

Les bactéries lactiques dans les aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle.

YAO A.A.¹, EGOUNLETY M.², KOUAME L.P.³, THONART P.¹

¹ Centre wallon de Biologie industrielle, Unité de Technologie microbienne, Université de Liège, Boulevard du Rectorat, 29, bâtiment B40, 4000 Liège, Belgique

² Département de Nutrition & Sciences Alimentaires, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

³ Unité de Formation et de Recherches des Sciences et Technologie des Aliments, Université d'Abobo-Adjamé 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Correspondance : Prof. Philippe Thonart Email : P.Thonart@ulg.ac.be

RESUME

Les aliments et boissons amylacés fermentés jouent un rôle majeur dans l'alimentation des populations de l'Afrique de l'Ouest. Les bactéries lactiques sont les micro-organismes dominants, essentiellement dans deux groupes de produits amylacés fermentés : les produits amylacés non-alcoolisés et les boissons alcoolisées. Ces produits sont en grande partie produits après une fermentation spontanée de céréales (mil, sorgho, maïs) ainsi que de tubercules (manioc) et leur qualité est très variable. Les principales fonctions des bactéries lactiques comprennent la production d'acides organiques et de composés aromatiques ainsi que d'autres effets tels que la stimulation des levures, l'inhibition des micro-organismes pathogènes, l'amélioration de la qualité nutritionnelle, l'activité probiotique, l'élaboration de la texture et la dégradation des composés toxiques peuvent aussi être observés. Afin d'améliorer et de contrôler la production des produits amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest, et plus spécialement l'étape de la fermentation, l'utilisation de cultures starters purifiées de bactéries lactiques est de plus en plus courante.

1. INTRODUCTION

La fermentation lactique peut être définie comme un procédé de fermentation dans lequel interviennent un groupe de bactéries gram positive, non-sporulantes, immobiles, catalase-négatives, qui croissent sous des conditions anaérobies et utilisent les sources de carbone pour produire de l'acide lactique comme seul ou majeur acide organique. En Afrique de l'Ouest, la fermentation lactique a été traditionnellement développée pour une large gamme de matières premières essentiellement constituées d'amidon (plus de 80 % de matière sèches) (Ketiku et Oyenuga, 1970). Ainsi, le manioc et les céréales telles que le maïs, le sorgho et le mil sont broyés et fermentés pour obtenir des produits non-alcoolisés (pâtes et boissons) et des boissons alcoolisées qui sont connus sous différents noms dans les différents pays de l'Afrique de l'Ouest (Odunfa, 1985). Ces aliments

et boissons fermentées, très populaires, contribuent à l'alimentation des populations et sont produits à l'échelle locale dans les foyers, les villages et par de petites unités de production (coopératives de femmes).

Des bactéries lactiques, des levures et moisissures ont été identifiées comme les principaux micro-organismes se développant au cours de la fermentation. Dans nombre de cas, au départ, après lavage de la matière première, les bactéries lactiques sont peu nombreuses. Elles appartiennent essentiellement aux genres *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* et *Streptococcus* (Beuchat, 1995). L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a été associée tout d'abord à l'élaboration de l'arôme et de la texture du produit final mais aussi au maintien d'une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits. D'autres actions, et non

des moindres, sont souvent rapportées. Par exemple, les propriétés probiotiques des bactéries lactiques et l'inhibition des bactéries pathogènes sont particulièrement importantes, dès lors qu'il a été signalé que les aliments fermentés contribuaient à réduire la durée et la sévérité des diarrhées infantiles (Mensah *et al.*, 1990 ; Kimmons *et al.*, 1999).

Le problème majeur de l'ensemble de ces procédés traditionnels se situe au niveau de la qualité des différents aliments obtenus qui est très fluctuante. En effet, le processus fermentaire qui s'effectue spontanément grâce au développement de la microflore épiphyte peut conduire à des produits d'une qualité organoleptique, microbiologique ou toxicologique indésirable. Pour pallier à ce problème, des études sont de plus en plus consacrées à l'isolement et à l'identification, au cours de la fermentation, de bactéries

lactiques se caractérisant par des propriétés physiologiques et métaboliques particulières en vue de leur utilisation comme des cultures *starters* (Olasupo *et al.*, 1996 ; Agati *et al.*, 1998 ; Hounhouigan *et al.*, 1999 ; Sanni *et al.*, 2002 ; Kostinek *et al.*, 2005 ; Oguntoyinbo, 2007). Ces dernières se définissent comme des préparations microbiennes concentrées d'au moins un micro-organisme qui permettent de réaliser un meilleur contrôle de la fermentation ainsi qu'une standardisation du procédé de fabrication (Holzapfel, 2002). Le but visé à terme est de fournir au consommateur un produit sain, de qualité organoleptique constante et acceptable. Ce document présente une synthèse de l'utilisation actuelle des bactéries lactiques au cours de la production des produits amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest.

2. ORIGINE DES BACTÉRIES LACTIQUES

Les bactéries lactiques ont été isolées des divers types de produits alimentaires (aliments, boissons) amylicés fermentés de l'Afrique occidentale. La majeure partie de ces produits est obtenue après fermentation de céréales ou de racines alimentaires, prin-

cipalement le manioc. Les produits amylicés ouest-africains obtenus après fermentation de la matière première, laquelle est généralement réalisée par des bactéries lactiques, peuvent en principe être divisés en deux groupes : les produits non-alcoolisés et les boissons alcoolisées. Le tableau I indique le type de produit amylicé fermenté, la matière première, le nom de produit et le pays de consommation. La plupart de ces produits sont obtenus après une fermentation spontanée ou l'inoculation de la matière première avec une partie d'une précédente fermentation, comme c'est le cas dans la fermentation du manioc pour la production de l'« *agbelima* », l'« *attiéké* » ou du « *placali* » et de la fermentation du sorgho pour la production du « *pito* » (Ekundayo, 1969 ; Amoa-Awua *et al.*, 1996 ; Toka *et al.*, 2008). Il a été largement démontré que les bactéries lactiques proviennent de la matière première ou de l'environnement (Steinkraus, 1983 ; 1997 ; Caplice et Fitzgerald, 1999). Les conditions environnementales, l'adaptation au substrat et l'utilisation répétée des mêmes ustensiles contribuent à leur sélection.

2.1. Aliments non-alcoolisés

2.1.1. Aliments à base de céréales

Les principales céréales utilisées comme matière première au cours des fermentations lactiques en Afrique de l'Ouest sont : le maïs, le sorgho et le mil (tableau II). Ces produits consistent essentiellement en des pâtes ou purées et des bouillies non-alcoolisées.

La pâte de maïs (*Zea mays*) fermentée, l'un des plus populaires aliments amylicés et fermentés, est utilisée au cours de la préparation d'une grande variété de plats comme aliment de base au Ghana, au Nigéria, au Togo et au Bénin, où ils constituent une proportion importante de la ration alimentaire quotidienne (Owusu-Ansah *et al.*, 1980 ; Plahar et Leung, 1982 ; Chavan et Kadam, 1989 ; Olasupo *et al.*, 1996). La pâte de maïs fermentée obtenue après une fermentation spontanée se caractérise par une teneur en humidité de 50 % et un pH final de 3,7. Le procédé traditionnel de production comprend : le lavage et le trempage des grains de maïs (24 h), la mouture, l'humidification de la pâte et la fermentation de la pâte (48-72 h). Le « *ogi* » et le « *mawè* » sont deux

Tableau I : bactéries lactiques isolées au cours de la production d'aliments à base de céréales

Nom du produit	bactéries lactiques	Références
« kenkey »	<i>Lactobacillus brevis</i> K19, <i>Lactobacillus plantarum</i> K22, <i>Lactobacillus acidophilus</i> (K25 et K27), <i>Lactobacillus fermentum</i> K35	Olasupo <i>et al.</i> , 1996.
« ogi-baba »	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Streptococcus lactis</i>	Odufa et Adeyele, 1985.
« ogi »	<i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> O1, <i>Lactobacillus casei</i> O3, <i>Lactobacillus pentosus</i> O4, <i>Lactobacillus fermentum</i> O5, <i>Lactobacillus sp.</i> O6 <i>Lactobacillus fermentum</i> Ogi E1 <i>Lactobacillus raffinolactis</i> , <i>Pediococcus sp.</i> , <i>Pediococcus pentasaceus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus suebicus</i> , <i>Lactobacillus brevis</i>	Streinkraus, 1993 ; Johanson <i>et al.</i> , 1995. Olasupo <i>et al.</i> , 1996. Agati <i>et al.</i> , 1998. Teniola <i>et al.</i> , 2005.
« mawè »	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> <i>Lactobacillus fermentum</i> Mw2	Hounhouigan <i>et al.</i> , 1993b. Agati <i>et al.</i> , 1998.
« ben-saalga »	<i>Lactobacillus plantarum</i> K1, K2 et K3, <i>Lactobacillus fermentum</i> K9	Sanni <i>et al.</i> , 2002.
« koko »	<i>Weissella confusa</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus salivarius</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Lactobacillus paraplantarum</i>	Lei et Jakobsen, 2004.
« gowé »	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Weissella confusa</i> , <i>Lactobacillus mucosae</i>	Viéra-Dalodé <i>et al.</i> , 2007.

Tableau II : principaux aliments et boissons amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest

Type de produit	Matière première	Nom du produit	Pays de consommation	Références
Produits non-alcoolisés				
<i>Aliments à base de céréales</i>				
	Maïs	« kenkey »	Ghana, Nigéria	Chavan et Kadam, 1989 ; Olasupo <i>et al.</i> , 1996.
	Maïs et/ou manioc	« banku »	Ghana	Owusu-Ansah <i>et al.</i> , 1980.
		« ogi-baba »	Nigéria	Odunfa et Adeyele, 1985 ; Chavan et Kadam, 1989 ; Iwuoha et Eke, 1996.
	Maïs	« ogi »	Bénin, Ghana	Plahar et Leung, 1983 ; Agati <i>et al.</i> , 1998.
	Maïs	« mawè »	Bénin, Togo	Hounhouigan <i>et al.</i> , 1993a, b.
	Mil	« ben-saalga »	Burkina-Faso	Tou <i>et al.</i> , 2006.
	Mil	« kunun-zaki »	Nigéria	Efiuvwevwere et Okano, 1995.
	Mil	« koko »	Ghana	Lei et Jakobsen, 2004.
	Sorgho	« gowé »	Bénin	Viéra-Dalodé <i>et al.</i> , 2007.
	Sorgho et /ou mil maïs	« obiolor »	Nigéria	Achi, 1990.
<i>Aliments à base de manioc</i>				
	Manioc	« agbelima »	Ghana, Togo, Bénin	Amoa-awua et Jakobsen, 1995 ; Amoa-Awa <i>et al.</i> , 1996 ; Lei <i>et al.</i> , 1999.
	Manioc	« attiéké »	Côte d'Ivoire	Assanvo <i>et al.</i> , 2006 ; Coulin <i>et al.</i> , 2006 ; Toka <i>et al.</i> , 2008.
	Manioc	« fufu »	Nigéria	Oyewole et odunfa 1990 ; Olasupo <i>et al.</i> , 1996 ; Sanni <i>et al.</i> , 2002.
	Manioc	« gari »	Ghana, Bénin, Togo, Nigéria, Côte d'Ivoire, Sierra Leone	Collard et Levi, 1959 ; Collard, 1963 ; Okafor, 1977 ; Kostinek <i>et al.</i> , 2005 ; Oguntinyinbo, 2007.
Boissons alcoolisées				
	Maïs et/ou Sorgho	« pito »	Nigéria, Ghana	Ekundayo, 1969 ; Chavan et Kadam, 1989 ; Demuyakor et Ohta, 1991 ; Iwuoha et Eke, 1996.
	Sorgho et/ou manioc	« burukutu »	Nigéria	Chavan et Kadam, 1989.
	Sorgho ou mil	« dolo »	Burkina-Faso	Sawadogo-Lingani <i>et al.</i> , 2007.
	Sorgho	« tchoukoutou »	Bénin	Koyodé <i>et al.</i> , 2007.
	Sorgho et/ou maïs et/ou mil	« tchapalo »	Côte d'Ivoire	Amané <i>et al.</i> , 2005 ; Djè <i>et al.</i> , 2008.
	Sorgho	« otika »	Nigéria	Iwuoha et Eke, 1996.

produits traditionnels obtenus après fermentation des grains de maïs au Bénin, Ghana et au Nigéria ; ils sont principalement utilisés comme produits intermédiaires dans la préparation de nombreux plats et aliments de complément au lait maternel pour les bébés (Plahar et Leung, 1983 ; Hounhouigan *et al.*, 1993a ; Iwuoha et Eke, 1996 ; Agati *et al.*, 1998). Le « ogi » est une bouillie préparée par dilution de la pâte humide de maïs obtenue après trempage et mouture des grains, tandis que le « mawè » se présente sous la forme d'une pâte acide issue de la transformation des grains de maïs sec concassés. La microbiologie de la pâte fermentée de maïs pour la production de « kenkey », « banku », « ogi » ou « mawè » a été largement étudiée (tableau I). Il a été

démontré que les bactéries lactiques du genre *Lactobacillus* constituaient la majorité de la microflore lactique (Steinkraus, 1983 ; Hounhouigan *et al.*, 1993b ; Johansson *et al.*, 1995). Les micro-organismes responsables de la fermentation spontanée du « ogi-baba », une variante du « ogi » obtenue après fermentation du sorgho au Nigéria, ont été isolés et identifiés. Les résultats ont montré que les bactéries lactiques présentes dans les grains non fermentés lors de l'étape initiale du trempage, appartenaient aux genres suivants *Bacillus*, *Lactobacillus* et *Streptococcus* (Odunfa et Adeyele, 1985). Dans des stades plus avancés du trempage, cette flore microbienne était constituée essentiellement par les genres *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Leuconostoc*. Le « banku », exclusive-

ment obtenu à partir d'un mélange de maïs ou/et de manioc, est un autre produit fermenté largement consommé au Ghana dont la fermentation implique principalement des bactéries lactiques et des moisissures (Owusu-Ansah *et al.*, 1980 ; Beuchat, 1995).

En Afrique de l'Ouest, la majeure partie des bouillies fermentées non-alcoolisées sont produites à partir du mil (*Pennisetum glaucum*) (tableau II). Ces bouillies sont appelées « ben-saalga » au Burkina Faso, « kunun-zaki » au Nigéria, « koko » ou « koko sour water » au Ghana et « gowé » au Bénin (Efiuvwevwere et Okano, 1995 ; Lei et Jakobsen, 2004 ; Tou *et al.*, 2006 ; Viera-Dalodé *et al.*, 2007). Elles sont souvent vendues très tôt le matin devant les maisons ou dans la

rue et consommées par la population comme petit déjeuner. Les principales étapes de la fabrication sont les suivantes : le lavage, le trempage des grains (première étape de la fermentation), le broyage suivi du tamisage de la farine humide, la décantation (seconde étape de la fermentation) et la cuisson.

Tou et collaborateurs (2006) ont indiqué qu'au cours de la production de « *ben-saalga* », l'étape du trempage était principalement dominée par une fermentation alcoolique, tandis qu'une fermentation lactique s'opérait lors de l'étape de décantation. Ces auteurs ont par ailleurs, indiqué que la pâte finalement produite avait un pH faible ($4,0 \pm 0,4$) et que sa microflore était dominée par des bactéries lactiques, avec un rapport bactérie amylolytique/bactérie de 12 %.

Au Nigéria, des bactéries lactiques appartenant au genre *Lactobacillus* ont été identifiées comme micro-organismes dominants dans la production du « *kunun-zaki* », une boisson non-alcoolisée produite à partir du mil et consommée dans un état actif de fermentation aussi bien par les adultes que les enfants (Efiuvwevwere et Okano, 1995). Récemment, les principales souches de bactéries lactiques responsables de la fermentation du « *koko* », « *kunun-zaki* » et « *gowè* » ont été identifiées (tableau II).

2.1.2. Produits à base de manioc

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une culture importante pour laquelle le rôle potentiel des bactéries lactiques a été largement démontré. Depuis des siècles, les populations de l'Afrique de l'Ouest font subir aux tubercules de manioc une fermentation lactique avant leur consommation, dans le but d'éliminer une grande partie des glucosides cyanogénétiques potentiellement toxiques qu'ils contiennent. Les principales étapes du processus de transformation sont : l'épluchage, le lavage, le râpage et la fermentation (2-3 jours). La pâte obtenue peut être essentiellement utilisée telle quelle pour la cuisson d'aliment appelé « *agbelima* » ou « *fufu* », déshydratée, séchée, granulée, tamisée et cuite à la vapeur pour obtenir une semoule de manioc appelée « *gari* » ou « *attiéké* » (Amoa-Awua et Jakobsen, 1995 ; Amoa-Awa et al., 1996 ; Olasupo et al., 1996 ; Lei et al., 1999 ; Sanni et al., 2002 ; Toka et al., 2008). Tous ces aliments se consomment avec diver-

ses sauces ou du poisson frit au petit-déjeuner ou au déjeuner accompagné ou non d'autres plats. Parmi tous, le « *gari* » est l'aliment le plus populaire et le plus consommé en Afrique de l'Ouest (Oduro et al., 2000). Il représente essentiellement un aliment énergétique (334 cal/100 g de *gari*) avec une forte teneur en amidon mais une faible teneur en lipides, protéines, vitamines et sels minéraux (Spickett et al., 1982). La popularité du « *gari* » dans les villes urbaines ouest-africaines, ces dernières années, a été associée à son faible prix, sa bonne stabilité sur de longues périodes de stockage, son faible volume (par rapport aux autres produits à base de manioc fermenté) et sa facilité de préparation pour la consommation. Sa popularité est aussi à l'origine de nombreuses tentatives de fabrications industrielles et fortification pour en améliorer la qualité nutritionnelle à travers l'ajout de soja, d'huile de palme et de lait de coco (Treillon, 1992).

Le procédé de fermentation diffère considérablement d'un aliment à l'autre. La fermentation réalisée dans le cas de l'« *attiéké* », du « *gari* » ou de l'« *agbelima* » s'opère de façon naturelle que la microflore du « *kudeme* » était constituée majoritairement d'espèces de bactéries lactiques (Amoa-Awua et Jakobsen, 1995).

Lactobacillus plantarum (51 %), *L. brevis* (16 %), *Leuconostoc mesenteroides* (1 %) ont été identifiées comme les principales bactéries lactiques associées à la fermentation de l'« *agbelima* » (Amoa-Awua et al., 1996). Récemment, la microflore impliquée dans la fermentation du manioc pour la production d'« *attiéké* » a été étudiée (Coulin et al., 2006). *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* (20 % de l'ensemble des bactéries lactiques) a été identifiée au début de la fermentation. Au fur et à mesure que la fermentation progresse, cette espèce a été remplacée par les espèces *Lactobacillus salivarius* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii* (présentes à 20 % et 16 %, respectivement), ainsi que *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus confusus* (présentes à 12 % et 10 %, respectivement) à la fin de la fermentation. *Lactobacillus plantarum* (81 %), *Leuconostoc mesenteroides* (16 %), *Lactobacillus fermentum* (15 %), *Lactobacillus brevis* (9 %), *Lactobacillus caprophilus* (5 %), *Lactobacillus lactis* (4 %),

Leuconostoc lactis (3 %) et *Lactobacillus bulgaricus* (1 %) ont été identifiées comme les espèces de bactéries lactiques impliquées dans la fermentation du manioc pour la production de « *fufu* » au Nigéria (Oyewole et Odunfa, 1990). En 1996, les travaux de Olasupo et collaborateurs ont permis d'identifier *Lactobacillus plantarum* F1, F2, *L. casei* L3 et *L. brevis* F4 comme les espèces dominantes au cours de la production de « *fufu* ».

Alors qu'Okafor (1977) indiquait que le genre *Leuconostoc* était le genre de bactérie lactique le plus fréquemment rencontré au cours de la fermentation du manioc pour la production de « *gari* », Kostinek et collaborateurs (2005, 2007) ainsi qu'Oguntoyinbo (2007) identifiaient, respectivement, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc fallax* et *L. fermentum* ainsi que *Lactobacillus plantarum*, *L. fermentum* et *Leuconostoc mesenteroides* comme les espèces dominantes.

2.2. Boissons alcoolisées

Les plus étudiées des boissons alcoolisées d'Afrique de l'Ouest sont les bières produites à partir du sorgho (*Sorghum bicolor*, *Sorghum vulgare*, *Sorghum guineense*) (Steinkraus, 1983 ; Iwuoha et Eke, 1996). La bière de sorgho est connue sous divers noms tels que « *pito* » ou « *burukutu* » au Ghana et au Nigéria, « *otika* » au Nigéria, « *dolo* » au Burkina-Faso, « *tchapalo* » en Côte d'Ivoire et « *tchoukoutou* » au Bénin (Ekundayo, 1969 ; Chavan et Kadam, 1989 ; Demuyakor et Ohta, 1991 ; Iwuoha et Eke, 1996 ; Sawadogo-Lingani et al., 2007 ; Amané et al., 2005 ; Kayodé et al., 2007 ; Djè et al., 2008).

La production de la bière de sorgho en Afrique de l'Ouest comprend : le maltage du sorgho, le séchage, le broyage, la fermentation lactique, la cuisson, le brassage et la fermentation alcoolique. La bière de sorgho produite en Afrique de l'Ouest diffère de la bière traditionnelle d'orge en plusieurs points : (i) avant la cuisson, le moût est spontanément fermenté par les bactéries lactiques qui donnent un goût tout à fait acide à la bière finale, (ii) cette bière a une consistance assez épaisse en raison d'une grande quantité d'éléments solides (5-7 %) et une teneur en alcool plutôt basse (2-3 % v/v), (iii) elle est consommée dans un état actif de fermentation et a donc une durée de vie limitée (Amané et al., 2005).

Lactobacillus sp. et *Leuconostoc mesenteroides* et *Lactococcus spp.* ont été les principaux micro-organismes identifiés, respectivement lors de la fermentation du sorgho pour la production de « *pito* » et « *burukutu* » au Nigéria (Ekundayo, 1969 ; Faparusi *et al.*, 1973). Des bactéries lactiques appartenant aux genres *Lactobacillus* et *Leuconostoc* ont également été identifiées au cours de la fermentation du « *pito* » au Ghana (van der Aa Kühle *et al.*, 2001). Récemment, la flore microbienne dominante au cours de la transformation du « *dolo* » et du « *pito* » sur quatre sites de productions, au Burkina-Faso et au Ghana a été étudiée (Sawadogo-Lingani *et al.*, 2007). Les résultats ont montré que *L. fermentum* était l'espèce dominante tout le long du procédé, y compris au cours de l'acidification. *L. delbrueckii ssp. delbrueckii*, *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* et *Pediococcus acidilactici* ont été aussi détectés mais dans une moindre mesure.

Les principaux micro-organismes impliqués dans la fermentation du « *tchoukoutou* » au Bénin ont été identifiés comme des bactéries lactiques qui appartiennent exclusivement au genre *Lactobacillus* (Kayodé *et al.*, 2007).

3. RÔLE DES BACTÉRIES LACTIQUES

3.1. Formation de l'arôme et de la saveur

L'analyse bibliographique montre que très peu de travaux ont été consacrés à l'étude des composés aromatiques volatils des aliments ou boissons amy-lacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest. L'acétoïne et ses dérivés ainsi que certains composés aromatiques (1-propanol, acétate d'isoamyle, acétate d'éthyle, 3-méthyl-1-butanol, acétoïne), les principaux composés volatils identifiés, respectivement, dans la pâte de maïs fermentée et l'« *agbelima* », proviendraient de l'action des bactéries lactiques et donneraient au produit ses caractéristiques organoleptiques (Halm *et al.*, 1993 ; Amoa-Awua *et al.*, 1996).

La conversion des sources de carbone en des acides organiques, alcools et autres composés d'arôme tels que des esters et des composés carbonylés a été étudiée au cours de la fermentation lactique pour la production d'aliments et de boissons fermentés. Les principaux composés caractéristiques de la saveur de la pâte fermentée de maïs ont été identifiés comme étant les aci-

des lactique, acétique, propionique et butyrique (Plahar et Leung, 1982 ; Halm *et al.*, 1993). Ces auteurs ont aussi montré que leur concentration était importante dans l'élaboration du goût acide et piquant ainsi que l'acceptabilité de l'aliment. Ekundayo (1969) faisait observer que le goût piquant des bières « *pito* » et « *burukutu* » pourrait être dû à l'acide lactique produit par les bactéries lactiques présentes dans le moût de fermentation. Hounhouigan et collaborateurs (1993a ; 1993b) ont indiqué que l'étape de la fermentation pourrait donner au « *mawè* » son goût caractéristique. Les propriétés organoleptiques dominantes du « *tchapalo* » ont été récemment étudiées (Djè *et al.*, 2008). Les acides oxalique, citrique, malique, lactique, fumarique et propionique ont été détectés durant la phase de fermentation alcoolique et leur présence pourrait être due à l'action des bactéries lactiques.

3.2. Préservation et innocuité de l'aliment

La fermentation est une méthode de conservation des aliments. Les bactéries lactiques produisent plusieurs composés antimicrobiens naturels, à

Tableau III : association entre les bactéries lactiques (BA) et d'autres micro-organismes dans les aliments ou boissons amy-lacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest

Type de produit	Nom du produit	Micro-organismes	Références
Produits non alcoolisés			
à base de <i>céréales</i>			
	« <i>banku</i> »	BA, levures, moisissures	Beuchat, 1983.
	« <i>ogi-baba</i> »	BA, <i>Debaryomyces hansenii</i> , <i>Candida krusei</i>	Akinrele, 1970. Sanni <i>et al.</i> , 2002.
	« <i>ogi</i> »	BA, <i>Corynebacterium</i> , <i>Aerobacter</i> , <i>Candida mycoderma</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Rhodoturula</i> , <i>Cephalosporium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>	
	« <i>kunun-zaki</i> »	BA, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Efiuwewwere et Okano, 1995.
	« <i>gowé</i> »	BA, <i>Kluyveromyces marxianus</i> et <i>Pichia anomala</i>	Viéra-Dalodé <i>et al.</i> , 2007.
	« <i>obiolor</i> »	BA, <i>Bacillus spp.</i> , levures	Achi, 1990.
à base de <i>manioc</i>			
	« <i>agbelima</i> »	BA, <i>Candida tropicalis</i> BA, <i>Bacillus spp.</i>	Amoa-Awua et Jakobsen, 1995 ; Lei <i>et al.</i> , 1999.
	« <i>attiéké</i> »	BA, <i>Bacillus spp.</i> , levures, moisissures BA, <i>Candida tropicalis</i>	Assavo <i>et al.</i> , 2006 ; Coulin <i>et al.</i> , 2006
	« <i>gari</i> »	BA, <i>Corynebacterium spp.</i> , <i>Geotrichum candidum</i>	Collard et Levi, 1959 ; Collard, 1963.
Boissons alcoolisées			
	« <i>pito</i> »	BA, <i>Candida sp.</i> , <i>Geotrichum candidum</i>	Ekundayo, 1969.
	« <i>burukutu</i> »	BA, <i>Candida spp.</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Chavan et Kadam, 1989.
	« <i>tchoukoutou</i> »	BA, <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Koyodé <i>et al.</i> , 2007.

savoir : des acides organiques (lactique, acétique, formique, phényllactique, caproïque), le dioxyde de carbone, le peroxyde d'hydrogène, le diacétyle, l'éthanol et des bactériocines (Messens et De Vuyst, 2002). La production d'acides organiques au cours de la fermentation entraîne une réduction importante du pH, qui associée à la formation de composés antimicrobiens détermine la stabilité microbienne des produits ainsi que la motilité des bactéries pathogènes et d'autres micro-organismes. Les travaux de Mensah et collaborateurs (1991) et ceux d'Annan-Prah et Agyeman (1997) ont suggéré que la pâte de maïs fermentée pour la production de « *kenkey* » au Ghana pourrait constituer une importante barrière contre le développement de bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Klebsiella pneumoniae* et *Staphylococcus aureus*. Plusieurs travaux ont montré que les acides organiques produits durant la fermentation du « *pito* » au Ghana, du « *tchapalo* » en Côte d'Ivoire et du « *ben-saalga* » au Burkina-Faso, permettraient au produit d'avoir une bonne stabilité microbienne (Tou *et al.*, 2006 ; Djè *et al.*, 2008).

L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation contribue aussi à l'élimination de composés toxiques comme les glucosides cyanogénétiques du manioc (Holzapfel, 2002). Amoa-Awua et collaborateurs (1996) ont également rapporté qu'il se produisait une détoxification significative du manioc au cours de la production d'« *agbelima* » au Ghana.

3.3. Interaction avec d'autres micro-organismes

Dans les aliments ou boissons amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest, les bactéries lactiques coexistent souvent avec d'autres micro-organismes (tableau III).

Les bactéries lactiques et les levures sont les micro-organismes dominants généralement rencontrés dans la plupart des produits fermentés à base de céréales et de manioc en Afrique de l'Ouest (Ekundayo 1969 ; Hounhouigan *et al.*, 1993a ; Lei *et al.*, 1999 ; Oyewole, 2001 ; Kayodé *et al.*, 2007). Le développement des bactéries lactiques pourrait être stimulé par la présence de composés azotés solubles et de facteurs (vitamines B,

CO₂, pyruvate, propionate, succinate, acétate) produits par les levures (Nout 1991 ; Leroi et Pidoux, 1993). De plus, l'environnement acide créé par les bactéries lactiques favoriserait la croissance des levures. Ainsi l'alcool produit par la levure, les acides produits par les bactéries et l'anaérobiose induite par la fermentation, permettraient de supprimer les champignons filamenteux et les bactéries associées à la détérioration des aliments (Mensah *et al.*, 1991). Une production de 3,0 % d'alcool et d'acides organiques (lactique, acétique, formique) après inoculation de cultures pures de *Candida* sp., *Geotrichum candidum* et *Lactobacillus* sp. au cours de la production de « *pito* » au Nigéria a été démontrée (Ekundayo, 1969). L'action des levures et des bactéries au cours de la fermentation du sorgho a permis d'obtenir un « *tchoukoutou* » avec un pH et un goût caractéristique (Kayodé *et al.*, 2007). Oyewole (2001) avait signalé que la croissance de la souche *L. plantarum* avait été considérablement améliorée par la présence de *Candida krusei* au cours de la fermentation du manioc pour la production de « *fufu* ». Au cours de la fermentation du manioc pour la production d'« *agbelima* », une co-culture de *L. plantarum* et *Candida tropicalis* permettait une dégradation plus rapide de la linamarine qu'une monoculture constituée de chacune des souches (Lei *et al.*, 1999).

3.4. Influence sur la valeur nutritionnelle

L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a aussi un impact sur la valeur nutritionnelle des produits fermentés de l'Afrique de l'Ouest, à travers la réduction de facteurs antinutritionnels qui affectent la biodisponibilité des minéraux. Récemment, les travaux de Kayodé et collaborateurs (2007) ont montré que l'étape de fermentation contribuait à une réduction significative de la teneur en phytates au cours de la production de « *tchoukoutou* ». La réduction de la teneur en phytates (approximativement 95 %) observée, serait due à l'action des bactéries lactiques et de *Saccharomyces cerevisiae* (ajouté comme ferment au cours de la fermentation). Parallèlement à ces modifications, une meilleure solubilité du fer a été observée, et une corrélation entre la solubilité du fer et les phytates a été

établie ($R^2 = 0,85$). À la fin du processus de production du « *ben-saalga* », des réductions de 75 % et 83 % des teneurs en phytates et raffinose ont été respectivement observées (Tou *et al.*, 2006).

3.5. Influence sur la structure de la matrice alimentaire

L'analyse bibliographique montre que très peu de travaux ont été consacrés à l'étude de l'impact de la fermentation sur la structure des produits amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest. Les bactéries lactiques hétéro-fermentaires seraient probablement responsables du gonflement et de la structure poreuse du « *mawè* » par le biais d'une production de gaz (CO₂) (Nago et Hounhouigan, 1990). Cette structure poreuse du « *mawè* » est souhaitable, car elle facilite la désintégration des particules au cours de la préparation d'un autre produit dérivé l'« *aklui* » (bouillie semi-liquide parsemée de grumeaux). La fermentation du manioc pour la production d'« *agbelima* » permettrait au produit d'avoir à la fois son goût et sa texture caractéristique (Amoa-Awua et Jakobsen, 1995).

3.6. Propriétés probiotiques

En 2001, un comité d'experts de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture (Food and Agricultural Organization, FAO) et de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) définissait les probiotiques comme des micro-organismes vivants, qui, lorsqu'ils sont consommés en quantité suffisante dans l'alimentation, ont un effet bénéfique sur la santé de l'hôte (Food and Agricultural Organization et World Health Organization, 2001). Cette dernière définition comprend les hôtes tant humains qu'animaux et ne se limite plus aux activités de la microflore colique, mais concerne aussi d'autres parties du corps et certains paramètres immunologiques. L'aptitude à être actif dans le site d'action visé et à apporter un réel bénéfice pour le consommateur détermine donc la véritable efficacité d'un probiotique. Les souches de bactéries lactiques probiotiques proviennent des aliments et appartiennent principalement aux genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*. Les effets bénéfiques de ces souches probiotiques sur la santé du consommateur, notamment l'amélioration de

la digestion du lactose, l'équilibration de la microflore intestinale, la prévention ou le raccourcissement de la durée de la diarrhée (notamment les diarrhées provoquées par le rotavirus et par *Clostridium difficile*), la diminution du risque d'allergie alimentaire, la stimulation et la modulation du système immunitaire, l'amélioration de la maladie inflammatoire intestinale et la prévention du cancer n'ont toutefois été démontrées que pour un nombre limité de souches. Ces effets sur la santé peuvent s'expliquer par des mécanismes tels que certaines activités microbiennes spécifiques (production de certaines enzymes ou facteurs de croissance), des interactions microbiennes (production de peroxyde d'hydrogène, acides organiques et peptides antibactériens), des interactions avec l'épithélium intestinal (concurrence pour les récepteurs situés sur l'épithélium intestinal) et des interactions avec le système immunitaire. Si certains de ces effets sur la santé sont déjà largement établis, d'autres ne le sont pas du tout encore (De Vuyst *et al.*, 2004). Ainsi, les perspectives d'utilisation des produits amylacés et fermentés comme source de probiotiques sont immenses en Afrique de l'Ouest. Malheureusement, très peu d'études ont jusqu'à présent montré des preuves d'un effet probiotique lié à l'ingestion des aliments fermentés ouest-africains. Une seule étude a analysé l'impact de l'utilisation de la bouillie de mil appelée « koko » associée à l'administration d'antibiotiques sur la diarrhée infantile au Ghana (Lei *et al.*, 2006). Les résultats ont montré que l'administration du traitement n'avait aucun effet sur la fréquence des selles et la durée de la diarrhée les cinq premiers jours. Cependant, une légère amélioration a été notée au bout de deux semaines chez les enfants traités (bouillie + antibiotiques) contrairement à ceux qui n'ont pas reçu la bouillie ou les antibiotiques. Ces auteurs concluaient que le « koko » associé aux antibiotiques jouerait un rôle important dans la prévention des diarrhées et gastro-entérites aiguës chez les enfants et qu'il pourrait aider à réduire la diarrhée persistante.

4. UTILISATION DES BACTÉRIES LACTIQUES COMME CULTURES STARTERS

4.1. Définition et critères de sélection

Les cultures *starters* peuvent être définies comme des préparations microbiennes concentrées constituées de un ou plusieurs micro-organismes viables, se caractérisant par des propriétés physiologiques et métaboliques particulières et capables d'induire les changements désirés dans le substrat (Holzapfel, 1997). L'introduction de cultures *starters* de bactéries lactiques au cours de la fermentation doit tenir compte des critères d'amélioration du procédé de transformation et de la qualité des produits à travers : (i) une accélération des activités métaboliques (acidification ou production d'alcool), (ii) l'amélioration et le contrôle du processus de fermentation, (iii) la formation des caractéristiques organoleptiques désirées, (iv) une amélioration de la sécurité et la réduction des risques hygiéniques et toxicologiques (Holzapfel, 1997). Selon ce dernier, la sélection des souches doit aussi tenir compte des interactions possibles dans des cultures mixtes, de leur comportement dans des conditions définies et sur la matière première. Toujours selon le même auteur, d'autres facteurs peuvent aussi intervenir, notamment : (i) la compétitivité, la viabilité et la survie, (ii) l'antagonisme avec les agents pathogènes et la flore microbienne de détérioration, (iii) le taux de production d'acide ou d'alcool, (iv) les modifications organoleptiques, (v) les métabolites primaires de la fermentation, (vi) la dégradation des facteurs antinutritionnels, (vii) la détoxification, (viii) les propriétés probiotiques.

En ce qui concerne les produits amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest, une importance a été accordée à la sélection des bactéries lactiques sur la base de leurs propriétés fonctionnelles à savoir : l'activité amylolytique (production d'amylase), la production de bactériocines et de peroxyde d'hydrogène, l'utilisation de sucres indigestibles (raffinose, stachyose), la réduction des composés cyanogènes et la réduction rapide du pH (dès les premières heures de la fermentation) (Sanni *et al.*, 2002 ; Kostinek *et al.*, 2005 ; Oguntoyinbo, 2007). Parmi toutes, l'activité amylolytique est fréquemment choisie comme le principal critère de sélection de la

souche (Olasupo *et al.*, 1996 ; Agati *et al.*, 1998 ; Hounhouigan *et al.*, 1999 ; Sanni *et al.*, 2002). La capacité d'une bactérie lactique amylolytique, sur une matière première amylacée, à améliorer la disponibilité des sources d'énergie pour les autres bactéries lactiques non-amylolytiques, à contribuer à une rapide diminution du pH et à fournir des propriétés rhéologiques désirées au produit, sont les principales raisons qui militent en faveur de ce choix.

4.2. Avantages

Depuis plusieurs années les efforts d'amélioration, de modernisation et de contrôle de la production de la majeure partie des aliments ou boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest, étaient portés sur les aspects technologiques (mécanisation, conditionnement et stockage du produit fini) et nutritionnels (ajout de protéines et vitamines) (Adeniji et Potter, 1978 ; Owusu-Ansah *et al.*, 1980 ; Plahar et Leung, 1983). Actuellement, les fermentations spontanées sont de plus en plus remplacées par de nombreux essais d'inoculation avec des *starters* de micro-organismes (bactéries lactiques et/ou levures). Les exemples de produits amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest où des souches de bactéries lactiques ont été isolées et, par la suite utilisées avec succès comme cultures *starters* (associées à d'autres micro-organismes ou non) au cours de la fermentation, sont indiqués dans le tableau IV. Ces essais ont montré des changements notables aussi bien au cours de la fermentation qu'au niveau du produit fini, comparés à ceux réalisés ou obtenus selon le procédé traditionnel. La réduction du temps de fermentation, l'inhibition des micro-organismes pathogènes et l'obtention d'un produit de qualité organoleptique acceptable et reproductible sont les changements majeurs souvent obtenus. Par exemple, Songré-Ouattara et collaborateurs (2009) viennent de montrer que l'inoculation de la farine de mil enrichie d'arachide avec la souche amylolytique *L. plantarum* A6, au cours de la préparation de « *ben-saalga* » au Burkina Faso, permet d'obtenir une bouillie de haute densité énergétique, de consistance liquide et de qualité constante. Pour ces auteurs, l'utilisation des bouillies ainsi obtenues permettrait d'améliorer les apports en énergie et nutriments essentiels des enfants pendant la

période de sevrage. L'utilisation d'une culture *starter* permet dans l'ensemble de réaliser un meilleur contrôle de la fermentation et une standardisation du procédé de fabrication. Ainsi un produit sain, de qualité organoleptique constante et acceptable peut être fourni au consommateur. Les possibilités de relancer l'agriculture par la transformation locale des produits vivriers, de répondre à l'alimentation urbaine en favorisant la fourniture de produits traditionnels ainsi que la création potentielle d'emplois et la génération de revenus, sont entre autres des avantages socio-économiques à ne pas négliger.

4.3. Préparation et conservation

La majeure partie des bactéries lactiques utilisées comme cultures *star-*

ters dans les produits fermentés de l'Afrique de l'Ouest est introduite au cours de la fermentation sous la forme d'une suspension fraîche de cellules (tableau IV). En général, l'inoculum est obtenu après 24 h de croissance (bouillon Man Rogosa Sharp) d'une colonie isolée sur milieu gélosé, centrifugation et suspension (dilution) dans une solution salée stérile pour obtenir la concentration voulue. La conservation de ces suspensions microbiennes, dans un état actif, sur de longues périodes est une étape cruciale pour une pratique uniforme de la fermentation. Malheureusement, nous n'avons trouvé qu'une seule littérature indiquant des essais de conservation de micro-organismes utilisés comme cultures *starters* en Afrique de l'Ouest. Okafor et collaborateurs (1999) ont étudié la survie, seul ou

en combinaison, de *L. coryneformis*, *L. delbrueckii* et *Saccharomyces* sp., isolés au cours de la production de « *gari* », sur des substrats amyliques déshydratés (igname, manioc, taro, riz, « *gari* ») comme support de conservation de ces micro-organismes. Après 16 semaines de stockage, 75 % à 85 % des micro-organismes avaient survécu dans l'igname, le taro et le manioc (en ordre croissant), tandis que 40 % à 65 % avaient survécu dans le riz et le « *gari* ». Le stockage à basse température (4°C) des souches dans l'igname, le manioc et le taro n'améliore pas la survie comparée à un stockage à température ambiante. Cependant des améliorations de 10 % et 20 % de la viabilité des souches étaient obtenues, respectivement, pour un stockage à 4°C dans le riz et le « *gari* ».

Tableau IV : souches utilisées comme cultures *starters* dans les aliments ou boissons amyliques et fermentés de l'Afrique de l'Ouest et comparaison entre le procédé traditionnel de fabrication (fermentation spontanée) et le produit obtenu par utilisation de *starter*

Type de produit	Nom du produit	Micro-organismes	Préparation du starter	Changements notés	Références
Produits non alcoolisés					
<u>Aliments à base de céréales</u>					
	« <i>kenkey</i> »	<i>Lactobacillus fermentum</i> LB-11	poudre lyophilisée	(1), (2), (3)	Annan <i>et al.</i> , 2003.
	« <i>ogi</i> »	<i>L. acidophilus</i> DK77 et <i>L. pentosus</i> DK99		(4), (5), (12)	Olukoya <i>et al.</i> , 1994.
	« <i>mawè</i> »	<i>Lactobacillus fermentum</i> ou <i>Lactobacillus brevis</i>	suspension fraîche de cellules	(6), (10)	Hounhouigan <i>et al.</i> , 1999.
	« <i>ben-saalga</i> »	<i>Lactobacillus plantarum</i> 6.1 ou <i>Lactobacillus plantarum</i> A6	suspension fraîche de cellules	(7), (8), (9)	Songré-Ouattara <i>et al.</i> , 2009
<u>Boisson à base de céréales</u>					
	« <i>gowé</i> »	<i>Lactobacillus fermentum</i> L025 et <i>Kluyveromyces marxianus</i> Y815	suspension fraîche de cellules	(1), (11)	Viéra-Dalodé <i>et al.</i> , 2008.
<u>Aliments à base de manioc</u>					
	« <i>agbelima</i> »	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> et <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	suspension fraîche de cellules	(4), (11) ^c	Amoa-Awua <i>et al.</i> , 2005.
	« <i>fufu</i> »	<i>Lactobacillus plantarum</i> F1 et <i>Lactobacillus brevis</i> OG1 <i>Lactobacillus plantarum</i> SL14, SL19	suspension fraîche de cellules	(4), (12) (13)	Ogunbanwo <i>et al.</i> , 2004. Sobowale et Oyewole, 2008.
	« <i>gari</i> »	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> , <i>Lactobacillus coryneformis</i> et <i>Saccharomyces</i> sp.	suspension fraîche de cellules	(1), (13), (14), (15)	Okafor <i>et al.</i> , 1998a ; 1998b
Boisson alcoolisée					
	« <i>pito</i> »	<i>Lactobacillus plantarum</i> et <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	suspension fraîche de cellules	(1), (6), (11)	Orji <i>et al.</i> , 2003

Lorsque la pâte de manioc fermentée est additionnée de la pâte de maïs fermentée :

(1) réduction du temps de fermentation, (2) importante production d'acides lactique, (3) rapide croissance de la flore lactique, (4) inhibition de micro-organismes pathogènes, (5) réduction de la durée et de l'intensité de la diarrhée infantile, (6) meilleur contrôle du procédé de production, (7) acidification rapide, (8) importante hydrolyse partielle de l'amidon, (9) produit de qualité constante, (10) produit de qualité constante et moins apprécié, (11) caractéristiques organoleptiques acceptables, (12) amélioration de la stabilité du produit, (13) bonne appréciation du produit, (14) réduction importante des composés cyanogènes, (15) amélioration de la teneur en lysine.

4.4. Perspectives

La suppression du stade de préparation de l'inoculum constituerait un réel progrès pour les unités de production locales, dans la mesure où elles pourraient disposer de suspensions bactériennes concentrées suffisamment actives pour être ajoutées directement à la matière première en lieu et place du levain traditionnel. De plus, pour qu'une suspension concentrée de bactéries lactiques puisse être utilisée directement dans le processus de fabrication, il est essentiel que le peuplement et l'activité de cette suspension soient non seulement très élevés mais également très stables dans le temps. Il a été démontré que des techniques de déshydratation telles que la lyophilisation permettent de conserver la viabilité et l'activité des souches de bactéries lactiques sur de longues périodes de conservation (Champagne *et al.*, 1991 ; King *et al.*, 1993). Dans une étude réalisée au Sénégal, Totté et collaborateurs (2005) ont étudié la possibilité de réaliser la fermentation contrôlée du mil pour la production de « *céré* », « *ciakri* » et « *arraw* » à l'aide d'une bactérie lactique lyophilisée. Les résultats de l'étude ont permis l'élaboration d'un guide pour l'utilisation du starter lyophilisé en vue de l'amélioration des produits fermentés traditionnels à base de mil au Sénégal. Par ailleurs, ces auteurs ont aussi indiqué que l'utilisation de cette bactérie lyophilisée était une alternative très efficace, d'une grande commodité d'emploi et d'un coût réduit (moins de 5 % du prix de revient) pour les unités de production locales. L'utilisation de bactéries lactiques lyophilisées au cours de production de produits fermentés en Afrique de l'Ouest pourrait être envisagée afin de dissocier l'étape de leur préparation de celle de leur utilisation.

5. CONCLUSION

Les bactéries lactiques sont les micro-organismes dominants retrouvés au cours de la fermentation de la majeure partie des aliments ou boissons amylacés fermentés de l'Afrique de l'Ouest. Leurs principales fonctions comprennent la production d'acides organiques, d'alcool et de composés aromatiques ainsi que d'autres effets tels que la stimulation des levures, l'inhibition des micro-organismes pathogènes, l'amélioration de la qualité nutritionnelle, les propriétés probiotiques, l'élabo-

ration de la texture de l'aliment et la dégradation des composés toxiques. Afin d'améliorer et de contrôler le processus de production et particulièrement l'étape de la fermentation, des cultures *starters* sont de plus en plus utilisées. Cependant, la plupart de ces cultures *starters* sont introduites au cours de la fermentation sous la forme de suspensions bactériennes fraîches difficiles à conserver sur de longues périodes. Pour pallier à ce problème, l'utilisation de cultures *starters* déshydratées, actives et stables au cours de leur stockage, pourrait être envisagée.

Lactic acid bacteria in West African starchy fermented foods or beverages : their current use

SUMMARY

Indigenous fermented starchy foods and beverages play a major role in the diet of African people. The predominant microorganisms are lactic acid bacteria, involved in basically two groups of starchy fermented products : non-alcoholic starchy products (foods and beverages) and alcoholic beverages. These products are to a great extent made by spontaneous fermentation of cereals (millet, sorghum, maize) as well as roots (cassava) and their quality is highly variable. The functions of lactic acid bacteria are mainly related to formation of aroma compounds, and stimulation of yeasts, improvement of nutritional value, probiotic effects, inhibition of undesired microorganisms, the development of the texture and the removal of toxic factors, may also be observed. In order to improve and control the production, especially the fermentation stage, of starchy fermented foods in West Africa, the introduction of purified lactic acid bacteria starter cultures is currently performed.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHI O.K. Microbiology of "obiolor", a Nigerian fermented non-alcoholic beverage. *J. Appl. Bacteriol.*, 1990, **69**, 321-325.
- ADENIJI A.O., POTTER N.N. Properties of "ogi" powders made from normal, fortified and opaque-2 corn. *J. Food Sci.*, 1978, **43**, 1571-1574.
- AGATI V., GUYOT J.P., MORLON-GUYOT P., TLAMOND P., HOUNHOUGAN D.J. Isolation and characterization of new amyloclastic strains of *Lactobacillus fermentum* from fermented maize doughs (mawè and ogi) from Benin. *J. Appl. Microbiol.*, 1998, **85**, 512-520.
- AKINRELE I.A. Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *J. Sci. Food Agric.*, 1970, **21**, 619-625.
- AMANE N.D., ASSIDJO N.E., GBONGUEM.A., BOHOUSOUK., CARDOT P. Caractérisation physico-chimique d'une bière traditionnelle ouest africaine, le Tchapalo. *Agr. Afr.*, 2005, **17**, 143-152.
- AMOA-AWUA W.K.A., JAKOBSEN M. The role of *Bacillus* species in cassava fermentation. *J. Appl. Bacteriol.*, 1995, **79**, 250-256.
- AMOA-AWUA W.K.A., APPOH F.E., JAKOBSEN M. Lactic acid fermentation of cassava dough into agbelima. *Int. J. Food Microbiol.*, 1996, **31**, 87-98.
- AMOA-AWUA W.K., OWUSU M., FEGLO P. Utilization of unfermented cassava flour for the production of an indigenous African fermented food, agbelima. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, **21**, 1201-1207.
- ANNANN.T., POLLL., SEFA-DEDEH S., PLAHAR, W.A., JAKOBSEN, M. Volatile compounds produced by *Lactobacillus fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida krusei* in single starter culture fermentations of Ghanaian maize dough. *J. Appl. Microbiol.*, 2003, **94**, 462-474.
- ANNAN-PRAH A., AGYEMAN J. A. Nutrient content and survival of selected pathogenic bacteria in kenkey used as a weaning food in Ghana. *Acta Trop.*, 1997, **65**, 33-42.
- ASSANVO J.B., AGBO G.N., BEHI Y.E.N., COULIN P., FARAH Z. Microflora of traditional starter made from cassava for "attiéké" production in Dabou (Côte d'Ivoire). *Food Control*, 2006, **17**, 37-41.
- BEUCHAT L.R. Indigenous fermented foods. In : Rehm H.-J., Reed G., Puhler A., Stadler P. (Eds), *Biotechnology*. Verlag Chemie : Weinheim, 1995, 505-559.
- CAPLICE E., FITZGERALD G.F. Food fermentations, role of microorganisms in food production and preservation. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **50**, 131-149.
- CHAMPAGNE C.P., GARDNER N., BROCHU E., BEAULIEU Y. The freeze-drying of lactic acid bacteria: a review. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1991, **24**, 118-128.
- CHAVAN J. K., KADAM S.S. Nutritional improvement of cereals by fermentation. *Crit. Rev. Food Sc. Nutr.*, 1999, **28**, 349-400.
- COLLARD P., LEVI A. A two-stage fermentation of cassava. *Nature*, 1959, **183**, 620.
- COLLARD P. A species of *Corynebacterium* isolated from fermenting cassava roots. *J. Appl. Bacteriol.*, 1963, **26**, 115.
- COULIN P. FARAH, Z. ASSANVO J., SPILLMANN H., PUHAN Z. Characterisation of the microflora of attiéké, a fermented cassava product, during traditional small-scale preparation. *Int. J. Food Microbiol.*, 2006, **106**, 131-136.
- DE VUYST L., AVONTS L., MAKRASE. Probiotics, prebiotics and gut health. In : Remacle C. (Ed.), *Functional Foods, Ageing and Degenerative Disease*. Taylor & Francis : London, 2004, 416-482.
- DEMUYAKOR B., OHTA Y. Characteristics of pito yeasts from Ghana. *Food Microbiol.*, 1991, **8**, 183-193.
- DJE M.K., N'GUESSAN K.F., DJENI T.N., DADIE T.A. Biochemical Changes during alcoholic fermentation in the production of 'tchapalo', a traditional sorghum beer. *Int. J. Food Eng.*, 2008, **4**, 44-50.
- EFIUVWEVWERE B.J.O., AKONA O. The microbiology of 'kununkun', a cereal beverage from northern Nigeria, during the fermentation (production) process. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 1995, **11**, 491-493.
- EKUNDAYO J.A. The production of 'pito', a Nigerian fermented beverage. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1969, **4**, 217-225.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria (2001) [en ligne] Adresse URL : http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/en/probiotics.pdf Consulté le 12 mars 2009
- FAPARUSI S.I., OLOFINBOBA M.O., EKUNDAYO, J.A. The microbiology of burukutu beer. *Z. Allg. Mikrobiol.*, 1973, **13**, 563-568.
- HALM M., LILLIE A., SORENSEN A.K., JAKOBSEN M. Microbiological and aromatic characteristics of fermented maize doughs for kenkey production in Ghana. *Int. J. Food Microbiol.*, 1993, **19**, 135-143.
- HOLZAPFEL W.H. Use of starter cultures in fermentation on a household scale. *Food Control*, 1997, **8**, 241-258.
- HOLZAPFEL W.H. Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries. *Int. J. Food Microbiol.*, 2002, **75**, 197-212.
- HOUNHOUGAN D. J., NOUT M.J.R., NAGO C.M., HOUBEN J.H., ROMBOUTS F.M. Composition and microbiological and physical attributes of mawè, a fermented maize dough from Benin. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 1993, **28**, 513-517.
- HOUNHOUGAN D.J., NOUT M.J.R., NAGO C.M., HOUBEN J.H., ROMBOUTS F.M. Characterisation and frequency distribution of species of lactic

- acid bacteria involved in the processing of mawè, a fermented maize dough from Benin. *Int. J. Food Microbiol.*, 1993, **18**, 279-287.
- HOUNHOUGAN D.J., NOUT M.J.R., NAGO C.M., HOUBEN J.H., ROMBOUTS F.M. Use of starter cultures of lactobacilli and yeast in the fermentation of mawè, an African maize product. *Trop. Sci.*, 1999, **39**, 220-226.
- IWUOHA C.I., EKE O.S. Nigerian indigenous fermented foods, their traditional process operation, inherent problems, improvements and current status. *Food Res. Int.*, 1996
- JOHANSON M.L., SANNNI A., LÖNNER C., MOLLIN G. Phenotypically based taxonomy using API 50CH of Lactobacilli from Nigerian 'ogi', and the occurrence of starch fermenting strains. *Int. J. Food Microbiol.*, 1995, **25**, 159-168.
- KAYODÉ A.P.P., HOUNHOUGAN J.D., NOUT M.J.R. Impact of brewing process operations on phytates, phenolic compounds and in vitro of iron and zinc in opaque sorghum beer. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 2007, **40**, 834-841.
- KETIKU A.O., OYENUGA V.A. Preliminary report on the carbohydrates constituents of cassava root and yam tuber. *Nig. J. Sci.*, 1970, **4**, 25-30.
- KIMMONS J.E., BROWN K.H., LARTEY A., COLLISON E., MENSAH P.P., DEWEY K.G. The effects of fermentation and/or vacuum flask storage on the presence of coliforms in complementary foods prepared in Ghana. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 1999, **50**, 195-201.
- KING V.A.-E., SU J.T. Dehydration of *Lactobacillus acidophilus*. *Process Biotech.*, 1993, **28**, 47-52.
- KOSTINEK M., SPECHT I., EDWARD V.A., SCHILLINGER U., HERTEL C., HOLZAPFEL W.H., FRANZ C.M.A.P. Diversity and technological properties of predominant lactic acid bacteria from fermented cassava used for the preparation of Gari, a traditional African food. *Syst. Appl. Microbiol.*, 2005, **28**, 527-540.
- KOSTINEK M., SPECHT I., EDWARD V.A., PINTO C., EGOUNLEY M., SOSSA C., MBUGUA S., DORTU C., THONART P., TALJAARD L., MENGU M., FRANZ C.M.A.P., HOZAPFEL W. Characterisation and biochemical properties of predominant lactic acid bacteria from fermenting cassava for selection as starter cultures. *Int. J. Food Microbiol.*, 2007, **114**, 342-351.
- LEI V., AMOA-AWUA W.K.A., BRIMER L. Degradation of cyanogenic glycosides by *Lactobacillus plantarum* strains from spontaneous cassava fermentation and other microorganisms. *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, **53**, 169-184.
- LEI V., JAKOBSEN M. Microbiological characterization and probiotic potential of koko and koko sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink. *J. Appl. Microbiol.*, 2004, **96**, 384-397.
- LEI V., FRIIS H., MICHAELSEN K.F. Spontaneously fermented millet product as a natural probiotic treatment for diarrhoea in young children: an intervention study in Northern Ghana. *Int. J. Food Microbiol.*, 2006, **110**, 246-253.
- LEROI F., PIDOUX M. Characterization of interactions between *Lactobacillus hilgardii* and *Saccharomyces florentis* isolated from sugary kefir grains. *J. Appl. Bacteriol.*, 1993, **74**, 54-60.
- MENSAH P., TOMKINS A.M., DRASAR B.S., HARRISON T.J. Fermentation of cereals for reduction of bacterial contamination of weaning foods in Ghana. *Lancet*, 1990, **336**, 140-143.
- MENSAH P., TOMKINS A.M., DRASAR B.S., HARRISON T.J. Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough. *J. Appl. Bacteriol.*, 1991, **70**, 203-210.
- MESSENS W., DE VUYST L. Inhibitory substances produced by Lactobacilli isolated from sourdoughs-a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 2002, **72**, 31-43.
- NAGO C.M., HOUNHOUGAN D.J. La technologie traditionnelle de transformation du maïs en pâte fermentée au Bénin. FSA-IRAT-CEE : Bénin, 1990, 30 p.
- NOUT M.J.R. Ecology of accelerated natural lactic fermentation of sorghum-based infant food formulas. *Int. J. Food Microbiol.*, 1991, **12**, 217-224.
- ODUNFA S.A. African fermented foods. In : Wood B.J.B. (Ed.), *Microbiology of fermented foods*. Elsevier : London, 1985, 155-191.
- ODUNFA S.A., ADEYELE S. Microbiological changes during the traditional production of ogi-baba, a West African fermented sorghum gruel. *J. Cereal Sci.*, 1985, **3**, 173-180.
- ODURO I., ELLIS W.O., DZIEDZOAVE N.T., NIMAKOYEBOAH K. Quality of gari from selected processing zones in Ghana. *Food Control*, 2000, **11**, 297-303.
- OGUNBANWO S.T., SANNNI A.I., OLINUDE A.A. Effect of bacteriogenic *Lactobacillus* spp. on the shelf life of fufu, a traditional fermented cassava product. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2004, **20**, 57-63.
- OGUNTOYINBO F.A. Identification and functional properties of dominant lactic acid bacteria isolated at different stages of solid state fermentation of cassava during traditional gari production. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2007, **23**, 1425-1432.
- OKAFORN. Microorganisms associated with cassava fermentation for 'gari' production. *J. Appl. Bacteriol.*, 1977, **42**, 279-284.
- OKAFORN., UMEH C., IBENEGBU C., OBIZOBAB I., NNAMB N. Improvement of garri quality by the inoculation of microorganisms into cassava mash. *Int. J. Food Microbiol.*, 1998, **40**, 43-49.
- OKAFORN., UMEH C., IBENEGBU C. Amelioration of garri, a cassava-based fermented food by the inoculation of microorganisms secreting amylase, lysine and linamarase into cassava mash. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 1998, **14**, 835-838.
- OKAFORN., AZUBIKE C., IBENEGBU C. Carriers for starter cultures for the production of garri, a fermented food derived

- from cassava. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 1999, **15**, 231-234.
- OLASUPO N.A., OLUKOYA D.K., ODUNFA S.A. Studies on local strains of amylolytic *Lactobacillus* from Nigerian fermented foods. *Nahrung*, 1996, **40**, S. 44-46.
- OLUKOYA D.K., EBIGWEI S.I., OLASUPO N.A., OGUNJIMI A.A. Production of DogiK, an improved Ogi (Nigerian fermented weaning food) with potentials for use in diarrhoea control. *J. Trop. Pediatrics*, 1994, **40**, 108-113.
- ORJI M.U., MBATA T.I., ANICHE G.N., AHONKHAI I. The use of starter cultures to produce 'Pito', a Nigerian fermented alcoholic beverage. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2003, **19**, 733-736.
- OWUSU-ANSAH J., VAN DE VOORT F.R., BEDIAKO-AMOA B. Banku: its degree of gelatinization and development of a quick cooking product. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 1980, **13**, 131.
- OYEWOLE O.B., ODUNFA S.A. Characterization and distribution of lactic acid bacteria in cassava fermentation during fufu production. *J. Appl. Bacteriol.*, 1990, **68**, 145-152.
- OYEWOLE O.B. Characteristics and significance of yeasts involvement in cassava fermentation for 'fufu' production. *Int. J. Food Microbiol.*, 2000, **65**, 213-218.
- PLAHAR W.A., LEUNG H.K. Effect of moisture content on the development of carboxylic acids in traditional maize dough fermentation. *J. Sci. Food Agric.*, 1982, **33**, 555-558.
- PLAHAR W.A., LEUNG H.K. Composition of Ghanaian fermented maize meal and the effect of soy fortification on sensory properties. *J. Sci. Food Agric.*, 1983, **34**, 407-411.
- SANNI A.I., MORLON-GUYOT J., GUYOT J.P. New efficient amylase-producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *L. fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *Int. J. Food Microbiol.*, 2002, **72**, 53-62.
- SAWADOGO-LINGANI H., LEI V., DIAWARA B., NIELSEN D.S., MØLLER P.L., TRAORÉ A.S., JAKOBSEN M. The biodiversity of predominant lactic acid bacteria in dolo and pito wort for the production of sorghum beer. *J. Appl. Microbiol.*, 2007, **103**, 765-777.
- SOBOWALE A.O., OYEWOLE O.B. Effect of lactic acid fermentation of cassava on functional and sensory characteristics of fufu flour. *J. Food Process. Preserv.*, 2008, **32**, 560-570.
- SONGRE-OUATTARA L.T., MOUQUET-RIVIER C., ICARD-VERNIÈRE C., ROCHETTE I., DIAWARA B., GUYOT J.P. Potential of amylolytic lactic acid bacteria to replace the use of malt for partial starch hydrolysis to produce African fermented pearl millet gruel fortified with groundnut. *Int. J. Food Microbiol.*, 2009, **130**, 258-264.
- SPICKETT R.G.W., SQUIRES J.A., WARD J.B. Gari from Nigeria. *Colonial Plant Anim. Products*, 1955, **5**, 230-238.
- STEINKRAUS K.H. Handbook of indigenous fermented foods. Marcel Dekker : New York, 1983, 250 p.
- STEINKRAUS K.H. Classification of fermented food, worldwide review of household fermentation technique. *Food Control*, 1997, **8**, 311-317.
- TENIOLA O.D., HOLZAPFEL W.H., ODUNFA S.A. Comparative assessment of fermentation techniques useful in the processing of ogi. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, **21**, 39-43.
- TOKA M.D., DJÉNI T.N., DJE M.K. Improved process of cassava processing into 'Attiéké', a traditional food product of Côte D'Ivoire. *Int. J. Food Eng.*, 2008, **4**, 24-29.
- TOTTÉ A., TINE E., LEITE N., LAURENT L., SEYE N., ROBLAIN D., THONART P. Guide de terrain pour la fermentation contrôlée du mil. Ecole supérieure polytechnique. Laboratoire de Microbiologie appliquée et de Génie industriel : Dakar, 2005, 47 p.
- TOU E.H., GUYOT J.P., MOUQUET-RIVIER C., ROCHETTE I., COUNIL E., TRAORÉ A.S., TRÈCHE S. Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso. *Int. J. Food Microbiol.*, 2006, **106**, 52-60.
- TREILLON R. L'innovation technologique dans les pays du sud, le cas de l'agro-alimentaire. Karthala : Paris, 1992, 268 p.
- VAN DER AA KUHLE A., JESPERSEN L., GLOVER R.L.K., DIAWARA B., JAKOBSEN M. Identification and characterization of *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from West African sorghum beer. *Yeast*, 2001, **18**, 1069-1079.
- VIEIRA-DALODÉ G., JESPERSEN L., HOUNHOUIGAN D.J., MOLLER P.L., NAGO C.M., JAKOBSEN M. Lactic acid bacteria and yeasts associated with gowé production from sorghum in Bénin. *J. Appl. Microbiol.*, 2007, **103**, 342-349.
- VIEIRA-DALODE G., MADODE Y.E., HOUNHOUIGAN D.J., JESPERSEN L., JAKOBSEN M. Use of starter cultures of lactic acid bacteria and yeasts as inoculum enrichment for the production of gowé, a sour beverage from Benin. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 2008, **2**, 179-186.