

Bouillies fermentées traditionnelles à base de céréales au Burkina Faso : diversité, technologies de production et microorganismes à potentiel probiotique associés.

Traditional porridge fermented cereals in Burkina Faso: diversity, production technologies and microorganisms with associated probiotic potential.

Boureima Kagambèga, Hama Cissé, François Tapsoba, Adama Sawadoga, Cheikna Zongo, Yves Traoré & Aly Savadogo*

Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquées, Université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

Info. Article

Historique de l'article

Reçu le 12/09/2018
Révisé le 25/01/2019
Accépté le 31/01/2019

Mots-clés

Technologie, Céréales,
Bouillies-fermentées, Aliments-
probiotique.

Keywords

Technology, Cereals,
Fermented-porridges, Probiotic-
foods.

RESUME

Le but de ce travail est de fournir, à travers la recherche littéraire, les technologies de transformation des céréales locales en bouillies fermentées et les microorganismes à potentiel probiotique impliqués dans cette fermentation. Les bouillies sont vendues dans des conditions d'hygiène précaire, ce qui constitue un risque majeur de santé publique pour les consommateurs, surtout les enfants de moins de cinq ans. Le microbiote de ces bouillies est constitué de microorganismes probiotiques conférant aux consommateurs des effets bénéfiques. Parmi ces probiotiques rencontrés dans ces bouillies, on distingue les bactéries lactiques, les levures, les moisissures et certaines souches non pathogènes d'E. coli. Ainsi la diversité technologique a un impact sur la qualité des bouillies de façon générale et aussi sur le microbiote. La maîtrise des différents procédés technologiques et l'application des bonnes pratiques d'hygiène et de production permet un contrôle de la qualité microbiologique. Les voies d'optimisation des bouillies pour les rendre plus nutritives avec des qualités microbiologiques acceptables constituent un moyen efficace d'augmentation des macronutriments et de micronutriments.

ABSTRACT

The aim of this work is to provide, through literary research, local cereal transformation technologies in fermented porridges and probiotic potential microorganisms involved in this fermentation. The porridges are sold under precarious hygiene conditions, which constitutes a major risk of public health, especially since the consumers are children under five years old. The microbiota of these porridges is made up of probiotic microorganisms giving consumers beneficial effects. Among these probiotics encountered in these porridges, lactic acid bacteria, yeasts, molds and certain non-pathogenic strains of E. coli are distinguished. Thus technological diversity has an impact on the quality of porridge in general and also on the microbiota. Pathways for optimizing porridge to make them more nutritious with acceptable microbiological qualities are an effective way to increase macronutrients and micronutrients.

*Auteur Correspondant

Aly Savadogo

Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquées,
Université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021
Ouagadougou 03, Burkina Faso.
Email: alysavadogo@gmail.com

INTRODUCTION

Les aliments fermentés représentent une part importante dans l'alimentation des populations ouest africaines comme le Burkina Faso, où l'agriculture est essentiellement basée sur la production des céréales. Ces céréales étant transformées en aliments comme les bouillies fermentées occupent une place de choix [1]. Ainsi, les céréales utilisées pour la production de ces bouillies à travers divers processus traditionnels sont fréquemment le mil, le sorgho, le maïs et le riz [2]. Celles-ci représentent donc une importante source énergétique (70% des ingérés énergétiques du continent) et de micronutriments [3, 4]. Dans les pays développés, les fermentations des aliments sont souvent intégrées comme stratégies de marketing pour construire des allégations nutritionnelles afin d'offrir aux consommateurs un mode de vie « sain » ou pour répondre à des attentes organoleptiques spécifiques [5]. Ceci n'est pas le cas au Burkina Faso à l'instar des pays du sud où les fermentations sont spontanées, mais avec un atout impliquant une hétérogénéité de microorganismes. Ces microorganismes impliqués dans les fermentations des céréales sont principalement les bactéries lactiques, les levures, les moisissures et certaines souches non pathogènes d'*Escherichia coli* [6]. Outre leur rôle dans la conservation naturelle des aliments à travers la production de composés comme les acides organiques et les bactériocines réduisant fortement la croissance des pathogènes, ces microorganismes possèdent un potentiel probiotique, c'est-à-dire apportent un effet bénéfique à l'hôte lorsqu'ils sont suffisamment ingérés [7, 8]. Au titre des bénéfices apportés, on peut citer la prévention et le traitement des maladies diarrhéiques, l'absorption des fibres au cours de la digestion, la diminution de la sévérité des symptômes du syndrome de l'intestin irritable, la stimulation du système immunitaire, les réductions des signes et symptômes de l'intolérance au lactose et bien d'autres [9]. Ainsi, les produits de grande consommation comme les bouillies fermentées contenant les microorganismes à effets désirables pourraient apporter des réponses non élucidées sur les hypothèses attribuées aux effets bénéfiques des probiotiques. Des études sur les bouillies fermentées à base de mil perlé (*ben-saalga* et *ben-kida*) réalisées au Burkina Faso ont concerné les paramètres physico-chimiques et la disponibilité des micronutriments [10, 11]. Ce qui sous-entend que peu de données existent sur l'étude des microorganismes probiotiques dans les bouillies fermentées provenant de certaine variété de céréales [6]. De plus, il faut noter que le secteur manque d'encadrement malgré le rôle qu'il joue dans la sécurité alimentaire des consommateurs représentés surtout par les jeunes enfants dont 80% des moins de deux ans en consomme au moins une fois par mois [3]. L'objectif cette étude est de fournir à travers une recherche bibliographique des données sur les technologies de productions des bouillies fermentées à base de céréales locales, leurs valeurs nutritives et leur potentiel probiotique.

1. GENERALITES SUR LES BOUILLIES FERMENTEES

Les bouillies traditionnellement consommées en Afrique de l'ouest sont essentiellement à base fait de céréales et de tubercules, donc riches en amidon (environ 70%) [12,13]. Au Burkina, les céréales représentent les matières prépondérantes compte tenu de leur disponibilité. Ainsi, on distingue principalement le mil perlé (*Pennisetum glaucum* L) et le sorgho (*Sorghum bicolor* L) qui ont l'avantage de pousser dans des zones à températures élevées et arides ou semi-arides. A côté de ces deux céréales figurent le riz (*Oryza sativa*) et le maïs (*Zea mays*) qui sont aussi utilisés dans la préparation des bouillies en fonction des régions [1]. La préparation des bouillies dans le contexte burkinabé répond à des normes traditionnelles relatives à chaque ménage faisant appel à une fermentation non contrôlée [11]. Selon les procédés utilisés, on enregistre des variations au niveau de la qualité des bouillies. Dans le cas des procédés traditionnels, le processus fermentaire s'effectue spontanément grâce au développement de la microflore épiphyte, ce qui peut conduire à des produits d'une qualité organoleptique, microbiologique ou toxicologique indésirable [12, 3].

2. DIVERSITE ET TECHNOLOGIES DES BOUILLIES FERMENTEES

La diversité au niveau des bouillies fermentées réside dans l'origine de la matière première, l'aspect socioculturel et religieux et les procédés technologiques [11].

2.1. Matières premières

Au Burkina Faso, on note une grande diversité de céréales constituant la base de l'alimentation de la population. Cette diversité tient lieu du fait de la pluviométrie qui conditionne la culture des céréales essentiellement dans les différentes régions [1]. Ainsi, face aux aléas climatiques et à la fragilité des sols, on assiste à une agriculture de subsistance c'est-à-dire que la plupart des produits sont autoconsommés. Néanmoins, une partie de cette production céréalière est destinée à la commercialisation d'où la répartition de ces céréales à travers tout le pays. C'est ce qui rend la disponibilité de ces céréales comme matières premières dans la majeure partie du pays pour la préparation des bouillies [3].

2.2. Selon le contexte socioéconomique, culturel et religieux

Les aspects socioéconomique, culturel et religieux sont également des situations qui peuvent agir tant sur la diversité que sur les niveaux de consommation [11]. Une étude réalisée dans la ville de Ouagadougou en 1999, sur la transformation du mil en *ben-saalga* a montré que 75% des consommateurs étaient réguliers et 19% sont des adultes. Aussi, on a noté que 95% des productrices étaient des femmes musulmanes dont 73% appartiennent à l'ethnie *mossi* [14]. En tenant compte des deux volets (culturel et religieux), les méthodes et pratiques peuvent varier d'une religion à l'autre, au sein des cultures ou même entre les villes du Burkina Faso. Ces variations auront sans doute leurs impacts sur la nature des bouillies. Aussi, la situation économique étant parfois précaire dans les zones rurales, les pratiques utilisées dans la préparation des bouillies peuvent également entraîner des diversités par rapport celles rencontrées dans centres urbaines [11].

2.3. Selon la technologie de production

Les technologies varient en fonction de la matière première utilisée et la spécificité ethnique [3].

Bouillie à base de mil perlé (*Pennisetum glaucum L*)

Au Burkina, il existe principalement deux types de bouillie fermentée à base du mil perlé préparées avec des procédés différents [11].

Ben-saalga : les grains de mil perlé, après lavage sont trempés dans de l'eau pour une durée moyenne de 16 heures. Ils sont ensuite égouttés, mélangés d'aromates et d'épices tels que le gingembre, le poivre, la menthe ou de l'arachide et l'ensemble est moulu [10]. La farine humide ainsi obtenue est mélangée à l'eau de sorte à obtenir une pâte qui sera pétrie et filtrée à travers une toile pour éliminer les enveloppes des grains (drêches). La pâte est ensuite laissée au repos pendant au moins 11 à 12 heures et après cela, on obtient deux phases : un culot et un surnageant plus liquide. Pendant ce temps l'ensemble subit une fermentation spontanée [3]. On sépare la phase liquide du culot que l'on porte à ébullition. On rajoute ensuite le culot séparé auparavant dans la phase liquide additionnée d'eau, l'ensemble est mélangé et cuit pendant en moyenne 7 minutes [10, 15].

Ben-kida : la préparation de *ben-kida* ou bouillie granulée comporte deux étapes incluant celle de *ben-saalga* en seconde lieu. La première étape est celle de la préparation des granules qui consiste à laver les grains de mil perlé et à les dessécher. Les grains ainsi séchés sont broyés pour obtenir une farine qui sera mélangée à l'eau. L'ensemble est pétri de sorte à avoir des granules de farine humide puis laissé au repos pendant quelques heures. La seconde étape est la préparation finale du *ben-kida*. Les granules obtenues à partir de la farine sont mélangé au surnageant issu de la préparation du *ben-saalga* et cuit pendant 16 minutes (Fig. 1).

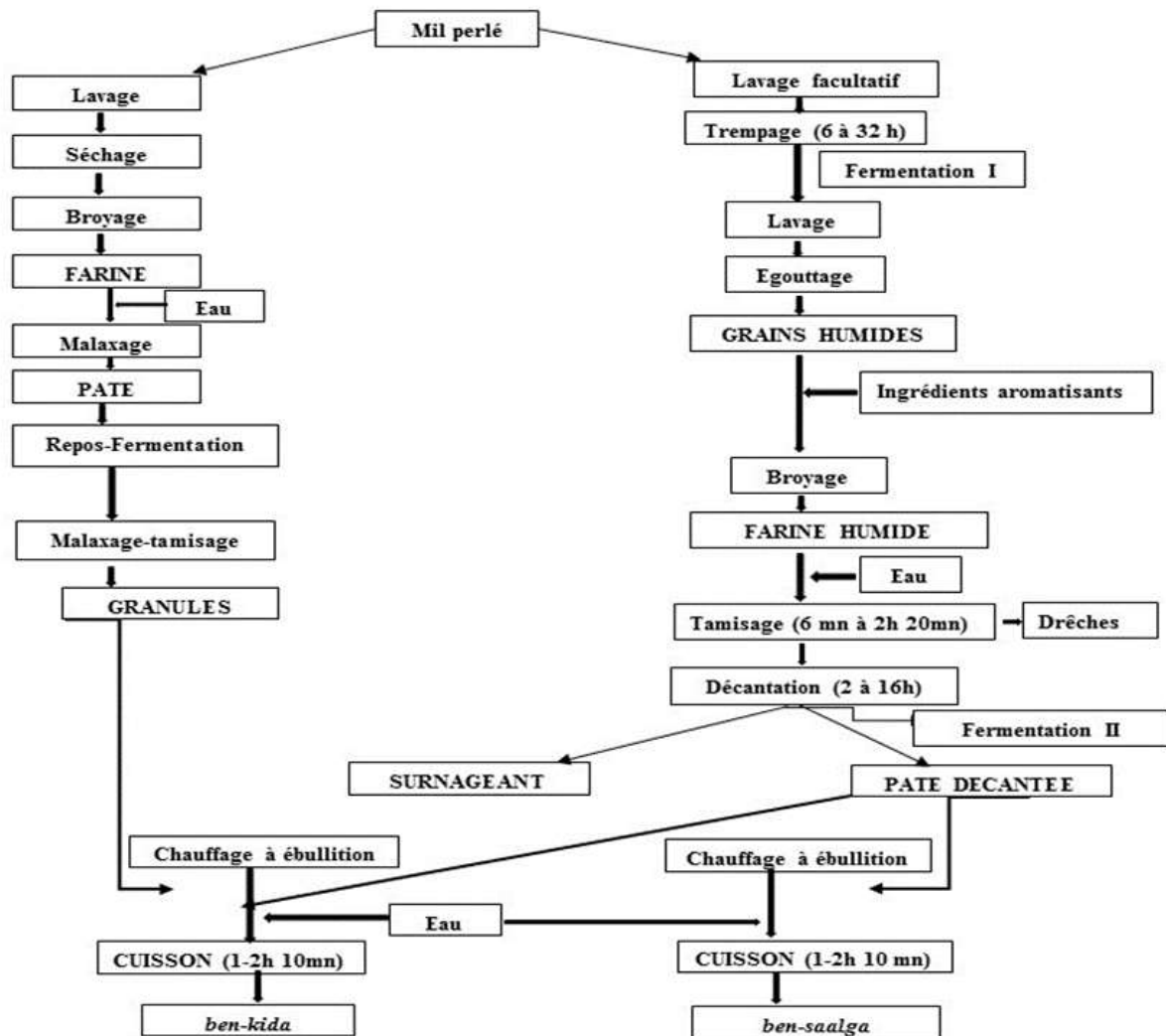


Figure 1. Procédés de transformation du mil perlé en bouillies fermentées.

Source: [16] modifié moi-même

Bouillies à base de sorgho (*Sorghum bicolor* L)

Selon la couleur du sorgho, deux types de bouillies sont produits au Burkina Faso.

Bouillie à base sorgho blanc : l'un des facteurs majeurs de la réticence de la consommation des bouillies à base du sorgho blanc est la présence des facteurs antinutritionnels. La plupart des technologies passe par le décorticage afin de diminuer les facteurs antinutritionnels et d'augmenter la biodisponibilité des nutriments [17]. Lors de la préparation de la bouillie de sorgho, les graines sont décortiquées, séparées par vannage suivi d'un lavage, puis transformées en farine. On porte de l'eau jusqu'à ébullition dans laquelle on ajoute la farine mélangée à l'eau froide, du jus de tamarin ou de pain de singe [15]. L'ensemble est soumis à une homogénéisation et la cuisson dure 5 à 10 mn en présence de sucre, lait caillé ou de l'huile afin d'améliorer le goût.

Bouillie à base de sorgho rouge : la bouillie de sorgho rouge est fréquemment rencontrée au nord du Burkina Faso [15]. Sa préparation suit le même procédé que celui utilisé dans la préparation de la bouillie de sorgho blanc (Fig. 2). Les grains subissent une fermentation avant d'être moulus et la filtration permet d'éliminer les drêches, suivie d'une décantation qui permet une seconde fermentation de la farine humide [18].

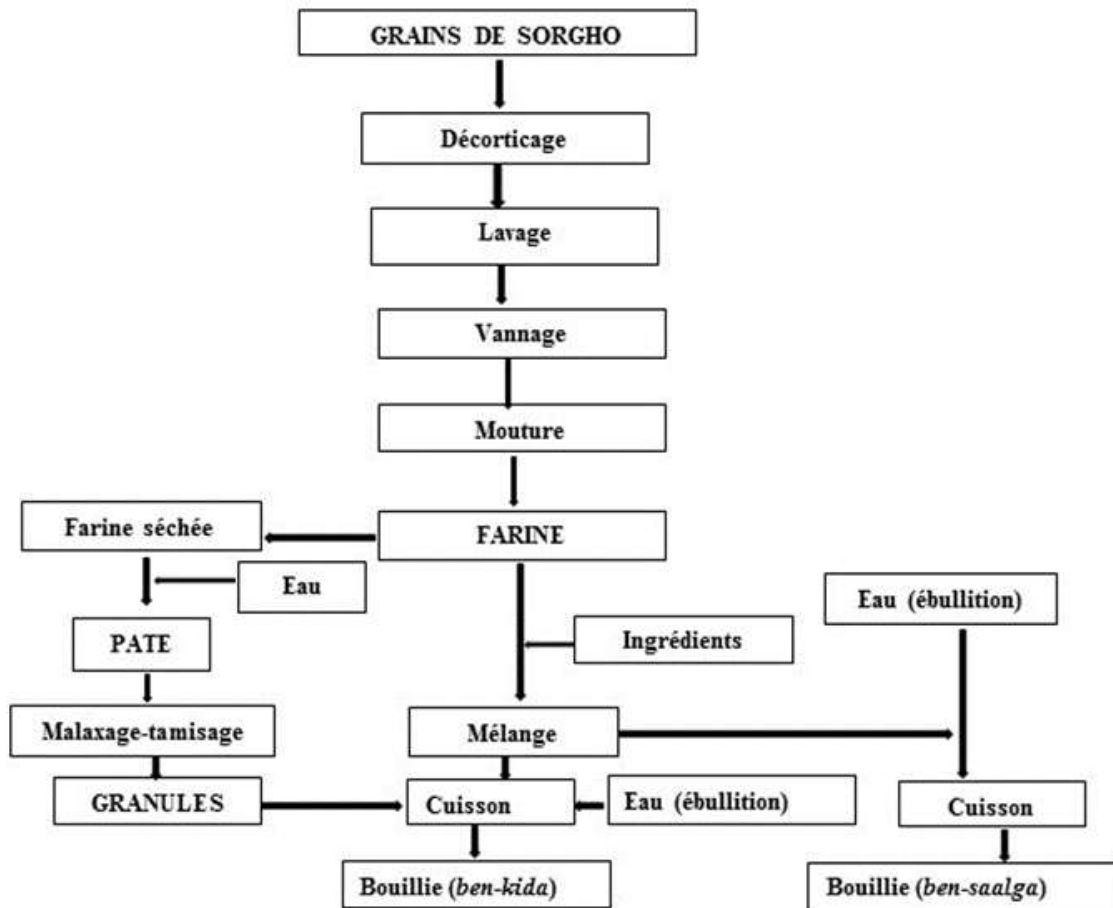


Figure 2. Diagramme de production de la bouillie de sorgho.

Source : [15] modifié par moi-même

Bouillie à base de maïs (*Zea mays*) : la bouillie de maïs est peu connue dans certaines villes du Burkina Faso comme Ouagadougou. Le maïs est plus utilisé dans la préparation du « *to* » que celle des bouillies [15]. La bouillie peut être obtenue avec les grains de maïs décortiqués ou non (Fig. 3). Des études réalisées dans d'autres pays ont permis un rapprochement des méthodes de transformation avec celles connues au Burkina Faso [11]. La farine maïs est tamisée et une quantité déterminée plus fine obtenue est mélangée à l'eau pour faire une pâte. Cette pâte est ensuite versée petit à petit, en remuant, dans une eau bouillante et cuite pendant 5 à 10 minutes. Cette technique diffère de celle utilisée dans la préparation de l'*ogi* ou *koko*, bouillie à base de pâte de maïs fermentée au Bénin et au Ghana [12]. Des modifications de ces procédés permettent d'obtenir de la bouillie sans ou avec des granules comparables au *ben-saalga* et au *ben-kida*.

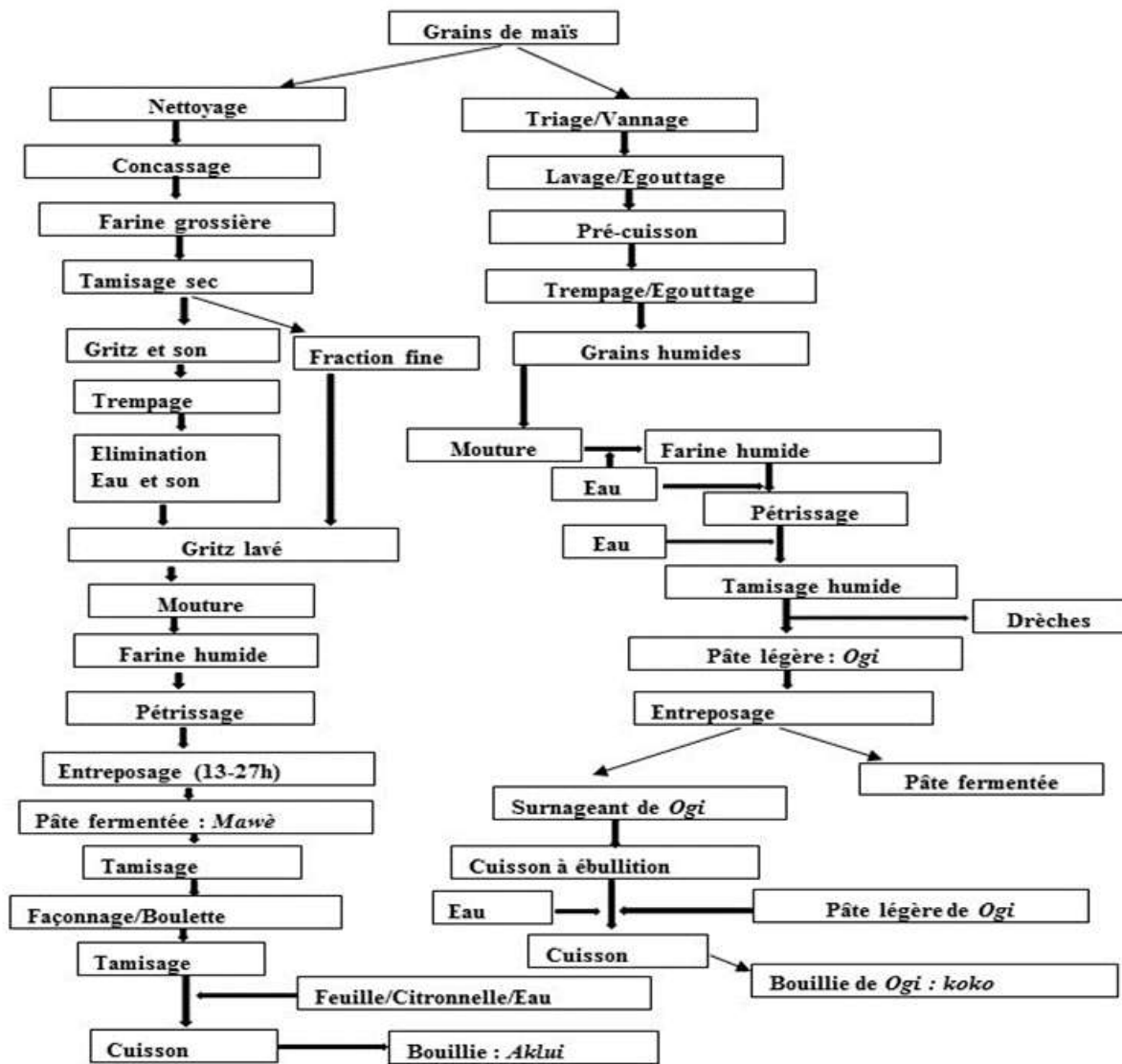


Figure 3. Diagramme de production de la bouillie de maïs.
 Source : [15, 16] modifié par moi-même

Bouillie à base de riz (*Oryza sativa*) : la préparation traditionnelle des bouillies du riz n'exige pas d'opérations aussi complexes comme celle des autres bouillies déjà décrites. Ces bouillies sont très visqueuses et de faibles densités énergétiques, donc pas adaptées comme aliments de complément. Ainsi des essais de trempage du riz avec du mil malté, de l'arachide, du soja et du niébé ont permis d'obtenir des bouillies fluides et d'améliorer la densité énergétique [19]. Pour la préparation simple de la bouillie de riz, les grains sont d'abord triés et débarrassés des certaines impuretés (insectes, coque, petits cailloux et autres). L'ensemble subit l'opération de cuisson en présence d'autres ingrédients comme le sucre et le sel (Fig. 4) [15]. La bouillie de riz intervient dans la préparation d'une galette (*Gnomy*) [20].

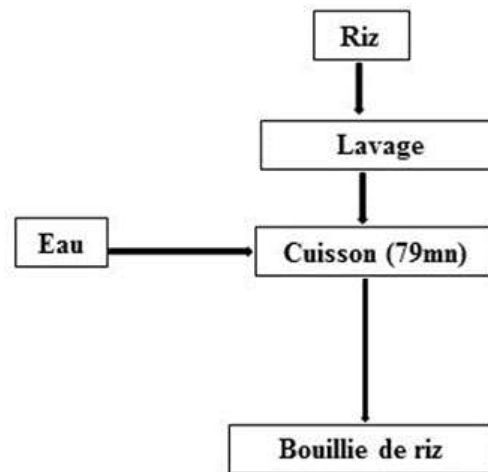


Figure 4. Diagramme de production de la bouillie de riz.
Source : [15] modifié par moi-même

3. MICROORGANISMES DES BOUILLIES FERMENTEES

3.1. Origines des microorganismes dans les aliments fermentés

La fermentation permet l'amélioration des qualités organoleptiques et nutritionnelles, la stabilisation et une meilleure conservation du produit fini [1]. On distingue trois types de flore dans les aliments.

La flore initiale : c'est la flore présente naturellement dans les denrées alimentaires provenant de la matière première. Cette flore peut avoir un intérêt dans les transformations de l'aliment ou non [3].

La flore exogène, encore appelée flore de contamination, elle est responsable de la dégradation de l'aliment (perte des caractéristiques organoleptiques). Elle provient de la main d'œuvre, du matériel utilisé ou de l'environnement [21].

La flore utile ou technologique : c'est la flore intervenant dans la transformation de l'aliment en apportant les caractéristiques organoleptiques souhaitées par les transformateurs et appréciées par les consommateurs. L'introduction de cette flore d'intérêt nécessite donc une maîtrise du procédé technologique, permettant ainsi le contrôle de la fermentation [3].

3.2. Microorganismes impliqués dans la fermentation

Les bactéries lactiques, les levures, les moisissures, certaines espèces de *Bacillus* et d'*Escherichia coli* sont couramment rencontrés dans les aliments fermentés céréaliers.

Bactéries lactiques : les premiers genres de bactéries lactiques à usage technologique sont : *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus*. On cite d'autres genres tels que *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella* (Fig.5). Des auteurs, au Burkina Faso ont identifié dans le ben-saalga des espèces de *Lactobacillus plantarum* (K1, K2, K3) ainsi que *Lactobacillus fermentum* K9 [22]. Au Bénin, Ghana et au Nigeria, on distingue le « Ogi », mais aussi le « mawè » issu de la transformation des grains de maïs sec. Dans ces bouillies fermentées connues dans certaines zones du Burkina Faso avec des appellations différentes, on y trouve d'autres espèces de bactéries lactiques telles que *Lactobacillus casei*O3, *Lactobacillus pentosus*O4, *Lactobacillus fermentum*O5, *Lactobacillus sp.*O6, *Pediococcus sp.* etc (Ogi), *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum* Mv2 (mawè) [12]. Une étude réalisée au Nigeria a permis de constater qu'à un stade plus avancé du trempage des grains de sorgho, on pouvait identifier essentiellement des genres *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Leuconostoc*. D'une manière générale, les bactéries lactiques réalisent la fermentation lactique [11] en dégradant certains substrats (glucose, acide malique) en acide lactique qui acidifie le milieu inhibant la croissance des souches sensibles à un pH bas [3]. Cette fermentation peut être homolactique ou hétérolactique. Dans le cas de la fermentation homolactique, le glucose par la réaction de la glycolyse est transformé en pyruvate, lequel est dégradé totalement en lactate par une enzyme qui est le lactate déshydrogénase. On obtient donc un seul produit grâce à l'action des bactéries homofermentaires comme celles des genres *Streptococcus*, *Lactococcus* ou *Lactobacillus*. La fermentation hétérolactique entraîne une dégradation par glycolyse du glucose en pyruvate puis en lactate en utilisant la voie des pentoses phosphates avec formation d'autres composés. Par exemple, en plus du lactate, il y a formation d'éthanol, du gaz carbonique et d'acétate [23]. Les microorganismes impliqués sont les espèces du genre *Leuconostoc* ou *Lactobacillus*. Dans certains cas, les BL sont responsables d'une fermentation malolactique qui correspond à la transformation de l'acide-L-malique (un diacide) en acide-L-lactique (un monoacide) et en gaz

carbonique [5]. Des travaux ont attribué d'autres rôles aux bactéries lactiques lors de la fermentation comme par l'exemple, l'élaboration de l'arôme et de la texture du produit final [12].

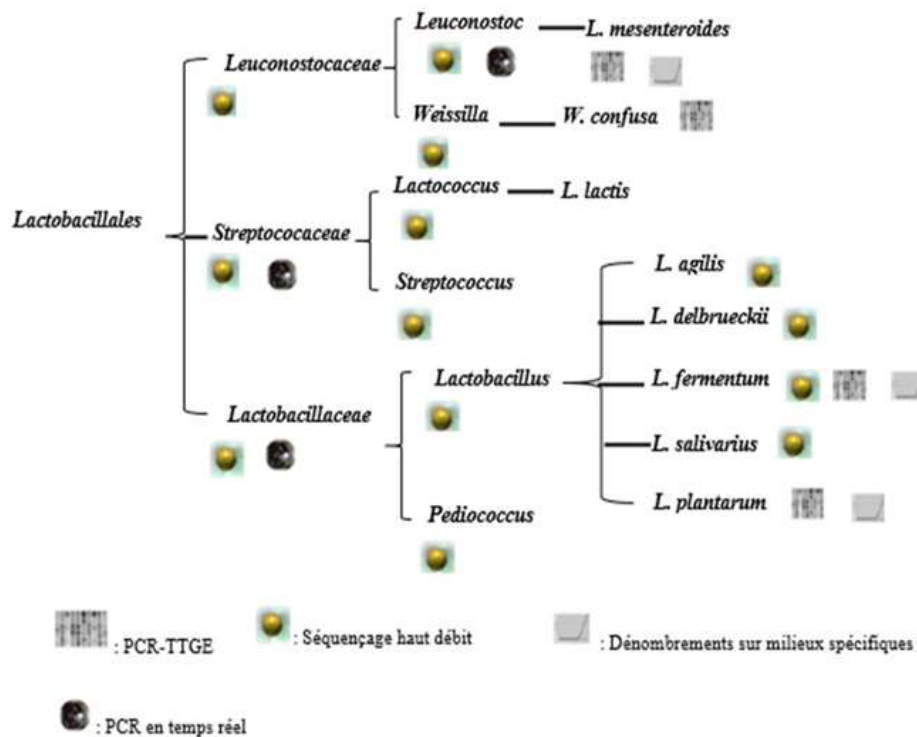


Figure 5. Quelques bactéries isolées dans le ben-saalga.

Source : Extrait de [6], modifié par moi-même

Levures : les levures font parties des microorganismes dominants dans la plupart des céréales fermentées [1]. En effet, des levures appartenant aux genres *Saccharomyces* et *Candida* ont été principalement identifiées dans le *Ogi* à travers des études réalisées au Nigéria [3]. Ces mêmes microorganismes ont été identifiés dans le *ogibaba*, une variante du *ogi* mais à base de sorgho [22]. D'une manière générale les levures réalisent la fermentation alcoolique par transformation des substrats fermentescibles comme le glucose en éthanol et en gaz carbonique [5, 24]. Tou et al. [10] ont montré que lors de la production du « *ben-saalga* », cette fermentation alcoolique était prédominante dans l'étape de trempage, sans doute attribuée aux levures.

Moisissures : les moisissures peuvent être des agents de dégradation dangereux tout comme des alliés utiles dans l'alimentation compte tenu de leur propriété lytique. Les principaux genres de moisissure sont *Penicillium* et *Mucor*. Le genre *Mucor* peut se développer sur les grains de riz et intervenir dans le processus de saccharification, c'est-à-dire la transformation des substances amylacées ou celluloliques en sucres fermentescibles. Le genre *Penicillium* quant à lui, est reconnu pour sa capacité à produire des arômes utiles dans la fabrication des fromages, ou de produire des antibiotiques dans les denrées alimentaires fermentées [25]. Dans certains produits fermentés à base de mil on a pu identifier des moisissures appartenant principalement aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* [1].

3.3. Microorganismes indésirables

Bacillus pathogènes : le genre *Bacillus* regroupe un ensemble de bactérie appartenant à la famille des bacillaceae. Certaines souches sont non pathogènes pour l'homme. D'autres en revanche, comme *Bacillus cereus*, peut se multiplier dans les céréales (riz) et y produire une entérotoxine qui provoque des diarrhées par un mécanisme similaire à celui de l'entéro-toxine d'*Escherichia coli* [26]. Le pathogène le plus virulent du genre *Bacillus* est *Bacillus anthracis* pouvant être employé comme arme biologique de destruction massive [27]. L'analyse de la matière première et du procédé de fabrication montre que la présence de ces germes pathogènes est due à une conjonction de contamination par les ustensiles de cuisine, les mains, les bouillies elles-mêmes [21]. Tankoano et al. [1] ont affirmé que certains *Bacillus* étaient associés à la fermentation des céréales à base de mil. Cela est peut être lié à un effet de contamination car le rôle fermentaire des *Bacillus* est reconnu surtout dans les graines. Ainsi, *Bacillus subtilis* est par exemple à l'origine de la fermentation des graines de néré (*Parkia biglobosa*) pour donner le *soumbala* ou des graines d'oseille (*Hibiscus sabdariffa*) dans le cas de la production du bikalga [26] ou des graines de baobab (*Adansonia digitata*) pour la production du *Maari* [28].

Entérobactéries : les entérobactéries sont à l'origine de plusieurs maladies dont les gravités varient en fonction du niveau de pathogénicité. Elles sont réputées pour leur capacité à réduire les nitrates en nitrites et de fermenter le glucose. Environ 80% des bactéries de ce groupe isolées au laboratoire dans les aliments fermentés à base de mil appartient aux genres *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Proteus*, *Morganella* et *Yersinia* [1]. La présence des microorganismes serait liée à un manque d'hygiène lors des procédés de transformation. La fermentation et la cuisson permettent la réduction de ces microorganismes, sauf ceux capables de sporuler [3]. *Enterobacter sakazakii*, *Klebsiella pneumo. Spp pneumonia*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* étaient les pathogènes présents [21].

4. VALEURS NUTRITIVES ET IMPORTANCE DES BOUILLIES

4.1. Valeurs nutritives des bouillies fermentées

Les valeurs nutritives des bouillies sont liées à plusieurs paramètres comme la biodisponibilité des nutriments, les caractéristiques organoleptiques et énergétiques [29].

4.2. Matières sèches et fluidités des bouillies fermentées

La fluidité ou encore consistance des bouillies est évaluée par la mesure de l'écoulement bostwick et de la viscosité apparente à l'aide d'un viscosimètre [10]. Les normes établies concernant la fluidité des bouillies pour être acceptées se situent entre 100 à 120mm/30s. Les bouillies préparées traditionnellement avec une teneur en matière faible sont caractérisées par des valeurs d'écoulement bostwick correspondant à des bouillies fluides. Pour une teneur en matière sèche moyenne de 7,5g/100g on a évalué les écoulements bostwick à 133mm/30s pour le ben-kida et 180mm/30s pour le ben-saalga [30]. Les matières sèches dans les bouillies traditionnelles ont des valeurs situées entre 7 et 10 g/100g mais l'ajout de sucre permet d'avoir des valeurs plus élevées. Ces données concernent surtout les bouillies à base de mil perlé. Pour ce qui relève des bouillies de sorgho, de maïs et de riz, il y a eu peu d'études dans la littérature.

4.3. Densités énergétiques des bouillies

La densité énergétique dépend de la teneur en matière sèche qui contient les nutriments calorifiques. On estime les densités dans les bouillies traditionnelles entre 30 à 40 Kcal/100g [30]. Ces valeurs sont faibles et inférieures aux recommandations exigées chez les enfants de moins de deux ans estimées à 84 Kcal/100g pour deux repas par jour [31]. Pour parvenir à des bouillies de densités énergétiques plus élevées, il faut une augmentation de la matière sèche, ce qui augmente la fluidité, et par conséquent l'acceptabilité du produit [11]. Une alternative qui semble plus acceptable pour augmenter la densité énergétique des bouillies en réduisant leur viscosité a été de réaliser une pré cuisson avant la fermentation pour rendre l'amidon plus gélatineuse accessible aux amylases. Cela permettra d'avoir des bouillies de densités énergétiques 85 Kcal/100g [32]. Le tableau 1 donne des valeurs énergétiques de quelques bouillies.

Tableau 1. Valeurs énergétiques de quelques bouillies

Types de bouillie	Matières utilisées	DE (Kcal/100g)	Auteurs
Céréales germées	Maïs et Sorgho	106- 122,4	[33]
Ferments Incorporés	Maïs, Sorgho, Soja	90-120	[33]
Bouillies traditionnelles	Céréales, Manioc	≤32	[33]
Bouillie sucrée	Mil	75	[34]
Pâte précuite (Cuve)	Mil	62	[10]
Bouillie maltée	Mil, Riz	117	[19]

DE : Densité énergétique

4.4. Equilibre et biodisponibilité des nutriments

Equilibre des macronutriments : les bouillies traditionnelles ont généralement des teneurs en protéines inférieures à 2,6g/100g MS et de moins 0,8g/100g MS pour les lipides [32]. Des teneurs en protéines de l'ordre de 6,74g/100g MS et 2,34g/100g MS ont été mesurées dans la bouillie de sorgho [18]. Ces valeurs sont nettement inférieures aux normes recommandées pour les protéines surtout précisées par le Codex Alimentarius (22,6g/100g MS) chez les enfants de 6 à 35 mois [35]. *Lactobacillus plantarum* A6 ayant une forte activité amylolytique a été utilisée pour augmenter la densité énergétique du *ben-saalga* modifié. L'ajout de sucre dans cette bouillie a permis d'avoir 22% de protéines, 11% de lipides et 61% d'amidon faisant passer sa densité énergétique à 75 Kcal/100g, soit le double de celle de la bouillie traditionnelle [36].

Biodisponibilité des micronutriments : le *ben-saalga* est pauvre du point de vue nutritionnel quand il s'agit de satisfaire les besoins du jeune enfant. Outre sa faible densité énergétique, on note aussi une insuffisance des micronutriments [15]. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs tels que les facteurs antinutritionnels (phytates, tanins, α -galactosides). Les phytates sont considérés comme un facteur d'indisponibilisation de cations, mais aussi des inhibiteurs d'enzymes comme les amylases et les protéases [29]. Certains facteurs antinutritionnels sont réduits par voies enzymatique à travers la fermentation (microorganismes producteurs de phytases, tannases, α -galactosidases) des céréales utilisées par trempage [29, 32]. Le traitement thermique permet une réduction des facteurs anti-trypsiques [11] et la fermentation augmente la disponibilité des vitamines du groupe B surtout les folates dont la carence constitue un problème de santé publique. Le tableau 2 donne quelques effets nutritionnels des aliments fermentés.

Tableau 2. Effets nutritionnels des microorganismes dans les aliments fermentés

Horizontal Effets nutritionnels bénéfiques des aliments fermentés
L'amélioration de la digestibilité des protéines due à l'hydrolyse de celles-ci en acides aminés par les protéases des bactéries lactiques
L'amélioration de la teneur et de la disponibilité des acides aminés : lysine, méthionine et tryptophane
L'amélioration de la digestibilité de l'amidon grâce à l'activité amylolytique de certaines Bactéries Lactiques Amylolytiques (BLA)
L'amélioration de la teneur en vitamine du groupe B, notamment en riboflavine, niacine et thiamine
La réduction des facteurs antinutritionnels les α -galactosides (stachyose et raffinose responsables de flatulences), les phytates et les composés phénoliques (diminuant la biodisponibilité des minéraux tels que le fer, le zinc, le calcium, etc.), et les inhibiteurs de protéases (facteur inhibiteur de la trypsine)
La réduction des composés toxiques comme les amines biogènes, les composés cyanogéniques (la linamarine) etc.

Source: [37] modifié par moi-même

4.5. Caractéristiques organoleptiques des bouillies fermentées

Les bouillies sont acceptées par les consommateurs surtout chez les jeunes enfants car on a souvent recouru à des ingrédients pour améliorer le goût. Les bouillies les plus acceptées à Ouagadougou sont le *ben-saalga* et le *ben-kida* à base de mil perlé d'où le nombre croissant de productrices traditionnelles en dépit du déficit constaté du point de vue énergétique [14, 11]. Les autres types de bouillies se retrouvent dans certaines provinces en fonction de la prédominance des matières premières. Aussi l'organisation des tests d'évaluation sensorielle peut permettre à des productrices d'apprécier les goûts des bouillies à partir des additions des divers ingrédients, ce qui contribue à l'amélioration de la qualité organoleptique pour un plus d'acceptabilité [29].

4.6. Importance des bouillies fermentées dans la sécurité alimentaire

Préservation de la qualité sanitaire des bouillies : la fermentation est un moyen de conservation des aliments utilisé depuis des siècles [23]. Les microorganismes capables de présenter un risque sanitaire pour les aliments fermentés comme les bouillies sont essentiellement *Bacillus cereus* et certaines entérobactéries [21]. *Lactobacillus plantarum* isolé du *ben-saalga* produit des bactériocines inhibant la croissance de *Bacillus cereus*. Pour les autres pathogènes, des études ont montré que la non maîtrise des procédés permettait d'être à un niveau de contamination très faible et inférieur au seuil de détection. La fermentation et surtout la cuisson sont des points importants à contrôler pour la réduction des pathogènes [23, 3]. Les stabilisants naturels produits par les microorganismes (les acides organiques, le dioxyde de carbone, le peroxyde d'hydrogène, le diacétyle, l'éthanol et des bactériocines) participent à la préservation et à l'innocuité de ces bouillies fermentées garantissant ainsi leur sécurité sanitaire [7].

Bouillies fermentées et sécurité alimentaire : au Burkina Faso, les enfants reçoivent comme aliment de complément une diversité de bouillie principalement à base de céréales [34]. Ces bouillies traditionnelles ont une valeur nutritionnelle très insuffisante pour satisfaire les besoins en nutriments et en énergie recommandés pour les jeunes enfants en raison de leur très faible densité énergétique et de leurs faibles teneurs en protéines, lipides et minéraux essentiels [14, 34]. Malgré cette insuffisance, les bouillies traditionnelles contribuent à améliorer la situation nutritionnelle dans les pays du sud [32].

5. FONCTIONS PROBIOTIQUES DES BOUILLIES FERMENTÉES

5.1. Généralités sur les probiotiques

Les probiotiques sont des microorganismes vivants dont l'ingestion en quantité suffisante apporte un effet bénéfique sur la santé de l'hôte [8]. Ainsi, pour qu'un microorganisme soit reconnu comme probiotique, l'effet bénéfique à l'homme et sa capacité à survivre au transit intestinal, aux pH acide, la résistance à la bile, l'adhésion au tractus digestif, la compétition avec les pathogènes et la stimulation de l'immunité doivent être mis en évidence [9]. À la différence des probiotiques, les prébiotiques sont des substances alimentaires qui stimulent la croissance des microorganismes vivant dans l'intestin.

5.2. Fonctions probiotiques des microorganismes des bouillies fermentées

Les microorganismes probiotiques rencontrés dans les produits fermentés sont surtout les bactéries lactiques (*Lactobacillus* et *Bifidobacterium*), les levures (*Saccharomyces*) et certaines souches d'*Escherichia coli*. Ces microorganismes à travers leurs activités peuvent manifester plusieurs effets bénéfiques pour les consommateurs (Tab. 3).

Tableau 3. Effets bénéfiques des probiotiques et prébiotiques

Effets	Rôles
	Probiotiques
Immunologiques positifs	Activation des macrophages Modulation du profil des cystéines Induction d'une hyporéponse aux antigènes alimentaires
	Digestion de la nourriture et compétition avec les pathogènes pour les nutriments
Non immunologiques positifs	Modification du pH local de manière à créer un environnement défavorable aux pathogènes
	Production des bactériocines pour inhiber les pathogènes
	Élimination des radicaux superoxydes
	Stimulation de la production de mucus par l'épithélium
	Amélioration de la fonction de la barrière intestinale
	Prébiotiques
Métaboliques	Production d'acides gras à chaîne courte, métabolisme, absorption des ions (Ca, Fe, Mg)
Immunologiques	Renforce l'immunité de l'hôte (Production d'IgA, modulation des cytokines, etc.)

Source: Extrait de [9] et modifié par moi-même

CONCLUSION

Cette étude fournit des données importantes sur les bouillies fermentées céréaliers, à savoir les différentes technologies de productions des bouillies traditionnelles, leur valeur énergétique et les microorganismes probiotiques impliqués dans la fermentation. L'utilisation de ces microorganismes dans les différents procédés traditionnels pourrait contribuer à amélioration des qualités organoleptiques et sanitaire des aliments fermentés et à réduire les maladies de carences d'origine alimentaire touchant surtout chez les enfants après le sevrage.

REFERENCES

- [1] Tankoano A., Diop M.B., Sawadogo-Lingani H., Kaoré D. & Savadogo A., 2017. Les aspects technologiques, microbiologiques et nutritionnels de saliments fermentés à base de lait de mil en Afrique de l'ouest. *International Journal of Advanced Research*, Vol. 5 (8), 1509-1526.

- [2] Koffi E.K., Yao S.D.M., Diarrassouba N. & Siene L.A.C., 2017. Etat des lieux et gestion des semences des principales céréales cultivées au Nord de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, Vol. 13 (3), 112-125
- [3] Saubade F., 2016. Potentiel nutritionnel du microbiote d'aliments fermentés à base de céréales: le cas des folâtes. Thèse de doctorat en Agroressources, Procédés, Aliments, Bioproduits. Université de Montpellier, France. 274p.
- [4] Cissé O.I.K., Faye G, Ali M.S, Ayessou N.C, Cissé M, Diatta M. & Sakho M., 2016. Diagnostic du procédé et caractérisation physico-chimique et biochimique d'une bouillie à base de mil : le *Boumkaye*. *Afrique SCIENCE*, Vol. 12 (5), 59-65.
- [5] 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. Thèse de doctorat en Biotechnologie, microbiologie. Université de Montpellier 2, France, 256p.
- [6] Humblot C., 2015. Les relations aliments-microbiotes-hôte. Thèse de doctorat d'habilitation à diriger des recherches. Université de Montpellier 2, France, 72p.
- [7] Cissé H., Savadogo A., Taalé E., Tapsoba F., Guira F., Zongo C. & Traoré Y., 2016. Influence des substrats carbonés et minéraux sur l'activité des substances BLIS (Bacteriocin-Like Inhibitory Substances) produites par des souches de *Bacillus* isolées à partir d'aliments fermentés au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, Vol.106 (1), 10236 – 10248.
- [8] Savadogo A., Guira F. & Tapsoba F., 2016. Probiotics microorganisms involved in cassava fermentation for Gari and Attiéké production. *Journal of advances in biotechnology*, Vol. 06 (2), 858-866
- [9] Guarner F., Khan A.G, Garisch J., Eliakim R., Gangl A., Thomson A., ... & Fedorak R., 2012. Organisation mondiale de gastro-entérologies directives mondiales: probiotiques et prébiotiques. *Journal of clinical gastroenterology*, Vol. 46 (6), 468-481.
- [10] Tou E.H., Mouquet-Rivier C., Picq C., Traoré A.S., Trèche S. & Guyot J.P., 2007. Improving the nutritional quality of ben-saalga, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method. *LWT-Food science and Technology*, Vol. 40 (9), 1561-1569.
- [11] Mouquet-Rivier C., Icard-Vernière C., Guyot JP., Hassane Tou E., Rochette I. & Trèche, S., 2008 Modèle de consommation, composition biochimique et valeur nutritive des bouillies de mil perlé au Burkina Faso. *Journal international des sciences de l'alimentation et de la nutrition*, Vol. 59 (7-8), 716-729.
- [12] Yao A.A., Egounlety M., Kouame L.P. & Thonart P., 2009. Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle. *Ann. Méd. Vét*, Vol. 153, 54-65
- [13] Songre-Ouattara L.T., Bationo F., Parkouda C., Dao A., Bassole I.H.N. & Diawara B., 2015. Qualité des grains et aptitude à la transformation: cas des variétés de *Sorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum* et *Zea mays* en usage en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 9 (6), 2819-2832.
- [14] Guyot J-P., Mouquet C., Tou E.H., Counil E., Traore A.S. & Trèche S., 2003. Study of the processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. Deuxième Atelier international, Ouagadougou, Burkina Faso, 437-444.
- [15] Greffeuille V., Mouquet Rivier C., Icard-Vernière C., Ouattara L., Avallone S., Hounhouigan J., Kayodé P., Amoussa W. & Ba H.F., 2010. Traditionnal recipes of millet, sorghum, and maize-based dishes and related sauces frequently consumed by young children in Burkina Faso and Benin= Recettes locales des plats à base de mil, sorgho ou maïs et leurs sauces fréquemment consommés par les jeunes enfants au Burkina Faso et au Bénin, 120p.
- [16] Djossou V.A., Mouquet C. & Trèche S., 1999. Les bouillies de petit mil fermenté à Ouagadougou: modes de production, de commercialisation et de consommation. Poster présenté à l'atelier international : Les petites industries agroalimentaires pour une nutrition saine en Afrique de l'Ouest'. Ouagadougou, Burkina Faso, 3-9.
- [17] Ojha K.S., Mason T.J., O'Donnell C.P., Kerry J.P. & Tiwari B.K., 2017. Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics sonochemistry*, Vol. 34, 410-417.
- [18] Kayodé A.P.P., Akogou F.U.G., Hounkpatin W.A. & Hounhouigan D.J., 2012. Effets des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle des formulations de bouillies de complément à base de sorgho. *Journal international des sciences biologiques et chimiques*, Vol. 6 (5), 2192-2201.
- [19] Sidibe S., Coulibaly A., Koné D. & Doumbia M., 2017. Amélioration de la viscosité et de la densité énergétique des bouillies infantiles préparées à partir de farines composées à base de riz, de niébé, de soja et d'arachide. *Agronomie Africaine Sp*, Vol. 29 (1), 53-61.
- [20] N'Goran-Aw E.B.Z., Doudjo S., Sadat A., David A.K. & Emmanuel A.N., 2017. Evaluation Des Caracteristiques Physico-Chimiques Et Microbiologiques D'un Beignet Traditionnel A Base De Mil Fermente (*Gnomy*) Commercialise Dans La Ville De Yamoussoukro (Cote D'ivoire). *Journal scientifique européen*, Vol. 13 (9), 227-241
- [21] Akaki K.D., Aw S., Loiseau G. & Guyot J-P., 2008. Etude Du comportement des souches de *Bacillus cereus* ATCC 9139 et d'*Escherichia coli* atcc 25922 par la méthode des challenge-tests lors de la confection de bouillies à base de pâte de mil fermentée en provenance de Ouagadougou (Burkina-Faso). *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, Vol. 11, 103-117.

- [22] Sanni A.I., Morlon-Guyot J. & Guyot J-P., 2002. Nouvelles souches efficaces de *Lactobacillus plantarum* et *L. fermentum* productrices d'amylase isolées à partir de différents aliments fermentés traditionnels nigériens. *Revue internationale de microbiologie alimentaire*, Vol. 72 (1-2), 53-62.
- [23] Savadogo A. & Traore A.S., 2011. La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 5 (5), 2057-2075.
- [24] Coulibaly W.H., N'guessan K.F., Coulibaly I., Djè, K.M., & Thonart P., 2014. Les levures et les bactéries lactiques impliquées dans les bières traditionnelles à base de sorgho produites en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique)/Yeast and lactic acid bacteria involved in traditional sorghum beer produced in sub-Saharan Africa. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 18 (2), 209-219.
- [25] Leyral G. & Vierling E., 2007. Microbiology and toxicology of food: food hygiene and safety. Doin CRDP d'Aquitaine, Biosciences et techniques: Sciences des aliments, Bordeaux.
- [26] Ouoba L.I.I., Thorsen L. & Varnam A.H., 2008. Production d'entérotoxines et de toxines émétiques par *Bacillus cereus* et d'autres espèces de *Bacillus* isolées de *Soumbala* et de *Bikalga*, condiments alimentaires fermentés alcalins africains. *Revue internationale de microbiologie alimentaire*, Vol. 124 (3), 224-230.
- [27] Jończyk-Matysiak E., Kłak M., Weber-Dabrowska B., Borysowski J., & Górski A., 2014. Utilisation possible de bactériophages actifs contre *Bacillus anthracis* et d'autres membres du groupe *B. cereus* face à une menace de bioterrorisme. *BioMed research international*, Vol. 2014, 14p.
- [28] Parkouda C., Ba F., Ouattara L., Tano-Debrah K. & Diawara B., 2015. Biochemical changes associated with the fermentation of baobab seeds in *Maari*: an alkaline fermented seeds condiment from western Africa. *Journal of Ethnic Foods*, Vol. 2 (2), 58-63.
- [29] Traoré T., 2005. Elaboration et évaluation d'une stratégie d'amélioration de l'alimentation de complément des jeunes enfants au Burkina Faso. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 206p.
- [30] Tou E.H., Mouquet C., Trèche S., Guyot J-P., Traoré A.S., 2002. Caractérisation des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de petit mil fermenté dans 24 micro-ateliers de production à Ouagadougou. Forum National de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT), Ouagadougou, Burkina Faso, 10p.
- [31] Michel E., Joachim M. & Thomas S., 2012. Effet de l'incorporation de malt sur la fluidité et la densité énergétique des bouillies de maïs-arachide destinées aux nourrissons et aux jeunes enfants. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 55, 3995-4005.
- [32] Trèche S., 2008. Rôle et importance des micro-entreprises pour le développement de voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles dans les pays du Sud. 1^{er} Congrès de l'entrepreneuriat agroalimentaire, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire, Port-au-Prince, Haïti, 16p.
- [33] Amoin A.K.K.A., Agbo E.A., Dago A.G., Gbogouri A.G., Brou D.K. & Dago G., 2015. Comparaison des caractéristiques nutritionnelles et rhéologiques des bouillies infantiles préparées par les techniques de germination et de fermentation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 9 (2), 944-953.
- [34] Songré-Ouattara L.T., Gorga K., Savadogo A., Bationo F. & Diawara B., 2016. Evaluation de l'aptitude nutritionnelle des aliments utilisés dans l'alimentation complémentaire du jeune enfant au Burkina Faso/Evaluation of the nutritional ability of foods used in the complementary feeding of young children in Burkina Faso. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, Vol. 041, 41-50.
- [35] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting & World Health Organization., 2002. Evaluation of certain mycotoxins in food: fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization, Vol. 56, 62p.
- [36] Songré-Ouattara L.T., Mouquet-Rivier C., Icard-Vernière C., Rochette I., Diawara B. & Guyot J-P., 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*, Vol. 130 (3), 258-264.
- [37] N'tcha C., 2016. Etudes des propriétés microbiologiques et probiotiques des ferments des bières traditionnelles. « *tchoukoutou* et *chakpalo* » produites au Bénin. Thèse de Doctorat en Biochimie, Microbiologie et Biologie moléculaire. Université D'Abomey-calavi, Bénin, 206p.