3 et 4 = Moût après 1, 2, 3 et 4 heures d'ébullition ; MoF = Moût fin ébullition ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation.*

La **Figure 3** présente l'évolution du pH et la teneur en acide lactique le long du procédé. Deux étapes d'acidification se traduisant par une baisse sensible du pH sont observées. La première située entre la maische fin empâtage - macération (pH 5,7) et le décantat fin incubation (pH 5,1). La deuxième se situe entre la maische fin réunification résidu de décantation - décantat (pH 5,2) et le moût initial (pH 3,5). Elles correspondent d'une part à l'incubation du décantat de la première maische, et d'autre part à l'incubation de la maische 2 au cours de la nuit qui est d'ailleurs qualifiée de phase d'acidification par les artisans. Dans les autres fractions le pH n'évolue pas significativement. Ces baisses de température correspondent bien à une augmentation de la teneur en acide lactique.



**Figure 3 :** Evolution du pH et de la teneur en acide lactique au cours du procédé de fabrication de la bili bili

Avec :

*MSH1 = Maische fin empâtage-macération ; Déc 1 = Décantât fin séparation ; Déc 2 = Décantât fin attente ; RD = Résidu de décantation ; RDC = Résidu de décantation à la fin de cuisson ; MSH2 = Maische fin assemblage ; MSH3 = Maische fin acidification ; Mo0 = Moût initial ; MoF = Moût fin ébullition ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation.*

### 3-2. Paramètres chimiques

Les teneurs en matière sèche, amidon, sucres et protéines solubles des extraits des farines et des phases liquides clarifiées des différentes fractions sont présentées dans le **Tableau 3**.

Dans le résidu de décantation, la concentration en matière sèche soluble (MSS) augmente fortement au cours de la cuisson et conduit après réunion du décantat et de son résidu cuit à une valeur de 99,2 g/L. Cette concentration augmente ensuite légèrement au cours de la phase d'acidification. Après cuisson finale du moût, on obtient une valeur moyenne finale de 124,9 g/L. La fermentation alcoolique finale réduit de moitié cette valeur.



**Tableau 3 :** *Teneurs (g/L) en matière sèche et en produits solubles des extraits de farine utilisée et leur évolution dans les différentes fractions liquides*

Teneur (g/L)	Farine	Phase liquide des fractions									
		MSH1	Déc 1	Déc 2	RD	RDC	MSH2	MSH3	MoI	MoF	Bi
<b>Matière sèche soluble</b>	80,4	15,4	17,5	31,7	49,9	153,5	99,2	102,4	102,4	124,9	61,9
<b>Amidon soluble</b>	3,8	0,11	0,11	0,11	0,22	9,84	0,67	0,1	0,1	0,43	0,27
<b>Sucres solubles</b>	5,2	10,82	6,26	5,86	6,31	124,9	87,4	94,41	94,41	110,4	30,43
<b>Sucres fermentescibles</b>	1,8	3,4	3,5	4,1	4,6	67,6	64,1	81,5	81,5	109,6	17,6
<b>Protéines solubles</b>	3,6	12,64	8,74	8,31	6,32	9,5	8,51	8,14	8,14	9,22	10,15
<b>Acide lactique</b>	-	3,22	2,67	2,95	3,26	2,37	3,61	16,27	16,27	9,12	12,69
<b>Ethanol</b>	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,8

Avec :

*MSH1 = Maische fin empâtage-macération ; Déc 1 = Décantat fin séparation ; Déc 2 = Décantat fin attente ; RD = Résidu de décantation ; RDC = Résidu de décantation cuisson ; MSH2 = Maische fin assemblage ; MSH3 = Maische fin acidification ; MoI = Moût initial ; MoF = Moût fin ébullition ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation*

La perte en matière sèche observée au cours de la fermentation est cohérente avec la teneur en éthanol qui varie entre 35,9 g/L et 47,2 g/L avec une moyenne de 41,83 g/L. Ce qui correspondant à un titre en alcool de 4,2 % (p/v). Une évolution parallèle des concentrations en sucres totaux et en sucres fermentescibles solubilisés est constatée.

Le **Tableau 4** rapporte les valeurs des masses des produits solubles dans les différentes fractions. La masse de MSS dans la maische 2 est supérieure à la somme des masses respectivement présentes dans le décantat et dans son résidu de décantation. Cela est encore plus net pour les sucres réducteurs et les sucres fermentescibles. Les masses de MSS et de sucres solubles dans le moût initial, sont supérieures aux masses calculées en tenant compte de la réduction de volume du fait de l'élimination des drêches. Les masses de MSS et de sucres solubles dans le moût final sont supérieures à celles du moût initial.

**Tableau 4 :** *Masses absolues (en kg) de la matière sèche et des produits solubles des différentes fractions liquides*

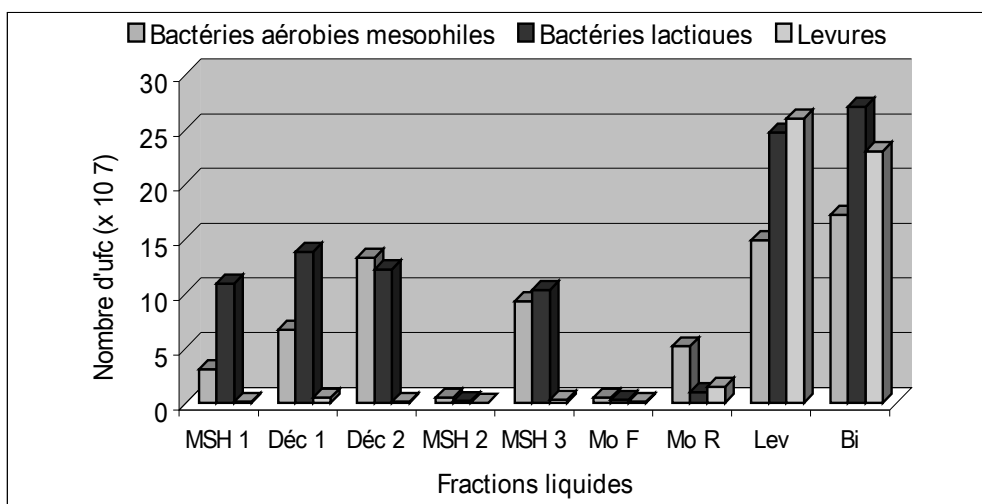
Masse absolue (kg)		MSH1	Déc 2	RDC	MSH2	MSH3	MoI	MoF	Bi
MSS	V <sub>m</sub>	3,39	3,6	16,4	21,8	22,7	17,3	18,1	8,97
	V <sub>t.a.</sub>				19,7		16,7	17,3	
Sucres solubles	V <sub>m</sub>	2,39	0,63	13,43	19,22	20,8	15,91	16,04	4,42
	V <sub>t.a.</sub>				14,3		14,8	15,91	
Sucres fermentescibles	V <sub>m</sub>	0,73	0,46	7,23	14,08	17,9	13,77	15,89	2,5
	V <sub>t.a.</sub>				7,69		10,8	13,77	

Avec :

*MSH1 = Maische fin empâtage-macération ; Déc 2 = Décantat fin attente ; RDC = Résidu de décantation cuisson ; MSH2 = Maische fin assemblage ; MSH3 = Maische fin acidification ; MoI = Moût initial ; MoF = Moût fin ébullition ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation ; V<sub>m</sub> = Valeur mesurée et V<sub>t.a.</sub> = Valeur théorique attendue*

### 3-3. Paramètres microbiologiques

Le dénombrement de la flore bactérienne aérobie mésophile, de la flore lactique et de la flore levurienne dans les échantillons montrent que la flore lactique est la flore dominante (**Figure 4**).



**Figure 4 :** *Evolution des flores microbiennes au cours du procédé de fabrication de la bili bili*

Avec :

*MSH1 = Maische fin empâtage-macération ; Déc 1 = Décantât fin séparation ; Déc 2 = Décantât fin attente; MSH2 = Maische fin assemblage ; MSH3 = Maische fin acidification ; MoF = Moût fin ébullition ; MoR = Moût refroidi ; Lev = levain ; Bi = Bili bili après 10 heures de fermentation.*

Cette flore évolue faiblement au cours de la décantation et de l'incubation du surnageant. Les levures par contre sont pratiquement absentes dans les différents échantillons analysés sauf dans la «bili bili» où elles sont apportées par l'inoculum. On dénombre en effet dans le levain  $14,9.10^7$  bactéries aérobies mésophiles,  $24,7.10^7$  bactéries lactiques et  $25,2.10^7$  levures par mL. Le maische 2 obtenu après chauffage, ne contient pratiquement pas de microorganismes. La flore lactique de la maische 3 proviendrait d'une active multiplication de souches thermotolérantes du décantât après mélange du décantât et de son résidu cuit. Dans le moût concentré, les résultats montrent des numérations anormalement élevées imputables à des contaminations exogènes. Dans le levain ainsi que dans la « bili bili », les flores lactique et levurienne sont pratiquement identiques.

#### 4. Discussion

A l'image de nombreuses productions artisanales, la fabrication de «bili bili» confronte l'application d'un protocole détaillé, transmis par une tradition ancienne, à d'importantes sources de variabilité, liées d'une part à la diversité des opérateurs et des instruments, de matières premières et de sources d'énergie utilisées, et d'autre part, à l'absence de contrôle instrumental et analytique. La quantité d'eau mise en œuvre au cours de l'empâtage ne tient donc pas compte du versement comme en brasserie où le rapport eau/versement est toujours fonction de la concentration finale désirée du moût. Ce rapport varie entre 3 et 4 hL pour 100 kg de versement en brasserie moderne [10].

Les valeurs obtenues pour les extraits des farines sont voisines de celles rapportées dans la littérature [5,11,12].

Au vu des résultats obtenus on peut admettre que :

- La germination ou maltage est l'étape de préparation d'un malt riche en activités amylolytiques végétales et en flore lactique. A cette flore lactique on peut attribuer 3 fonctions. Elle produit l'acide lactique qui abaisse le pH augmentant ainsi la vitesse des activités enzymatiques. Elle participe à l'amylolyse, les flores lactiques amylolytiques sont courantes dans les procédés africains artisanaux de détoxification/transformation comme dans les cas du manioc [13]. Elle protège par amensalisme contre des flores contaminantes pathogènes ou d'altération et contribue ainsi à la conservation.

- La fabrication de la bili bili proprement dite, comparée aux technologies brassicoles européennes, s'originalise par la plus grande complexité du brassage et la superposition d'une fermentation lactique à une fermentation alcoolique rapide et brève.

Ce brassage y est effectué en deux étapes. La première, représentée par la cuisson du résidu de décantation, assure au cours d'une montée en température jusqu'à ébullition, la gélatinisation/dextrinisation de l'amidon et l'hydrolyse en sucres fermentescibles d'environ 40 % des dextrines obtenues. La seconde, représentée par l'étape d'acidification, assure au cours d'une baisse de la température, l'hydrolyse de 40 % supplémentaires de l'amidon disponible. Cette hydrolyse se poursuit pendant la phase de cuisson du moût. S'agit-il d'une poursuite de l'hydrolyse observée pendant l'acidification ou d'une hydrolyse nouvelle suite à l'élévation de température ?

Le mode opératoire, plus long et plus coûteux en énergie thermique, se justifie sans doute, par la technique rudimentaire de chauffage utilisée qui ne permet pas le contrôle des paliers de températures spécifiques aux besoins de la gélatinisation, de la dextrinisation et des différentes hydrolyses enzymatiques. Dans la mesure où la seule montée en température à l'ébullition ne suffit pas à assurer la génération d'un extrait sec fermentescible suffisant, l'hydrolyse enzymatique doit être poursuivie pendant l'acidification. La séparation du décantât est un moyen de préserver une partie de l'activité enzymatique générée par le maltage. Elle permet également de réduire la masse de suspension de farine à porter à ébullition. La deuxième hydrolyse reste cependant insuffisante et la phase de cuisson terminale paraît indispensable pour l'obtention d'un titre en extrait sec fermentescible convenable, à la fois par la poursuite de l'hydrolyse qui s'y déroule et par la concentration due à l'évaporation. En Effet la teneur en sucres fermentescibles augmente jusqu'à 80 % de la matière sèche soluble à la fin de cette cuisson et une concentration par évaporation de l'ordre de 15 % de la masse d'eau est observée. Le bénéfice de la stérilisation totale du moût par l'ébullition n'est pas conservé du fait du mauvais état sanitaire des récipients de taille réduite dans lequel ce moût est réparti pour accélérer son refroidissement.

La raréfaction de la ressource en bois de chauffage et l'augmentation continue de son prix obligent à examiner avec une attention particulière toute perspective de modification du procédé qui permettrait de réduire les consommations d'énergie thermique. La première étape de cuisson du résidu est requise pour la gélatinisation de l'amidon, préalable indispensable à sa dextrinisation et à son hydrolyse en sucres fermentescibles. Dans son mode opératoire actuel, la température de gélatinisation (60-70°C) y est largement dépassée mais l'excédent de calories dépensé est en partie récupéré pour élever la température du décantat et fournir aux amylases qui y ont été préservées, les conditions favorables à leur action au cours de l'acidification. En dehors d'une optimisation plus fine des durée et température finales, il ne semble donc pas

exister de solution alternative intéressante. L'étape d'ébullition pourrait par contre être plus radicalement remise en question. Il ne paraît pas raisonnable d'envisager de la supprimer car son action de stérilisation est indispensable et son influence sur les caractéristiques organoleptiques est sans doute importante, mais il peut être possible de la raccourcir si on la dispense de sa fonction de concentration par évaporation. Il faudrait donc pour cela augmenter la concentration en farine en amont. Deux modalités peuvent être proposées :

- Soit augmenter la charge en farine en tête de procédé. Il est probable que si cette modalité était faisable, elle aurait déjà été sélectionnée par l'usage et que sa mise en œuvre doit se heurter à des problèmes de décantation/séparation de la maïsche initiale.
- Soit ajouter la charge supplémentaire de farine à la fin de la cuisson du résidu de décantation. Cette modalité permettrait de réaliser rapidement la gélatinisation et la dextrinisation de l'amidon de cette charge supplémentaire, dont l'hydrolyse pourrait être assurée au cours de l'acidification. Cette mise en œuvre d'une concentration plus élevée en matière sèche au cours de l'acidification soulève deux problèmes. On constate en effet une augmentation des pertes de sucres fermentescibles dans les drèches et une baisse de la filtrabilité de ces drèches. Seule la mise en pratique de cette modalité permettra d'évaluer l'importance réelle de ces problèmes et de la mettre en balance avec l'économie de bois de chauffage qu'elle permettrait de réaliser.

## 5. Conclusion

Le travail a permis d'améliorer les connaissances des principaux processus physico-chimiques et biologiques qui régissent l'élaboration de la «bili bili». Comparée aux technologies brassicoles européennes, la fabrication de la bili bili s'originalise par la plus grande complexité de l'opération de brassage, de la rapidité et la brièveté de la fermentation alcoolique classique par *Saccharomyces cerevisiae* à laquelle s'interpose une double fermentation lactique.

Une expérimentation des modifications partielles du procédé telles que proposées et la poursuite de l'acquisition de connaissances sur les fonctions de la flore lactique et sur la caractérisation des activités amylolytiques mises en jeu, devraient permettre à moyen terme des améliorations raisonnées et significatives de la rentabilité du procédé et de la régularité des qualités nutritionnelles et organoleptiques de son produit.

## Remerciements

*Les auteurs remercient la Mission de Coopération Française au Tchad pour sa contribution financière utile à la réalisation de ce travail ainsi que DAVILA A. M. et WINKLER M. (Chaire de microbiologie INA-PG) pour leurs contributions aux dosages au CLHP.*

### Références

- [1] - S.A. ODUNFA. "African fermented foods", *In : B. J. B. Wood (Ed.), Microbiology of Fermented Food, Elsevier Applied Science Publishers, Amsterdam, 2 (1985) 155-191*
- [2] - L. NOVELLIE and P. SCHAEFDRIJVER, "Modern developments in traditional African beer", *Prog. in Ind. Microbiol.*, 20 (1986) 155-159
- [3] - H. A. DIRAR. "The indigenous fermented foods of Sudan : a study in African Food Nutrition", *CAB International (Ed.), University Press, Cambridge, Great Britain, (1993) 224-302*
- [4] - B. S. PLAT. "Biological ennoblement : Improvement of the nutritive value of foods and dietary regimens by biological agencies", *Food Technol.*, 18 (1964) 662-670
- [5] - S. CHEVASSUS-AGNES, J.C. FAVIER et A. JOSEPH. « Technologies traditionnelles et valeurs nutritives des « bières » de sorgho du Cameroun », *Cah. Nut. Diét.* 11 (2) (1976) 89-95
- [6] - S. HAGGBLADE and W. H. HOLZAPFEL. "Industrialisation of African's indigenous beer brewing. In Industrialization of fermented foods", K. H. Streinkraus. Marcel Dekker, Inc. (Ed.), New York, (1989) 191-283
- [7] - M. DUBOIS, K. A. GILLES, J. K. HAMILTON, P. A. REBERS. and F. SMITH, *Anal. Chem.* 28 (1956) 350-356
- [8] - O. H. LOWRY, N. J. ROSEBROUGH, A. L. FARR and A. L. RANDALL. "Protein measurement with Folin phenol reagent", *J. Biol. Chem.*, 193 (1951) 153-179
- [9] - V. LELOUP, P. COLONNA et A. BULEON. "Les transformations enzymatiques des glucides ». In : GODON B. Biotransformation des produits céréaliers. *Ed. Techniques et Documentation Lavoisier (Col. Sc. & Tec. agroalimentaires). Paris, France, (1991) 78-128*
- [10] - M. MOLL. Bières & Coolers. *Ed. Tec. & Doc. Lavoisier (Coll. Sci. & Tec. Agroalimentaires)*(1991)
- [11] - J. R. N. TAYLOR. "Effet of malting on the protein and free amino nitrogen composition of sorghum", *J. Sci. Food Agric.*, 34 (1983) 885-892
- [12] - A. MARC, J. M. ENGASSER and R. FLAYEUX, "A kinetic method of starch hydrolysis by  $\alpha$  and  $\beta$ -amylase during mashing". *Biotech. and Bioengineering*, 25 (1983) 481-496
- [13] - E. GIRAUD, A. BRAUMAN, S. KELEKE, B. LELONG and M. RAIMBAULT, "Isolation and physiological study of an amylolytic strain of *Lactobacillus plantarum*", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 36 (1991) 379-383