

1 **Caractérisation des microorganismes isolés à partir d'une boisson traditionnelle**  
2 **fermentée, produite en Casamance au sud du Sénégal : le Boumkaye**  
3

4 **Résumé**

5 Le Boumkaye est une boisson fermentée à base de mil, originaire de la Casamance au  
6 Sénégal. Elle est encore consommée pour ses vertus thérapeutiques et nutritionnelles,  
7 attribuées à l'utilisation des lianes d'*Abrus pulchellus* dans son procédé de fabrication. Des  
8 études antérieures sur cette boisson ont révélé une double fermentation alcoolique et lactique,  
9 due à la présence de levures et de bactéries lactiques. L'objectif de cette étude est de suivre et  
10 d'identifier les levures et bactéries lactiques présentes lors de la fermentation du Boumkaye.  
11 Les résultats ont montré une prédominance des bactéries lactiques par rapport aux levures  
12 après 10 jours de fermentation à température ambiante. Les bactéries lactiques représentent  
13  $17.10^8$  UFC/ml de *Boumkaye*, tandis que les levures font  $1.10^8$  UFC/ml. Les bactéries  
14 lactiques identifiées à l'aide de la galerie API 50 CH et par la technique MALDI-TOF MS  
15 sont *Weissella confusa*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactococcus garvieae*, *Lactobacillus*  
16 *plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus agilis*, et *Lactococcus lactis*. Pour les levures,  
17 la galerie API 20 C AUX a permis d'identifier *Trichosporon asahii*, *Candida*  
18 *krusei/inconspicua*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Kodamaea ohmeri*, *Candida zeylanoides*,  
19 *Geotrichum klebahnii*, et *Kloeckera spp.* Cependant, la technique MALDI-TOF MS n'a  
20 permis d'identifier que trois levures : *Pichia kudriavzevii*, *Kodamaea ohmeri*, et *Geotrichum*  
21 *candidum*. Il est important de noter que ces microorganismes pourraient être utilisés pour la  
22 formulation de starters.

23 **Mots clés :** 1 : Boumkaye, 2 : microorganismes, 3 : boisson traditionnelle, 4 : fermentation

24 **Abstract**

25 Boumkaye is a fermented millet-based beverage from the Casamance region of Senegal. It is  
26 still consumed for its therapeutic and nutritional virtues, attributed to the use of *Abrus*

27 *pulchellus* lianas in its manufacturing process. Previous studies on this beverage have  
28 revealed a double alcoholic and lactic fermentation, due to the presence of yeasts and lactic  
29 acid bacteria. The aim of this study is to monitor and identify the yeasts and lactic acid  
30 bacteria present during the fermentation of Boumkaye. The results showed a predominance of  
31 lactic acid bacteria over yeasts after 10 days of fermentation at room temperature. Lactic acid  
32 bacteria accounted for  $17,10^8$  cfu/ml of Boumkaye, while yeast accounted for  $1,10^8$  cfu/ml.  
33 Lactic acid bacteria identified using the API 50 CH gallery and MALDI-TOF MS are  
34 *Weissella confusa*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactococcus garvieae*, *Lactobacillus plantarum*,  
35 *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus agilis*, and *Lactococcus lactis*. For yeasts, the API 20 C  
36 AUX gallery identified *Trichosporon asahii*, *Candida krusei/inconspicua*, *Rhodotorula*  
37 *mucilaginosa*, *Kodamaea ohmeri*, *Candida zeylanoides*, *Geotrichum klebahnii*, and *Kloeckera*  
38 *spp.* However, the MALDI-TOF MS technique only identified three yeasts: *Pichia*  
39 *kudriavzevii*, *Kodamaea ohmeri*, and *Geotrichum candidum*. It is important to note that these  
40 microorganisms can be used to formulate starters.

41 **Key words:** 1 : Boumkaye, 2 : microorganisms, 3 : traditional beverage, 4 : fermentation

42

43

#### 44 **1. Introduction**

45 La préparation de boissons fermentées à partir de maïs, de sorgho ou de mil, ou de divers  
46 mélanges de ces céréales, est une pratique courante chez les populations autochtones dans de  
47 nombreuses régions du monde (**Benjamin et al., 2015 ; Ekundayo, 1969 ; F. Lyumugabe et**  
48 **al., 2012**). Ces boissons jouent un rôle important dans les cultures locales et sont souvent liées  
49 aux traditions d'hospitalité et de convivialité des peuples (**Cissé, 2017 ; Dahouenon-Ahoussi**  
50 **et al., 2012**). C'est notamment le cas en Casamance (région du sud du Sénégal), où une

51 boisson fermentée à base de mil appelée Boumkaye est préparée lors des cérémonies  
52 traditionnelles. Cette boisson fermentée est produite grâce à l'utilisation de lianes, une plante  
53 appartenant à la famille des *Fabaceae*, du genre *Abrus*, appelée *Abrus pulchellus*, qui lui  
54 conférerait des vertus thérapeutiques (Cissé, 2015, 2020). Cependant, un certain nombre de  
55 contraintes freinent le développement de ce secteur d'activité. Les caractéristiques  
56 organoleptiques irrégulières de cette boisson la rendent moins attrayante que la bière  
57 occidentale. Il est évident que toute amélioration de ces critères doit s'appuyer sur la  
58 connaissance des processus physiques, chimiques et microbiologiques impliqués dans le  
59 procédé de fabrication. L'étude de la maturation des boissons à base de mil a montré qu'elles  
60 sont associées à une double fermentation, lactique et alcoolique, confirmée par la présence de  
61 bactéries lactiques et de levures (Cissé, 2015, 2017; Coulibaly et al., 2014). Cette étude a  
62 pour objectif d'identifier les différentes souches de levures et de bactéries lactiques présentes  
63 dans le Boumkaye. Il s'agira notamment de suivre leur évolution au cours de la maturation de  
64 cette boisson à base de mil, dans le but d'améliorer le contrôle de la fermentation.

## 65 **2. Matériel et méthodes**

### 66 **2.1. Matériel végétal**

67 Les échantillons analysés proviennent du Boumkaye, une boisson produite au sein du  
68 Laboratoire de Microbiologie Appliquée et de Génie Industriel (MAGI) de l'École Supérieure  
69 Polytechnique de Dakar.

### 70 **2.2. Méthodes**

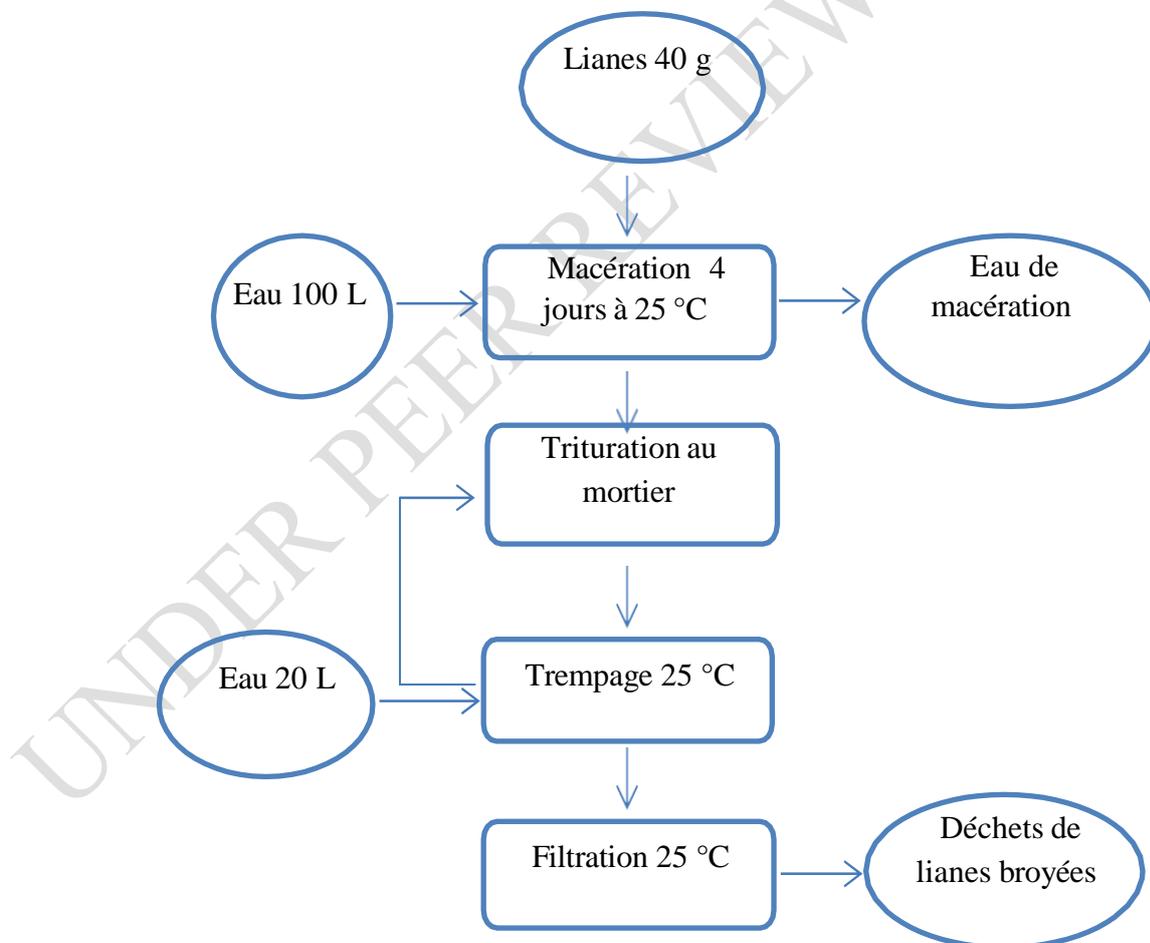
#### 71 **2.2.1. Préparation du Boumkaye**

72 Le procédé de fabrication se compose de trois étapes majeures et distinctes : d'abord, la  
73 production d'un extrait aqueux par macération des lianes d'*Abrus pulchellus* ; ensuite, la

74 préparation de la bouillie de mil ; et enfin, une dernière phase de fermentation pour obtenir le  
75 Boumkaye.

#### 76 2.2.1.1. Extrait aqueux par macération des lianes d'*Abrus pulchellus*

77 Il s'agit d'une étape préliminaire dans la fabrication du Boumkaye. Elle débute par une  
78 macération qui facilite l'extraction des principes actifs de la plante lors de la trituration. Cette  
79 trituration est réalisée de manière répétitive dans un mortier, où les lianes sont écrasées, puis  
80 trempées dans de l'eau (Figure 2). L'extrait aqueux obtenu à partir de la figure 1 est ensuite  
81 filtré et utilisé dans l'étape suivante.



82

83 **Figure 1** : Diagramme d'obtention de l'extrait aqueux des lianes d'*Abrus pulchellus*

84  
85

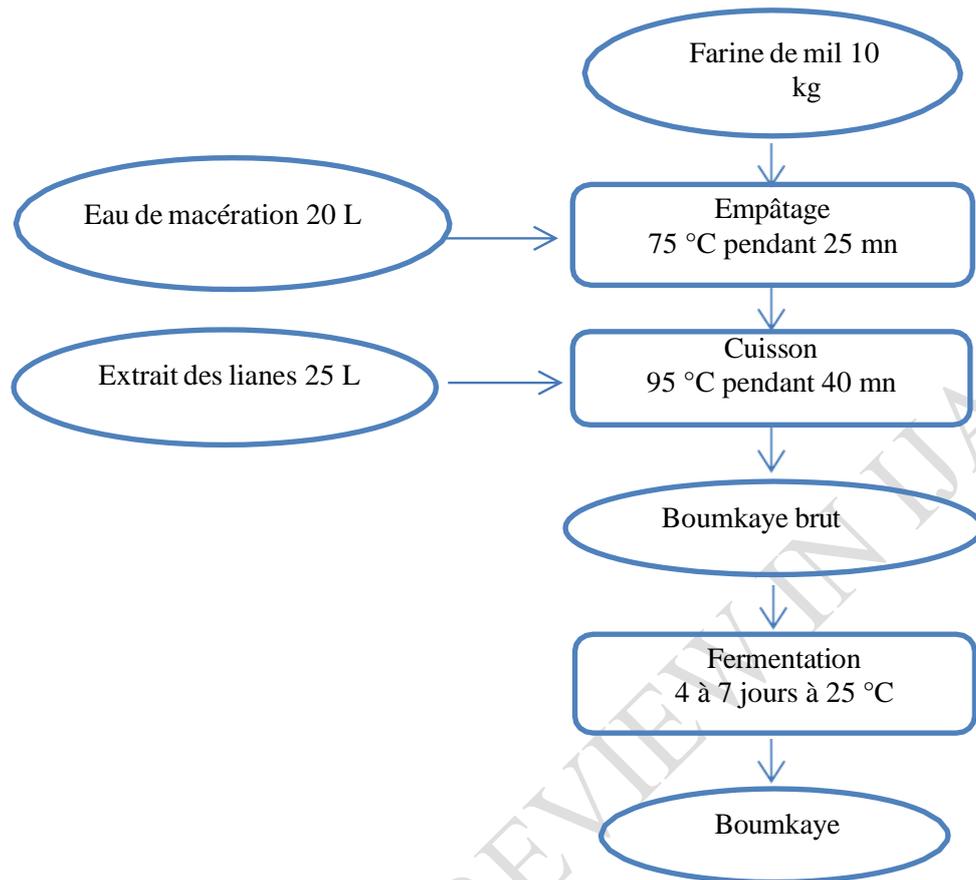


86

87 **Figure 2 :** Lianes d'*Abrus pulchellus* avant (a) et après (b) trituration-trempage et extrait  
88 aqueux (c) (Cissé et al., 2016)

#### 89 2.2.1.2 Préparation et phase de fermentation

90 La farine de mil est mise en pâte dans un ratio de 10 kg / 20 L au cours d'une première phase  
91 de cuisson : c'est l'empattage qui dure 25 à 30 minutes et amène la pâte à une température  
92 maximale de 75°C. L'eau utilisée au cours de cette phase est l'eau de macération. La  
93 deuxième phase de cuisson est amorcée après ajout de 25 litres d'extrait des lianes d'*Abrus*  
94 *pulchellus* (figure 3). La cuisson est réalisée à 95°C pendant 40 minutes et permet d'obtenir  
95 après refroidissement un « Boumkaye brut » qui peut être consommé. Cependant, ce produit  
96 intermédiaire a subi une fermentation à la température ambiante pendant 4 à 10 jours pour  
97 donner le « Boumkaye » proprement-dit (Figure 4).



98

99

100

**Figure 3 :** Diagramme de fabrication du Boumkaye



101

102

**Figure 4 :** La boisson « Boumkaye »

### 103 **2.2.2 Suivi des levures et bactéries lactiques**

104 L'objectif de cette partie est de suivre l'évolution des levures et des bactéries lactiques  
105 présentes dans le Boumkaye, depuis T0 (juste après la production) jusqu'à T6 (10 jours après  
106 la production). Des prélèvements périodiques (0 h, 4 h, 23 h, 27 h, 47 h, 149 h et 215 h) ont  
107 été effectués sur le Boumkaye en fermentation à température ambiante. Pour chaque  
108 prélèvement, 10 ml de Boumkaye sont mélangés avec de l'eau peptonée tamponnée afin  
109 d'obtenir une dilution de  $10^{-1}$ . Une série de dilutions en cascade allant de  $10^{-1}$  à  $10^{-8}$  est ensuite  
110 réalisée. Un millilitre de chaque dilution choisie est ensemencé en profondeur dans une boîte  
111 de Pétri, puis recouvert de milieu gélosé Man, Rogosa et Sharpe (MRS) pour les bactéries  
112 lactiques, et de milieu Sabouraud au chloramphénicol pour les levures. Les boîtes sont bien  
113 agitées pour faciliter la dispersion de la suspension. Après 72 heures d'incubation à 30°C, les  
114 colonies sont dénombrées.

### 115 **2.2.3. Identification des bactéries lactiques**

116 Les caractéristiques microbiologiques et biochimiques des bactéries lactiques ont été  
117 déterminées à l'aide de méthodes d'identification classiques : observation de la morphologie,  
118 examen à l'état frais, coloration de Gram, tests de catalase et d'oxydase, recherche du type  
119 respiratoire et fermentaire, culture en bouillon MRS avec des concentrations croissantes en  
120 NaCl, et utilisation des kits de tests de la galerie API 50 CH (BioMérieux, France). Le profil  
121 biochimique ainsi obtenu a été comparé à la base de données de la clé d'identification API 50  
122 CHL Medium BioMérieux SA, à la référence (**SNEATH & HOLT, 1986**), ainsi qu'au site  
123 web BacDive (Bacterial Diversity). L'identification a été complétée par la technologie  
124 moderne MALDI-TOF MS. Cette méthode consiste à déposer directement la colonie  
125 bactérienne sous forme d'un fin frottis sur la surface d'une plaque métallique, appelée cible,  
126 puis à la recouvrir d'une matrice appropriée. Jusqu'à 96 souches peuvent être étudiées  
127 simultanément avec le système Bruker, et jusqu'à 384 avec le système Shimadzu. La cible est

128 ensuite introduite dans le système MALDI-TOF MS, et en moins de 2 minutes, le premier  
129 spectre de masse est produit et analysé. Par comparaison avec la base de données, le logiciel  
130 informatique propose l'identification la plus probable. Les scores d'identification vont de 1 à 3  
131 représentant respectivement une identification impossible ( $\text{score} < 1$ ), une faible  
132 identification ( $1 < \text{score} < 2$ ), une bonne identification ( $2 \leq \text{score} < 3$ ) et une excellente  
133 identification ( $\text{score} \geq 3$ ).

#### 134 **2.2.4. Identification des levures**

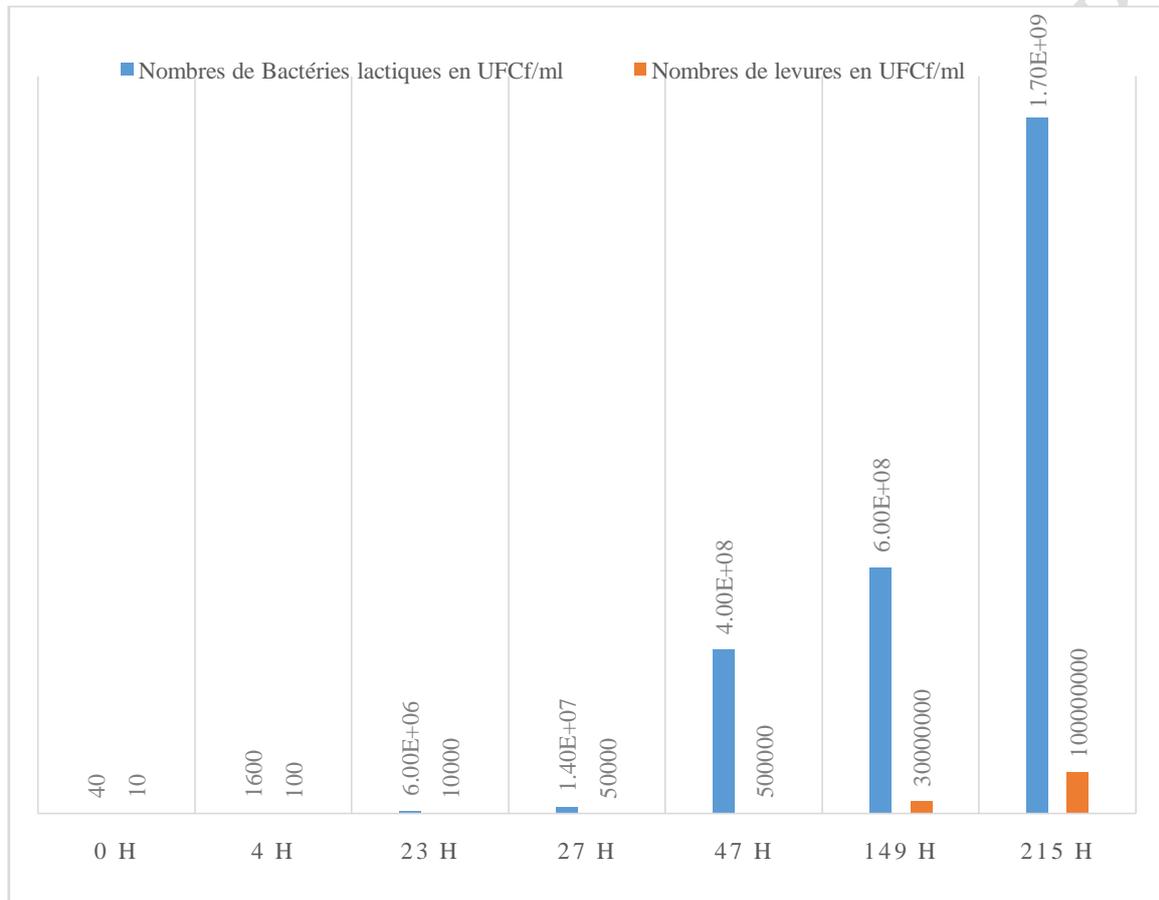
135 L'identification des levures se fait sur des colonies obtenues après dénombrement sur un  
136 milieu gélosé. Elles sont isolées et purifiées par ré-isolement sur un milieu gélosé  
137 SABOURAUD contenant du chloramphénicol, puis incubées à 30 °C pendant 72 heures. Les  
138 colonies pures sont ensuite soumises aux tests suivants : orientation et identification.

- 139 • **Observation macroscopique** : Cette étape permet de décrire l'aspect des colonies  
140 obtenues sur un milieu solide. La couleur et la forme des colonies à l'œil nu ont été  
141 observées après ensemencement des souches sur le milieu PDA (Potato Dextrose Agar).
- 142 • **Observation microscopique** : Cette observation concerne la forme des levures au  
143 microscope optique ainsi que leur mode de reproduction.
- 144 • **Identification avec la galerie API 20 C AUX** : Le profil biochimique des levures a  
145 déterminé par ensemencement des isolats dans la galerie API 20 C AUX. L'identification  
146 a été complétée par la méthode MALDI TOF MS, selon la technique décrite pour les  
147 bactéries lactiques.

### 148 **3. Résultats**

#### 149 **3.1. Suivi des bactéries lactiques et des levures**

150 Le suivi a été réalisé par dénombrement des bactéries lactiques sur milieu MRS et des levures  
 151 sur milieu SABOURAUD après chaque prélèvement. Les résultats montrent que les bactéries  
 152 lactiques atteignent  $1,7 \cdot 10^8$  UFC/ml dans l'échantillon de Boumkaye, tandis que les levures  
 153 sont présentes à hauteur de  $1 \cdot 10^8$  UFC/ml dans le même échantillon. Ces résultats sont  
 154 résumés dans la figure 5 ci-dessous.



155

156 **Figure 5 : Suivi des bactéries lactiques et levures du Boumkaye (courbe)**

### 157 3.2. Identification des bactéries lactiques

158 Les boîtes utilisées pour le dénombrement des bactéries lactiques sur milieu MRS ont permis  
 159 de sélectionner huit colonies potentiellement distinctes, nommées B11 à B17, et identifiées  
 160 après purification. Toutes les colonies purifiées sont blanches, de taille moyenne, et sont des  
 161 bacilles Gram +, catalase -, à l'exception de B1 1 et B1 7 qui sont des *Cocci*. Toutes les

162 souches sont hétérofermentaires, sauf BI 3, BI 4 et BI 6. Les résultats de la galerie API 50 CH  
163 montrent que tous les isolats fermentent le ribose, le galactose, le glucose, le fructose, le N-  
164 acétylglucosamine et le maltose, l'esculine est aussi hydrolysée. Seule la souche BI 1 est  
165 incapable de fermenter le lactose. La souche BI 5 se distingue par sa capacité unique à  
166 fermenter le L-arabinose, le méthyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside (MDG) et le potassium-5-  
167 céto gluconate, tout en étant la seule à ne pas fermenter le gentiobiose, le mannose et le D-  
168 cellobiose. Aucune des bactéries n'est capable de fermenter 24 des 49 substrats constituant la  
169 galerie. Ces différences métaboliques observées confirment la diversité des isolats.  
170 L'utilisation de la clé d'identification des bactéries lactiques de la galerie API 50 CH,  
171 combinée aux informations du Bergey's Manual of Systematic Bacteriology et à la base de  
172 données BacDive sur la diversité bactérienne, nous a permis d'identifier ces souches. Les  
173 résultats de cette identification sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181

182 **Tableau 1 : Noms des bactéries lactiques identifiées par API 50 CH**

<b>Numéro de la souche</b>	<b>Nom des souches correspondantes</b>	<b>Pourcentage d'identification avec la galerie)</b>
BI 1	<i>Weissella confusa</i>	(100%)

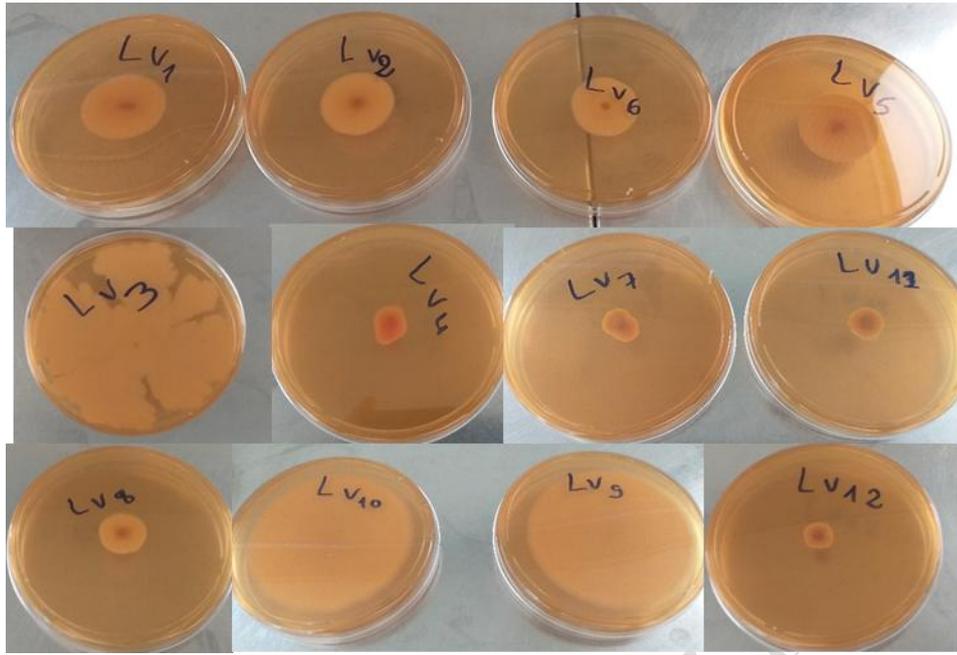
Bl 2	<i>Lactobacillus fermentum</i>	(91,8%)
Bl 3	<i>Lactococcus garvieae</i>	(91,8%)
Bl 4	<i>Lactobacillus plantarum</i>	(100%)
Bl 5	<i>Lactobacillus brevis</i>	(100%)
Bl 6	<i>Lactobacillus agilis</i>	(100%)
Bl 7	<i>Lactococcus lactis</i>	(89,8%)

183

### 184 3.3. Identification des levures

185 Les isollements effectués sur milieu Sabouraud au chloramphénicol ont permis d’obtenir treize  
186 colonies de levures potentiellement différentes, nommées Lv1 à Lv12. L’étude de la  
187 morphologie des colonies sur le milieu Sabouraud a révélé des similitudes entre les souches  
188 Lv1, Lv2, Lv5 et Lv6 ; entre Lv7 et Lv11 ; ainsi qu’entre Lv9 et Lv10. Ces résultats,  
189 confirmés par la méthode d’ensemencement par piqûre centrale sur milieu PDA, illustrée à la  
190 figure 6, ont permis de réduire le nombre d’espèces à identifier de 13 à 7. L’observation au  
191 microscope optique montre des cellules arrondies, isolées ou en chaînes, ainsi que des cellules  
192 en phase de bourgeonnement (figure 7).

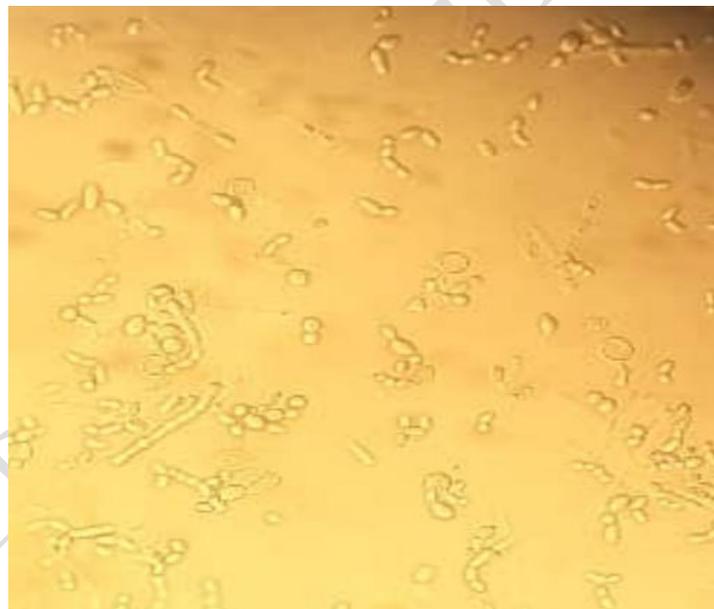
193



194

195

**Figure 6 : Morphologie des colonies par Piqûre centrale sur PDA après 5 jours à 30 °C**



196

197

**Figure 7 : Levures au microscope optique Gx40**

198

199

200

201

202

Les résultats de la galerie API 20 C-AUX montrent que toutes les souches assimilent le glucose. Seule la souche Lv 12 est incapable d'assimiler le glycérol. La souche Lv 1 est la seule qui utilise le lactose. Aucune de ces souches n'est capable d'assimiler l'inositol. La comparaison des résultats avec la clé d'identification de la galerie Api 20 C AUX a permis d'identifier les souches qui sont inscrites dans le Tableau 2 ci-après.

203 **Tableau 2 : Noms des levures identifiées par API 20 C-Aux**

	<b>Nom des souches correspondantes</b>
Lv 1	<i>Trichosporon ashii</i>
Lv 3	<i>Candida krusei/inconspicua</i>
Lv 4	<i>Rhodotorula mucilaginosa 2</i>
Lv 7	<i>Kodamea ohmeri</i>
Lv 8	<i>Candida zeylanoides</i>
Lv 10	<i>Géotrichum klebahnii</i>
Lv 12	<i>Kloeckera ssp</i>

204

205 **3.4. Identification de tous les isolats par la technologie MALDI-TOF MS**

206 L'identification des bactéries lactiques par la technologie MALDI-TOF MS confirme bien  
 207 celle utilisée par la galerie API 50 CH avec de bons scores. Toutefois, cette technologie n'a  
 208 pu identifier que trois souches de levures que sont Lv 3, Lv 7 et Lv 10. Les résultats de cette  
 209 identification sont présentés dans le tableau III suivant.

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219 **Tableau 3 : Principaux isolats du Boumkaye identifiés par MALDI-TOF MS**

ID de l'échantillon	Organisme (meilleur candidat)	Score Valeur
Bl 1 (standard)	<i>Weissella confusa</i>	2.11
Bl 2 (standard)	<i>Weissella confusa</i>	2.16
Bl 3 (standard)	<i>Pediococcus pentosaccus</i>	1.95
Bl 4 (standard)	<i>Lactobacillus plantarum</i>	2.18
Bl 5 (standard)	<i>Levilactobacillus brevis</i>	2.17
Bl 7 (standard)	<i>Weissella cibaria</i>	2.05
LV 3 (standard)	<i>Pichia kudriavzevii</i>	2.09
Lv 7 (standard)	<i>Kodamea ohmeri</i>	1.86
Lv 10 (standard)	<i>Geotrichum candidum</i>	2.14

220

#### 221 4. Discussion

222 Les résultats du dénombrement (**figure 5**) montrent que les bactéries lactiques initient la  
 223 fermentation et sont majoritaires par rapport aux levures après 10 jours de fermentation  
 224 ( $17.10^8$  UFC/ml pour les bactéries lactiques et  $10^8$  UFC/ml pour les levures. Ces résultats  
 225 confirment ceux obtenus précédemment par CISSE 2020 avec une présence de levures de  
 226  $55.10^5$  à  $150.10^5$  UFC/ml et des bactéries lactiques de  $120.10^6$  à  $170.10^6$  UFC/ml (**CISSE,**  
 227 **2020**). Ces résultats sont aussi conformes avec ceux de la boisson burkinabé à base de mil le  
 228 zoom-koom où la flore lactique varie entre moins de  $10$  UFC/ml et  $1.10^7$  UFC/ml et les levures  
 229 entre  $8,2.10^3$  UFC/ml et  $2,310^5$  UFC/ml ) (**RAZAAK, 2014**). Il en est de même pour le pot-  
 230 poto, une pâte fermentée de maïs du Congo avec une flore lactique qui varie entre  $1,8.10^{10}$   
 231 UFC/ml et  $1,3 10^{11}$  UFC/ml et les levures entre  $3,2.10^7$  UFC/ml à  $4.10^9$  UFC/ml (**Louembe et**

232 **al., 2005)**. Par contre, pour l'ikagage, une bière produite au Rwanda et le tchapalo en Côte  
233 d'Ivoire, les levures constituent la microflore dominante avec respectivement  $10,15.10^6$   
234 UFC/ml et  $1,9.10^8$  UFC/ml (**Aka & N'guessan, 2008**). Les levures et les bactéries lactiques  
235 pourraient être apportées par l'environnement, les matières premières (la farine de mil, les  
236 lianes d'*Abrus*, l'eau) et le matériel de travail. L'association de ces deux types de  
237 microorganismes est retrouvée dans la fermentation spontanée de beaucoup de céréales (**Aka**  
238 **& N'guessan, 2008; Coulibaly et al., 2014**).

239 Les différences observées sur les galeries du point de vue métabolique confirment la diversité  
240 des souches identifiées. Les bactéries lactiques identifiées sont retrouvées dans de nombreuses  
241 boissons fermentées traditionnelles (Lyumugabe, 2013). C'est l'exemple du Ikigage au  
242 Rwanda (**L. Lyumugabe et al., 2010**), du Tchoukoutou au Bénin (**A. Kayodé et al., 2005; A.**  
243 **P. P. Kayodé et al., 2007**), du Bili bili ou Amgba au Tchad (**Maoura et al., 2005**), du  
244 Burkutu au Nigéria et au Ghana (**Blandino et al., 2003; Van der et al., 2001**), du Pito au  
245 Ghana (**Sefa-Dedeh & Sanni, 1999**), du Dolo au Burkina Fasso (**Sawadogo-Lingani et al.,**  
246 **2008**), du Doro ou Chibuku au Zimbabwe et du Faffir en Afrique du Sud (**F. Lyumugabe et**  
247 **al., 2012**).

248 Les variations des espèces retrouvées dans ces boissons pourraient être liées à la méthode  
249 d'identification utilisée ou aux ingrédients et ustensiles employés lors de leur préparation.

250 L'action des bactéries lactiques pendant la fermentation est d'abord associée à l'élaboration de  
251 l'arôme et de la texture du produit final, ainsi qu'à la sécurité alimentaire grâce aux acides  
252 organiques qu'elles produisent. D'autres effets, tout aussi importants, sont souvent  
253 mentionnés, tels que les propriétés probiotiques des bactéries lactiques et leur capacité à  
254 inhiber les bactéries pathogènes (**Yao et al., 2009**). Elles acidifient le milieu, ce qui favorise  
255 également le développement des levures. Concernant ces dernières, différents genres ont été

256 identifiés dans les boissons à base de céréales, et ces genres varient d'une boisson à l'autre.  
257 Ces variations pourraient également être dues à la méthode d'identification utilisée ou aux  
258 ingrédients et ustensiles employés. Les levures réalisent la fermentation alcoolique, qui  
259 constitue la dernière étape du processus de production de cette bière traditionnelle,  
260 déterminant ainsi de manière prépondérante les caractéristiques du produit fini (**Coulibaly et**  
261 **al., 2014**).

262 L'intérêt œnologique des levures non-*Saccharomyces* a suscité ces dernières années de  
263 nombreux travaux et débats. Leur impact a souvent été considéré comme négatif, mais leurs  
264 aptitudes technologiques, leur capacité à augmenter la complexité du produit final, à excréter  
265 des enzymes d'intérêt et à produire des arômes fermentaires sont autant de potentiels (**Zott,**  
266 **2009**). Elles sont beaucoup plus présentes en début de fermentation, où elles initient le  
267 processus avant de céder la place à *S. cerevisiae*. Il a été démontré que les espèces non-  
268 *Saccharomyces* représentaient 95 % des isolats à 0 heure de fermentation, mais seulement 5 %  
269 des isolats à 4 heures de fermentation (**Coulibaly et al., 2014**). Outre les alcools supérieurs et  
270 les esters, les résultats montrent que les levures non-*Saccharomyces* peuvent influencer la  
271 production de nombreux métabolites, notamment le glycérol, les acides gras à chaîne  
272 moyenne, les thiols, les terpènes, les C13-norisoprénoïdes et les mannoprotéines (**Valera,**  
273 **2016**). Les profils sensoriels peuvent également être très diversifiés, et des différences  
274 significatives sont souvent observées par rapport à une fermentation réalisée uniquement avec  
275 *S. cerevisiae* (**Gobert, 2019**). La lenteur de la fermentation du Boumkaye pourrait s'expliquer  
276 par la présence de levures ne faisant pas partie du genre *Saccharomyces*.

## 277 **5. Conclusion**

278 L'objectif de ces travaux était de caractériser les microorganismes présents dans le Boumkaye  
279 en suivant l'évolution de la flore lactique et levurienne, ainsi que de procéder à leur

280 identification. Le suivi de la flore du Boumkaye au cours de la fermentation a révélé une  
281 prédominance des bactéries lactiques après 10 jours de fermentation à température ambiante.  
282 Les souches identifiées dans cette étude se retrouvent également dans la plupart des boissons  
283 traditionnelles à base de céréales. Cependant, bien que l'identification à l'aide des galeries  
284 API 50 CH, API 20 C-AUX, et par la technologie MALDI-TOF MS montre certaines  
285 similitudes entre les isolats, des différences significatives apparaissent au niveau des genres et  
286 des espèces, ce qui limite la fiabilité de ces techniques. Il serait donc pertinent de procéder à  
287 une identification moléculaire des souches pour lesquelles les résultats des galeries ne  
288 concordent pas avec ceux obtenus par la technologie MALDI-TOF MS. L'exploitation des  
289 résultats obtenus pourrait être bénéfique pour améliorer la production du Boumkaye.

## 290 **6. Références bibliographiques**

- 291 Aka, S., & N'guessan, florent. (2008). Variabilité des propriétés physico-chimiques et  
292 dénombrement de la flore fermentaire du tchapalo, une bière traditionnelle de sorgho  
293 en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 4, 274-286.
- 294 Benjamin, K. K., Casimir, K. A., Masse, D., & Emmanuel, A. N. (2015). Batch Fermentation  
295 Process of Sorghum Wort Modeling by Artificial Neural Network. *11*(3), 19.
- 296 Blandino, A., Al-Aseeri M. E., Pandiella S. S., Cantero D., & Webb C. (2003). Cereal-based  
297 fermented foods and beverages. *Food Res. Int*, 36(6), 527-543.
- 298 Cissé, O. I. K. (2015). Production de boisson à base de céréales locale : Le cas du boumkaye  
299 [Diplôme d'Ingénieur Technologue Option : Industries Alimentaires], Université  
300 Cheikh Anta Diop de Dakar.
- 301 Cissé, O. I. K. (2017). Production et contrôle qualité d'une boisson à base de mil : Le cas du  
302 Boumkaye. [Master Analyses physico-chimiques et management de la qualité des  
303 produits de santé et des aliments]. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté de  
304 Médecine, De Pharmacie Et D'odontologie Département des Sciences

305 Cissé, O. I. K. (2020). Les boissons fermentées traditionnelles au Sénégal : Diagnostic des  
306 procédés, études de la maturation et essais de stabilisation. [Thèse de Doctorat option  
307 Génie des Procédés et Environnement], 185.

308 Cissé, O. I. K., Faye, G., Ali, M. S., Ayessou, N. C., Cissé, M., & Diatta, M. (2016).  
309 Diagnostic du procédé et caractérisation physico-chimique et biochimique d'une  
310 boisson fermentée à base de mil : Le Boumkaye. 8. <http://www.afriquescience.info>

311 Coulibaly, W. H., N'guessan, K. F., Coulibaly, I., Djè, K. M., & Thonart, P. (2014). Les  
312 levures et les bactéries lactiques impliquées dans les bières traditionnelles à base de  
313 sorgho produites en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique).  
314 *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(2), 209-219.

315 Dahouenon-Ahoussi, E., Degnon, R. G., Adjou, E. S., & Sohounhloue, D. C. K. (2012).  
316 Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (Sorghum  
317 bicolor et *Musa acuminata*) par adjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon*  
318 *citratu*s. 51, 3596-3607.

319 Ekundayo, J. A. (1969). The production of pito, a Nigerian fermented beverage. *Int. J. Food*  
320 *Sci. Technol*, 4(3), 217-225. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2621.1969.tb01517.x>.

321 Gobert, A. (2019). Etude des besoins en azote des levures non-Saccharomyces en  
322 vinification : Impact sur les fermentations séquentielles [Thèse de Doctorat, Université  
323 Bourgogne Franche-Comté]. <https://theses.hal.science/tel-02191577>

324 J. A. Ekundayo, 1969, « The production of Pito, a Nigerian fermented beverage », *Int. J. Food*  
325 *Sci. Technol*, Vol. 4, N° 3, P. 217-225, Doi : 10.1111/J.1365-2621.1969.Tb01517.X.

326 Kayodé, A., Aégbidi, A., Linnemenn A. R., Nout M. J. R., & Hounhouigana J. D. (2005).  
327 Quality of farmer's varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers  
328 in Benin. *Ecol Food Nutr*, 44(4), 271-294.  
329 <https://doi.org/10.1080/03670240500187302>

330 Kayodé, A. P. P., Hounhouigan J. D, & Nout M. J. R. (2007). Impact of brewing process  
331 operations on phytate, phenolic compounds and in vitro solubility of iron and zinc in  
332 opaque sorghum beer. *LWT Food Sci. Technol.*, 40(5), 834-841.  
333 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.04.001>

334 Louembe, D., Keleke, S., & Kobawila, S. (2005). Des bactéries lactiques tolérantes à l'acidité  
335 et aux sels biliaires dans le yonga, une boisson fermentée traditionnelle du Congo.  
336 *Sciences des Aliments*, 25(3), 249-253. <https://doi.org/10.3166/sda.25.249-253>

337 Lyumugabe, F. (2013). Caractérisation et amélioration de la qualité de la bière traditionnelle  
338 rwandaise « ikigage » fabriquée a base de sorgho [Docteur en sciences agronomiques  
339 et ingénierie biologique]. Académie Universitaire Wallonie – Europe Université De  
340 Liège.

341 Lyumugabe, F., Gros, J., Nzungize, J., Bajyana, E., & Thonart, P. (2012). Characteristics of  
342 African traditional beers brewed with sorghum malt : A review. *Biotechnol. Agron.*  
343 *Soc. Environ.*, 16(4), 509-530.

344 Lyumugabe, L., Kamaliza G., Bajyana E., & Thonart Ph. (2010). Microbiological and  
345 physico-chemical characteristic of Rwandese traditional beer “Ikigage”. *Afr J*  
346 *Biotechnol*, 9(27), 4241-4246.

347 Maoura, N., Mbaiguinam M, Nguyen H., Gaillardin C, & Pourquoi J. (2005). Identification  
348 and typing of the yeast strains isolated from bili bili, a traditional sorghum beer of  
349 Tchad. *Afr J Biotechnol*, 4(7), 646-656. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3117>

350 Razaak, S. M. A. A. (2014). Utilisation de cultures de *Lactobacillus fermentum* dans la  
351 technologie du zoom-koom, une boisson locale a base de mil (*Pennisetum glaucum*)  
352 pour améliorer sa qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique [Master en  
353 Biologie Appliquée et Modélisation des Systèmes Biologiques]. Université  
354 Polytechnique De Bobo-Dioulasso (UPB).

355 Sawadogo-Lingani, H., Diawara, B., & Traoré, A. S. (2008). Utilisation de souches  
356 sélectionnées de *Lactobacillus fermentum* et un isolat de levure comme cultures starter  
357 dans la production du dolo, une boisson fermentée à base de sorgho. 2, 25.

358 Sefa-Dedeh, S., & Sanni, A. I. (1999). Yeasts in the traditional brewing of pito in Ghana.  
359 *World J. Microbiol. Biotechnol*, 15, 393-597.

360 Sneath, P. H. A., & HOLT, J. G. (Éds.). (1986). *Bergey's Manual Of Systematic Bacteriology*  
361 (Vol. 2). Williams & Wilkins.

362 Valera, C. (2016). The impact of non-Saccharomyces yeasts in the production of alcoholic  
363 beverages. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 9861-9874. [https://doi.org/10.1007/s00253-](https://doi.org/10.1007/s00253-016-7941-6)  
364 016-7941-6.

365 Van der, A. K. A., Jesperen L, Diawara B, Jakobsen M, & Glover RL. (2001). Identification  
366 and characterization of *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from West African  
367 sorghum beer. *18(11)*, 1069-10799. <https://doi.org/10.1002/yea.756>

368 Yao, A. A., Egounlety M., Kouamé L. P., & Thonart P. (2009). Les bactéries lactiques dans  
369 les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : Leur  
370 utilisation actuelle. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153(13), 54-65.

371 Zott, K. (2009). Les levures non *Saccharomyces* : Dynamique, caractérisation et interaction  
372 avec *Saccharomyces* durant les étapes pré-fermentaires et la fermentation alcoolique  
373 [Thèse de Doctorat]. Université de Bordeaux, ISVV de Bordeaux, Aquitaine, INRA  
374 UMR 1219.

375

376