



Journal Homepage: - www.journalijar.com
**INTERNATIONAL JOURNAL OF
 ADVANCED RESEARCH (IJAR)**

Article DOI: 10.21474/IJAR01/5211
 DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/5211>



REVIEW ARTICLE

LES ASPECTS TECHNOLOGIQUES, MICROBIOLOGIQUES ET NUTRITIONNELS DES ALIMENTS FERMENTES A BASE DE LAIT ET DE MIL EN AFRIQUE DE L'OUEST.

Abel Tankoano^{1,2}, Michel Bakar Diop³, Hagrétou Sawadogo-Lingani², Donatien Kaoré² and *Aly Savadogo¹.

1. Université Ouaga I Professeur Joseph Ki-Zerbo, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquée (LaBIA), 03BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.
2. Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologiques, Département Technologie Alimentaire, 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso.
3. Université Gaston Berger, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Agronomiques, de l'Aquaculture et de Technologies Alimentaires, Section de Technologies Alimentaires, BP 234 Saint-Louis, Sénégal.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 18 June 2017
 Final Accepted: 20 July 2017
 Published: August 2017

Key words:-

Mil, Lait, Aliments traditionnels, Fermentation, Valeur nutritionnelle, Afrique de l'Ouest.

Abstract

La production du mil et du lait est particulièrement importantes en Afrique de l'Ouest. Ces deux denrées occupent une place importante dans l'alimentation de base des populations d'Afrique subsaharienne. L'objectif de cette revue de littérature est de faire l'état de lieux des technologies de fabrication des aliments fermentés lactés à base de mil, d'identifier les principaux microorganismes impliqués dans leur fabrication et d'analyser leurs valeurs nutritionnelles. Les résultats de la littérature indiquent que le *gappal*, le *dèguè* ou *tiakri* et le *tchobal* ou *fura* sont les principaux aliments fermentés à base de lait et de mil de l'Afrique de l'Ouest. Le *gappal* se singularise des autres denrées d'une part par la fermentation appliquée sur le mil additionné de lait et d'autre part par l'absence d'une étape de cuisson. Le mil est la base d'autres aliments fermentés tels les bouillies (*ben-salga*, *ben-kida*, *koko*), les boissons alcoolisées ou non alcoolisées (*zoom-koom*, *obiolor*, l'eau de *koko*, *gowé*, *kunun-zaki*), les gâteaux ou galettes (*Massa*, *wômi*) et les pâtes cuites fermentées (*tô*, *Moabu*). Ces aliments se caractérisent par une qualité nutritionnelle intéressante. Cependant, les aspects microbiologiques et organoleptiques restent à améliorer d'où la nécessité de leur promotion par des technologies standardisées notamment par l'utilisation des bactéries d'intérêt technologique locales.

Copy Right, IJAR, 2017,. All rights reserved.

Introduction:-

L'alimentation de la population d'Afrique subsaharienne est essentiellement basée sur les céréales. Le mil (*Pennisetum glaucum*) représente la moitié de la production mondiale en céréales ; il est la céréale la plus cultivée (FAO, 1995). Le mil perles ou petit mil, est cultivé dans des régions où la pluviosité se situe entre 150 et 800 millimètres, notamment en Afrique et en Asie (Bezançon *et al.*, 1997). Il peut croître sur les sols sableux et pauvres caractéristiques de certains écosystèmes de l'Afrique subsaharienne (Tostain, 1998).

Corresponding Author:- Aly Savadogo.

Address:- Université Ouaga I Professeur Joseph Ki-Zerbo, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquée (LaBIA), 03BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

Parmi les céréales, le mil a le rendement le plus élevé en conditions de sécheresse et de températures élevées. De par la quantité produite, les variétés de mils constituent les céréales les plus largement utilisées pour l'alimentation en Afrique. Ils constituent une source majeure de glucides, protéines, vitamines et sels minéraux pour les populations (Serna-Saldivar, Rooney, 1995). De nombreuses études relatent de la très grande diversité d'aliments à base de mil en fonction du contexte socioculturel. Des techniques se sont développées et ont donné lieu à des aliments très différents selon la zone considérée. En Afrique de l'Ouest, le mil est souvent consommé sous la forme de pâte cuite tel que le *tô* au Burkina Faso, de bouillie telles que le *ben-kida*, le *bensalga* et le *kirario* (Konkobo *et al.*, 2002, Songré-Ouattara *et al.*, 2009), de couscous ou de galettes tel que le *massa* (Compaore/Sereme, 2016). Il entre également dans la fabrication de boissons alcoolisées comme la bière de mil ou *dolo* au Burkina Faso (Sawadogo-Lingani *et al.*, 2008) ou de boissons non alcoolisées tel que le *zoom-koom* (Soma, 2014), l'eau aigre de *koko*, *obiolor*, le *kunun-zaki* (Achi, 1990, Blandino *et al.*, 2003, Agarry *et al.*, 2010) ou encore utilisé dans la production de grumeaux et aliments lactés tels que le *dèguè*, le *tchobal* et le *gappal* (Hama *et al.*, 2009, Tchekessi *et al.*, 2014a, Tankoano *et al.*, 2016b). La composition biochimique du mil le rapproche du sorgho. Les teneurs en amidon sont légèrement inférieures à celles du sorgho tandis que la teneur en protéines et en lipide sont plus élevées que celle du sorgho et la plupart des autres céréales (maïs, sorgho, riz...).

Les cultures de mil sont intéressantes parce que presque toutes les variétés contiennent un pourcentage élevé en protéines. La teneur en acides aminés essentiels notamment la teneur en tryptophane est plus importante dans le mil comparés aux autres céréales. Le mil constitue en outre une bonne source de vitamines du groupe B, particulièrement la thiamine et la niacine dont les taux dans les produits finis sont spécialement liés à l'intensité du blutage et des traitements technologiques appliqués; il est cependant pauvre en calcium mais sa teneur en fer est appréciable (Latham, 2001, Icard-Vemière *et al.*, 2002, Saleh *et al.*, 2013). Les aliments et boissons à base de mil sont généralement fermentés dans de nombreux pays, cependant il existe peu de données scientifiques sur leurs procédés de production. Selon les pays et les régions, les noms peuvent changer pour le même produit à base de mil. La fermentation est essentiellement de type lactique dans les différentes transformations du mil. L'amidon brut du mil est transformé en acide avec modification de la teneur en composants essentiels tel que les hydrates de carbones, les protéines, les éléments minéraux, l'abaissement des facteurs antinutritionnels et la production d'arômes (Icard-Vemière *et al.*, 2002, Dicko *et al.*, 2006, Chelule *et al.*, 2010).

Les grains de mil sont d'excellentes sources de protéines diététiques grâce à la teneur significative de fibre. Cependant, la qualité nutritionnelle et sensorielle du mil et de ses produits transformés reste faible comparée à celles du lait également très consommé en Afrique de l'Ouest. Le lait a une teneur en protéines totales ; une teneur en acides aminés essentiels tels que la lysine et en vitamines plus importante. La digestibilité du calcium et du phosphore est exceptionnellement élevée dans le lait, en partie parce qu'ils se trouvent en association avec la caséine (FAO, 1998). Par conséquent, l'ajout de lait au mil accroît de façon significative la qualité nutritionnelle des aliments. L'étape d'ajout du lait au mil pour le renforcement de la qualité nutritionnelle et sensorielle des aliments est variable selon les produits et les localités.

Le but de cette revue est d'évaluer l'importance et les connaissances actuelles sur les aliments fermentés à base de mil en Afrique de l'Ouest, principalement ceux contenant du lait. Le document présente la diversité des technologies, la valeur nutritionnelle et les principaux microorganismes responsables de la fermentation. Les technologies des principaux produits ont été comparées à celle du « *Gappal* » un aliment fermenté lacté à base de mil typique du Burkina Faso.

Production et consommation du mil en Afrique de l'Ouest:

Les céréales représentent une partie importante du régime alimentaire de la population Ouest africaine, notamment le maïs, le sorgho, le fonio, le mil, le blé et le riz. La production totale en céréales de l'Afrique de l'Ouest portait en 2013 sur un volume de 57 millions de tonnes, pour une population d'environ 300 millions d'habitants. L'Afrique représente 50,6% de la production mondiale de mil sur la décennie 2004-2013 avec trois (03) de ses pays (Nigeria, Niger et Mali) parmi les cinq (05) premiers pays producteurs au monde. Malgré de légères baisses en 2011 (Figure 1), la production de mil de l'Afrique de l'Ouest reste l'une des plus importantes au monde et reste toujours au-dessus de huit (08) millions de tonnes l'an (FAO, 2015).

La prépondérance du mil et du sorgho dans les productions céréalières des pays d'Afrique sahélienne s'explique par le fait que ces céréales ont des rendements de production relativement bons par rapport aux autres céréales sur des sols pauvres et dans des zones où les précipitations sont rares et irrégulières. On distingue trois grands bassins de

production: le Nord-Ouest du Nigeria, qui s'étend jusqu'au nord du Cameroun et au sud du Niger; la zone Sénégal-Gambie et un bassin moins marqué qui couvre le Burkina Faso et le Nord-Est du Mali (Uher *et al.*, 2011). La production de mil est autoconsommée à hauteur de 95 % (Bekoye, 2011). Au Niger par exemple, la consommation moyenne du mil varie de 240 à 280 kg/habitant (Ouendeba, Sogoba, 2004, Bekoye, 2011). La farine de mil est utilisée principalement pour la préparation du couscous, du *tô* (pâte cuite) et la semoule est utilisée pour la préparation des bouillies. Avec l'accroissement de la population et l'urbanisation rapide dans les pays du sahel, la satisfaction des besoins alimentaires est devenue prioritaire. Les céréales traditionnelles dont le mil tendent à devenir des cultures de marché (rente) avec une forte demande en produits transformés dans les grands centres urbains (Ouendeba, Sogoba, 2004). Cette demande a pour conséquence une prolifération de nouvelles formulations d'aliments et d'entreprises agroalimentaires dans tous les pays Ouest africains.

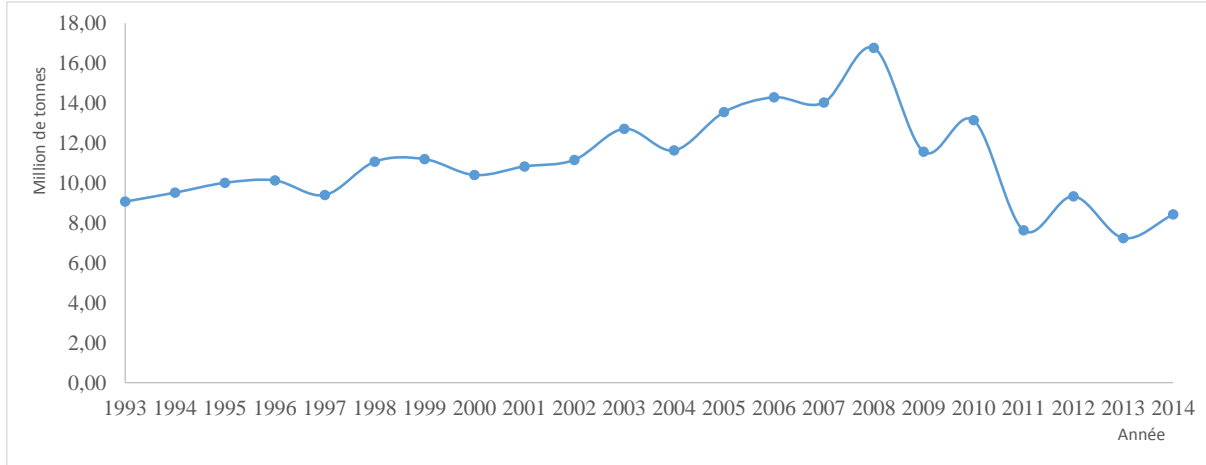


Figure1:- Evolution de la production totale de mil en Afrique de l'ouest de 1993 à 2014 (Adapté de FAOSTAT, Octobre 2015)

Diversité des aliments fermentés à base de mil :

Les aliments à base de mil sont principalement des produits traditionnels obtenus à partir des grains entiers, concassés ou réduits en farine ou en semoule après décorticage et mouture. Les traitements technologiques utilisés seuls ou en combinaison sont : le trempage, le lavage, le décorticage, la mouture, la cuisson (à la vapeur ou à l'eau), la torréfaction, la germination et la fermentation (HUMBLLOT, 2011).

La diversité des produits et la variabilité de la technologie des produits à base du mil selon les pays est particulièrement marquante. La majorité des produits est rencontrée dans divers pays avec différentes appellations et de légères différences technologiques (Soro-Yao *et al.*, 2014b). Dans l'inventaire des produits à base de mil, peu d'aliments lactés sont rencontrés (Tableau 1). Les produits céréaliers lactés et fermentés sont du point de vue biochimique et nutritionnel, très avantageux pour combler le déficit en éléments nutritifs défaillants dans les aliments céréaliers et les produits laitiers pris individuellement.

Tableau 1:- Principaux aliments fermentés à base de mil de l'Afrique de l'Ouest

Aliments	Catégorie d'aliment	Pays	Références
<i>Baca</i>	Bouillie utilisée comme petit déjeuner ou pour l'alimentation des jeunes enfants	Côte d'Ivoire	Soro-Yao <i>et al.</i> , 2014a
<i>Ben-kida</i>	Bouillie fermentée contenant des grumeaux.	Burkina Faso	Songré-Ouattara <i>et al.</i> , 2010
<i>Ben-salga</i>	Bouillie fermentée de texture lisse	Burkina Faso	Tou <i>et al.</i> , 2006
<i>Dagnan</i>	Pâte consommée avec des légumes, du poisson ou de la viande	Côte d'Ivoire	Soro-Yao <i>et al.</i> , 2014b
<i>Dèguè</i>	Grumeaux de mil cuits additionnés de lait avant consommation.	Burkina Faso, Bénin	Hama <i>et al.</i> , 2009, Tchekessi <i>et al.</i> , 2014a
<i>Fura ou</i>	Pâte fermentée cuite et moulée en	Burkina Faso,	Icard-Vernière <i>et al.</i> , 2010,

<i>Tchobal</i>	boule	Nigeria	Owusu-Kwarteng <i>et al.</i> , 2012
<i>Gappal</i>	Pâte fermentée lactée, liquide ou séchée	Burkina Faso	Tankoano <i>et al.</i> , 2016b
<i>Gowé</i>	Pâte de mil maltée, cuite, consommée comme boisson après dilution avec du lait et ajout de sucre	Benin	Michodjèhoun-Mestres <i>et al.</i> , 2005b
<i>Kunun-zaki</i>	Boisson fermentée non alcoolisée	Nigeria	Obadina <i>et al.</i> , 2008, Nwachukwu <i>et al.</i> , 2010
<i>Liquide aigre de Koko</i>	Boisson non alcoolisée	Ghana	Lei, Jakobsen, 2004
<i>Masa, galettes ou womi</i>	Friture de pâtes fermentées sucrée ou salée	Burkina Faso, Nigeria, Côte d'Ivoire	Icard-Vernière <i>et al.</i> , 2010, Soro-Yao <i>et al.</i> , 2014b, Compaore/Sereme, 2016
<i>Moabu</i>	Pâte fermentée cuite à la gélatinisation. Elle se consomme accompagnée de sauce ou délayée (eau ou lait)	Est du Burkina Faso	Cette étude
<i>Ogi</i>	Bouillie aigre avec une saveur ressemblant au yaourt obtenu par fermentation lactique de la farine de maïs, sorgho ou mil.	Nigeria	Teniola <i>et al.</i> , 2005
<i>Oti-Oka</i>	Boisson non alcoolisée	Nigeria	Ogunbanwo, Ogunsanya, 2012
<i>Tô, wo,</i>	Pâte de farine (fermentée ou non) cuite à la gélatinisation. Elle se consomme accompagnée de sauce ou délayé	Benin, Mali, Togo, Niger, Burkina Faso	Konkobo <i>et al.</i> , 2002, Icard-Vernière <i>et al.</i> , 2010
<i>Womi</i>	Gâteau consommé au petit déjeuner	Côte d'Ivoire	Soro-Yao <i>et al.</i> , 2014b
<i>Zoom-Koom</i>	Boisson fermentée non alcoolisée.	Burkina Faso	Soma, 2014

Technologie d'aliments fermentés a base de mil et de lait:

La combinaison du mil et du lait dans un processus de fermentation abouti à des aliments de meilleure qualité nutritionnelle et fonctionnelle. Cependant peu de technologies d'aliments fermentés à base de mil en Afrique de l'ouest sont fabriqués par fermentation du mélange des deux substrats et peu d'études scientifiques existent sur de tels aliments. Les études sur le *dèguè* ou *tiakri* et le *fura* ou *tchobal* indiquent que le lait fermenté est mélangé au produit à base de mil préalablement cuit. Le *gappal*, produit typique du Burkina Faso, présente la particularité d'une fermentation réalisée sur le mélange mil-lait (Hama *et al.*, 2009, Icard-Vernière *et al.*, 2010, Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012, Tchekessi *et al.*, 2014a, Tankoano *et al.*, 2016b). Les points suivant détaillent la technologie de fabrication de ces aliments.

Le Dèguè ou Tiakri:

Le *Dèguè* est l'aliment lacté à base de mil le plus répandu au Burkina Faso, au Bénin, au Mali, en Côte d'Ivoire et au Sénégal où il est appelé *Tiakri*. C'est un produit fortement consommé par toutes les couches de la société et reconnu pour ses propriétés probiotiques (Tchekessi *et al.*, 2014a). Le *Dèguè* est un aliment fermenté, cependant dans le procédé de fabrication, la fermentation concerne uniquement le lait qui est ajouté aux grumeaux de farine de mil précuits. Le produit lacté utilisé est généralement du lait de vache fermenté ou de la poudre de lait reconstituée et fermentée. C'est une boisson préparée et vendue, tous les jours, à l'état frais, aux abords des voies, à proximité des zones d'activités, dans les marchés et boutiques par des petites unités de transformation (Hama *et al.*, 2009, Tchekessi *et al.*, 2014b). Des améliorations du procédé de fabrication par rapport au procédé traditionnel ont été proposées récemment au Bénin par Tchekessi *et al.* (2014). Ces améliorations sont basées sur l'introduction d'une étape de fermentation complémentaire d'une durée de 2 heures portant sur le lait contenant les grumeaux de mil cuits dans des proportions standardisées avant le conditionnement au froid. La figure 2 montre technologie de fabrication du *dèguè* au Burkina Faso.

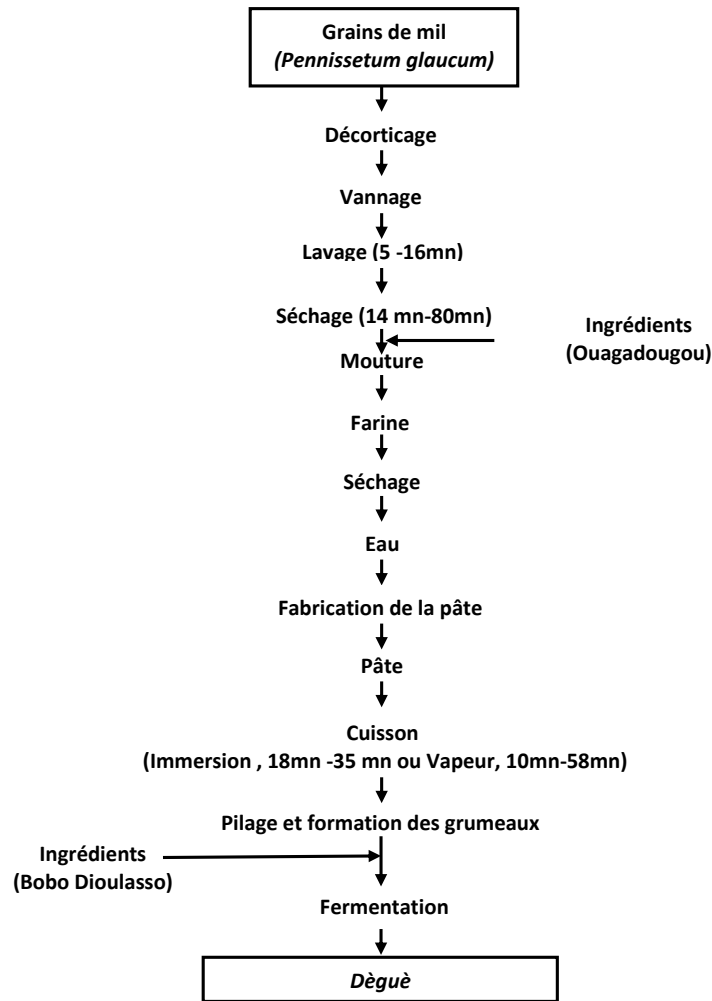


Figure 2:- Diagramme de production du dèguè (Hama *et al.*, 2009)

Tchobal ou Fura:

Le *tchobal* encore appelé *fura* quand à lui est une denrée alimentaire à base de pâte de mil très consistante préparée à partir de la farine de mil préalablement transformée en une pâte et façonnée en boules cuites dans de l'eau bouillante (Icard-Vernière *et al.*, 2010). Le *tchobal* est consommé dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest et particulièrement au Ghana, au Nigeria et au Burkina Faso (Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012). Au Burkina Faso, dans le procédé de fabrication du *tchobal*, les grains de mil sont d'abord décortiqués, vannés et lavés avant d'être transformés en farine par pilage au mortier ou par broyage au moulin. La farine obtenue est tamisée puis humidifiée par addition d'eau froide, malaxée et mise en boules comme le montre la figure 4 (Icard-Vernière *et al.*, 2010). Après la cuisson, les boules sont pilées au mortier pour améliorer la texture puis façonnées à nouveau en boules avant la commercialisation. Il est consommé délayé dans du lait (frais ou caillé) ou dans de l'eau additionné de sucre. Au Ghana et au Nigeria, une étape de fermentation de la pâte intervient avant la cuisson comme le montre la figure 3 (Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012).

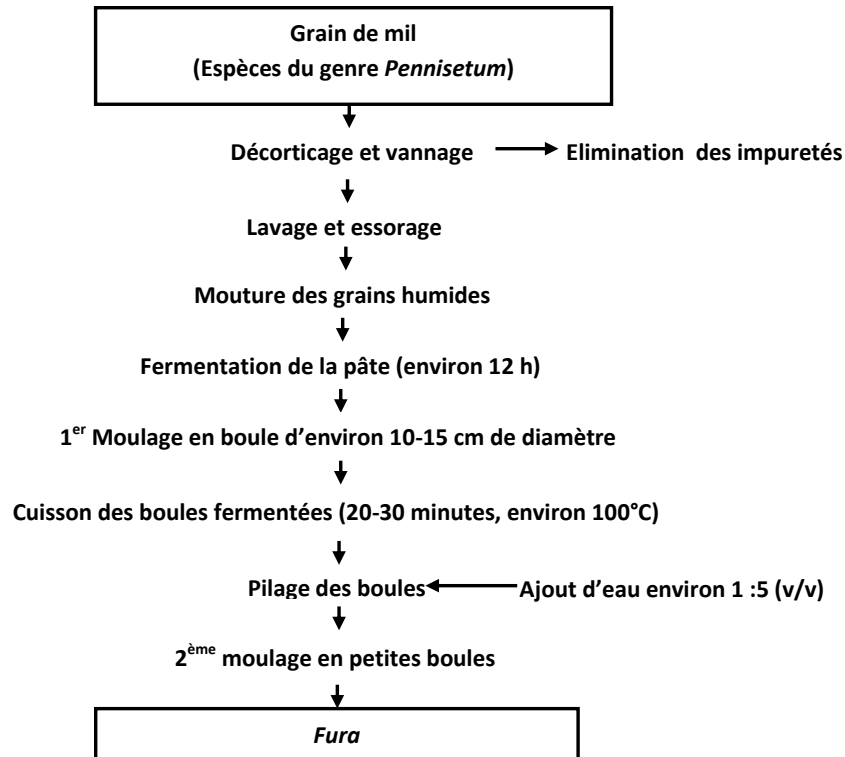


Figure 3:- Diagramme de production du *Fura* (Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012).

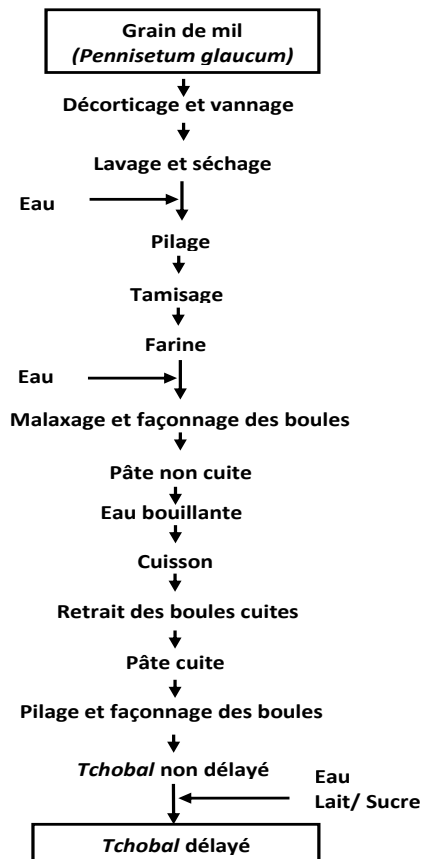


Figure 4:- Diagramme de production du *Tchobal* (Icard-Vernière *et al.*, 2010)

Le Gappal:

Le *gappal* est un aliment fermenté à base de mil et de lait dont les proportions sont variables selon le type fabriqué. C'est un aliment typique de l'ethnie peulh du Burkina Faso. Culturellement, le *gappal* est pour les peulhs l'équivalent du *zoom-koom* chez les mossis (ethnie majoritaire du Burkina Faso); le *gappal* délayé est la première boisson servie au visiteur (Tankoano *et al.*, 2016b). Deux formes du produit sont disponibles: le *gappal* frais dont les diagrammes de productions sont illustrés par les figures 5 et le *gappal* séché dont le procédé de production est illustré par la figure 6. Le *gappal* séché revêt un caractère important. Dans le procédé de fabrication, la pâte de mil est mélangée au lait. Le mélange est pilé, fermenté et séché. L'introduction d'une fermentation de la pâte lactée lui confère un avantage comparativement au *dèguè* pour lequel la fermentation ne concerne que le lait qui est ensuite mélangé aux grumeaux de mil cuits avant consommation. Le *gappal* obtenu à un gout acidulé et peut se conserver pendant plusieurs mois (Tankoano *et al.*, 2016b). C'est un des rares aliments fermentés de l'Afrique de l'Ouest pour lequel le processus de fermentation concerne à la fois la pâte de mil et le lait. Il est proche du *kishk* libanais (Tamime, O'Connor, 1995). Le séchage augmente la durée de conservation du *gappal* séché et offre des possibilités d'amélioration de sa technologie par l'utilisation des souches microbiennes fermentaires d'intérêt technologique. L'absence d'une cuisson dans le processus de fabrication pourrait permettre une meilleure conservation des nutriments issus du lait et du mil, cependant elle ne garantit pas la qualité sanitaire et nutritive. L'absence de cuisson favoriserait également la conservation des facteurs antinutritionnels tels que les phytates et tanins provenant du mil. Une bonne amélioration de la technologie et la qualité de ce produit devrait permettre une production semi-industrielle et industrielle. La réalisation d'une étude permettant une meilleure connaissance de sa qualité nutritionnelle ainsi que de la flore dominante du *gappal* séché serait intéressante pour orienter les consommateurs sur l'apport au régime alimentaire des consommateurs. Pour la préparation du *gappal*, les grains de mil sont décortiqués manuellement au mortier et au pilon ou mécaniquement à l'aide d'un décortiqueur. Les grains sont ensuite vannés, lavés, et séchés. On y ajoute quelques ingrédients tels que le gingembre puis les grains sont pilés au mortier avec du sucre et une petite quantité de lait préférentiellement (ou avec de l'eau). La pâte obtenue de consistance semi-solide est appelée *gappal* frais (Figure 5). La technologie de production du *gappal* séché suit pratiquement les mêmes étapes à l'exception de l'ajout de la cuisson (Figure 6) (Icard-Vernière *et al.*, 2010, Tankoano *et al.*, 2016b).

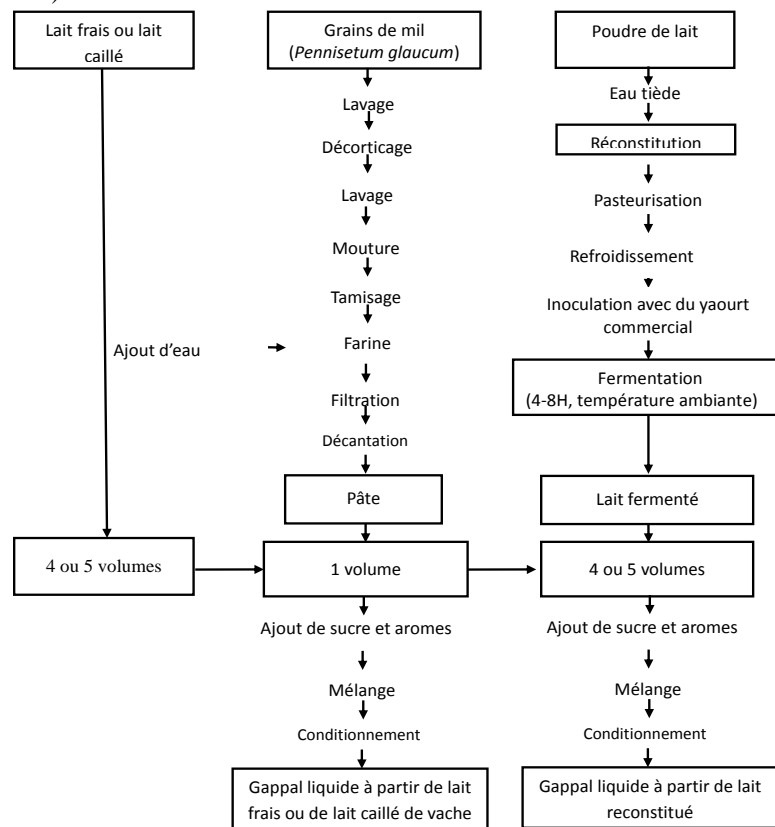


Figure 5:- Diagramme de production du *Gappal* liquide commercialisé(Tankoano *et al.*, 2016b)

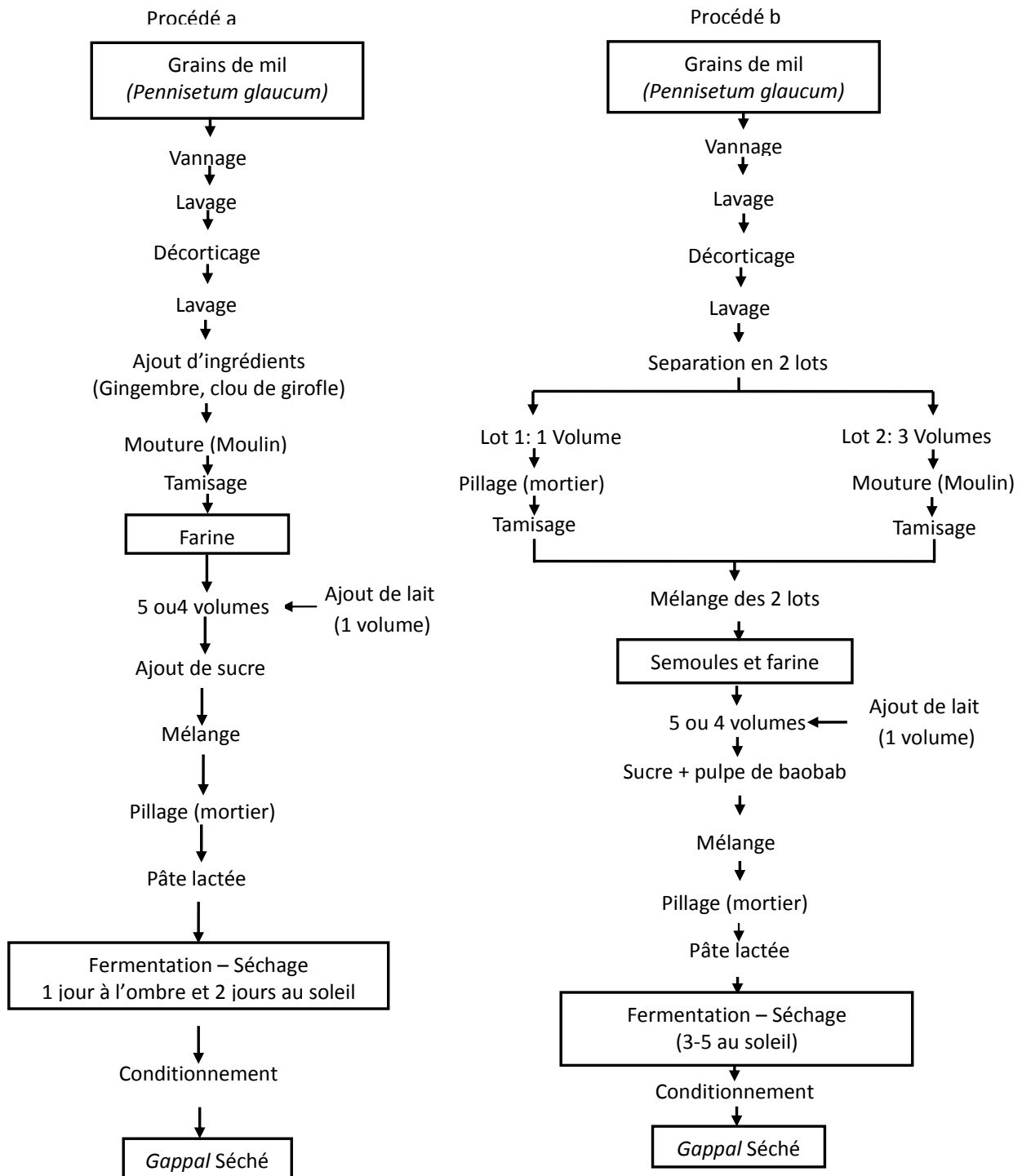


Figure 6:- Diagramme de production du Gappal séché commercialisé (Tankoano *et al.*, 2016b).

Technologie d'aliments et boissons fermentés à base de mil non lacte :-

L' Obiolor:

L'obiolor est une boisson fermentée non alcoolisée du Nigeria produite à partir de la pâte fermentée de sorgho ou de millet. Les grains de céréales (sorgho, mil), après trempage dans l'eau pendant une nuit sont enveloppés dans des feuilles fraîches de banane et laissés à la germination pendant 3 jours. Les grains germés (80% de sorgho + 20% de millet) subissent une mouture et la pâte est mélangée à l'eau bouillante (rapport 1:4 v/v) puis refroidie et filtrée. Le

filtrat est concentré par l'ébullition pendant 30 minutes sous l'agitation continue. La bouillie obtenue est refroidie rapidement puis laissée à la fermentation spontanée pendant 24 h à la température ambiante (Sekwati-Monang, 2011).

Le Kunun-zaki:

Le Kunun-zaki est une boisson traditionnelle du Nigeria à base de mil consommée peu de temps après sa production. Pour sa préparation, les grains de mil sont décortiqués, nettoyés, lavés, pesés et trempés dans de l'eau à la température ambiante pendant 48h. Les grains fermentés sont ensuite additionnés d'ingrédients (clou de girofle, gingembre, poivron rouge, poivre noir) et moulus. La farine obtenue est tamisée et filtrée. Le filtrat est ensuite décanté et le sédiment est recueilli et divisé en 2 parties. La partie la plus grande (2/3) est cuite après ajout d'eau bouillante pendant 5 minutes tandis que la même quantité d'eau froide est ajoutée à la deuxième partie (1/3). Les deux pâtes obtenues sont homogénéisées et fermentées pendant 6 h à la température ambiante puis tamisées et sucrées (Obadina *et al.*, 2008).

Oti-oka:

Oti-oka est une boisson alcoolique traditionnelle du Nigeria produite à l'origine à partir du mil et du sorgho. La préparation traditionnelle de l'*Oti-oka* se fait comme suit: les grains de céréales sont nettoyés, trempés dans l'eau pendant 18 h puis rincés et essorés. Les grains sont ensuite étalés sur des plateaux propres recouverts d'un tissu et maintenus humides par aspergissement fréquente d'eau pendant 36 h à 25°C ; ce qui favorise la fermentation. Les grains germés sont séchés au soleil pendant 48 h et écrasés. La farine est pesée et distribuée en 3 parties. Chaque partie est mélangée avec de l'eau (1:5, v/v), tamisée et bouillie pendant 3h. Le mélange bouilli est refroidi à la température ambiante (30 °C) pendant 72 h.

Le Gowé:

Gowé est une pâte fermentée et cuite préparée à partir du malt de mil, de sorgho ou de maïs. Il est consommé comme boisson après délayage dans l'eau et addition de glace, de sucre et parfois de lait. La préparation du *gowé* commence par le trempage des grains dans l'eau pendant une nuit. Le trempage se fait dans un récipient contenant 3 volumes d'eau prise à la température ambiante. Après trempage, les grains sont lavés, essorés et étalés sur un tissu mince humide placé dans un panier puis recouverts d'un autre morceau de tissu pour réduire la déshydratation. Les grains sont maintenus humides par l'aspergissement fréquent avec de l'eau de boisson. La germination est faite à la température ambiante (28-30°C) pendant 48h. Les grains germés sont séchés au soleil pendant 4 jours; le malt est ensuite moulu afin d'obtenir une farine fine. Alors 1 kilogramme de farine de mil malté est mélangé à 2 kilogrammes de farine de mil non malté et à 3 litres d'eau. Deux fermentations sont réalisées pour donner le *gowé* cru qui est emballé dans des feuilles et cuit (Michodjèhoun-Mestres *et al.*, 2005a, Aka *et al.*, 2014).

Les bouillies de farine de mil fermenté: ben-salga, ben-kida, koko:

La bouillie *ben-salga* (Burkina Faso) aussi appelée *koko* au Ghana est préparée à partir de grains de mil généralement lavés puis systématiquement trempés dans de l'eau pendant 16h en moyenne. Les grains sont ensuite égouttés, additionnés d'aromates et d'épices tels que le gingembre, la menthe et le poivre avant d'être moulus. La farine est mélangée à l'eau et la pâte obtenue est pétrie, diluée dans de l'eau puis filtrée. La suspension est ensuite décantée pendant environ 11h en moyenne aboutissant à la formation de deux phases (un culot et un surnageant) qui sont séparées. Le surnageant est mis à ébullition puis le culot est ajouté au surnageant bouillant. Le mélange est cuit pendant environ 7 minutes pour donner le *ben-salga* (Tou *et al.*, 2006, Icard-Vernière *et al.*, 2010). Le diagramme de production du *ben-salga* est légèrement différent de celui du *koko* produit au Ghana.

Pour la préparation du *ben-kida*, les graines de mils sont lavées puis séchées au soleil. Les grains secs sont ensuite broyés à l'aide d'un moulin. La farine obtenue est mélangée avec de l'eau et l'ensemble est pétri jusqu'à l'obtention des granules de farine humide. Le mélange est ensuite laissé au repos pendant quelques minutes puis on procède à la mise en forme des granules par malaxage, roulage et tamisage. Les granules obtenus sont mélangés au surnageant issu de la préparation du *ben-salga* préalablement porté à l'ébullition. Le mélange est cuit pendant 16 min environ (Songré-Ouattara *et al.*, 2009, Icard-Vernière *et al.*, 2010).

Le tô:

Le *tô* est le principal plat familial dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest dont le Burkina Faso, le Mali, le Niger et le Bénin. Connu sous le nom de pâte ou *wô* (en langue fon) au Bénin, il peut être préparé à partir de différentes céréales (Ndjeunga, Nelson, 1999, Konkobo *et al.*, 2002). Au Burkina Faso, le *tô* de mil ou de sorgho est

le plus consommé en milieu rural tandis qu'il est principalement préparé avec le maïs blanc en ville (Konkobo *et al.*, 2002). Le procédé de préparation varie d'une localité à une autre. D'une manière générale, au Burkina Faso le *tô* est préparé à partir de la farine obtenue par mouture de graines de céréales décortiquées et/ou fermentées par trempage (Icard-Vernière *et al.*, 2010). Pour une préparation, 1/3 de la farine à utiliser est délayé dans de l'eau tiède en excès et une partie du mélange est chauffée. A l'ébullition, le reste du mélange est ajouté dans la marmite et cuit pendant environ 15 minutes en mélangeant. Environ 1/3 de la bouillie obtenue est réservée tandis qu'on ajoute la seconde proportion de farine de départ au reste de la bouillie tout en mélangeant énergiquement. Une cuisson d'environ 4 minutes est réalisée puis on réintroduit le reste de la bouillie en mélangeant à nouveau. Au bout de 7 minutes de cuisson environ, des boules sont formées à l'aide d'une louche (Icard-Vernière *et al.*, 2010).

Une variante de *tô* appelée *Moabou* typique de l'ethnie gourmantché (ethnie majoritaire de l'Est du Burkina Faso) est particulièrement intéressant du point de vue nutritionnelle et de la durée de conservation (Konkobo *et al.*, 2002). Le *Moabou* est un *tô* fermenté préparé à l'occasion des événements importants, tels que les cérémonies culturelles et les fêtes. En ville, il est consommé à l'occasion des fêtes, des mariages, des baptêmes etc.

Zoom-koom:

Le *zoom-koom* est une boisson fortement consommée au Burkina Faso et particulièrement conseillée aux femmes allaitantes. Il est généralement produit à partir du mil, bien que ce prêtant aux autres céréales (riz, sorgho). De coutume, à l'intérieur du pays il est la première boisson présentée aux visiteurs. Cette pratique ancienne a quasiment disparue dans les habitudes des citadins. Cependant, en ville comme en campagne, le *zoom-koom* reste toujours une boisson très prisée par les populations. En ville il est vendu dans tous les coins, kiosques et restaurants (Konkobo *et al.*, 2002, Soma, 2014). Pour la production du *zoom-koom*, les grains de mil sont triés, décortiqués, trempés à la température ambiante pendant 12-14h puis lavés. Ils sont ensuite égouttés et additionnés d'ingrédients généralement du gingembre ou de la menthe puis moulus. La farine obtenue est filtrée après ajout d'eau. Une solution de tamarin filtrée est ensuite ajoutée puis l'ensemble est filtré et sucré aboutissant ainsi au *zoom-koom* frais prêts à être consommé. Une autre variante plus longue et plus fastidieuse de *zoom-koom* en poudre dit *zoom-koom* instantané est commercialisée (Soma, 2014).

Profil et qualité microbiologique des aliments à base de mil:

Les microorganismes associés à la fermentation du mil:

Certains aliments à base de mil ont fait l'objet d'étude de suivi de la microflore fermentaire au cours du processus de fabrication. La fermentation lactique est l'une des fermentations les plus fréquentes notamment dans la transformation du mil (Blandino *et al.*, 2003). La fermentation aboutit à une augmentation de la biomasse microbienne qui produit une diversité de métabolites primaires, secondaires et de protéines dans la matrice alimentaire. Les levures communes aux fermentations appartiennent au genre *Saccharomyces* et *Saccharomyces cerevisiae* est l'espèce la plus fréquemment identifiée dans les aliments fermentés d'Afrique. Les bactéries associées aux fermentations des céréales sont les espèces des genres *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Weissella* et *Bacillus*. Les mycètes du genre *Aspergillus*, *Paecilomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium* et *Trichothecium* sont le plus fréquemment identifiés dans certains produits (Jespersen, 2003, Karovicova 2007, Sawadogo-Lingani *et al.*, 2010, Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012, Aka *et al.*, 2014). Malgré les avantages liés à la fermentation, certains risques microbiologiques existent du fait que la fermentation soit naturelle dans les procédés traditionnels. Les bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Listeria sp.*, *Campylobacter sp.*, *Yersinia sp.* et *Brucella sp.* ont également été identifiées dans les aliments fermentés à base de mil. Les microorganismes de certains aliments tels que le *gappal* n'ont pas l'objet d'une caractérisation approfondie et une identification. Les études sur le *kishk* libanais proche du *gappal* montre que le risque bactériologique associé à ce type de produit est principalement lié à la flore sporulante caractérisée par la présence de *Bacillus cereus* et *Clostridium perfringens* fortement représentés dans les échantillons (Tamime, Mchuluty, 1999). Cette flore microbiologique a été retrouvée dans le *gappal*. En effet, l'évaluation de la qualité microbiologique du *gappal* indique la présence de *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* et les entérobactéries à des taux proches ou supérieurs aux limites microbiologiques acceptables.

La fermentation du mil commence par l'hydrolyse de l'amidon par action d'enzymes amylolytiques (α -amylase, β -amylase) fournissant des oligosides et d'autres glucides. Le produit du catabolisme du glucose au cours de la fermentation est principalement de l'acide lactique chez les bactéries homofermentaires, l'acide lactique, le CO₂ et l'éthanol ou de l'acide acétique ou les deux dans le cas des bactéries hétérofermentaires. D'une manière générale les bactéries lactiques sont essentielles dans les fermentations pour la production de métabolites, l'inhibition des

moisissures toxigènes, la dégradation des mycotoxines, la dégradation des glucosides cyanogéniques, la production des enzymes, les propriétés probiotiques et la production de nombreuses autres molécules (Karovicova 2007). L'apport du lait en bactéries lactiques accélère le processus de fermentation. Les principaux microorganismes associés aux aliments fermentés à base de mil d'Afrique de l'Ouest sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2:- Principaux microorganismes associés aux aliments fermentés à base de mil d'Afrique de l'Ouest

Aliments	Microorganismes associés			Références
	Bactéries lactiques	Levures et moisissures	Autres	
<i>Ben-salga</i>	<i>Lactobacillus spp</i> <i>L. plantarum</i> <i>L. fermentum</i> ,	-	-	Songré-Ouattara <i>et al.</i> , 2009, Songré-Ouattara <i>et al.</i> , 2010
<i>Burukutu</i>	<i>Lactobacillus spp</i> <i>L. brevis</i> <i>L. delbrueckii</i> <i>L. fermentum</i> <i>L. plantarum</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> <i>Streptococcus lactis</i>	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. niger</i> <i>Mucor pusilus</i> <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>C. pelliculosa</i> , <i>Cryptococcus albidus</i>	<i>Acetobacter aceti</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>S. aureus</i>	Blandino <i>et al.</i> , 2003, Yabaya, 2008
<i>Dèguè ou Thyakry</i>	<i>Enterococcus sp</i> <i>L. casei</i> . <i>L. gasseri</i> , <i>L. plantarum</i> <i>L. brevis</i> , <i>L. fermentum</i> ,	-	<i>E. coli</i>	Abriouel <i>et al.</i> , 2006, Hama <i>et al.</i> , 2009
<i>Gappal</i>	Bactéries lactiques (non caractérisées)	Levures (non caractérisées)	<i>B.cereus</i> , <i>S. aureus</i> Entérobactéries	Tankoano <i>et al.</i> , 2016b
<i>Massa</i>	<i>Lactobacillus</i> <i>Lactobacillus/Weissella</i> <i>Leuconostoc</i> <i>Streptococcus</i> <i>Pediococcus</i> <i>Aerococcus/Tetragenococcus</i> <i>Streptococcus/ Lactococcus</i>	-	-	Compaore/Sereme, 2016
<i>Fura ou Tchobal</i>	<i>Weissella confusa</i> , <i>L. reutei</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>L. paraplantarum</i> , <i>L. fermentum</i>	<i>A. flavus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i>	<i>S. aureus</i> <i>Micrococcus luteus</i> <i>E. coli</i> <i>Enterobacter sp</i> , <i>Streptococcus sp</i> , <i>Bacillus cereus</i>	Adebesin <i>et al.</i> , 2001, Owusu-Kwarteng <i>et al.</i> , 2012
<i>Kunun-Zaki</i>	<i>L. plantarum</i> , <i>L. pentosus</i> , <i>L. cellbiosus</i> , <i>P. pentosaceus</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>C. mycoderma</i> , <i>S. cerevisiae</i>		Obadina <i>et al.</i> , 2008 Adeleke and Abiodun 2010, Agarry <i>et al.</i> 2010, Nwachukwu <i>et al.</i> , 2010

Obiolor	<i>L. plantarum</i> , <i>Lactococcus lactis</i> <i>Streptococcus lactis</i>	-	<i>Bacillus spp</i>	Achi, 1990, Aka <i>et al.</i> , 2014
Ogi	<i>L. plantarum</i> <i>L. fermentum</i> <i>L. brevis</i> <i>Lactobacillus spp.</i>	<i>A. flavus</i> <i>A. niger</i> <i>C.krusei</i> <i>C. mycoderma</i> <i>C. tropicalis</i> <i>Debaromyces hasenu</i> <i>Fussarium subglutinans</i> <i>Geotrichum candidum</i> <i>Geotrichum fermentum</i> <i>Penicilium citrinum</i> <i>Rhizopus nigricans</i> <i>Rhodotorula graminis</i> <i>Rhodotorula spp,</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Klebsiella spp.</i> , <i>Staphylococcus spp.</i> <i>Aerobacter cloacae,</i>	Oyeyiola, 1991, Blandino <i>et al.</i> , 2003, Teniola <i>et al.</i> , 2005, Omemu, 2011, Henshaw <i>et al.</i> , 2016
Oti-oka	<i>L. fermentum</i>	<i>S. cerevisiae</i>	-	Temitope and Taiyese, 2012
Pito	<i>P. halophylus</i> <i>L. plantarum</i>	<i>S. cerevisiae</i> <i>Rhodotorula glutinis</i> <i>C. pelliculosa</i> <i>Cryptococcus albidus</i> <i>C. utilis</i>	-	Orji <i>et al.</i> , 2003, Jimoh <i>et al.</i> , 2012
Zoom-Koom	Bactéries lactiques (non caractérisées)	Levures et moisissures (non caractérisées)	Coliformes	Soma, 2014

Métabolites d'intérêt technologique et nutritionnels produits au cours de la fermentation du mil et du lait:

Peu d'aliments fermentés à base de mil en Afrique de l'Ouest ont fait l'objet d'études sur la dynamique de production des métabolites au cours du processus de fermentation. La majorité des travaux ont été principalement axés sur la microflore fermentaire. La fermentation du mil entraîne une diminution des oligosaccharides et des polysaccharides non digestibles. Certains acides aminés peuvent être synthétisés et la biodisponibilité des vitamines du groupe B accrue (Chavan *et al.*, 1989, Blandino *et al.*, 2003). La fermentation favorise l'obtention d'un pH optimal pour la dégradation enzymatique des phytates qui sont présents dans les céréales sous formes complexées avec les protéines et certains minéraux tels que le fer, le zinc, le magnésium (Harland, Morris, 1995). Une réduction des phytates peut augmenter la quantité de fer soluble, de zinc et de calcium. La fermentation lactique entraîne un effet très hautement positif sur la disponibilité du fer et du phosphore, avec une diminution de la teneur en phytates dans ces produits fermentés (Sandberg, Svanberg, 1991, Raimbault, 1995). L'impact de la fermentation sur la teneur en protéines des céréales et la qualité des acides aminés a fait l'objet de nombreux travaux antérieurs. La fermentation du mil conduit à une augmentation de la teneur en lysine (Hamad, Fields, 1979). De même une augmentation de la teneur en méthionine et de celle de la tryptophane ont été observées au cours de la fermentation du maïs (Nanson, Fields, 1984). Au cours de la fermentation, l'action des bactéries lactiques et des levures sur les hydrates de carbone se résume principalement à une augmentation de la digestibilité de l'amidon et des protéines. En effet, certaines espèces de bactéries sont capables de transformer l'amidon brut en acide lactique et ou acétique dans des conditions naturelles. Ces acides entraînent un effet lié à leur forme dissociée qui leur permet d'entrer dans les cellules bactériennes où ils s'ionisent et s'accumulent, provoquant un abaissement interne du pH et un blocage

des mécanismes de transport. En présence d'air, le métabolisme des bactéries lactiques, du fait de l'absence d'une catalase, conduit à une accumulation de peroxyde d'hydrogène, antiseptique puissant contre les germes pathogènes intestinaux. La durée de conservation des produits finaux augmente donc grâce à la présence d'acide lactique et dans certains cas d'acide acétique qui contribuent fortement à limiter le développement des micro-organismes indésirables ou pathogènes (Raimbault, 1995, Savadogo *et al.*, 2004, Sawadogo-Lingani *et al.*, 2008). La fermentation permet également une amélioration de la texture, du goût et de l'arôme du produit final. Cet effet sur la qualité organoleptique du produit fermenté est essentiellement lié à la production de composés volatils qui contribuent à un mélange des saveurs. Parmi ces composés volatils, les composés aromatiques tels que le diacétyle, l'acide acétique et l'acide butyrique donnent de la saveur aux produits finis (Chavan *et al.*, 1989, Blandino *et al.*, 2003, Karovicova 2007). La fermentation du mil par les bactéries lactiques aboutit à une amélioration considérable d'acides aminés essentiels. A titre d'exemple, la fermentation d'un aliment à base de farine de mil par les bactéries lactiques entraîne une augmentation de la teneur en thiamine et niacine d'environ 12 à 13 pour cent. Les essais de fermentation contrôlée par combinaison de bactéries lactiques et de levure notamment *L. brevis* ou *L. fermentum* et *S. cerevisiae* ou *S. diastaticus* ont indiqué une amélioration considérable de la digestion des aliments à base de mil (Khetarpaul, Chauhan, 1990).

Propriétés fonctionnelles des aliments fermentés à base de mil et de lait:

Les travaux antérieurs réalisés sur les aliments fermentés d'Afrique de l'Ouest ont porté sur l'identification des principaux microorganismes fermentaires et la détermination des propriétés technologiques des bactéries isolées. Beaucoup de ses recherches sont basées sur les qualités technologiques des bactéries telles que la capacité à produire des substances antibactériennes à l'encontre des germes pathogènes, la capacité à dégrader la matière première dans laquelle elles se développent, la capacité à produire des exopolysaccharides (EPS) et des composés aromatiques (Savadogo-Lingani *et al.*, 2008, Turpin, 2011, Owusu-Kwarteng *et al.*, 2012). De plus en plus, la volonté de réduire l'utilisation des antibiotiques dans de nombreux domaines a orienté certaines équipes de recherches vers l'isolement et la caractérisation des microorganismes ayant des propriétés probiotiques. Les probiotiques qui sont reconnus pour leurs bienfaits tant pour les malades que pour les personnes bien portantes, permettent de changer favorablement l'équilibre de flore microbienne intestinale, empêchent la croissance des bactéries pathogènes, favorisent la bonne digestion et augmentent la résistance du système immunitaire face aux infections (Kalui *et al.*, 2010). Les probiotiques fonctionnent en interagissant non seulement avec la flore intestinale elle-même, mais aussi avec les cellules épithéliales digestives et/ou les cellules immunocompétentes de la *lamina propria* intestinale (Piquet *et al.*, 2007). Les effets probiotiques et la réduction du nombre de germes pathogènes du fait de la fermentation sont particulièrement importants pour les pays en développement comme ceux de l'Afrique de l'Ouest. Les probiotiques pourraient donc participer considérablement à la réduction de l'administration des antibiotiques à travers la réduction de la durée et la morbidité des diarrhées attribués aux aliments fermentés. Ainsi, de nombreux aliments fermentés sont reconnus contenir des particules bioactives capables d'empêcher le déclenchement ou l'évolution de certaines maladies tels que la diarrhée, le cancer, les maladies cardiovasculaires par abaissement des effets du cholestérol (Lei, Jakobsen, 2004, Lei *et al.*, 2006, Kalui *et al.*, 2010). Parmi microorganismes ayant des propriétés probiotiques figurent en bonne place les souches de bactéries lactiques et les levures très souvent isolés des aliments fermentés d'Afrique de l'Ouest. Certaines souches de bactéries du genre *Pediococcus* (*P. pentosaceus*, *P. acidilactici*) et *Lactobacillus* (*L. fermentum*, *L. paraplantarum*, *L. plantarum*, et *L. salivarius*) isolées du *ben-saalga* au Burkina Faso ont montré leur effets probiotiques (Turpin *et al.*, 2012). Les bactéries dominantes du *dèguè* appartiennent aux espèces *L. plantarum*, *L. gasserii*, *Enterococcus sp.*, *L. fermentum*, *L. brevis*, *L. casei* et sont particulièrement recherchées et exploitées pour leur bienfait pour la santé humaine, faisant du *dèguè* un aliment probiotique (Tailliez, 2004, Abriouel *et al.*, 2006, Tchekessi *et al.*, 2014a). Au Nigeria, des formulations d'aliments probiotiques à partir de l'*Ogi* fait à base de mil ont été développés dans le but de lutter contre les diarrhées. Cet aliment appelé *Dogik* est formulé à partir d'une souche de *Lactobacillus plantarum* douée de pouvoir amylolytique et susceptible d'inhiber la croissance des germes diarrhéiques tel que *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Aeromonas*, *Pleisiomonas*, *Escherichia coli* entéropathogène et enterotoxigène, *Yersinia enterocolitica* et *Vibrio cholerae* (Olukoya *et al.*, 1994). *Dogik* pourrait être utilisé dans le traitement préventif des diarrhées. Les autres aliments fermentés à base de mil, de part la composition de leur flore fermentaires pourraient donc constituer de véritables alternatifs dans la réduction de la consommation des antibiotiques à travers leur potentiel probiotique.

Valeur nutritionnelle des aliments fermentés à base de mil:

La fermentation naturelle résulte de la compétition des microorganismes endogènes et des contaminants qui proviennent naturellement des matières premières, du matériel utilisé et de l'environnement. Cette complexité de la microflore naturelle rend difficile le contrôle de la fermentation naturelle et entraîne une grande variabilité au niveau

de la qualité nutritionnelle, sanitaire et sensorielle des aliments fermentés traditionnels (Turpin, 2011, Tankoano *et al.*, 2016a).

Par ailleurs, pendant la fermentation, les activités microbiennes peuvent réduire la teneur en composé toxiques. Il a été montré que pendant la fermentation du mil par des bactéries du genre *Lactobacillus*, la teneur en composés cyanogéniques, en phytates et en tannins était réduite considérablement. Les facteurs antinutritionnels tels que les phytates et tannins font partie des constituants les parois des graines des céréales. Les facteurs antinutritionnels contribuent à la malnutrition et à la réduction du taux de croissance et sont responsables de la faible digestibilité des protéines, de la réduction de la biodisponibilité des éléments minéraux tels que le phosphore, le calcium, le magnésium, le fer et le zinc et à la réduction de certaines activités enzymatiques tel que la trypsine, l'alpha-amylase et la beta-galactosidase (Nyanzi, Jooste, 2012). La fermentation des céréales en général et du mil en particulier entraîne une augmentation de la teneur en protéines, en acides aminés libres, en vitamines.

La réalisation d'une fermentation d'un mélange du mil et de lait dans le cas du *gappal* va permettre la production des métabolites attendues des deux types de fermentation ce qui contribue à la diversification des nutriments et des composés aromatiques et par conséquent à l'amélioration de la qualité nutritionnelle et organoleptique du produit. Dans ce cas, les bactéries lactiques apportées par le lait devraient accélérer le processus de fermentation et fournir un meilleur rendement en éléments nutritifs. En effet, une série d'études réalisées sur le *kishk* dont la technologie de fabrication est proche de celle du *gappal* montre qu'il est riche en certains éléments nutritifs comparativement au lait et aux céréales pris individuellement. La composition globale des échantillons *kishk* pour 100 grammes de matière sèche est de 14,7 à 21,4 % de protéines, 2,6 à 11,5 % de matière grasse, 4,1 à 9,3% de cendres et 61 à 76,8 de sucres (Tamime *et al.*, 1999a). Les profils en nutriments glucidiques en gramme pour 100 grammes de matière sèche est de 7 à 12 % de fibres, 0,7 à 1,6 % d'acide phytique et 0,1 à 0,6 % de β -glucane. Certains échantillons de *kishk* contenaient une quantité appréciable d'acides gras polyinsaturés (Tamime *et al.*, 1999b). Le tableau 4 présente la composition physicochimique et nutritionnelle d'aliments fermentés à base de mil d'Afrique de l'Ouest.

Conclusion:-

Cette revue bibliographique nous a permis de constater que le mil est une céréale largement utilisée en Afrique de l'Ouest. Il sert de matière première à la fabrication de nombreux mets et boissons. Le *dèguè*, le *fura* et le *gappal* sont les principaux aliments fermentés à base de mil et de lait d'Afrique de l'Ouest. Le *gappal* séché se distingue du *dèguè* et du *fura* par la fermentation qui porte à la fois sur la pâte de mil et le lait. Les grains de mil sont reconnus pour leur excellente qualité nutritionnelle comparativement aux autres céréales d'Afrique tel que le sorgho et le maïs. Les produits céréaliers lactés sont d'excellentes qualités nutritionnelles et de qualités microbiologiques acceptables. La fermentation facilite la digestion du mil et augmente la teneur en fibres, en glucides, en protéines, en acides aminés essentiels et diminue les teneurs en facteurs antinutritionnels tels que les phytates; ce qui contribue à une plus forte biodisponibilité des éléments minéraux. La présence de bactéries lactiques et de levures à forte potentialité probiotique qui produisent des composés acides et bactéricides améliore la qualité sanitaire des produits et garantit la santé du consommateur. Le séchage du *gappal* augmente considérablement la durée de conservation et offre des opportunités d'amélioration par l'utilisation de souches fermentaires à propriétés technologiques intéressantes. Une standardisation de la technologie de production de ces aliments avec des microorganismes d'intérêt technologique devrait permettre une production semi-industrielle et industrielle. Il est donc nécessaire d'approfondir les connaissances sur ces aliments, surtout ceux revêtant de potentielles qualités nutritionnelles tel que le *gappal* séché,

Remerciements:-

Nous remercions l'Union européenne à travers le projet « *Harmonisation et Amélioration des programmes de master et de doctorat en Agribusiness par la Mobilité entre l'Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Centre pour un développement socioéconomique durable* » HAAGRIM pour l'acquisition des documents scientifiques.

Références bibliographiques:-

1. Abriouel, H., N. B. Omar, R. L. López, M. Martínez-Cañamero, S. Keleke and A. Gálvez (2006). "Culture-independent analysis of the microbial composition of the African traditional fermented foods *poto poto* and *dèguè* by using three different DNA extraction methods." *International journal of food microbiology* 111(3): 228-233.

2. Achi, O. (1990). "Microbiology of 'obiolor': a Nigerian fermented non-alcoholic beverage." *Journal of applied bacteriology* 69(3): 321-325.
3. Adebesein, A., N. Amusa and S. Fagade (2001). "Microbiological quality of locally fermented milk (nono) and fermented milk-cereal mixture (fura da nono) drink in Bauchi, a Nigerian city." *The Journal of Food Technology in Africa Innovative Institutional Communications* 6 (3, 2001): pp87-89.
4. Adeleke, R. and O. Abiodun (2010). "Physico-chemical properties of commercial local beverages in Osun State, Nigeria." *Pakistan Journal of Nutrition* 9(9): 853-855.
5. Agarry, O., I. Nkama and O. Akoma (2010). "Production of Kunun-zaki (A Nigerian fermented cereal beverage) using starter culture." *International Research Journal of Microbiology* 1(2): 018-025.
6. Aka, S., G. Konan, G. Fokou, K. M. Dje and B. Bonfoh (2014). "Review on African traditional cereal beverages " *American Journal of Research Communication* 2(5), 103-153..
7. Bekoye, B. M. (2011). "Caractérisation chimique et minérale des grains de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] de Côte d'Ivoire." *International journal of biological and chemical sciences* 5(5): 2039-2044.
8. Bezançon, G., J.-F. Renno and K. A. Kumar (1997). "Le mil." *L'amélioration des plantes tropicales*. S. Hamon ed., Paris. CIRAD. ORSTOM: 457-482.
9. Blandino, A., M. Al-Aseeri, S. Pandiella, D. Cantero and C. Webb (2003). "Cereal-based fermented foods and beverages." *Food research international* 36(6): 527-543.
10. Chavan, J., S. Kadam and L. R. Beuchat (1989). "Nutritional improvement of cereals by fermentation." *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 28(5): 349-400.
11. Chelule, P., M. Mokoena and N. Gqaleni (2010). "Advantages of traditional lactic acid bacteria fermentation of food in Africa " *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*: 1160-1167.
12. Compaore/Sereme, D. (2016). "Evaluation de la flore microbiologique associée à la technologie du massa: Isolement et caractérisation des bactéries lactiques." *Mémoire de Master . UFR/SVT. Université Ouaga I Professeur Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso*: 84p.
13. Dicko, M. H., H. Gruppen, O. C. Zouzouho, A. S. Traore, W. J. van Berkel and A. G. J. Voragen (2006). "Effects of germination on the activities of amylases and phenolic enzymes in sorghum varieties grouped according to food end-use properties." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 953-963.
14. FAO (1995). "Le sorgho et les mil dans la nutrition humaine. Rome, FAO. (consulté octobre 2015) ". from <http://www.fao.org/docrep/T0818F/T0818F00.htm>.
15. FAO (1998). "Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine." *Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 28*, from <http://www.fao.org/docrep/t4280f/t4280f00.HTM>.
16. FAO (2015). "<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/F>." consulté octobre 2015.
17. Hama, F., A. Savadogo, C. A. Ouattara and A. S. Traore (2009). "Biochemical, Microbial and Processing Study of Dèguè a Fermented Food (From Pearl millet dough) from Burkina Faso " *Pakistan Journal of Nutrition* 8 (6): 759-764.
18. Hamad, A. M. and M. L. Fields (1979). "Evaluation of the protein quality and available lysine of germinated and fermented cereals." *Journal of food science* 44(2): 456-459.
19. Harland, B. F. and E. R. Morris (1995). "Phytate: a good or a bad food component?" *Nutrition Research* 15(5): 733-754.
20. Henshaw, E., J. Akpan, J. Lennox and E. Frank (2016). "Bacterial Community Dynamics during the Production of Ogi from Millet 'A Nigerian Fermented Food' Using Culture-Dependent Approach." *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)* 2(11).
21. HUMBLLOT, E. M. C. (2011). *Vers une évaluation des potentialités probiotique et nutritionnelle des bactéries lactiques constitutives du microbiote d'un aliment fermenté traditionnel à base de mil par une approche moléculaire*, Université Paris Descartes.
22. Icard-Vemièrre, C., V. Greffeuille, B. Caporiccio, S. Trèche and P. Besançon (2002). "Influence of soaking, germination, fermentation and phytase on iron and zinc bioavailability in millet flours." *Résumé*.
23. Icard-Vernière, C., L. Ouattara, S. Avallone, J. Hounhouigan, P. Kayodé, W. Amoussa and H. F. Ba (2010). "Recettes locales des plats à base de mil, sorgho ou maïs et de leurs sauces fréquemment consommés par les jeunes enfants au Burkina Faso et au Bénin." 129.
24. Jespersen, L. (2003). "Occurrence and taxonomic characteristics of strains of *Saccharomyces cerevisiae* predominant in African indigenous fermented foods and beverages." *FEMS Yeast Research* 3(2): 191-200.
25. JIMOH, S. O., A. A. Saleh, B. A. Joseph and C. M. WHONG (2012). "Characteristics and diversity of yeast in locally fermented beverages sold in Nigeria." *World Journal of Engineering and Pure & Applied Sciences* 2(2): 40.

26. Kalui, C. M., J. M. Mathara and P. M. Kutima (2010). "Probiotic potential of spontaneously fermented cereal based foods—a review." *African Journal of Biotechnology* 9(17): 2490-2498.
27. Karovicova, Z. K.-J. (2007). "Fermentation of cereals for specific purpose." *Journal of Food and Nutrition Research* 46(2): 51-57.
28. Khetarpaul, N. and B. Chauhan (1990). "Effect of fermentation by pure cultures of yeasts and lactobacilli on the available carbohydrate content of pearl millet." *Food chemistry* 36(4): 287-293.
29. Konkobo, Y. C., A. R. Karimou, S. Kabore and K. Diasso (2002). "Les pratiques alimentaires à Ouagadougou, Burkina Faso." Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Ouagadougou, Burkina Faso: 148.
30. Latham, M. C. (2001). La nutrition dans les pays en développement. Chapitre 26, Céréales, racines amylacées et autres aliments riches en glucides, *Food & Agriculture Org.* 515.
31. Lei, V., H. Friis and K. F. Michaelsen (2006). "Spontaneously fermented millet product as a natural probiotic treatment for diarrhoea in young children: An intervention study in Northern Ghana." *International journal of food microbiology* 110(3): 246-253.
32. Lei, V. and M. Jakobsen (2004). "Microbiological characterization and probiotic potential of koko and koko sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink." *Journal of Applied Microbiology* 96(2): 384-397.
33. Michodjèhoun-Mestres, L., D. J. Hounhouigan, J. Dossou and C. Mestres (2005a). "Physical, chemical and microbiological changes during natural fermentation of gowé, a sprouted or non sprouted sorghum beverage from West-Africa." *African Journal of Biotechnology* 4(5): 487-496.
34. Michodjèhoun-Mestres, L., J. Hounhouigan, J. DOSSOU and C. Mestres (2005b). "Physical, chemical and microbiological changes during natural fermentation of" gowe", a sprouted or non sprouted sorghum beverage from West-Africa." *African Journal of Biotechnology* 4(6): 487.
35. Nanson, N. J. and M. Fields (1984). "Influence of temperature of fermentation on the nutritive value of lactic acid fermented cornmeal." *Journal of food science* 49(3): 958-959.
36. Ndjeunga, J. and C. H. Nelson (1999). "Prospects for a pearl millet and sorghum food processing industry in west Africa semi-arid tropics." 178-2015
37. Nwachukwu, E., O. K. Achi and I. O. Ijeoma (2010). "Lactic acid bacteria in fermentation of cereals for the production of indigenous Nigerian foods." *African Journal of Food Sciences and Technologies* 1 (2): 021-026.
38. Nyanzi, R. and P. J. Jooste (2012). *Cereal-Based Functional Foods INTECH*: 161-195.
39. Obadina, A., O. Oyewole and T. Awojobi (2008). "Effect of steeping time of milled grains on the quality of Kunnu-Zaki (A Nigerian beverage)." *African Journal of Food Science* 2: 033-036.
40. Ogunbanwo, S. and B. Ogunsanya (2012). "Quality assessment of oti-oka like beverage produced from pearl millet." *Journal of Applied Biosciences* 51: 3608-3617.
41. Olukoya, D., S. Ebigwei, N. Olasupo and A. Ogunjimi (1994). "Production of DogiK: an improved Ogi (Nigerian fermented weaning food) with potentials for use in diarrhoea control." *Journal of Tropical Pediatrics* 40(2): 108-113.
42. Omemu, A. M. (2011). "Fermentation dynamics during production of ogi, a Nigerian fermented cereal porridge." *Report and Opinion* 3(4): 8-17.
43. Orji, M., T. Mbata, G. Aniche and I. Ahonkhai (2003). "The use of starter cultures to produce 'Pito', a Nigerian fermented alcoholic beverage." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 19(7): 733-736.
44. Ouendeba, B. and B. S. Sogoba (2004). "Le mil [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.] au Niger: généralités et résultats de la sélection." *Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest: diversité, conservation et valorisation: actes de l'atelier* "Diversité, conservation et valorisation des ressources génétiques des mils", ICRISAT, Niamey (Niger), 28-29 mai 2002: 33.
45. Owusu-Kwarteng, J., F. Akabanda, D. S. Nielsen, K. Tano-Debrah, R. L. Glover and L. Jespersen (2012). "Identification of lactic acid bacteria isolated during traditional fura processing in Ghana." *Food microbiology* 32(1): 72-78.
46. Oyeyiola, G. (1991). "Fermentation of millet to produce kamu a Nigerian starch-cake food." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 7(2): 196-201.
47. Piquet, M.-A., R. Gloro, A.-M. Justum and J.-M. Reimund (2007). "Les probiotiques, des outils thérapeutiques pour moduler les effets biologiques de la flore intestinale: une introduction." *Obésité* 2(3): 227-233.
48. Raimbault, M. (1995). "Importance des bactéries lactiques dans les fermentations du manioc." Agbor Egbe, Brauman, Griffon, Trèche. *Transformation alimentaire du manioc.* ed orstom, Paris, 747p.
49. Saleh, A. S., Q. Zhang, J. Chen and Q. Shen (2013). "Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12(3): 281-295.

50. Sandberg , A. S. and U. Svanberg (1991). "Phytate hydrolysis by phytase in cereals; effects on in vitro estimation of iron availability." *Journal of food science* 56(5): 1330-1333.
51. Savadogo, A., C. Ouattara, P. Savadogo, A. Ouattara, N. Barro and A. Traore (2004). "Microorganisms involved in Fulani traditional fermented milk in Burkina Faso." *International Journal of Biosciences* 3(2): 134-139.
52. Sawadogo-Lingani, H., B. Diawara, R. Glover, K. Tano-Debrah, A. Traoré and M. Jakobsen (2010). "Predominant lactic acid bacteria associated with the traditional malting of sorghum grains." *African Journal of Microbiology Research* 4(3): 169-179.
53. Sawadogo-Lingani, H., B. Diawara, A. S. Traoré and M. Jakobsen (2008). "Technological properties of *Lactobacillus fermentum* involved in the processing of dolo and pito, West African sorghum beers, for the selection of starter cultures." *Journal of Applied Microbiology* 104 873-883.
54. Serna-Saldivar, S. and L. W. Rooney (1995). "Structure and chemistry of sorghum and millets." *Sorghum and millets: Chemistry and technology*: 69-124.
55. Soma, M. A. A. R. (2014). "Utilisation de cultures de *Lactobacillus fermentum* dans la technologie du zoom-koom, une boisson locale à base de mil (*Pennisetum glaucum*) pour améliorer sa qualité nutritionnelle, sanitaire et organoleptique. Master en biologie appliquée et modélisation des systèmes biologiques. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB)/ Burkina Faso." 84p.
56. Songré-Ouattara, L., C. Mouquet-Rivier, C. Icard-Vernière, I. Rochette, B. Diawara and J.-P. Guyot (2009). "Potential of amyolytic lactic acid bacteria to replace the use of malt for partial starch hydrolysis to produce African fermented pearl millet gruel fortified with groundnut." *International journal of food microbiology* 130(3): 258-264.
57. Songré-Ouattara, L. T., C. Mouquet-Rivier, C. Humblot, I. Rochette, B. Diawara and J. P. Guyot (2010). "Ability of selected lactic acid bacteria to ferment a pearl millet–soybean slurry to produce gruels for complementary foods for young children." *Journal of food science* 75(5): M261-M269.
58. Soro-Yao, A., K. Brou, M. Koussémon and K. Djè (2014a). "Proximate composition and microbiological quality of millet gruels sold in Abidjan (Côte d'Ivoire)." *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 2(4): 472-479.
59. Soro-Yao, A., K. M. Djè, K. Brou, G. Amani and P. Thonart (2014b). "The Use of Lactic Acid Bacteria Starter Cultures during the Processing of Fermented Cereal-based Foods in West Africa: A Review " *Tropical Life Sciences Research* 25(2): 81–100.
60. Tailliez, P. (2004). "Les lactobacilles: propriétés, habitats, rôle physiologique et intérêt en santé humaine." *Antibiotiques* 6(1): 35-41.
61. Tamime, A. and T. O'Connor (1995). "Kishk—a dried fermented milk/cereal mixture." *International Dairy Journal* 5(2): 109-128.
62. Tamime, A. Y., M. N. Barclay, R. Amarowicz and D. McNulty (1999a). "Kishk-a dried fermented milk/cereal mixture. 1 Composition of gross components, carbohydrates, organic acids and fatty acids." *Le Lait* 79(3): 317-330.
63. Tamime, A. Y., M. N. Barclay, A. J. Law, J. Leaver, E. M. Anifantakis and T. P. O'Connor (1999b). "Kishk-a dried fermented milk/cereal mixture. 2 Assessment of a variety of protein analytical techniques for determining adulteration and proteolysis." *Le Lait* 79(3): 331-339.
64. Tamime, T. Y. and D. Mclulty (1999). "Kishk - a dried fermented milk/cereal mixture. Microbiological quality." *Lait* 79: 449-456.
65. Tankoano, A., D. Kabore, A. Savadogo, A. Soma, N. Fanou-Fogny, D. Compaore-Sereme, J. Hounhouigan and H. Sawadogo-Lingani (2016a). "Evaluation of microbiological quality of raw milk, sour milk and artisanal yoghurt from Ouagadougou, Burkina Faso." *African Journal of Microbiology Research* 10(16): 535-541.
66. Tankoano, A., H. Sawadogo-Lingani, A. savadogo, D. kaboré and Y. Traoré (2016b). "Study of the process and microbiological quality of Gappal, a fermented food and beverage from Burkina Faso based on milk and millet dough " *International Journal of Multidisciplinary and Current Research* 5(Jan/Feb 2017): 104-110.
67. Tchekessi, C. C., A. Bokossa, N. Adigun, R. Bleoussi, P. Sachi, J. Banon, C. Agbangla, P. Azokpota and I. Bokossa (2014a). "Physico-chemical and sensory characterizations of three types of " dèguè", a local fermented drink made from milk in Benin." *International Journal of Biosciences (IJB)* 5(3): 36-43.
68. Tchekessi, C. C., I. Y. Bokossa, G. J. Hounkpatin, J. Banon, N. Adigun, P. Sachi and C. Agbangla (2014b). "Etude socio-économique et technologique de fabrication des boulettes de céréales pour la production d'une boisson fermentée de type probiotique consommée au Bénin/[Socio-economic and technological study of manufacture of the pellets of cereals for the production of a fermented drink of probiotic type consumed in Benin]." *International Journal of Innovation and Applied Studies* 9(3): 1323.

69. Temitope, O. S. and O. B. Taiyese (2012). "Quality assessment of 'oti-oka' like beverage produced from pearl millet." *Journal of Applied Biosciences* 51: 3608-3617.
70. Teniola, O., W. Holzapfel and S. Odunfa (2005). "Comparative assessment of fermentation techniques useful in the processing of ogi." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 21(1): 39-43.
71. Tostain, S. (1998). *Le mil, une longue histoire: hypothèses sur sa domestication et ses migrations*: 461-492.
72. Tou, E., J.-P. Guyot, C. Mouquet-Rivier, I. Rochette, E. Counil, A. Traoré and S. Trèche (2006). "Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso." *International journal of food microbiology* 106(1): 52-60.
73. Turpin, W. (2011). *Vers une évaluation des potentialités probiotique et nutritionnelle des bactéries lactiques constitutives du microbiote d'un aliment fermenté traditionnel à base de mil par une approche moléculaire*, Montpellier 2.
74. Turpin, W., C. Humblot, M.-L. Noordine, M. Thomas and J.-P. Guyot (2012). "Lactobacillaceae and cell adhesion: genomic and functional screening." *PLoS One* 7(5): e38034.
75. Uher, C., M. De Raïssac, N. Bricas, F. Maraux, H. Boirard and P. Remy (2011). *Les cultures vivrières pluviales en Afrique de l'Ouest et du Centre: éléments d'analyse et propositions pour l'action*, AFD, Agence française de développement. 195
76. Yabaya, A. (2008). "Microorganisms associated with starter cultures of traditional Burukutu liquor in Madakiya, Kaduna state, Nigeria. Short communication." *Science World Journal*.3(3), 3.