

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU



**Institut de recherche
pour le développement**

UNITE de FORMATION et de RECHERCHE en
SCIENCES de la VIE et de la TERRE (UFR/SVT)

DEPARTEMENT de BIOCHIMIE
MICROBIOLOGIE (DBM)

CENTRE de RECHERCHE en SCIENCES
BIOLOGIQUES, ALIMENTAIRES et
NUTRITIONNELLES (CRSBAN)

UNITE DE RECHERCHE 106
« Nutrition, Alimentation, Sociétés »

THESE UNIQUE

Présentée

A L'UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

UFR/SVT

Pour l'obtention

DU GRADE DE DOCTEUR

EN

SCIENCES BIOLOGIQUES APPLIQUEES

SPECIALITE

NUTRITION ET SCIENCES DES ALIMENTS

par

El Hassane Kéhien-Piho TOU

Maître ès Sciences

**CARACTERISATION ET AMELIORATION DU PROCEDE TRADITIONNEL
DE PREPARATION DE LA BOUILLIE DE MIL FERMENTE, *BEN-SAALGA*,
UTILISEE COMME ALIMENT DE COMPLEMENT AU BURKINA FASO**

Soutenue publiquement le :

Devant la commission d'examen

Président:

Membres:

DEDICACE

*A mon père autodidacte qui m'a tant supporté et m'a donné
toutes les chances d'aller plus loin...*

REMERCIEMENTS

A Dieu les prières, et à César ce qui lui appartient... Le travail présenté dans ce présent document est le concours de nombreuses personnalités et structures auxquelles je tiens vivement à exprimer mes sincères et profonds remerciements.

Je témoigne ma grande reconnaissance aux illustres rapporteurs et membres du jury qui ont bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail.

Mes profonds remerciements vont droit :

Au Professeur Alfred S. TRAORE, responsable de la formation de troisième cycle au Département de Biochimie-Microbiologie, et Directeur du Centre de Recherche en Sciences Biologiques Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) et co-directeur de cette thèse, pour l'opportunité qui m'a été offerte à travers la collaboration entre le CRSBAN et L'IRD pour réaliser mes travaux de recherche dans les meilleures conditions possibles. Par ailleurs, ses enseignements et sa disponibilité constante à m'assister m'ont largement aidé à m'orienter dans ma jeune carrière scientifique. Puisse-t-il trouver dans ce document, la concrétisation de ses multiples conseils et encouragements pour lesquels je lui exprime toute ma reconnaissance.

A tous les enseignants du département de Biochimie-Microbiologie qui ont chacun à un moment ou à un autre contribué efficacement à ma formation et à toute l'équipe du CRSBAN dont les membres ont contribué chacun à leur façon à la réalisation de cette thèse. Mes sincères remerciements au Pr Aboubacar S OUATTARA et aux Dr Cheick A.T. OUATTARA, Nicolas BARRO, Philippe. NIKIEMA, Mamoudou DICKO, Marcel D. BENGALY.

La réalisation de l'ensemble des travaux de la présente thèse a été rendue possible grâce à l'appui financier du Département Soutien et Formation des communautés scientifiques du sud de l'IRD qui m'a accordé une allocation de recherche, du projet européen CEREFER et de l'UR 106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés » de l'IRD, pour nous permettre de réaliser la thèse dans de bonnes conditions. Soyez-en très sincèrement remerciés.

Je tiens tout particulièrement à exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude à M. Jean-Pierre GUYOT, Directeur de recherche IRD, codirecteur de cette thèse pour m'avoir fait confiance et cela depuis mon DEA, confié le projet de thèse, initié aux exigences de rigueurs spécifiques à la recherche, pour sa disponibilité, son soutien inconditionnel, son engouement et sa grande qualité et expérience de l'encadrement dont il a su me faire bénéficier et qui m'a permis d'améliorer mes aptitudes professionnelles et mes connaissances dans les domaines de la Microbiologie, des Sciences des Aliments et de la Nutrition.

J'adresse mes sincères remerciements à M. Francis Delpéuch, directeur de l'UR 106 de l'IRD pour m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche.

Mes sincères remerciements vont à Serge Trèche, Directeur de recherche IRD, pour avoir initié mon stage de DEA qui a abouti aux travaux de la présente thèse, sa participation tant enrichissante à mon encadrement du DEA à la thèse, la qualité et la rigueur scientifique exigées à mon égard et ses conseils si précieux surtout dans l'élaboration de mes protocoles d'études.

Je tiens à exprimer mes sincères et profonds remerciements à Mme Claire Mouquet-Rivier, chargée de recherche à l'IRD, pour la qualité de son encadrement surtout sur le terrain et sa participation si enrichissante dans la valorisation des résultats des travaux de cette thèse et pour ses conseils si précieux. Merci à Michel Rivier pour lui avoir permis de m'assister souvent pendant les nuits de cinétiques de fermentation (on se souviendra toujours de ces cinétiques et de l'acide sulfurique).

Mes très sincères remerciements à toute l'équipe du laboratoire de Nutrition de l'UR 106 du centre IRD de Montpellier. Un grand merci à Christèle Icard-Vernière, Isabelle Rochette (l'HPLC ! ça me manquera) et Christian Picq (je me souviendrai toujours de ta bonne humeur) pour l'aide inestimable que vous m'avez apportée pour les différents dosages effectués. Un grand merci aussi à Mourad Moursi, Gérard Rocquelin, Sylvie Avallone, Pierre Traissac, Yves-Martin Prével, Yves Kameli et Christèle Humblot pour leur sympathie, leur gentillesse et pour les échanges fructueux.

J'adresse mes remerciements et ma reconnaissance à MM. Alain Casenave et Jean-Pierre Guengant, respectivement, ancien et actuel représentant de l'IRD à Ouagadougou pour m'avoir accueilli au sein de leur centre et pour tout ce qu'ils ont fait pour moi. Merci à Boukary et à tout le personnel du centre pour leur gentillesse et leurs encouragements.

Sur un plan personnel, la réalisation de la présente thèse a été pour moi l'opportunité d'améliorer mes aptitudes relationnelles en me faisant de très bons amis au Burkina Faso comme en France et j'espère que cette amitié durera autant que notre vie. Mes meilleurs souvenirs vont, en particulier, à mes collègues et amis thésards et stagiaires des Laboratoires de Nutrition des Centres IRD de Montpellier et de Ouagadougou: Andréina, Mourad, Tahirou, Claire, Laurencia, Simon, Isabelle, Séverine, Emilie, Modeste, Thuy, Prosper, Mathilde, Laetitia, Ruben, Fatoumata, Nafony, Elodie, Nana, Hoan, Marcelline, et tous les autres dont les noms n'ont pu être cités ici.

Mes sincères et profonds remerciements à toutes les productrices de bouillies fermentées de la ville de Ouagadougou qui ont participé aux travaux de terrain de cette thèse et avec lesquelles j'ai passé de très bons moments. Merci pour votre hospitalité, collaboration, disponibilité et votre grande participation à mes travaux de terrain. Un grand merci à toutes vos familles très accueillantes qui ont vu leur sommeil dérangé par mes visites souvent à des heures indues (3 ou 4 heures du matin). J'ose espérer que le retour vous sera donné à travers l'application des résultats de cette thèse qui permettrait d'améliorer l'état nutritionnel des enfants Burkinabé.

Je dis merci à tous mes collègues du CRSBAN, Ali, Constance, Dieudonné, Aziz et tous les autres pour votre soutien moral et vos encouragements.

Mes amis de tous les jours, qui à un moment ou à un autre m'ont apporté soutien moral et réconfort, ne sauraient être privés de mes sincères remerciements. Il s'agit notamment de : Roberto, Aminata, Adama, Salif, André, Dominique, Boukary (mon beau), Nicole, Sita, Mahadi, Roland, et tous mes voisins qui, d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin, ont considérablement contribué à la réalisation de mes différents travaux. Soyez-en sincèrement remerciés.

Merci à tous mes parents, mes frères et sœurs, toute ma famille, pour le soutien moral et financier qui a été d'un apport incommensurable dans la réalisation de mes études et surtout de cette thèse. Puissiez-vous trouver dans ce modeste document, la concrétisation de vos multiples conseils et encouragements pour lesquels je vous exprime toute ma reconnaissance.

Je ne saurai terminer ces lignes sans dire un grand merci à Kady Sanogo et à notre fille Mariétou, mes sources d'inspiration et de réconfort. Grand merci à toi Kady pour tout l'amour, la patience, la compréhension, le soutien, le réconfort moral, toutes ces attentions particulières, précieuses et indispensables dont tu as fait montre à mon égard durant toutes ces années.

Merci à tous ceux dont les noms n'ont pu être cités mais qui, de loin ou de près, ont discrètement mais efficacement, contribué à l'aboutissement de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET CADRE DE L'ETUDE.....	6
I. RECOMMANDATIONS POUR LA COUVERTURE DES BESOINS EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS DU JEUNE ENFANT.....	7
I.1. Besoins en énergie et en nutriments.....	7
I.2. Consommation et apport en énergie et en nutriments du lait maternel.....	10
I.3. L'âge d'introduction des aliments de complément.....	10
I.4. Caractéristiques appropriées des aliments de complément.....	11
I.4.1. Apports énergétiques appropriés des aliments de complément dans les PED.....	11
I.4.2. Apports adéquats en nutriments des aliments de complément dans les PED.....	14
I.4.3. Biodisponibilité des nutriments.....	14
I.4.4. Aspects sanitaires des aliments de complément.....	14
I.4.5. Autres aspects des aliments de complément.....	15
II. L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT AU BURKINA FASO.....	15
II.1. Les pratiques alimentaires des nourrissons et des jeunes enfants.....	15
II.2. Caractéristiques générales des bouillies.....	17
II.3. Les apports en énergie et en nutriments des bouillies.....	17
II.4. Améliorations à apporter aux aliments de complément consommés sous forme de bouillies.....	18
III. LES PROCEDES PERMETTANT DE PREPARER DES BOUILLIES AYANT DES CARACTERISTIQUES APPROPRIEES.....	18
III.1. Formulation de farines infantiles équilibrées en nutriments à moindre coût....	18
III.2. Procédés utilisables pour augmenter la densité énergétique des bouillies.....	19
III.2.1. Apport d'huile ou de sucre.....	19
III.2.2. Techniques basées sur une hydrolyse partielle de l'amidon.....	20
III.3. Procédés utilisables pour améliorer la biodisponibilité des minéraux.....	22
III.3.1. Effet des traitements thermiques sur les facteurs antinutritionnels.....	22
III.3.2. Voies enzymatiques d'élimination des phytates.....	23
<i>III.3.2.1. Elimination des phytates par action des phytases endogènes.....</i>	<i>23</i>
<i>III.3.2.2. Elimination des phytates par action des phytases exogènes.....</i>	<i>23</i>
IV. LES STRATEGIES D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT.....	24
IV.1. Production d'aliments de complément dans des industries ou dans de petites entreprises locales.....	25
IV.2. Transfert au niveau des ménages de technologies simples permettant de préparer des aliments de complément de bonne valeur nutritionnelle.....	26
IV.3. Stratégies alternatives.....	26
V. LES FERMENTATIONS TRADITIONNELLES DES CEREALES.....	28
V.1. Quelques exemples d'aliments fermentés.....	29

V.2. Quelques voies d'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits à base de céréales fermentées.....	37
V.3. Effet de la fermentation sur les aliments de complément à base de céréales.....	38
V.4. Caractéristiques générales des bactéries lactiques.....	39
V.4.1. Classification des bactéries lactiques.....	39
V.4.2. Métabolisme énergétique lié à la dégradation des sucres.....	40
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES.....	43
I. MATIERES PREMIERES ET INGREDIENTS.....	44
II. METHODOLOGIE.....	44
II.1. Etude des caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du procédé traditionnel de fabrication du « ben-saalga ».....	44
II.1.1. Choix des ateliers suivis.....	44
II.1.2. Observations et prélèvement des échantillons sur le terrain.....	45
II.1.3. Etude des cinétiques de fermentation au cours du trempage et de la décantation.....	45
II.1.3.1. Procédés de transformation.....	45
II.1.4. Etude des caractéristiques microbiologiques de la pâte en début et en fin de décantation du procédé traditionnel de préparation dans 12 micro-ateliers...47	
II.1.4.1. Choix des ateliers suivis.....	47
II.1.4.2. Observations et prélèvement des échantillons sur le terrain.....	47
II.1.5. Etude préliminaire de caractérisation de la flore lactique des pâtes fermentées provenant de 12 ateliers différents de Ouagadougou.....	47
II.2. Etude de l'amélioration de la densité énergétique du « ben-saaga » par combinaison de procédés susceptibles de favoriser l'hydrolyse partielle de l'amidon.....	48
II.3. Etude de l'amélioration de la valeur nutritionnelle du ben-saalga, de caractérisation des cinétiques de fermentation et de l'évolution de la flore au cours de la fermentation dans les procédés traditionnels et modifiés.....	49
II.3.1. Protocole de mise en œuvre des procédés traditionnels et modifiés.....	50
II.3.1.1. Procédés traditionnels.....	50
II.3.1.2. Procédés modifiés.....	51
II.3.2. Observations et mesures effectuées.....	52
II.3.3. Etude de la valeur nutritionnelle des bouillies issues des procédés modifiés.....	52
II.3.4. Etude des cinétiques de fermentation dans les procédés modifiés.....	52
II.3.5. Etude de l'évolution de la microflore totale, la flore lactique et lactique amylolytique et des levures au cours de la fermentation dans les procédés modifiés.....	53
III. METHODES D'ANALYSE.....	53
III.1. Analyses physico-chimiques et biochimiques.....	53
III.1.1. Mesure de la consistance des bouillies.....	54
III.1.2. Mesure de la teneur en matière sèche des bouillies.....	54

III.1.3. Mesure du pH de la bouillie et des surnageants de trempage et de décantation.....	54
III.1.4. Enregistrement des cinétiques d'acidification.....	54
III.1.5. Détermination de la composition globale.....	54
III.1.6. Dosage des phytates par HPIC.....	55
III.1.7. Dosage des oses mono- et diholosides et des α -galactosides.....	55
III.1.8. Dosage des produits de fermentation.....	56
III.2. Analyses microbiologiques.....	56
III.2.1. Préparation des milieux de culture et du diluant.....	56
III.2.2. Préparation des échantillons et ensemencement.....	57
III.2.3. Répiquage, purification et conservation des colonies.....	57
III.2.4. Caractérisation des souches bactériennes issues de 12 échantillons de pâtes fermentées prélevées dans 12 ateliers de Ouagadougou.....	58
III.2.4.1. Préparation des cultures en culot.....	58
III.2.4.2. Coloration Gram.....	58
III.2.4.3. Catalase.....	58
III.2.4.4. Galeries API 50 CHL.....	58
III.2.4.5. Type métabolique.....	58
III.3. Analyses statistiques.....	58
 CHAPITRE III. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHMIQUES, BIOCHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES DU PROCEDE TRADITIONNEL DE PREPARATION DU <i>BEN-SAALGA</i>.....	 59
Tou, E. H., Guyot, JP., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traore, A. S., & Trèche, S. (2006). Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (<i>Pennisetum glaucum</i>) into “ <i>ben-saalga</i> ”, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. <i>International Journal of Food Microbiology</i> , 106, 52-60.....	62
Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Kéléké, S., Traoré, A. S., Trèche, S. & Guyot, J. P. Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of <i>ben-saalga</i> , a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children. <i>A soumettre</i>	71
 CHAPITRE IV. AMELIORATION DE LA DENSITE ENERGETIQUE DU BEN-SAALGA PAR COMBINAISON DE PROCEDES SUSCEPTIBLES D'HYDROLYSER OU DE FAVORISER L'HYDROLYSE DE L'AMIDON.....	 84
Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2003). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « <i>ben-saalga</i> » en vue d'augmenter leur densité énergétique. <i>Proceedings of the 2nd international workshop, Food- based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists</i> . 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso. ISBN: 2-915071-063, 517 – 524.....	88

Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Traoré, A. S., Trèche S., & Guyot, JP. (2007). Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. *Food Chemistry*, 100, 935–943.....96

CHAPITRE V. AMELIORATION DE LA VALEUR NUTRITIONNLE DU BEN-SAALGA PAR CO-FERMENTATION (MIL-ARACHIDE) ET CUISSON, ADDITION DE MALT ET INOCULATION.....105

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Picq, C., Traoré, A.S., Trèche, S., Guyot, J.P. Improving the nutritional quality of *ben-saalga*, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method. *Soumis à LWT-International Journal of Food Science and Technology*.....108

CHAPITRE VI. DISCUSSION GENERALE.....136

CHAPITRE VII. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES....145

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....148

ANNEXES.....170

Annexe-1 : Fiche d'observations sur le terrain

Annexe-2 : Composition des milieux de cultures

Annexe-3 : Communication au FRSIT 2002

Annexe-4: Poster 1 présenté à la 2nd international workshop

Annexe-5 : Poster présenté à la 5th International ICFMH Symposium

Annexe-6 : Résumé présenté à la 18th International Congress of Nutrition

Annexe-7: Poster 2 présenté à la 2nd international workshop

Annexe-8: Communication au FRSIT 2006

Annexe-9 : Communication au GP3A

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

Introduction

Figure 1 : Schéma conceptuel de la démarche de mise au point et de transfert de procédés technologiques pour la production d'aliments de qualité maîtrisée au niveau de petites unités artisanales ou des ménages (Mouquet et al, 2006)

Figure 2 : Schéma du grain de mil pénicillaire (Dendy, 1995)

Résultats et discussions

*Article 1: Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso*

Figure 1. Description of the traditional processing of pearl millet into *ben-saalga*.

Figure 2. Changes in pH during soaking and settling of the pearl-millet grains in eight (1 – 8) traditional production units (TPU).

Figure 3. Changes in sugars in grains and in the supernatant during soaking. Bars indicate standard deviation.

Figure 4. Changes in pH, temperature, ethanol, acetic and lactic acid concentrations in supernatant during soaking and settling in pilot scale experiments. Bars indicate standard deviation.

Figure 5. Comparison between five traditional production units (TPU) and pilot scale experiments (PSE) for lactic acid and ethanol concentrations in supernatant during soaking. Bars indicate standard deviation.

Figure 6. Kinetics of sugar consumption in supernatant during settling in pilot scale experiments. Bars indicate standard deviation.

Figure 7. Comparison of the changes in lactic acid (Lac) and ethanol (Eth) concentrations in supernatant during settling between five traditional production units (TPU) and pilot scale experiments (PSE). Bars are for standard deviation.

Article 2 (projet d'article): Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of ben-saalga, a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children

Figure 1. Dendrogram showing the classification of lactic acid bacteria based on phenotypic characters

Figure 2. Tentative identification of lactic acid bacteria based on API 50 CHL and percentage of occurrence of species.

Article 3: Essai de modification du procédé traditionnel de fabrication des bouillies de mil fermenté ben-saalga en vue d'augmenter leur densité énergétique

Figure 1: Schéma de préparation des bouillies selon les différents procédés.

Figure 2: Cinétiques d'acidification des pâtes au cours de la fermentation (étape de repos de la pâte).

Figure 3: Evolution de la consistance des bouillies en fonction de leurs teneurs en matière sèche.

Article 4: Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso

Figure 1. Description of different process combinations to improve the energy density of ben-saalga.

Figure 2. Changes in pH during the fermentation steps in control and process combinations: pre-cooking and addition of malt (CM); pre-cooking and inoculation by back-slopping (CI); pre-cooking, addition of malt and inoculation (CMI)

Figure 3. Kinetics of sugar consumption and formation during fermentation at the settling step in control (A) and CI (B), CM (C) and CMI (D) process combinations. Bars are standard deviations.

Figure 4. Kinetics of the formation of ethanol and organic acids (lactic and acetic acids) during fermentation at the settling step in control (A) and CI (B), CM (C) and CMI (D) process combinations. Bars are standard deviations.

Figure 5. Effect of the different process combinations, traditional (control), cooking and addition of malt (CM), cooking and inoculation (CI) and cooking, addition of malt and inoculation (CMI) on gruel consistency.

Figure 6. Effect of the different process combinations, traditional (control), cooking and addition of malt (CM), cooking and inoculation (CI) and cooking, addition of malt and inoculation (CMI) on gruel energy density. Different letters indicate significantly different means ($P < 0.05$) as assessed by ANOVA and Duncan's multiple range test.

Article 5: Improving the nutritional quality of ben-saalga, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method.

Figure 1. Description of the two processing methods (the traditional one and the modified one) experimented on blends of pearl millet and groundnut to produce enriched fermented gruels.

Figure 2. Changes in pH (A) (◆: Millet-groundnut and ◇: millet) and concentrations of sugar (B) (◇ :Glucose, ■:Fructose, Δ:Melibiose and ▲: Maltose), ethanol, lactate and acetate (C) (◇: Lactate, ◆: Ethanol and Δ: Acetate) in the soaking of millet-groundnut blend. Bars indicate standard deviation.

Figure 3. Changes in pH during the fermentation step in MG-T and MG-CMI processing methods (▲: MG-T and ◇: MG-CMI). Bars indicate standard deviation.

Figure 4. Changes in sugar concentrations (○ :Glucose, ■:Fructose, Δ:Melibiose and ▲: Maltose) in MG-T (A) and MG-CMI (B), and in ethanol, lactate and acetate concentrations (◇:Lactate, ◆:Ethanol and Δ:Acetate) in MG-T (C) and MG-CMI (D) in supernatant of pastes during the fermentation step. Bars indicate standard deviation.

TABLEAUX

Introduction

Tableau 1: Besoins énergétiques des enfants selon les groupes d'âges (6 à 24 mois)

Tableau 2: Apports recommandés en quelques nutriments chez les enfants de 6 à 24 mois

Tableau 3 : Quantités moyennes d'ingérées en lait maternel des enfants des pays en développement pendant les deux premières années de leur vie

Tableau 4 : Densités énergétiques (en kcal/100g) minimales requises pour les aliments de complément (kcal/100g)

Tableau 5 : Densités en protéines et en quelques micronutriments nécessaires dans les aliments de complément

Tableau 6. Production céréalière au Burkina Faso : campagnes 2001-2002 et 2002-2003

Matériels et méthodes

Tableau 1 : formulation de la bouillie co-fermentée (mil et arachide) avec 15% de sucre

Résultats et discussions

*Article 1: Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso*

Table 1. Mass balance of the *ben-saalga* processing in 24 TPUs

Table 2. pH, titratable acidity and temperature of the products during the fermentation steps in 24 TPUs

Table 3. Main biochemical characteristics of products during the processing of pearl millet into *ben-saalga* in 24 TPUs (results are mean values in g/100 g DM with standard deviation)

Table 4. Counts of the aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria and yeasts in the unfermented wet flour and fermented paste in 12 TPUs

Article 2 (projet d'article): Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of ben-saalga, a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children

Table 1. Results from morphological observations, Gram reaction, catalase activity and API 50 CHL tests

Article 4: Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of ben-saalga, a fermented gruel from Burkina Faso

Table 1. Changes in microbial counts during the fermentation step of the control process and of the different process combinations

Article 5: Improving the nutritional quality of ben-saalga, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method.

Table 1. Formulation of gruels (millet co-fermented with groundnuts) taking into account 15 % of added sugar, and estimation of their final protein and lipid contents

Table 2. Changes in microbial counts in MG-T and MG-CMI pastes during fermentation

Table 3. Proximate composition and phytate content of raw materials and fermented gruels (results are expressed for 100 g of dry matter)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Selon de récentes recommandations internationales (WHO, 1998; WHO, 2002; WHO/UNICEF, 2002; Daelmans et al, 2003), l'allaitement maternel doit être exclusif pendant les 6 premiers mois de vie et se poursuivre jusqu'à l'âge de deux ans ou plus. Après 6 mois, l'apport en énergie et en nutriments du lait maternel devenant insuffisant pour couvrir les besoins nutritionnels des jeunes enfants en pleine croissance, leur alimentation doit être diversifiée par l'introduction d'aliments de complément. Cependant, après l'âge de 6 mois, la croissance d'un grand nombre de nourrissons des pays en développement (PED) dévie du modèle de croissance de référence à cause des infections répétées et des pratiques alimentaires inappropriées (UNICEF, 1998; WHO, 1998). La malnutrition se manifeste donc principalement pendant la période d'alimentation complémentaire, entre 6 et 24 mois, au moment où l'enfant passe progressivement d'une alimentation basée uniquement sur le lait maternel à une alimentation diversifiée semi-liquide, puis solide.

La malnutrition maternelle, l'allaitement et l'alimentation complémentaire inadéquats représentent des risques énormes pour la santé et le développement des enfants. Seulement 38 % des nourrissons des PED bénéficient d'un allaitement maternel exclusif pendant les 6 premiers mois, l'alimentation complémentaire commence fréquemment trop tôt ou trop tard et les aliments sont souvent inadéquats sur les plans nutritionnel et hygiénique (UNICEF, 2005). La malnutrition chez les enfants de moins de cinq ans constitue un problème majeur de santé publique dans les PED. L'Afrique subsaharienne occupe la seconde place, après l'Asie du sud, avec 38,9 et 37 % d'enfants de moins de cinq ans souffrant respectivement de retard de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale. Mais le plus inquiétant est que depuis près d'une décennie (1995 à 2003) on ne constate guère d'amélioration et les prévalences de retard de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale s'élèvent encore respectivement à, 31, 8 et 35% des enfants de moins de cinq ans des PED (UNICEF, 2005).

Les conséquences de la malnutrition sont énormes parmi lesquelles la morbidité et la mortalité excessives, en particulier chez les jeunes enfants et très souvent dues aux insuffisances dans le régime en micronutriments comme la vitamine A, l'iode, le fer et le zinc et à des apports insuffisants en macronutriments (glucides, protéines, lipides). En effet, elle est responsable, directement ou indirectement, de 60 % des 10,9 millions de décès annuels d'enfants de moins de cinq ans. Plus de deux tiers de ces décès, souvent associés à des pratiques d'alimentation inappropriées, surviennent dans la première année de vie (WHO/UNICEF, 2002). Par ailleurs,

la malnutrition se répercute sur le développement psychomoteur, les capacités d'apprentissage et de travail des enfants.

Au Burkina Faso, on constate que les pratiques alimentaires ont subi très peu de modifications, mais l'état nutritionnel des enfants de moins de 5 ans s'est détérioré au cours de ces dix dernières années, et cela malgré les stratégies mises en oeuvre pour améliorer les situations nutritionnelles. En effet, selon les trois enquêtes démographiques et de santé réalisées au Burkina depuis 1992, 1998 et 2003, on note une aggravation de la malnutrition situation chez ces enfants qui se traduit par de fortes prévalences de malnutrition, d'émaciation et d'insuffisance pondérale qui sont passés, respectivement en 1992, 1998 et 2003, de 29 à 37 puis 39 % pour le retard de croissance, de 13 à 13 puis 19 % pour l'émaciation et de 30 à 34 puis 38 % pour l'insuffisance pondérale. En 2003, ces proportions sont de 10 à 20 fois plus élevées que celles attendues dans une population en bonne santé et bien nourrie (INSD et Macro International Inc, 1993; 1998; 2004).

On entend par pratiques alimentaires, non seulement la qualité et la quantité des aliments proposés aux jeunes enfants, mais aussi les étapes de leur introduction. Elles se caractérisent au Burkina Faso par un très faible taux d'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois (<3 %), une durée moyenne satisfaisante de l'allaitement maternel (25 mois) et un taux d'alimentation complétée en temps opportun (entre 6 et 9 mois) relativement faible (42 %) en raison d'une introduction souvent trop tardive des aliments de complément. Les aliments initialement reçus par les nourrissons, en complément au lait maternel, sont très souvent des bouillies préparées sous forme fluides à partir de simples farines de céréale, de mélange de farines ou de produits fermentés, et ayant une faible densité énergétique maximum d'environ 40 kcal/100 g (Trèche, 2002). La capacité gastrique réduite des nourrissons (30 ml/kg de poids corporel/repas), l'impossibilité à remplir physiquement leur estomac d'aliments dans des proportions qui satisferaient leurs besoins nutritionnels dans les conditions habituelles de consommation (2 repas par jour) (Noukpoape, 1997; Somda, 1999; Sawadogo et al, 2003) font que la consommation de telles bouillies ne peut généralement pas apporter les compléments au lait maternel nécessaires à la couverture de leurs besoins nutritionnels. S'il est recommandé d'utiliser des aliments de complément après l'âge de 6 mois pour compléter les apports du lait maternel, il l'est aussi et surtout de s'assurer de leurs qualités nutritionnelle et sanitaire car ces produits apparaissent comme étant directement ou indirectement liés aux fortes prévalences de mortalité infantile et aux formes de malnutrition observées.

Pour répondre à ces préoccupations, les actions mises en oeuvre sont diverses : les soins de santé primaire, la supplémentation et les voies alimentaires qui consistent à améliorer la

production, la fabrication et la consommation d'aliments de complément répondant aux critères nutritionnels et sanitaires adéquats. Au Burkina Faso, une des voies d'amélioration de l'alimentation complémentaire des jeunes enfants consiste à proposer des modifications de procédés de production de farines infantiles et de bouillies fermentées fabriqués à l'échelle artisanale ou au sein des ménages en vue d'augmenter leur apport en énergie et en nutriments. Ces produits sont en effet bien meilleurs marchés que les produits importés, et l'utilisation de matières premières locales pour leur fabrication favorise leur bonne acceptabilité.

Les travaux de cette présente thèse s'insèrent dans un projet européen sur l'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits traditionnels à base de céréales fermentées – connu sous l'acronyme «Cerefer» et mené en collaboration avec l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso), l'IRD (France), l'EPRAN (Congo) et les Universités de Wageningen (Pays-bas) et de Jaen (Espagne). Ces travaux ont plus spécifiquement porté sur la caractérisation et l'amélioration du *ben-saalga*, une bouillie de mil fermenté fréquemment utilisée comme aliment de complément au Burkina Faso. La fermentation lactique naturelle est un procédé très couramment utilisé pour la préparation de plats traditionnels à base de céréales en Afrique. Il existe en effet une grande diversité de produits fermentés africains, notamment l'*ogi* et le *mawè* béninois, le *kenkey* ghanéen, le *kisra* soudanais, l'*injera* éthiopien, l'*uji* kenyan, le *mahewu* sud africain, le *poto-poto* congolais et le *ben-saalga* burkinabè. Les effets bénéfiques des procédés mettant en œuvre la fermentation lactique sur les qualités nutritionnelles et sanitaires des produits sont multiples et largement reconnus (FAO/WHO, 1995). Plusieurs études (Raza et al, 1995 ; Guandalini et al, 2000 ; Saavedra, 2000 ; Rosenfeldt et al, 2002) ont mis en évidence les effets bénéfiques des bactéries lactiques dont en particulier la diminution de la durée de l'épisode diarrhéique, ce qui revêt une grande importance quand on sait que dans les pays en développement, la diarrhée est une cause importante de la morbidité et de la mortalité des enfants (Guerrant et al, 1990; Haggerty et al, 1994; Ribeiro, 2000). Cependant, les produits fermentés traditionnels à base de matières premières amylacées qui se présentent sous forme de bouillie sont de valeur nutritionnelle insuffisante en raison de leur faible densité énergétique et de leur déséquilibre en macro et micronutriments. L'amélioration des situations nutritionnelles dans les pays en développement passe nécessairement par l'accès des nourrissons et des jeunes enfants à des aliments de complément ayant des caractéristiques nutritionnelles, bactériologiques et organoleptiques appropriées, culturellement et économiquement acceptables, et par la promotion de leur utilisation selon des modalités adaptées (Brown et Lutter, 2000; Huffman,

2000; Dewey, 2000; WHO/UNICEF, 2002 ; Trèche, 2002 ; Daelmans et al, 2003; Lutter, 2003; Dewey et Brown, 2003).

Cette thèse a été le fruit d'une collaboration entre l'unité de recherche « Nutrition, Alimentation, Sociétés » de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et le Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) de l'Université de Ouagadougou. Son objectif général est de proposer des améliorations de la qualité nutritionnelle des bouillies de mil fermenté de type « *ben-saalga* » afin qu'elles constituent un aliment de complément adéquat pour les nourrissons burkinabè. Les travaux réalisés comportent les différents volets suivants :

- la caractérisation physico-chimique, biochimique et microbiologique du procédé traditionnel de fabrication du *ben-saalga*
- l'étude de voies d'augmentation de la densité énergétique du *ben-saalga* par la mise en œuvre de combinaisons de procédés susceptibles de favoriser une hydrolyse partielle de l'amidon
- l'étude de l'amélioration de l'équilibre en macronutriments du *ben-saalga* par co-fermentation de mil et d'arachide.

Le document de thèse se présente comme suit : une introduction et sept chapitres dont le premier, consacré à la revue bibliographique et au cadre de l'étude, aborde successivement les besoins nutritionnels du jeune enfant, la problématique de l'allaitement et de l'alimentation complémentaire dans les PED et au Burkina Faso et les procédés permettant de préparer des bouillies ayant des caractéristiques nutritionnelles et sanitaires appropriées. Les aspects méthodologiques sont traités dans le second chapitre tandis que le troisième fait un diagnostic du procédé traditionnel, le quatrième chapitre décrit les voies d'amélioration de la densité énergétique du *ben-saalga*, et le cinquième propose une amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*. Les chapitres trois, quatre et cinq ont été rédigés sous forme d'articles (publiés ou soumis) et de projet d'article. Le sixième chapitre propose une discussion générale sur l'ensemble des résultats et des limites de l'étude, et le septième présente la conclusion générale et les perspectives.

**CHAPITRE I.
REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE ET
CADRE DE L'ETUDE**

I. RECOMMANDATIONS POUR LA COUVERTURE DES BESOINS EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS DU JEUNE ENFANT

Les besoins en énergie et en nutriments d'une manière générale varient selon les groupes et d'un individu à l'autre ; ils sont plus élevés chez les enfants du fait de la croissance et chez les femmes enceintes et allaitantes. Par ailleurs, de nombreuses recherches se poursuivent pour déterminer non seulement les besoins en énergie et en nutriments chez le jeune enfant mais aussi et surtout pour aboutir à de meilleures estimations concernant les besoins pour chacun des nutriments. De ce fait, les valeurs recommandées représentent les quantités qui devraient être consommées par le jeune enfant pour couvrir ses besoins en chaque nutriment. En général, ces recommandations prévoient des marges de sécurité et prennent en compte les variations selon les besoins. Par conséquent, les chiffres sont souvent un peu plus élevés que les besoins minimums pour la santé.

I.1. Besoins en énergie et en nutriments

La dépense énergétique totale est la somme des dépenses énergétiques dues au métabolisme basal, à la thermorégulation, à la synthèse des molécules constitutives et à l'activité physique. Elle dépend de l'âge, du sexe, du poids corporel, de l'état de santé et de l'alimentation. La technique de l'eau doublement marquée, qui permet de mesurer avec une grande précision la dépense énergétique totale moyenne d'un groupe d'individus, a été utilisée dans toutes les études. Les besoins, publiés dans le document de WHO/UNICEF ont été déterminés à partir des travaux réalisés par Butte (1996) et Torun et al, (1996). Ces auteurs, sur la base d'études réalisées dans différents contextes, ont estimé les besoins énergétiques du nourrisson de moins d'un an (Butte, 1996) et du jeune enfant de 12 à 23 mois (Torun et al, 1996), à partir de la dépense énergétique totale et de l'énergie stockée dans les protéines et les lipides utilisées pour la croissance.

Plusieurs publications sur les besoins énergétiques du jeune enfant sont apparues après celle sur l'alimentation de complément du jeune enfant (WHO, 1998), notamment celles de Butte et al, (2000) et de Dewey et Brown, (2003) qui sont des conclusions d'une réunion d'experts sous l'égide de la FAO, l'OMS et l'Université des Nations Unies. Ces nouvelles recommandations sont basées sur une étude longitudinale de mesures de la dépense énergétique totale, de la masse et de la composition corporelles, obtenues sur 76 enfants américains à 3, 6, 9, 12, 18 et 24 mois (Butte et al, 2000). Le tableau 1 compare les besoins

énergétiques rapportés par l'OMS (WHO, 1998) et par Butte et al, (2000) en fonction des classes d'âge.

Tableau 1: Besoins énergétiques des enfants selon les groupes d'âges (6 à 24 mois)

Classe d'âge (mois)	WHO (1998)	Butte et al, (2000)	WHO (1998)	Butte et al, (2000)
	<i>Kcal/jour</i>		<i>Kcal/kg de poids corporel/jour</i>	
6-8	682	615	83	77,0
9-11	830	686	89	77,5
12-23	1092	894	86	81,3
	<i>MJ/jour</i>		<i>MJ/kg de poids corporel/jour</i>	
6-8	2,85	2,57	0,36	0,32
9-11	3,47	2,87	0,37	0,32
12-23	4,57	3,74	0,36	0,34

Les besoins énergétiques des enfants de 6 – 24 mois issus des nouvelles recommandations sont inférieurs à celles de l'OMS (1998) de 5 à 18% lorsqu'ils sont exprimés par jour et de 5 à 13% s'ils le sont par kg de poids corporel. Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que les estimations publiées par l'OMS (1998) ont été faites en tenant compte de données d'enfants sous-alimentés dont les besoins énergétiques ont été surestimés (Dewey et Brown, 2003). Cependant, bien que les principes fondamentaux d'estimation des besoins en énergie n'aient pas changé, les valeurs recommandées pour les ingérés énergétiques ont diminué chez le nourrisson et le jeune enfant et ont augmenté chez l'adolescent, en tenant compte des nouvelles estimations de la dépense énergétique totale (Butte, 2000).

Le tableau 2 présente les données les plus récentes concernant les apports recommandés pour quelques nutriments pour les enfants de 6 à 24 mois estimés par Dewey et al, (1996). Les besoins quotidiens en lipides ont été estimés entre 30 et 45% de l'énergie totale (WHO, 1998; Dewey et Brown, 2003).

Dans le tableau 2 sont également comparés les apports recommandés en quelques micronutriments, de grande importance pour le jeune enfant, issus d'estimations de la FAO/WHO (2002) plus récentes que celles de l'OMS et l'UNICEF (1998).

Tableau 2: Apports recommandés en quelques nutriments chez les enfants de 6 à 24 mois

	Apports recommandés en quelques nutriments					
	6-8 mois		9-11 mois		12-23 mois	
	Macronutriments					
Protéines (g/jour) ^(a)	9,1		9,6		10,9	
Protéines (g/kg de poids corporel/jour) ^(a)	1,09		1,02		1,00	
Lipides ^(b)	-		-		-	
	Micronutriments					
	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)
Vitamine A (µg ER/j)	350	400	350	400	400	400
Folates (µg /j)	32	80	32	80	50	160
Vitamine D (µg/j)	7	5	7	5	7	5
Fer (mg/j)	11	9,3	11	9,3	6	5,8
Zinc (mg/j)	2,8	4,1	2,8	4,1	2,8	4,1
Iode (µg /j)	21	90	21	90	12	90
Calcium (mg/j)	525	400	525	400	350	500

^(a)Dewey et al (1996)^(b)WHO (1998) ;

Dewey et Brown (2003) estiment les besoins quotidiens en lipides à 30 et 45% de l'énergie totale

Les protéines, constituants de base des tissus et donc indispensables à la croissance, ont d'innombrables propriétés fonctionnelles d'où leur implication dans toutes les réactions biologiques (enzymatiques et immunologiques). Les besoins en protéines exprimés en kg de poids corporel sont plus importants pendant les premiers mois de la vie.

Les lipides sont importants pour le jeune enfant en tant que sources d'acides gras essentiels ayant d'importantes fonctions métaboliques. Les acides gras essentiels sont les acides gras poly-insaturés à longues chaînes (oméga 3 et oméga 6) qui favoriseraient le développement des facultés cognitives du jeune enfant. Les acides gras mono-insaturés (oméga 9) quand à eux, joueraient un rôle préventif dans l'apparition des maladies cardio-vasculaires. Les lipides sont une source d'énergie concentrée, fournissant un apport énergétique élevé sous un faible volume d'aliment et favorisant l'absorption des vitamines liposolubles.

Les vitamines et les minéraux ne pouvant pas être synthétisés par l'organisme doivent être apportés à des doses appropriées par l'alimentation. Ils sont nécessaires pour la croissance et le bon fonctionnement de l'organisme. Des estimations plus récentes des apports recommandés en micronutriments ont été publiées par l'Institut de Médecine des Etats-Unis (Institut of Medicine, 1997; 1998; 2000; 2001) et par l'OMS et la FAO (FAO/WHO, 2002).

La carence en vitamine A, les troubles de la carence en iode et les anémies nutritionnelles – provenant principalement d'une carence en fer ou de pertes de fer – sont les problèmes

nutritionnels les plus courants et les plus importants rencontrés dans presque tous les pays d'Asie, d'Afrique, d'Amérique latine et du Proche-Orient. Au Burkina Faso, les carences en vitamine A, en Fer, en Zinc, ou en Iode, constituent des problèmes majeurs de santé publique. A titre d'exemple, plus de neuf enfants de 6-59 mois sur dix (92 %) sont atteints d'anémie : 19 % sous une forme légère, 60 % sous une forme modérée et 13 % sont atteints d'anémie sévère (Macro International Inc, 2005).

I.2. Consommation et apport en énergie et en nutriments du lait maternel

Les quantités moyennes de lait maternel ingérées par les enfants dans les pays en développement pendant les deux premières années de la vie sont présentées dans le tableau 3 (WHO, 1998). En général, les ingérés (quantités consommées et ingérés énergétiques) de lait maternel augmentent à partir de la naissance pour atteindre leur maximum entre 3 et 8 mois. Au-delà de 8 mois, les ingérés ont tendance à décroître. La densité énergétique du lait maternel est estimée à 67 kcal/100 g (WHO, 1998), les teneurs en protéines, lipides, vitamines A et D, fer, zinc calcium sont estimées respectivement à 10,5 g/l, 39 g/l, 500 µg ER/l, 0,55 µg/l, 0,30 mg/l, 1,2 mg/l et 280 g/l.

Tableau 3 : Quantités moyennes de lait maternel ingéré par les enfants dans les pays en développement pendant les deux premières années de leur vie

Classe d'âge (mois)	Nombre d'études (nombre d'enfants)	Quantité de lait maternel ingérée		Niveau de consommation*		
		<i>g/jour</i>	<i>kcal/jour</i>	<i>Bas</i>	<i>Moyen</i>	<i>Haut</i>
0-2	3 (172)	714 ± 131	437 ± 79	279	437	595
3-5	5 (259)	784 ± 128	474 ± 80	314	474	634
6-8	16 (603)	674 ± 151	413 ± 98	217	413	609
9-11	13 (342)	616 ± 172	379 ± 111	157	379	601
12-23	9 (377)	549 ± 187	346 ± 128	90	346	602

*Quantité moyenne ingérée ± 2 écarts-types

Source: WHO (1998)

I.3. L'âge d'introduction des aliments de complément

Jusqu'en 2001, l'âge de début d'introduction des aliments de complément était sujet à controverse. Alors que l'OMS préconisait d'introduire les aliments de complément dès 4 mois, l'UNICEF recommandait de différer cette introduction jusqu'à l'âge minimum de 6 mois (WHO, 1995 ; UNICEF, 1995). Pour élucider cela, un examen de la littérature sur la durée optimale de l'allaitement maternel exclusif a été initiée par l'OMS en 2001 (WHO, 2002) et a concerné 35 publications, dont 16 sur des nourrissons des PED et 19 sur des

nourrissons des pays développés. Cet examen n'a permis de montrer aucun avantage objectif de l'introduction des aliments de complément entre 4 et 6 mois. Il a donc été recommandé d'allaiter le nourrisson exclusivement au lait maternel pendant les 6 premiers mois de la vie. De la naissance à l'âge de 6 mois, le lait maternel, en raison de sa composition particulièrement bien adaptée est suffisant pour couvrir les besoins en énergie et en nutriments du nourrisson. Après 6 mois, le nourrisson entre dans une phase de croissance et d'activité physique (déplacements) et le lait maternel seul ne suffit plus à répondre aux besoins liés à cette croissance. Pour mieux comprendre l'ampleur des besoins nutritionnels à partir de 6 mois, prenons l'exemple d'un nourrisson des PED. Un enfant de cet âge consomme en moyenne 674 g de lait maternel par jour correspondant à un ingéré énergétique de 452 kcal/jour. Il y a donc un déficit de 163 kcal/jour lorsque la comparaison est faite avec les estimations de Butte et al (2000). Le même principe de calcul permet de constater que cet enfant aura un déficit de 2 g de protéines par jour. Lorsque ces déficits ne sont pas compensés, l'enfant évoluera progressivement vers la malnutrition. L'introduction d'un aliment de complément approprié doit permettre de compenser ces déficits nutritionnels.

I.4. Caractéristiques appropriées des aliments de complément

I.4.1. Apports énergétiques appropriés des aliments de complément dans les PED

A partir de l'âge de 6 mois, les besoins en énergie et en nutriments du nourrisson (en fonction de l'âge) peuvent être résumés de la manière suivante :

$$\begin{array}{l} \text{Besoins en} \\ \text{énergie ou en} \\ \text{nutriments} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Energie ou quantité de nutriments} \\ \text{à fournir par les aliments de complément} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Apport en énergie ou en} \\ \text{nutriments du lait} \\ \text{maternel} \end{array}$$

L'ingéré énergétique et nutritionnel du jeune enfant au cours d'une journée est la somme des apports en énergie et en nutriments fournis par les aliments de complément et par le lait maternel durant la journée. Sur cette base de calcul, il est possible d'estimer en tenant compte de la capacité gastrique, l'énergie que doivent apporter les aliments de complément et les densités énergétiques minimales, que doivent avoir les aliments de complément en fonction de l'âge des enfants, du niveau d'apport en lait maternel dont ils bénéficient et du nombre de repas par jour qu'ils reçoivent (WHO, 1998 ; Butte et al, 2000 ; Dewey et Brown, 2003). Les densités énergétiques minimales requises pour les aliments de complément en fonction des classes d'âge sont données dans le tableau 4. Ainsi, l'énergie devant être apportée

quotidiennement à partir des aliments de complément pour un enfant de 6 à 8 mois est estimée à 635 kcal/jour (WHO, 1998) et à 552 kcal/jour (Dewey et Brown, 2003) si l'on veut tenir compte de la variabilité des besoins individuels et de la possibilité qu'il ne bénéficie que de faibles apports du lait maternel. Si cet apport en provenance des aliments de complément n'est fourni que par deux repas par jour, il est nécessaire que ces aliments de complément aient, selon le niveau de besoin pris en considération, une densité énergétique de 128 kcal/100g (WHO, 1998) ou de 110 kcal/100 g (Dewey et Brown, 2003).

Tableau 4 : Densités énergétiques (en kcal/100g) minimales requises pour les aliments de complément (kcal/100g)

Classe d'âge (mois)	Besoins énergétiques (kcal/j)		Apport en énergie du lait maternel (kcal/j)		Energie devant être apportée par les aliments de complément (kcal/j)		Capacité gastrique (ml) ⁴	Densité énergétique minimale en fonction du nombre de repas par jour (kcal/100 g)						
	WHO (1998)		Butte et al, (2000)		WHO (1998)	Dewey et Brown (2003)		2 repas/jour		3 repas/jour		4 repas/jours		
	Moyen ¹	+2 ET ²	Moyen	+2 ET ²					1998 ⁵	2003 ⁶	1998	2003	1998	2003
6-8	682	852	615	769	Faible ³ : 217 Moyen : 413	269	202	249	128	111	85	74	64	56
9-11	830	1037	686	858	Faible ³ : 157 Moyen : 379	451	307	285	88	71	59	48	44	36
12-23	1092	1365	894	1118	Faible ³ : 90 Moyen : 346	746	548	345	155	123	103	82	77	61
									116	84	77	56	58	42
									185	149	123	99	92	74
									148	112	98	75	74	56

(1) D'après Butte (1996) et Torun et al, (1996)

(2) Soit +25% pour pouvoir couvrir les besoins de la presque totalité des enfants

(3) Moyenne moins 2 ET des ingérés énergétiques observés dans les pays en développement

(4) En supposant que la capacité gastrique des enfants est de 30 ml/kg de poids corporel

(5) WHO (1998)

(6) Dewey et Brown (2003)

I.4.2. Apports adéquats en nutriments des aliments de complément dans les PED

Le tableau 5 présente les densités en protéines et en quelques vitamines et minéraux nécessaires dans les aliments de complément en considérant les ingérés moyens à partir du lait maternel en fonction des classes d'âge. Les densités en protéines et en la plupart des micronutriments que nous avons utilisées pour nos calculs au moment de l'élaboration de nos différents protocoles correspondent à celles issues des nouvelles recommandations (FAO/WHO, 2002 ; Dewey et Brown 2003). Excepté pour le calcium, elles sont relativement plus élevées par rapport aux précédentes recommandations de l'OMS (WHO, 1998).

Tableau 5 : Densités en protéines et en quelques micronutriments nécessaires dans les aliments de complément

Nutriments (/100 kcal)	Densités en protéines et en quelques vitamines et minéraux requises pour les aliments de complément					
	6-8 mois		9-11 mois		12-23 mois	
	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)
Protéines (g)	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7	0,9
Vitamine A (µg ER)	5	31	9	30	17	23
Folates (µg)	0	11	0	9	0	21
Vitamine C (mg)	0	1,5	0	1,7	1,1	1,5
Fer (mg)	4,0	4,5	2,4	3	0,8	1,0
Zinc (mg)	0,8	1,6	0,5	1,1	0,3	0,6
Calcium (mg)	125	105	78	74	26	63

Source: Dewey et Brown, (2003)

I.4.3. Biodisponibilité des nutriments

La valeur nutritionnelle des aliments de complément dépend aussi de la biodisponibilité des nutriments qu'ils contiennent, c'est à dire de leur aptitude à être réellement libérés au cours des processus digestifs, puis absorbés et utilisés efficacement au niveau métabolique (Besançon, 1999; Trèche, 2002). Elle dépend de l'environnement physico-chimique des molécules, des procédés technologiques subis, de l'absence de facteurs antinutritionnels (phytates, polyphénols, alpha-galactosides, etc.) et de l'équilibre du régime (Besançon, 1999).

I.4.4. Aspects sanitaires des aliments de complément

Les nourrissons et les jeunes enfants sont très sensibles aux maladies d'origine alimentaire et, s'ils consomment des aliments contaminés (contaminant biologique ou chimique), ils sont susceptibles de contracter des toxi-infections pouvant entraîner leur décès (Motarjemi et al, 1993 ; 1999). Les aliments de complément doivent donc être salubres, c'est à dire, exempts de

microorganisme pathogènes et de leurs toxines virulentes, de produits chimiques toxiques naturels ou néoformés au cours des traitements susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé du nourrisson et du jeune enfant (Besançon, 1999; WHO, 1998; Brown et Lutter, 2000; Dewey, 2000, FAO/WHO, 2002; Trèche, 2002; Dewey et Brown, 2003; Lutter, 2003).

I.4.5. Autres aspects des aliments de complément

Les aliments de complément doivent également répondre à trois principales exigences : (i) d'acceptabilité physiologique (intolérances ou allergies), organoleptique (saveur, arômes, couleur et texture, etc.) et culturelle (préparés à partir de matières premières locales, etc.) ; (ii) d'accessibilité physique et économique, c'est à dire être disponible en permanence dans de nombreux points de vente et à un prix modéré de manière à pouvoir être effectivement consommés par le plus grand nombre d'enfants ; (iii) d'utilisation pratique c'est-à-dire être faciles à préparer et/ou à conserver par les mères.

II. L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT AU BURKINA FASO

II.1. Les pratiques alimentaires des nourrissons et des jeunes enfants

Par pratiques alimentaires, on entend non seulement la qualité et la quantité des aliments proposés aux jeunes enfants, mais aussi les étapes de leur introduction. Les mauvaises conditions sanitaires augmentent, chez les jeunes enfants, le risque de contracter des maladies, en particulier les maladies diarrhéiques, qui affectent, à leur tour, l'état nutritionnel de l'enfant. Une alimentation et un environnement sanitaire inadéquats sont le reflet des conditions socio-économiques.

Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne enquêtés, la proportion de mères d'enfants de moins de quatre mois suivant les recommandations d'allaitement exclusif au sein est faible. Selon une synthèse réalisée par Macro International Inc. (2005), seulement 22% des mères burkinabè allaitent exclusivement leurs enfants de moins de quatre mois. Cette proportion est l'une des plus faibles des pays d'Afrique subsaharienne enquêtés. Au Burkina Faso, moins de 1% des mères des enfants de moins de quatre mois nourrissent leurs enfants au biberon. Ce taux est le plus faible parmi les autres pays enquêtés. L'utilisation du biberon n'est pas recommandée parce qu'une mauvaise stérilisation et une préparation imparfaite du lait maternisé peuvent transmettre des agents pathogènes à l'enfant, l'exposant ainsi à un risque plus élevé de maladie et de malnutrition.

L'OMS et l'UNICEF recommandent que tous les enfants soient exclusivement allaités au sein de la naissance à l'âge de six mois. Au Burkina Faso, l'introduction d'aliments liquides, comme l'eau, l'eau sucrée, les jus de fruit et le lait maternisé et l'introduction d'aliments solides s'effectuent souvent avant l'âge recommandé de six mois. Cette pratique a un effet négatif sur l'état nutritionnel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les aliments liquides et solides offerts sont d'un contenu nutritionnel inférieur au lait maternel. Deuxièmement, leur consommation diminue celle de lait maternel par l'enfant, ce qui a pour conséquence de réduire la lactation de la mère (la production du lait maternel est déterminée en partie par la fréquence et l'intensité des tétées). Troisièmement, le fait de nourrir les bébés d'aliments liquides et solides augmente leur exposition aux agents pathogènes, accroissant ainsi le risque de diarrhée. Cinquante-quatre pour cent (54%) des enfants de moins de six mois reçoivent une combinaison de lait maternel et d'eau. En outre, 19% d'enfants de moins de six mois reçoivent des liquides autres que l'eau et moins de 6 % reçoivent des aliments solides autre que le lait maternel et/ou eau.

Les premiers aliments de complément donnés aux enfants africains sont des bouillies à base de céréales (Dop et Benbouzid, 1999). Dans la plupart des cas, les bouillies sont à base d'une seule céréale (maïs, mil, ou sorgho). 38% des enfants burkinabè de 6-9 mois reçoivent des aliments solides en plus du lait maternel. Soixante-deux pour cent (62%) des enfants de 6-9 mois ne reçoivent pas d'aliments solides en plus du lait maternel, les rendant vulnérables à la malnutrition (Macro International Inc. 2005).

Pour les bébés plus âgés et les petits enfants, le lait maternel continue d'être une source importante d'énergie, de protéines et de micronutriments. Des études ont montré que, parmi certaines populations, le lait maternel constitue la source la plus importante de vitamine A et de corps gras chez les enfants de plus de 12 mois. L'allaitement d'enfants plus âgés réduit aussi leur risque d'infection, en particulier de diarrhée. De plus, l'allaitement au sein jusqu'à 24 mois peut aider à réduire la fécondité de la femme, en particulier dans les régions où la contraception est limitée et permet ainsi de favoriser l'espacement des naissances. Au Burkina Faso, 93% des enfants de 10-23 mois sont encore allaités au sein. Ce taux est le plus élevé des pays d'Afrique subsaharienne enquêtés (Macro International Inc. 2005).

Les pratiques alimentaires inadéquates auraient pour conséquence une aggravation des problèmes de dénutrition chez les enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso entre 1993, 1998-99 et 2003 (Macro International Inc. 2005). En effet, les résultats suggèrent que le niveau de malnutrition aiguë a augmenté au Burkina Faso depuis l'enquête de 1993 et 1998-

99. De 1993 à 1998-99, le retard de croissance et l'insuffisance pondérale ont augmenté, respectivement, de 7 et 4 points de pourcentage. De 1998-99 à 2003, la prévalence de retard de croissance a augmenté de 2 points, l'insuffisance pondérale a augmenté de 4 points et l'émaciation de 6 points. Toutes les augmentations des prévalences de malnutrition sont statistiquement significatives sauf pour celle de l'émaciation entre 1993 et 1998-99 (Macro International Inc. 2005).

II.2. Caractéristiques générales des bouillies

En milieu rural, la bouillie simple de céréales locales est la plus répandue et on trouve une faible proportion de bouillies de céréales enrichies par des légumineuses locales (pâte et tourteau d'arachide, *soumbala*), du lait ou de la poudre de poisson séché (Noukpoape, 1997; Somda, 1999). Les bouillies traditionnelles ont des teneurs en protéines (7,0-8,9 g/100 g MS), lipides (1,5-3,2 g/100 g MS) et matière sèche (11,3) ainsi qu'une densité énergétique (36-54 kcal/100 g) très faibles. Leur consistance, caractérisée par une distance d'écoulement Bostwick, d'environ 93 mm/30 s, est très fluide.

En milieu urbain, en plus des farines utilisées en milieu rural, on trouve des bouillies fermentées, des farines infantiles locales (*Misola, Kasona, Den Mugu, Vitaline*, etc.) et des farines infantiles importées (*Cérélac, Blédine, Phosphatine, Milupa*, etc.) (Somda, 1999; Trèche et Mbomé, 1999; Trèche, 2002; Hervé et Mouquet-Rivier, 2004). Concernant les farines infantiles locales, les teneurs en protéines (12,7-16,2 g/100 g MS) et lipides (9,5-15 g/100 g MS) sont relativement très élevées tandis que les teneurs en calcium (96-128 mg/100 g MS) et fer (5,2-6,7 mg/100 g MS) sont relativement très faibles. Par ailleurs, leur densité énergétique (40-80 kcal/100 g), après transformation sous forme de bouillies, est relativement faible. Enfin, le prix de ces farines locales et importées reste encore très élevé pour la plupart des burkinabè, notamment ceux vivant en milieu rural.

II.3. Les apports en énergie et en nutriments des bouillies

Très peu d'études ont été réalisées au Burkina Faso pour estimer les apports en énergie et en nutriments des bouillies. Les quantités moyennes de bouillies (bouillies fermentées ou préparées à partir de farines infantiles produites localement à Ouagadougou) consommées par les enfants de 6 à 23 mois varient entre 6,2 et 13,7 g/kg de poids corporel/repas (Trèche, 2002; Tahirou et al, 2005). En milieu rural, les quantités de bouillies traditionnelles consommées par les enfants de 6 à 23 mois sont estimées à 13 g/kg de poids corporel/repas

(Noukpoape, 1997). On observe à partir de ces travaux que les quantités de bouillie consommées par les jeunes enfants burkinabè sont très faibles et très inférieures à la capacité gastrique théorique des nourrissons estimée à 30 g/kg/repas. Dans le contexte de l'étude réalisée en milieu rural par Noukpoape (1997), où les enfants consommaient en moyenne 2 bouillies par jour, la moyenne des ingérés énergétiques à partir des 2 repas de bouillie était de 44 kcal, ce qui est très inférieur aux estimations de l'énergie devant être apportée par les aliments de complément. Il aurait fallu que l'enfant consomme environ 250 à 300 g de bouillie en une prise, ce qui est quasi impossible au regard de la faible capacité gastrique du nourrisson.

II.4. Améliorations à apporter aux aliments de complément consommés sous forme de bouillies

Les aliments donnés aux nourrissons et aux jeunes enfants en complément au lait maternel, quel que soit le milieu de vie, ne présentent pas les caractéristiques requises pour être utilisés comme aliments de complément. Ces aliments de complément consommés sous forme de bouillie par les nourrissons et les jeunes enfants doivent donc être améliorés à plusieurs niveaux: la qualité hygiénique (qui dépend de la qualité des matières premières et des pratiques d'hygiène au cours de la fabrication et la conservation), l'équilibre en nutriments, la densité en énergie et en nutriments, la biodisponibilité des nutriments et les caractéristiques organoleptiques.

III. LES PROCÉDES PERMETTANT DE PRÉPARER DES BOUILLIES AYANT DES CARACTÉRISTIQUES APPROPRIÉES

III.1. Formulation de farines infantiles équilibrées en nutriments à moindre coût

Elle nécessite d'abord l'identification des aliments pouvant être des sources potentielles de protéines (arachide, soja, haricot, pois de terre, etc.), de lipides (arachide, sésame, soja, etc.) et de minéraux et vitamines (complément minéral et vitaminique, fruits, etc.) disponibles et économiquement accessibles dans le contexte dans lequel on souhaite intervenir. Enfin, les formules de farines infantiles peuvent être calculées en utilisant le logiciel *Alicom* mis au point par les nutritionnistes de l'IRD. Ce logiciel permet d'élaborer, à partir d'une liste de produits alimentaires bruts ou semi transformés disponibles dans un contexte donné, des formules répondant à des objectifs nutritionnels préalablement définis. Les objectifs nutritionnels retenus sont les teneurs maximales ou minimales en nutriments exprimées sur la

base des apports énergétiques correspondant à de récentes recommandations. Les produits alimentaires sont caractérisés par leur composition en nutriments (déterminée par analyses chimiques ou à partir de tables de composition alimentaire) et leur prix. Pour chaque liste d'aliments disponibles, le logiciel permet de calculer la combinaison d'aliments la plus économique répondant à l'ensemble des objectifs nutritionnels fixés.

III.2. Procédés utilisables pour augmenter la densité énergétique des bouillies

D'une manière générale, les bouillies traditionnellement données aux enfants sont à base de céréales, donc riches en amidon. L'amidon est constitué de deux polymères de glucose, l'amylose et l'amylopectine, en proportions variables selon l'espèce botanique. Ils constituent l'essentiel de la partie glucidique des céréales: (98-99%), et sont constitués de plusieurs milliers de molécules de glucose (Levine et Slade, 1992). La différence entre les deux réside au niveau de leur structure. Tandis que l'amylose possède une structure linéaire, celle de l'amylopectine est ramifiée. Dans l'amidon natif, les chaînes d'amylose et d'amylopectine sont arrangées en granules insolubles, peu sensibles aux attaques enzymatiques. Pendant le chauffage en milieu aqueux, l'amidon s'hydrate progressivement, entre 52 et 75°C, les granules perdent leur intégrité ce qui correspond à la gélatinisation et gonflent ce qui augmente la viscosité. La capacité de gonflement, variable selon la matière première utilisée, dépend du nombre de molécules d'eau susceptibles d'être retenues entre les doubles hélices de l'amylopectine et entre les chaînes de l'amylose. Si le traitement thermique est poursuivi jusqu'à 100°C, une diminution de viscosité due à la disparition totale de la structure granulaire et à la solubilisation de l'amylose et l'amylopectine intervient, mais la gélification due au refroidissement entraîne à nouveau son augmentation. Pour que la bouillie puisse être consommée par le jeune enfant, il faut que sa consistance soit semi-solide, or le gonflement entraîne un épaissement très important ce qui contraint à diluer les bouillies (mettre peu de farine et beaucoup d'eau), d'où leur faible teneur en matière sèche et une faible densité en énergie. Il existe plusieurs méthodes pour augmenter la densité énergétique des bouillies tout en maintenant la consistance à un niveau acceptable pour le jeune enfant.

III.2.1. Apport d'huile ou de sucre

L'addition de sucre ou d'huile à la bouillie ne modifie pas sensiblement sa viscosité mais augmente sa densité énergétique. Cependant, cet apport exogène d'énergie équivaut à des "calories vides" car il est non accompagné de protéines et de micronutriments, sauf des

vitamines liposolubles et des acides gras essentiels dans le cas de l'ajout d'huile (WHO, 1998). Il devient donc difficile par ce procédé d'équilibrer les apports en micronutriments.

III.2.2. Techniques basées sur une hydrolyse partielle de l'amidon

Hydrolyse thermomécanique

La cuisson-extrusion est une technique faisant appel à des équipements relativement sophistiqués, utilisée pour la fabrication de farines infantiles de type industriel. Elle permet à la fois de gélatiniser et de dextriniser partiellement l'amidon. La capacité d'absorption d'eau est réduite par l'éclatement des grains d'amidon et leur dépolymérisation (Colonna et Buléon, 1994). La cuisson-extrusion tout en permettant de réduire considérablement certaines activités antinutritionnelles (Abd El-Hady et al, 2003; Mouquet et al, 2003) et d'améliorer la solubilité et la digestibilité des protéines (Ainsworth et al, 1999; Milan-Carrillo et al, 2002) peut aussi être à l'origine de pertes en vitamines et en lysine disponible (Mercier, 1993; De Cindio et al, 2002).

Hydrolyse enzymatique

L'hydrolyse enzymatique des amidons est l'un des procédés les plus intéressants à utiliser pour obtenir des bouillies de densité énergétique suffisante et de viscosité acceptable pour le nourrisson et le jeune enfant car il peut être mis en œuvre, quelle que soit l'échelle de production (WHO, 1998).

Les α -amylases sont des endoenzymes capables de rompre au hasard les liaisons glycosidiques $\alpha(1-4)$ des constituants de l'amidon gélatinisé. Leurs actions s'arrêtent au voisinage des liaisons inter chaînes $\alpha(1-6)$. Elles libèrent des fragments allant d'une unité glucose à plusieurs dizaines qui correspondent alors à des α -dextrines (Potus et Drapron, 1997). Cette dépolymérisation de l'amidon réduit sa capacité de gonflement dans l'eau à l'origine de l'épaississement des bouillies à forte concentration en farine. Grâce à cette technique, on peut préparer des bouillies de concentration en matière sèche élevée tout en gardant une consistance correspondant aux habitudes alimentaires.

Différentes sources d'amylases sont disponibles. Nous pouvons citer entre autres:

- les α -amylases animales: décoction de pancréas, salive humaine, lait maternel, etc.;
- les α -amylases végétales qui sont naturellement présentes dans certains végétaux comme *Boschia senegalensis* (Dicko et al, 1999) ou apparaissant au moment de la germination des graines (orge, sorgho, mil, etc.) ou des tubercules.

- Les α -amylases bactériennes produites industriellement ou provenant du développement de bactéries lactiques amylolytiques sur le substrat lui-même.

Utilisation de farine de graines maltées

La germination des matières premières amyloacées est un procédé de transformation traditionnellement utilisé dans de nombreux pays et a fait l'objet de recherches concernant leur potentiel amylolytique (Desikachar, 1980; Malleshi et Desikachar, 1988; Svanberg, 1988; Gopaldas et al, 1988; Malleshi et Amla, 1989). Selon Trèche (1999), la préparation de bouillies de haute densité énergétique en utilisant de la farine de céréales germées est en principe possible dans chaque famille, car elle ne nécessite que des ingrédients généralement disponibles au niveau des ménages. Elle a des avantages certains sur le plan nutritionnel et organoleptique. Toutefois, la préparation traditionnelle de farine de céréales germées est relativement longue et rencontre des problèmes de standardisation et d'acceptabilité culturelle. Au Burkina Faso, la technique de germination du sorgho est généralement réservée à la préparation du *dolo*, une bière traditionnelle de céréale (Traoré et al, 2004).

Utilisation d'amylases d'origine bactérienne

L'utilisation des α -amylases bactériennes thermostables produites industriellement pour réduire la viscosité des bouillies a été étudiée par plusieurs auteurs comme Lee et Kim (1990) et Trèche (1999). Les enzymes du type BAN 800 MG (Novo SA, Bagsvaerd, Danemark) ont l'avantage d'être bon marché, d'emploi commode et de qualité amylolytique constante. En effet, la BAN a une température optimale d'activité de 72°C, ce qui la rend particulièrement efficace dans une zone de température où les grains d'amidon ont dépassé leur température de gélatinisation et sont donc particulièrement sensibles aux amylases (Trèche, 1999). Toutefois, l'incorporation d'enzymes dans les farines infantiles nécessite l'élaboration d'un pré-mélange et une grande rigueur dans la méthode de pesée et d'incorporation à la farine. Son utilisation semble donc devoir être réservée à des ateliers de farines infantiles ayant un minimum d'équipements techniques. Dans la mesure où les quantités d'amylases à introduire dans les farines infantiles sont très faibles, le coût additionnel reste donc bas. Mais l'approvisionnement en ces amylases généralement importées spécifiquement constitue souvent un obstacle à leur utilisation.

Les céréales, racines et tubercules sont aussi fréquemment transformés en pâtes fermentées en utilisant la fermentation qui peut être définie comme un procédé de modification biochimique désirable des produits alimentaires engendré par les micro-organismes et leurs enzymes (WHO, 1996). C'est une technique connue des sociétés traditionnelles et on rencontre

plusieurs types d'aliments fermentés un peu partout en Afrique. Des bactéries lactiques potentiellement amylolytiques (BLA) ont été isolées de produits fermentés à base de céréales et manioc (Morlon-Guyot et al, 1989 ; Johansson et al, 1995 ; Olympia et al, 1995 ; Sanni et al, 2002). Ces BLA ont été utilisées dans plusieurs types de fermentation pour leur pouvoir à hydrolyser partiellement l'amidon natif (Rodriguez-Sanoja et al, 2000). Toutefois, l'hydrolyse de l'amidon par ces BLA est faible au cours d'une fermentation spontanée et n'est pas à elle seule suffisante pour permettre une augmentation satisfaisante de la densité énergétique des bouillies. La fermentation nécessite donc d'être combinée à d'autres procédés (Guyot et al, 2003; Nguyen et al, 2007 ; Tou et al, 2003 ; 2006; 2007) dans la fabrication des bouillies fermentées pour espérer atteindre des niveaux de densité énergétique appropriés en vue d'une bonne alimentation du jeune enfant.

III.3. Procédés utilisables pour améliorer la biodisponibilité des minéraux

Les modalités d'absorption des nutriments, et donc leur biodisponibilité, vont dépendre de leur forme physico-chimique au cours du transit intestinal. La complexation des nutriments avec certaines molécules est susceptible de diminuer leur absorption. Les facteurs antinutritionnels (inhibiteurs d'enzymes, lectines, polyphénols, phytates, etc.), qui sont des composés indésirables par leurs effets, sont présents dans les végétaux où ils sont associés aux fibres (Frolich, 1995). Une amélioration de la biodisponibilité des nutriments des aliments de complément passe donc nécessairement par l'élimination ou la réduction des teneurs en facteurs antinutritionnels qu'ils contiennent. Plusieurs procédés peuvent être utilisés pour éliminer ou réduire les facteurs antinutritionnels.

III.3.1. Effet des traitements thermiques sur les facteurs antinutritionnels

Les traitements thermiques sont probablement les traitements les plus utilisés aussi bien au niveau domestique qu'artisanal ou industriel (Besançon, 1999).

Les inhibiteurs de protéases qui agissent sur les enzymes protéolytiques pancréatiques au cours de la digestion, notamment la trypsine et/ou la chymotrypsine, peuvent être inactivés par l'autoclavage ou la torréfaction (Besançon, 1999). La cuisson-extrusion permet de réduire la teneur en facteurs antitrypsiques des graines de légumineuses (Abd El-Hady et al, 2003; Mouquet et al, 2003). L'élimination des effets des lectines passe également par une dénaturation thermique dans des conditions similaires à celles des inhibiteurs de protéases

(Besançon, 1999). Toutefois, les traitements thermiques ont très peu d'effets sur les teneurs en phytates (Marfo et al, 1990; Agte et al, 1999; Alonso et al, 1998; Elsheikh et al, 1999).

III.3.2. Voies enzymatiques d'élimination des phytates

L'acide phytique est la principale forme de stockage du phosphore chez les plantes. Les phytates sont des complexes d'acide phytique avec des cations divalents et renferment en moyenne les 2/3 du phosphore total des grains de céréales (Bagheri et al, 1982). Les phytates sont très ubiquitaires dans les grains et graines et leurs teneurs varient de 0,5 à 1,9% dans les céréales brutes et entre 0,4 et 2,1% dans les légumineuses (Reddy et al, 1982). Par leur capacité de chélation, les phytates sont considérés comme un facteur d'indisponibilisation de cations (fer, calcium, zinc, cuivre, manganèse, etc.). Les phytates interagissent également avec les protéines en formant des liaisons stables et, à ce titre, ils sont considérés comme de potentiels inhibiteurs d'enzymes comme les amylases et les protéases (Besançon, 1999). Les techniques possibles pour éliminer les phytates sont essentiellement enzymatiques et font intervenir des phytases endogènes (végétales) ou exogènes (microbiennes) (Besançon, 1999).

III.3.2.1. Elimination des phytates par action des phytases endogènes

Il s'agit de faire agir l'activité phytasique de la graine elle-même soit lors d'un trempage, soit lors de la germination. L'efficacité du trempage à réduire considérablement les teneurs en phytates n'est pas clairement démontrée (Lestienne et al, 2005). En effet, selon certains auteurs (Mahgoub et Elhag, 1998), un trempage de 12 à 24 heures peut entraîner une réduction des teneurs en phytates de respectivement 11 à 18% des grains de sorgho. Selon d'autres, un trempage de 24 heures ne réduit que de 4% la teneur en phytates du sorgho. En revanche, au cours de la germination, les phytates vont être fortement hydrolysés par les phytases de la graine pour libérer du phosphate et de l'inositol. L'efficacité de la germination à réduire fortement les teneurs en phytates a été démontrée par plusieurs auteurs (Tabekhia et Luh, 1980; Mahgoub et Elhag, 1998; Honke et al, 1998).

III.3.2.2. Elimination des phytates par action des phytases exogènes

La deuxième voie d'élimination des phytates a recours à des phytases exogènes. Il peut s'agir d'un procédé fermentaire, notamment les fermentations lactiques, au cours duquel se développent des microorganismes producteurs de phytases (Besançon, 1999). La fermentation fournit les conditions optimales pour l'action des phytases en abaissant le pH des produits qui passe de 6,8 à 4,0-3,8 (Svanberg et al, 1993). L'efficacité de la fermentation à réduire de

manière importante les teneurs en phytates a été rapportée par plusieurs auteurs (Marfo et al, 1990; Svanberg et al, 1993; Mahgoub et Elhag, 1997; Guyot et al, 2003 ; Tou et al, 2006).

Il peut également s'agir d'apporter dans le milieu des phytases industrielles, synthétisées par des microorganismes (*Aspergillus niger*, *Aspergillus ficuum*) ou extraites de végétaux (blé). Une étude a montré que l'ajout de phytases d'*Aspergillus niger*, lors de la fabrication de pain, augmente considérablement l'hydrolyse des phytates (Türk et al, 1992). L'hydrolyse des phytates est plus efficace si l'enzyme est ajoutée après la cuisson (Sandberg et al, 1991).

IV. LES STRATEGIES D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT

Il existe deux grandes voies d'amélioration de l'état nutritionnel des jeunes enfants: la supplémentation et les voies alimentaires. La supplémentation, généralement utilisée pour répondre aux problèmes de déficits en micronutriments (Fer, Zinc, Iode et vitamine A), est une stratégie efficace car les micronutriments utilisés sont très absorbables et biodisponibles. Cependant, pour les pays en développement, cette stratégie crée une certaine dépendance vis-à-vis des capsules de micronutriments et ne permet pas de répondre de façon durable aux problèmes de carences en micronutriments. C'est pourquoi, parallèlement à la supplémentation, il convient de mettre en place la seconde stratégie dite des voies alimentaires qui consistent en la fortification et la diversification alimentaire. La stratégie des voies alimentaires a le mérite de répondre de façon durable aux problèmes de malnutrition, mais sa mise en œuvre demande du temps, l'implication de plusieurs acteurs et les résultats qui en découlent sont souvent difficiles à évaluer. Les voies alimentaires peuvent également être utilisées pour traiter les carences en micronutriments par :

- l'augmentation de la production et de la disponibilité d'aliments riches en ces micronutriments;
- la possibilité de rendre la vitamine A et le fer facilement absorbables par l'organisme;
- la promotion de la culture de nouvelles variétés de plantes qui contiennent de grandes quantités de micronutriments davantage biodisponibles;
- la fortification par des micronutriments des aliments localement consommés;
- des programmes d'éducation nutritionnelle pour changer le comportement alimentaire en vue d'augmenter la consommation de ces aliments.

Une stratégie unique ne peut pas permettre d'enrayer toutes les formes de malnutrition. Les démarches globales utilisant des stratégies multiples sont toujours recommandées quand on cherche à prévenir, réduire et éliminer les problèmes nutritionnels.

Deux stratégies sont communément utilisées pour améliorer l'alimentation de complément des jeunes enfants; lesquelles stratégies sont incluses dans les voies alimentaires. Ces stratégies sont d'une part la fabrication et la promotion d'aliments de complément par des unités industrielles ou de petites unités locales et d'autre part le transfert au niveau des ménages de technologies simples permettant de préparer des aliments de bonne valeur nutritionnelle (WHO, 1998; Brown et Lutter, 2000; Huffman, 2000; Dewey, 2000; Trèche, 2002; WHO/UNICEF, 2002; Lutter, 2003; Dewey et Brown, 2003). Trèche (2002) a proposé une stratégie alternative aux deux précédentes dans des contextes où des produits traditionnels fabriqués dans les ménages sont fréquemment utilisés comme aliments de complément. Pour donner des chances de succès à toutes ces stratégies, elles doivent être accompagnées de campagnes d'éducation nutritionnelle (communication pour un changement de comportement) visant à promouvoir l'allaitement maternel exclusif dès la naissance et jusqu'à 6 mois, à encourager l'adoption d'un calendrier approprié d'utilisation des aliments de complément, à faire connaître et encourager l'adoption de règles d'hygiène concernant l'alimentation du jeune enfant et à faire la promotion des bouillies ayant des caractéristiques nutritionnelles (densité énergétique et en nutriments) et bactériologiques conformes aux recommandations tout en respectant les habitudes alimentaires des populations.

IV.1. Production d'aliments de complément dans des industries ou dans de petites entreprises locales

La fabrication d'aliments de complément à moindre coût dans des industries ou dans de petites entreprises locales de production se présente comme la stratégie la plus utilisée pour améliorer l'alimentation de complément des jeunes enfants. Les aliments de complément sont généralement des mélanges de plusieurs ingrédients dans des proportions appropriées pour assurer l'équilibre en énergie et en macro- et micronutriments (WHO, 1998; Brown et Lutter, 2000; Lutter, 2003). Ces produits sont des farines instantanées ou des farines à cuire qui peuvent être fortifiées par des compléments minéraux et vitaminiques (CMV). Ils ont l'avantage d'être vendus à des coûts moindres par rapport aux farines importées et distribués à travers les institutions publiques (centre de santé, etc.) et dans le cadre de programmes d'urgence. Cependant, en raison de la difficulté d'accès du milieu rural, ces produits élaborés

sont principalement utilisés par les familles urbaines. Il y a de nombreux exemples où de grandes productions à l'échelle nationale ont échoué à cause des difficultés d'approvisionnement ou de distribution, et la mise en œuvre de petites unités de production au niveau local serait une des solutions à condition de bien former les responsables dans la maîtrise de la production et dans la gestion des entreprises (Trèche, 2002).

Plusieurs études, réalisées dans différents contextes, ont mis en évidence l'efficacité de ces produits élaborés, avec incorporation ou non de compléments minéraux et vitaminiques, à promouvoir la croissance (gains de poids et de taille, statuts en fer et en vitamine A) chez les jeunes enfants (Lutter, 1990; Walker et al, 1991, Martorell, 1995; Simondon et al, 1996; Lartey et al, 1999).

IV.2. Transfert au niveau des ménages de technologies simples permettant de préparer des aliments de complément de bonne valeur nutritionnelle

La deuxième stratégie est une approche qui consiste à diffuser l'information claire et détaillée sur les recettes spécifiques pour les aliments complémentaires. Cette stratégie se doit de fournir aux personnes prenant soin de l'enfant, des informations précises concernant les quantités de chaque ingrédient qui doivent être incorporées dans les aliments de complément, les techniques de préparation appropriées et les bonnes pratiques pour améliorer l'alimentation du jeune enfant. Toutefois, cette approche demande plus de temps de préparation aux mères, ce qui peut constituer une forte contrainte en milieu rural où les tâches ménagères sont déjà très lourdes. Elle pourrait limiter le choix des modes d'alimentation des mères, ce qui pourrait entraîner une monotonie des repas ou une rupture de préparation des recettes lorsqu'un ingrédient particulier n'est pas disponible. De plus, à cause de leur complexité, ces messages sont généralement plus difficiles à communiquer et exigent une plus grande confiance dans les canaux de communication directe interpersonnelle et dans les démonstrations culinaires que les messages plus simples qui peuvent être transmis par les médias de masse. Plusieurs études ont également montré dans différents contextes l'efficacité de cette stratégie à améliorer les pratiques alimentaires et la croissance du jeune enfant (Brown, 1992; Moursi et al, 2003).

IV.3. Stratégies alternatives

En plus des deux stratégies d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant généralement mises en œuvre, deux autres stratégies alternatives ont été proposées par Trèche (2002).

La première stratégie alternative concerne les régions où des produits traditionnels fabriqués dans de petites unités de production sont fréquemment utilisés comme aliments de complément, comme c'est le cas des produits fermentés fabriqués dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne, notamment au Burkina Faso où sont produites des bouillies fermentées de types *ben-saalga* et *ben-kida*.

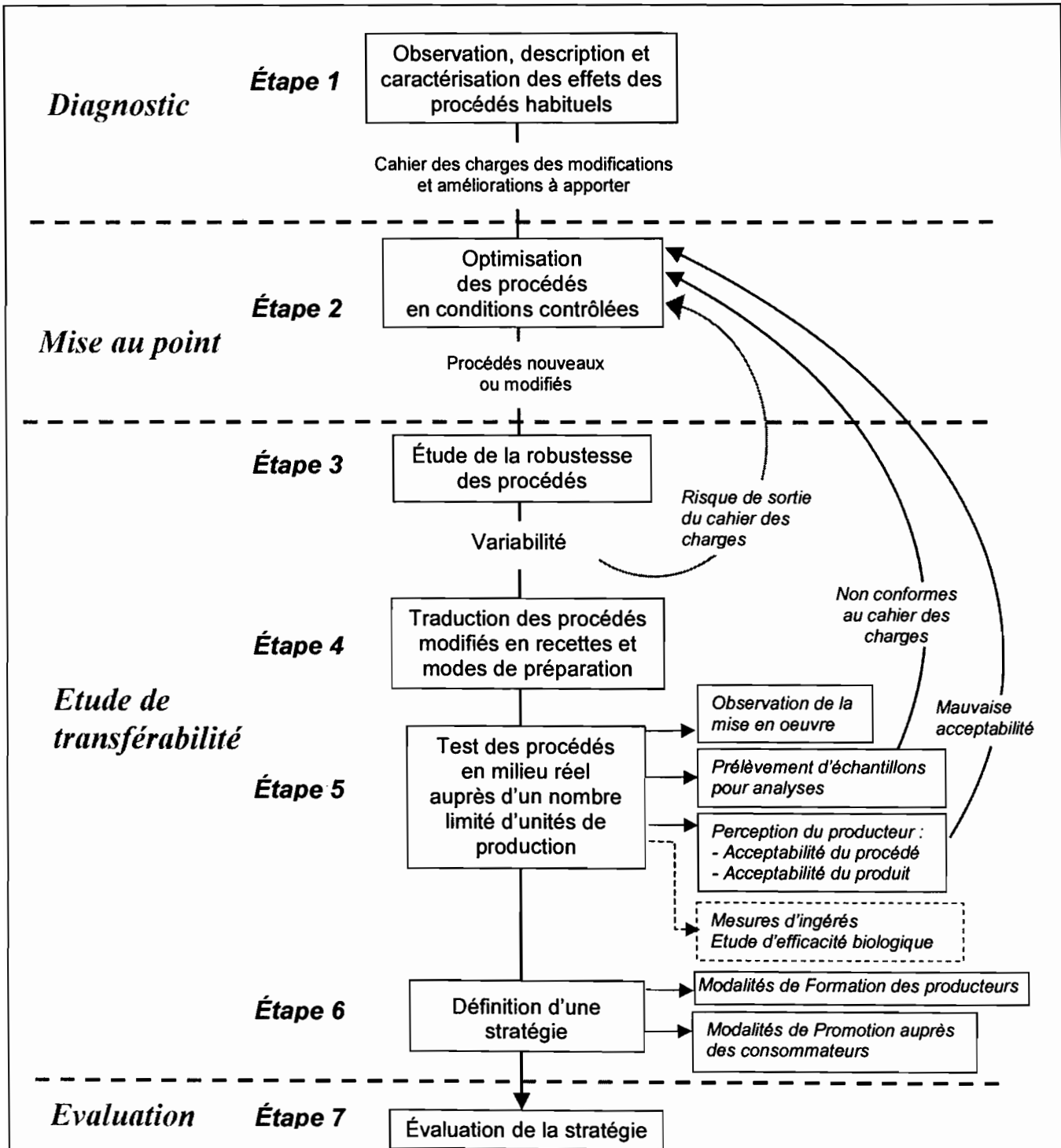


Figure 1 : Schéma conceptuel de la démarche de mise au point et de transfert de procédés technologiques pour la production d'aliments de qualité maîtrisée au niveau de petites unités artisanales ou des ménages (Mouquet et al, 2005)

L'amélioration des procédés traditionnels suivie d'un transfert des procédés améliorés aux producteurs pourrait être une stratégie intéressante dans la mesure où le nombre de personnes à former est considérablement plus faible que dans le cas de transfert de technologie au niveau des ménages. Cette stratégie appliquée aux bouillies fermentées de types *ben-saalga* et *ben-kida* a été proposée par Mouquet et al, (2005) (figure 1). La principale difficulté étant d'arriver à convaincre les personnes prenant soin des enfants des avantages des produits améliorés. Ils peuvent être vendus ou distribués dans les régions urbaines et rurales.

La deuxième stratégie alternative est la production et la promotion de compléments alimentaires conçus pour être ajoutés aux bouillies à base de céréales préparées dans les ménages. Ces compléments alimentaires doivent contenir les sources de vitamines et de minéraux, des sources d'amylases et d'éventuelles sources de protéines, de lipides et d'arômes. Leur principal avantage est d'être considérablement meilleur marché que les farines infantiles tout en favorisant la préparation d'aliments de complément de valeur nutritionnelle et de caractéristiques organoleptiques similaires.

V. LES FERMENTATIONS TRADITIONNELLES DES CEREALES

La fermentation est un processus biochimique et microbiologique qui se produit spontanément dans différents types d'environnements naturels ou anthropisés. Elle peut aboutir à la production de composés chimiques aussi divers que le méthane, le dioxyde de carbone, l'éthanol, le butanol, des acides gras volatils, divers acides organiques tel que l'acide lactique, l'acide acétique, etc. Selon les composés formés et les microorganismes intervenants, on distingue différents types de fermentation. A titre d'exemple, on parlera respectivement de fermentation lactique, alcoolique et butyrique selon que le produit majoritairement formé est l'acide lactique, l'éthanol ou l'acide butyrique. Cependant, la fermentation lactique est la plus répandue et considérée comme l'un des procédés le plus ancien et le plus économique pour la conservation des aliments, particulièrement dans les pays tropicaux où les fortes températures combinées aux niveaux élevés d'humidité favorisent la fermentation spontanée des céréales. Dans ces conditions, la fermentation lactique inhibe les microflore pathogènes grâce à la production d'acides lactique et acétique, de peroxyde d'hydrogène, de bactériocines et à la diminution du pH.

La fermentation lactique spontanée des céréales, racines et tubercules est une pratique commune en Afrique pour la préparation des aliments. Ces aliments fermentés constituent une partie importante des régimes alimentaires, surtout dans les régions rurales. La fermentation

lactique entraîne des modifications importantes de l'aliment en ce sens qu'elle améliore les caractéristiques organoleptiques des denrées alimentaires, leur valeur nutritionnelle et leur qualité sanitaire (Chavan et Kadam, 1999 ; FAO/OMS, 1995).

Les principaux effets nutritionnels bénéfiques rapportés dans la littérature sont les suivants :

- ◇ L'amélioration de la digestibilité des protéines due à l'hydrolyse de celles-ci en acides aminés par les protéases des bactéries lactiques ;
- ◇ L'augmentation de la teneur et de la disponibilité des acides aminés : de la lysine, de la méthionine et du tryptophane ;
- ◇ L'amélioration de la digestibilité de l'amidon;
- ◇ L'amélioration de la teneur en vitamine du groupe B, notamment en riboflavine, niacine et thiamine ;
- ◇ La réduction des facteurs antinutritionnels tels les α -galactosides (stachyose et raffinose responsables de flatulences), les phytates (diminuant la biodisponibilité des minéraux tels que le fer, le zinc, le calcium, etc.), les inhibiteurs de protéases (facteur inhibiteur de la trypsine) ;
- ◇ La réduction des produits toxiques (composés cyanogéniques du manioc) ;
- ◇ Les effets probiotiques des bactéries du genre *Bifidobacterium*

V.1. Quelques exemples d'aliments fermentés

Dans cette étude bibliographique, le terme fermenté réfèrera particulièrement aux aliments ayant subi une fermentation lactique. Cependant il ne faut pas méconnaître que la fermentation alcoolique et les fermentations dites « alcalinisantes » (fermentation impliquant des bacilles) sont aussi d'autres voies de transformation des matières premières agricoles.

Il existe une centaine de produits différents fermentés à base de mil, sorgho et maïs et la plupart suit des procédés similaires de fabrication, c'est à dire : trempage de la céréale, broyage ou mouture, tamisage humide, sédimentation (décantation) ou pétrissage de la pâte et fermentation. Les fermentations peuvent ainsi être submergées (cas de la fermentation lors de l'étape de décantation) ou en milieu solide (cas de la fermentation de la pâte pétrie). Il convient de remarquer que dans la littérature, l'étape de fermentation du procédé la plus souvent étudiée est celle correspondant à la décantation ou à la fermentation de la pâte malaxée. Bien que l'étape de trempage soit en fait la première opération de fermentation du procédé, elle est peu décrite. Loin de nous la prétention de décrire ici tous les produits fermentés à base de céréales, seuls quelques exemples sont présentés. La plupart des exemples

de produits fermentés cités ci-dessous ont été décrits par Blandino et al, (2003). Les fermentations revêtent une grande importance en Afrique, où il existe de nombreux modes traditionnels de transformation des céréales par fermentation lactique ou alcoolique, en particulier dans les zones rurales.

L'OGI nigérian ou béninois

Une attention toute particulière sera portée sur l'ogi en raison du fait que son procédé de fabrication est très similaire à celui du *koko* et du *ben-saalga*, bouillie étudiée dans le cadre de notre thèse. Pour la préparation de l'ogi, les grains de maïs sont trempés dans des récipients en terre, en plastique ou des pots émaillés pendant 1-3 jours. L'ogi est une pâte de consistance moelleuse et est obtenu après mouture fine des grains de céréales trempés (maïs, sorgho, mil), tamisage humide de la farine puis fermentation lors de l'étape de décantation (Nago et Hounhouigan, 1998). La couleur de l'ogi dépend de la céréale utilisée : blanc crème pour le maïs, brun rougeâtre pour le sorgho, et gris sale pour le mil (Banigo, 1993; Onyekwere et al, 1993). L'ogi a une saveur aigre semblable à celle du yaourt et un arôme spécifique, qui le rend différent d'autres produits fermentés à base de céréales connus (Chavan et Kadam, 1989). L'ogi constitue un exemple de fermentation typique de céréales en Afrique et des procédés similaires sont retrouvés tant au Nigeria, au Bénin, au Ghana, au Congo qu'au Burkina Faso. En effet, dans ces différents pays le produit est connu sous d'autres noms tels que l'*eko*, l'*agidi*, le *kamu*, l'*akamu*, le *koko* et le *furah* selon le substrat utilisé et la forme sous laquelle il est consommé.

L'ogi peut être utilisé pour préparer une grande variété de produits (Tomkins et al, 1989) :

- ◊ Des produits gélifiés (*akassa*, *owo*, *kanan*, *gi*, *eko*, *kafa*, *lio*, *agidi*). La plupart de l'ogi produit (81%) est consommée sous la forme d'*akassa*, celui-ci peut être accompagné de poisson ou de viande ;
- ◊ Une bouillie cuite (*koko*, *pap*) qui est consommée pour le petit-déjeuner par les adultes et les enfants : elle est particulièrement recommandée pour les personnes malades parce qu'elle est aisément digérée ;
- ◊ Une pâte gélatinisée semi-solide (*akpan*, *bantou*) qui est utilisée pour préparer une boisson en ajoutant de l'eau, des glaçons, du sucre et du lait.

Les bactéries lactiques, les levures et les moisissures sont responsables de la fermentation. La microflore lactique est dominante et représentée par une grande diversité de bactéries lactiques dont l'espèce *Lactobacillus fermentum* est l'une des plus fréquemment représentées

(Agati et al, 1998 ; Hayford et al, 1999 ; Sanni et al, 2002). Les levures du genre *Saccharomyces* ou *Candida* contribuent également au développement de la saveur (Caplice et Fitzgerald, 1999).

Les qualités nutritionnelles de l'*ogi* ont été étudiées et l'on a observé que pendant la fermentation, les phytates sont partiellement hydrolysés, libérant ainsi du phosphore (Lopez et al, 1983, Mouquet et al, 2001) et les teneurs en niacine et riboflavine augmentent (Kuboye, 1985). Cependant, environ 20 à 50% des nutriments disponibles dans les grains bruts de maïs sont perdus au cours du procédé de production de l'*ogi*, ce qui peut être dû à la perte de la couche à aleurone et du germe des grains pendant le broyage humide et le tamisage (Adeyemi, 1983; Akinrele et Bassir, 1967). Spécifiquement, l'analyse des acides aminés de l'*ogi* et de ses matières premières indique des pertes substantielles en lysine et tryptophane (Adeniji et Potter, 1978; Banigo et Muller, 1972; Makinde et Lachance, 1976). Pour éviter ces pertes, la lysine et la méthionine excrétées par des mutants de *Lactobacillus* et des levures ont été utilisés à titre expérimental pour enrichir l'*ogi* (Odunfa et Oyewole, 1998; Tanasupawat et Komagata, 1995).

Kenkey

Le *kenkey* est une boulette de maïs, fermentée et cuite qui constitue l'aliment de base pour de nombreux ghanéens (Nche et al, 1995). Le *kenkey* peut être préparé en utilisant deux méthodes. Dans la première, le maïs décortiqué est mis à tremper pendant 1 à 2 jours à environ 30°C, puis égoutté et réduit en farine. La farine est mélangée à l'eau pour donner une pâte qui est transvasée dans des cuves pour y subir une fermentation spontanée durant 2 à 3 jours. La pâte fermentée est formée en boulettes qui sont enveloppées dans des feuilles de bananier et mises à bouillir. Dans la deuxième méthode, le maïs lavé est étalé pour sécher puis on y ajoute un grand volume d'eau pendant la mouture pour obtenir un produit de texture lisse. On laisse le mélange décanter et fermenter pendant une nuit. Le surnageant ou eau de décantation est transvasé pour récupérer la pâte humide qui est utilisée pour préparer le *kenkey*. Le processus de fermentation est caractérisé par une première étape dominée par des champignons et des bactéries Gram négatif, relayés ensuite par des bactéries lactiques (surtout *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus reuteri*). Toutefois, les levures et les moisissures qui dominent pendant la dernière étape de la fermentation contribuent également au développement de la saveur.

Le mawè béninois

Le *mawè* est une pâte fermentée à goût aigre vendu comme produit intermédiaire pour la préparation d'un pain cuit à la vapeur (*ablo*) ou de bouillies (*koko*, *aklui*, *akluyonu*) (Hounhouigan, 1994). Pour sa préparation, le maïs est nettoyé puis concassé au moulin, ensuite il est tamisé successivement à sec et dans de l'eau, afin d'éliminer les sons. La farine recueillie est humectée d'eau avant d'être finement moulue. Le mélange obtenu est pétri en y additionnant un peu d'eau, puis soumis à une fermentation naturelle pendant 1 à 3 jours (Nago, 1997). Contrairement à l'*ogi*, le *mawè* est donc une fermentation en milieu solide et constitue un exemple typique de ce mode de fermentation en Afrique, dont la microbiologie a été largement étudiée par Hounhouigan (1994).

Le Mahewu sud africain

Le *mahewu* est un breuvage non alcoolique et populaire en Afrique du Sud. Il est souvent vendu dans le commerce sous forme de poudre ou de concentré. Traditionnellement, on prépare le *mahewu* en faisant bouillir un mélange de farine de maïs dans de l'eau jusqu'à obtention d'une bouillie. Après refroidissement, on y ajoute une petite quantité de farine de blé ou de malt de mil ou de sorgho (environ 5% du poids de la farine de maïs). La farine de blé ou le malt permet une hydrolyse partielle de l'amidon et apporte l'inoculum (*Lactococcus lactis*) pour la fermentation, celle-ci se réalise à environ 30-35°C durant 36 heures. La recherche sur ce produit est axée sur la mise au point de cultures starters qui produisent rapidement de l'acide lactique (sans produire d'acide acétique ni d'acide butyrique) pendant les premières heures de la fermentation pour éviter les contaminations par des microorganismes indésirables (Tomkins et al, 1989).

L'Uji kenyan

Il s'agit d'une suspension de farine de maïs, de mil, de sorgho ou de manioc dans de l'eau qui est fermentée avant ou après une cuisson pour faire une bouillie crémeuse épaisse. L'*uji* consommé par les adultes au petit-déjeuner et au déjeuner est aussi largement utilisé comme aliment pour les nourrissons et les jeunes enfants. Pour la préparation de l'*uji*, la farine, qui peut être un mélange des céréales mentionnées ci-dessus, est additionnée d'eau pour former une suspension avec une concentration en matière sèche (MS) d'environ 30% (p/p). Cette suspension fermente spontanément durant 1 à 3 jours pour atteindre une concentration en acide lactique de 0,3% (p/p). Elle est ensuite diluée jusqu'à ce qu'elle contienne 10% de MS

puis cuite sous forme de bouillie et de nouveau diluée jusqu'à contenir 4 à 5% de MS. Parfois édulcoré, l'*uji* est consommé pendant qu'il est encore chaud. La fermentation se caractérise par une prédominance de coliformes pendant les premières heures, les lactobacilles s'imposent ensuite et produisent suffisamment d'acide pour réduire considérablement le nombre de coliformes en fin de fermentation. (Tomkins et al, 1989 ; Mbugua et Njenga, 1992)

Le Pozol mexicain

Le *pozol* est une pâte aigre de maïs nixtamalisé (maïs cuit dans de l'eau avec de la chaux) moulée en boule ou en mottes de tailles diverses. Il est consommé sous forme de boisson dans le sud-ouest Mexicain par des groupes d'Indiens et de métis, comme un composant principal du régime quotidien. Le *pozol* est aussi un exemple typique de fermentation en milieu solide comme le *mawè* béninois ou le *kenkey*. Il existe une différence notable entre les procédés mexicains et africains de transformation du maïs. Au Mexique, le maïs est systématiquement nixtamalisé quelles que soient les opérations unitaires ultérieures, alors qu'en Afrique cette opération n'est que très rarement pratiquée. Pour la nixtamalisation, le maïs est lavé avec de l'eau, ensuite il est cuit en présence de chaux pendant 2 heures pour éliminer le péricarpe, puis rincé pour éliminer le reste de chaux, on obtient ainsi le « nixtamal ». Le nixtamal est trempé dans de l'eau pendant une nuit. Les grains sont ensuite égouttés et broyés avec de l'eau pour donner une pâte. Cette pâte est divisée en boules (de 15 g à 1 kg) qui sont enveloppées dans des feuilles de maïs et laissées à fermenter entre 1 et 9 jours. Pour la consommation, la boule fermentée est mise en suspension dans de l'eau pour préparer une boisson rafraîchissante (Steinkraus, 1995). Une communauté microbienne complexe et diversifiée est inoculée principalement pendant les procédés de broyage du maïs et de moulage de la pâte fermentée (Nanson et Field, 1984; Wachter, 1993). *Lactococcus lactis*, *Streptococcus suis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus alimentarium*, et *Lactobacillus delbruekii* sont les principales espèces isolées du *pozol* (Escalante et al, 2001).

L'Injera éthiopien

L'*Injera* est le plat national des éthiopiens (Chavan et Kadam, 1989; Oda et al, 1983). Il peut être fait à partir de différentes céréales, telles que le tef, le sorgho, le maïs, le mil ou l'orge, bien que le tef (*eragrostis tef*) soit la céréale principale ou de choix pour sa préparation. Kebede et Menkir (1984) ont rapporté que le sorgho occupe le second rang après le tef dans la préférence de céréales utilisées pour faire l'*Injera*. Ce choix du tef, par rapport au sorgho,

pourrait être dû aux plus grandes fragilité et sécheresse relatives de l'*Injera* de sorgho au cours du stockage (Zegeye, 1997). Pour faire de l'*Injera*, les grains sont décortiqués manuellement ou mécaniquement puis moulus en farine. Cette farine est mélangée avec de l'eau pour former une pâte, l'inoculum est ajouté, et la pâte est laissée à fermenter pendant 2 ou 3 jours. L'inoculum est un surnageant issu de la pâte fermentée lors de la fabrication précédente. Après fermentation, la pâte décantée, lisse et épaisse est versée dans une casserole légèrement huilée, puis couverte étroitement pour maintenir la vapeur (Parker et al, 1989). Après environ 2 ou 3 minutes, la pâte est enlevée de la casserole et placée dans un panier. La période de stockage n'excède habituellement pas 3 jours à la température ambiante.

Les microorganismes impliqués dans la fermentation de l'*Injera* sont généralement les levures, certaines moisissures comme *Pullaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Rhodotorula sp.*, *Hormodendrum sp.*, *Candida sp.* et un grand nombre de bactéries non identifiées (Ashena., 1993; Dirar, 1993; Gashe et al, 1993; Steinkraus, 1983; Vogel et al, 1993). L'*Injera* se présente sous forme de galettes rondes d'environ 6mm d'épaisseur et 60 cm de diamètre comportant à sa surface des trous régulièrement espacés comme des nids d'abeille. Sa texture est douce, spongieuse et élastique (Gebrekidan et Gebrettiwat, 1982).

La caractéristique principale de la qualité d'un bon *Injera* est sa saveur légèrement aigre. L'*Injera* a une relativement bonne valeur nutritive, car il est riche en calcium et en fer (Zegeye, 1997).

Le *Kisra*

Le *Kisra* (*Aseeda* ou *Aceda*) est semblable à l'*Injera* et est consommé dans l'ensemble des pays du Golf, au Soudan et en Irak (Oda et al, 1983). Le *Kisra* est fait à partir d'une pâte fermentée de farine de mil et de sorgho bicolore ou perlé (*Pennisetum typhoides* ; Thakur et al, 1995). La pâte fermentée est enveloppée dans des feuilles minces et est mise à cuire au four. La pâte cuite est mangée accompagnée de sauces préparées à partir de légumes et de viande. Les principaux micro-organismes isolés du *Kisra* sont des *Lactobacillus sp.*, *Acetobacter sp* et *S. cerevisiae*. D'autres microorganismes peuvent être présents mais n'ont pas été identifiés (Abdel Gadir et Mohamed, 1993; Chavan et Kadam, 1989). Les effets des méthodes traditionnelles de fermentation, ajout de malt et de traitement au four du *Kisra* sur les teneurs en thiamine, riboflavine et quelques éléments minéraux ont largement été étudiés. La fermentation du *Kisra* permet d'augmenter la teneur en riboflavine, de diminuer

sensiblement celle en thiamine ; mais n'a aucun effet significatif sur les teneurs en minéraux (Mahgoub et al, 1999).

Les bouillies fermentées à base de mil du Burkina Faso

Dans le contexte du Burkina, les bouillies consommées par les jeunes enfants, d'une manière générale, que ce soit en milieu urbain ou en milieu rural, sont préparées à partir de céréales locales (surtout le mil). Des enquêtes réalisées à Ouagadougou ont montré que l'aliment de complément le plus fréquemment consommé par les jeunes enfants est une simple bouillie de mil. Une étude réalisée en milieu rural montre que les principales céréales utilisées pour la préparation des bouillies sont le mil (89,8%), le sorgho blanc (5,9%) et le riz (4,2%) (Noukpoape, 1997). Les bouillies fermentées (*ben-kida* et *ben-saalga*, selon l'appellation *mooré*, la langue de l'ethnie majoritaire au Burkina Faso), produites et consommées à Ouagadougou, sont faites généralement à base de mil, souvent aromatisées par des ingrédients comme le gingembre, le piment noir, la menthe, le piment, l'alcafour et le fêfê. Le *ben-kida* et le *ben-saalga* sont deux bouillies qui diffèrent par la présence de granules de farine de mil dans le *ben-kida*.

La description précise de ces bouillies fermentées est partie intégrante des résultats qui seront présentés dans ce mémoire, nous nous attarderons d'abord plus particulièrement sur la description de la matière première : le mil.

Description du mil

Le mil est l'ingrédient principal des bouillies fermentées au Burkina comme un peu partout en Afrique sub-saharienne.

Le mil pénicillaire appelé communément petit mil est une graminée annuelle à reproduction sexuée. Il est produit et consommé en général dans les régions sahéliennes. Il existe plusieurs variétés de mil qui se distinguent par leurs couleurs, leurs formes et leurs tailles. Ce sont essentiellement *Pennisetum glaucum* qui est le plus répandu dans le monde, *Eleusine coracana*, *Setaria italica*, *Panicum milladeum*, *Panicum sumareuse*, *Paspalum serobiculatum* et *Echinochloa crusgalli*.

Les grains de mil peuvent être de différentes couleurs: violet, gris, vert, brun ou jaune, et de différentes formes : globulaire, hexagonale ou ovoïde. De plus, les dimensions et les compositions chimiques des grains de mil sont également variables (FAO, 1995; Bayané *et al*, 2002). Le grain de mil comprend de l'extérieur vers l'intérieur : un péricarpe, un tégument, un

albumen (endosperme) et un germe (Dendy, 1995). Un schéma du grain est présenté sur la figure 2.

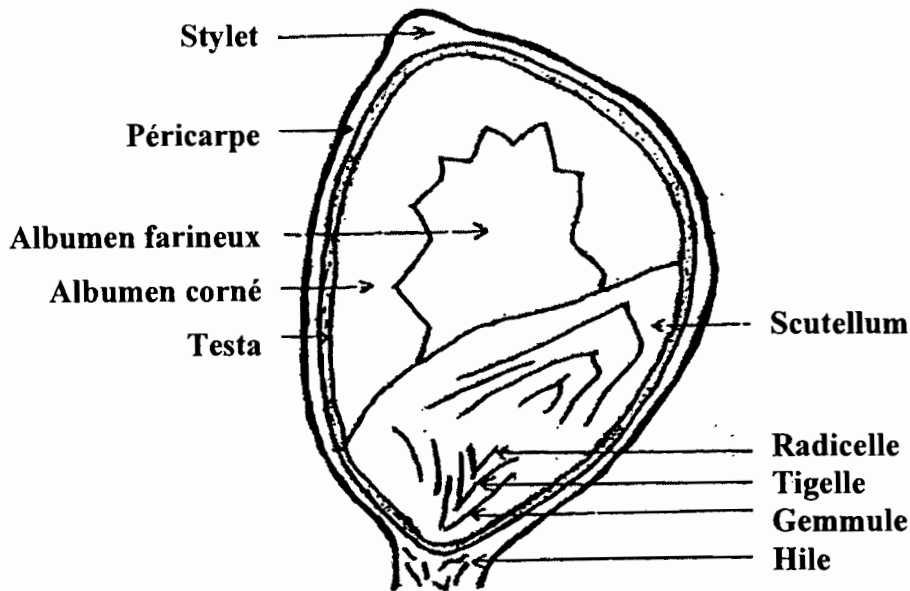


Figure 2 : Schéma du grain de mil pénicillaire (Dendy, 1995)

Le mil, avec une production croissante, occupe le second rang après le sorgho de la production céréalière au Burkina Faso (Tableau 6), ce qui indique toute l'importance de cette céréale dans l'alimentation burkinabé.

Tableau 6. Production céréalière au Burkina Faso : campagnes 2001-2002 et 2002-2003

Campagne agricole	Mil	Sorgho	Maïs	Riz	Fonio	Total
2002/2003	994.700	1.373.300	653.100	89.100	8.900	3.119.100
Pourcentage de la production totale (%)	31,9	44,0	20,9	2,9	0,3	100,0
2001/2002	1.009.000	1.371.300	606.300	109.900	12.300	3.109.100
Pourcentage (%)	32,5	44,1	19,5	3,5	0,4	100,0
Evolution en 2 campagnes (%)	0,6	0,1	-1,4	0,7	0,1	0,0

Source : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des ressources Halieutiques/rapport définitif de la campagne agricole 2002 – 2003 et perspectives alimentaires du Burkina (2003)

Consommation

La consommation du mil est courante dans les régions arides. De ce fait, on distingue une grande variété d'aliments traditionnels préparés à base de mil, allant des pâtes aux boissons alcoolisées ou non. Ces aliments sont surtout rencontrés en Afrique et en Asie. Au Burkina

Faso, les principaux produits de la transformation du mil rencontrés sont essentiellement : le *tô*, les bouillies fermentées, le couscous, le *zoom-kom* (boisson locale), le *dèguè* ou encore le *gapal* et le *tchobal*.

Les bouillies de mil fermenté sont consommées par toute la population, mais largement par les jeunes enfants. Une étude menée sur la ville de Ouagadougou (Mouquet et al, 2003), a montré que 66% des ménages consomment régulièrement les bouillies *ben-saalga* et *ben-kida* et que dans ces ménages les consommateurs les plus fréquents sont les enfants de moins de 2 ans. La fréquence de consommation élevée de la bouillie, selon cette même étude, pourrait s'expliquer par une bonne acceptabilité de cette bouillie du fait de sa bonne qualité organoleptique et de son coût faible (vendue à la louche de 5 à 25 Fcfa).

V.2. Quelques voies d'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits à base de céréales fermentées

La fermentation lactique ou alcoolique a longtemps été un procédé de transformation et de conservation des aliments. Cependant, les procédés traditionnels de fabrication ne permettent pas toujours d'obtenir des produits avec une qualité nutritive, hygiénique et organoleptique satisfaisante (Akingbala et al, 1981 ; Tamang et Nikhuni, 1996). Il est donc nécessaire de maîtriser ces procédés traditionnels de fabrication et de développer des techniques qui permettent d'aboutir à des produits de caractéristiques nutritionnelles, organoleptiques et microbiologiques satisfaisantes et constantes, comme pour les produits fabriqués industriellement (Nago et al, 1998 ; Kuye et Sanni, 1999 ; Teniola et Odunfa, 2000).

Des efforts ont été réalisés pour développer de nouveaux procédés de transformation qui permettent d'améliorer la qualité des aliments fermentés. Les méthodes basées sur l'hydrolyse partielle de l'amidon des céréales fermentées – la cuisson extrusion ou ajout de malt (céréales germées) – ont longtemps été utilisées pour préparer des bouillies de haute densité énergétique (Trèche, 1995 ; Mouquet et al, 2003 ; Kitabatake et al, 2003 ; Thaoge et al, 2003 ; Onyango et al, 2004 ; Tou et al, 2007). Pour améliorer les teneurs en protéines et en lipides des aliments de complément fermentés, des techniques comme la co-fermentation de céréales et de légumineuses ont été mises en oeuvre (Sanni, Onilude & Ibidapo, 1999; Egounlety, 2002). Akinrele et al, (1971) et Osungbaro et al, (2000) ont proposé l'addition de soja aux pâtes de céréales afin d'augmenter leur valeur nutritionnelle. Nnam (2000) en mélangeant différentes légumineuses, tubercules et céréales (soja, pois chiche, maïs, sorgho, igname, plantain, patate douce) pour la préparation de l'*ogi* a obtenu des produits ayant des teneurs en

protéines, lipides, fibres et calcium supérieures à celle des préparations traditionnelles. Akingbala et al, (1981) ont proposé une nouvelle méthode pour la production d'*ogi* qui consiste à broyer les grains moins finement pour éviter de perdre le germe du maïs et ainsi garder plus de nutriments. Ils proposent également d'utiliser l'eau de trempage pour cuire les bouillies afin de récupérer les minéraux perdus par lessivage durant la phase de trempage. Cependant ces modifications de la composition des produits fermentés doivent aussi prendre en compte les éventuelles modifications des propriétés organoleptiques.

Une piste possible pour la maîtrise des procédés serait l'utilisation de cultures starters permettant d'obtenir des caractéristiques organoleptiques, microbiologiques et nutritives constantes (Sanni, 1993 ; Hounhouigan, 1994 ; De Vuyst, 2000 ; Nguyen et al, 2007). Comme c'est le cas dans l'industrie agroalimentaire des pays développés où les cultures starters de bactéries lactiques sont largement utilisées dans la fabrication d'aliments fermentés variés (yaourt, fromages, sauces, pâtes de céréales aigres, etc.) (De Vuyst, 2000). Teniola et Odunfa (2000) ont obtenu un *ogi* enrichi en lysine et méthionine en utilisant une culture starter composée d'une levure et d'une bactérie hétérolactique. L'utilisation de bactéries lactiques amylolytiques comme cultures starters pour la fermentation de céréales n'a pas encore été exploitée au niveau industriel ou traditionnel, bien qu'elles soient capables de fermenter directement l'amidon. Une meilleure connaissance de leur rôle et de leur physiologie au sein des fermentations traditionnelles des matières premières amyloacées pourrait permettre leur utilisation comme cultures starters pour améliorer les modes de fabrication traditionnels. Par ailleurs, en se basant sur l'étude des produits fermentés traditionnels à base de céréales et sur les propriétés propres aux bactéries lactiques amylolytiques, de nouveaux produits pourraient être élaborés.

V.3. Effet de la fermentation sur les aliments de complément à base de céréales

Dans beaucoup de pays, les céréales fermentées sont utilisées de manière traditionnelle pour la préparation de bouillies destinées à l'alimentation des enfants : l'*ogi* nigérian, le *poto-poto* congolais, le *mahewu* sud-africain, le *l'uji* kenyan, le *kenkey* ghanéen, le *ben-saalga* burkinabè, etc. L'usage des bouillies de céréales fermentées par des bactéries lactiques présente plusieurs avantages : les bouillies s'acidifient et les bactéries pathogènes susceptibles de provoquer la diarrhée ne peuvent survivre dans un tel milieu (Svanberg et al, 1992 ; Mensah et al, 1990). Les bouillies légèrement acides peuvent être plus appétissantes pour les enfants et ces bouillies peuvent se conserver, sous forme prête à être consommées, pendant

plusieurs heures. Lorri et Svanberg (1993) ont constaté qu'une bouillie de maïs non fermentée préparée avec une consistance semi-liquide avait une teneur en matière sèche comprise entre 10 et 14%. Après fermentation lactique avec une culture starter de lactobacilles, la teneur en matière sèche de la bouillie pouvait être augmentée à 14 - 17% en conservant la même viscosité, selon Adeyemi (1988).

L'utilisation des bactéries lactiques amylolytiques dans le but de diminuer la viscosité des bouillies pendant la fermentation (par dégradation de l'amidon, principal responsable du caractère épais de la bouillie) est en cours d'exploration. Ces bactéries produisent des α -amylases qui ont la capacité d'hydrolyser l'amidon des céréales (Rodriguez Sanoja et al, 2000). L'utilisation de ces bactéries permettrait donc de combiner en une seule étape la production d' α -amylases et l'acidification de la bouillie (Nguyen et al, 2007).

V.4. Caractéristiques générales des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des cellules procaryotes, hétérotrophes et chimio-organotrophes. Elles sont Gram positif, asporulées, généralement immobiles. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives uniquement capables de fermentation. Elles ne possèdent ni la catalase ni la nitrate réductase ni la cytochrome oxydase. En outre, elles ne liquéfient pas la gélatine, ne produisent pas d'indole ni d'hydrogène sulfureux. Elles ont des exigences nutritionnelles complexes pour les acides aminés, les peptides, les vitamines, les sels, les acides gras et les glucides fermentescibles. Ces bactéries doivent fermenter une grande quantité d'oses pour couvrir les besoins énergétiques nécessaires à leur croissance (Tomkins et al, 1989). Il est possible de les classer suivant la nature des produits du métabolisme bactérien obtenus à partir des glucides. En effet, les bactéries homolactiques strictes produisent uniquement de l'acide lactique en dégradant le glucose par la voie d'Embden Meyerhof Parnas, alors que les bactéries hétérolactiques peuvent produire de l'acide acétique, de l'éthanol et du CO₂ en plus de l'acide lactique. Ces bactéries hétérolactiques dégradent le glucose par la voie de Dickens-Horecker et Entner Doudoroff encore appelée voie des pentoses phosphate.

V.4.1. Classification des bactéries lactiques

Les recherches taxonomiques et phylogéniques récentes conduisent à des modifications de la classification, soit au niveau des genres et des espèces, soit au niveau de la ligne de démarcation avec d'autres groupes de bactéries. Le groupe des bactéries lactiques est formé des genres suivants : *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus*, *Pediococcus*,

Aerococcus, *Tetragenococcus*, *Leuconostoc*, *Atopobium*, *Lactobacillus* et *Carnobacterium*. Ces bactéries appartiennent à la sub-division des bactéries Gram positif à bas pourcentage de bases GC. Mais l'appellation de « bactéries lactiques » est souvent étendue à d'autres bactéries qui leur sont apparentées comme celles rattachées au genre *Bifidobacterium* qui appartient à la sub-division des bactéries Gram-Positif à GC% élevé et dont le mode de fermentation du glucose diffère de celui des bactéries lactiques Gram + à bas GC% (fermentation par voie des bifidobactéries) (Desmazeaud et Roissart, 1994).

V.4.2. Métabolisme énergétique lié à la dégradation des sucres

Catabolisme du glucose

La fermentation lactique s'effectue selon un enchaînement de réactions couplées d'oxydoréduction qui font intervenir un donneur initial (glucose) et un accepteur final (le pyruvate ou/et l'acétyl - CoA) et des intermédiaires de transport d'électrons ($\text{NAD}^+ / \text{NADH}$, H^+) associés à des hydrogénases. L'énergie libérée dans les réactions de déshydrogénation ou par les activités des liases est couplée à la phosphorylation du substrat et utilisée pour la synthèse de l'ATP. D'autre part, le PEP, précurseur phosphorylé du pyruvate, intervient avec l'ATP comme source énergétique dans le transport de différents substrats et dans l'anabolisme ou la biosynthèse des macromolécules entrant dans la composition des structures essentielles des cellules bactériennes. Selon l'espèce bactérienne et les conditions de culture, le catabolisme du glucose peut suivre une voie homofermentaire, une voie hétérofermentaire ou la voie des bifidobactéries.

La voie homofermentaire ou voie d'Embden-Meyerhoff-Parnas (EMP)

Les bactéries homofermentaires métabolisent une molécule de glucose pour produire deux molécules de pyruvate et par conséquent, deux molécules d'ATP et de NADH , H^+ . Le pyruvate est réduit en lactate, cette réaction est couplée à la réoxydation du NADH , H^+ en NAD^+ pour assurer la poursuite du processus fermentaire. Ces bactéries convertissent presque quantitativement le glucose en acide lactique (90 à 95%) selon la réaction suivante :

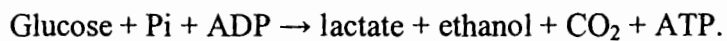


Chez les bactéries lactiques homofermentaires, il existe un transport et une phosphorylation simultanés du glucose par l'intermédiaire du système PEP-PTS, le glucose-6-phosphate accumulé est ensuite fermenté en acide lactique. La fructose-1,6-diphosphate aldolase, indispensable au fonctionnement de la voie EMP, est présente dans toutes les espèces homofermentaires (Thomson et Gentry-Weeks, 1994). Les espèces présentant ce type de

métabolisme appartiennent par exemple aux genres *Streptococcus* (*Sc. mutans*, *Sc. thermophilus*), *Enterococcus* (*Ec. faecalis*), *Lactococcus* (*Lc. lactis Ssp. lactis*), les *Pediococcus* (*Pc. pentosaceus*, *Pc. halophilus*) et les lactobacilles homofermentaires (*Lb. casei*, *Lb. plantarum*).

La voie hétérofermentaire ou voie de la pentose-phosphocétolase (PPC)

Les bactéries lactiques qui fermentent le glucose en produisant moins de 1,8 mole d'acide lactique par mole de glucose consommée, et de l'éthanol et/ou de l'acétate et du dioxyde de carbone sont dites hétérofermentaires. La réaction globale est la suivante :



Les bactéries lactiques hétérofermentaires ne contiennent pas d'enzyme fructose diphosphate aldolase (FDP aldolase) et de triose-phosphate isomérase.

En ce qui concerne le transport des sucres, les bactéries hétérofermentaires sont dépourvues d'un système PEP-PTS pour le transport du glucose. Le glucose est accumulé par l'intermédiaire d'une perméase et phosphorylé en glucose-6-phosphate (G6P) par une glucokinase ATP-dépendante. Le G6P est tout d'abord oxydé en gluconate-6P, une deuxième oxydation, catalysée par la D-gluconate-6P-NADP oxydoréductase (décarboxylante) conduit à la formation de D-xylulose-5P et de dioxyde de carbone. Après, celui-ci est transformé par épimérisation en D-xylulose-5P. La transformation de ce dernier en acétyl-P et glycéraldéhyde-3P (GA-3P) est effectuée grâce à l'enzyme D-xylulose-5P phosphocétolase contenant du pyrophosphate de thiamine, enzyme spécifique de la voie hétérofermentaire. Finalement, l'acétyl-P est réduit en éthanol et le GA-3P est intégré aux dernières réactions de la voie EMP pour produire de l'acide lactique (Thomson et Gentry-Weeks, 1994). Les principales bactéries présentant ce type de métabolisme sont des *Leuconostoc* tel *Ln. mesenteroides* (Adler-Nissen et Demain, 1994 ; Erten, 1998) et certains lactobacilles dont *Lb. brevis*, *Lb. pontis*, *Lb. sanfranciscensis* et *Lb. fermentum* (Agati et al, 1998 ; Gänzle et al, 1998 ; Hammes et al, 1996 ; Vogel et al, 1994 ; Benito et Cardenas et al, 1991 ; Warriner et Morris, 1995 ; Gobetti et al, 1995)

Les lactobacilles se répartissent selon trois groupes métaboliques : le groupe 1 qui regroupe les lactobacilles homolactiques *sensu stricto* (e.g. *Lb. casei*), le groupe 2 qui regroupe les lactobacilles hétérofermentaires facultatifs présentant un métabolisme homolactique en présence de glucose et un métabolisme hétérolactique en présence de pentoses tel *Lb.*

plantarum ; et les lactobacilles du groupe 3 qui sont strictement hétérolactiques tel que *Lb. fermentum*.

Dans les fermentations traditionnelles naturelles, les bactéries lactiques les plus fréquemment isolées appartiennent essentiellement aux genres *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Lactococcus* et *Pediococcus* et parfois, comme dans le pozol, des bactéries lactiques des genres *Streptococcus* et *Enterococcus* font aussi partie de la microflore dominante. L'étude de ces associations complexes et de leur succession dans le temps constitue un volet important de l'écologie microbienne des aliments fermentés.

CHAPITRE II.
MATERIELS ET
METHODES

I. MATIERES PREMIERES ET INGREDIENTS

Mil

Le mil est l'ingrédient principal des bouillies fermentées de type *ben-saalga* et *ben-kida*. Le mil pénicillaire communément appelé petit mil est une graminée annuelle à reproduction sexuée. Il est produit et consommé en général dans les régions sahéliennes. Il existe plusieurs espèces de mil qui se distinguent par leurs couleurs, leurs formes et leurs tailles. Au Burkina Faso, l'espèce la plus cultivée est *Pennisetum glaucum* qui est aussi la plus répandue dans le monde. Le brassage génétique entre les espèces de mil a fait naître de nombreuses formes hybrides. Il n'existe donc pas d'espèce pure sur le marché du fait des formes intermédiaires et du mélange des différentes espèces par les commerçants. Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi de prélever le mil chez les préparatrices qui s'en procurent sur leur lieu d'achat habituel.

Les ingrédients aromatiques

Les ingrédients aromatiques habituellement ajoutés au mil avant mouture par les productrices sont le gingembre, la menthe, le piment noir et en moindre proportion le fêfê ou l'alcafoun. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes procurés ces ingrédients sur les marchés locaux comme le font les productrices.

Malt d'orge

Le malt d'orge utilisé a été obtenu sous forme de grains auprès de la BRAKINA, la société burkinabé de brasserie. Le même stock a été utilisé comme source d'amylases dans toutes nos expériences. Le malt a été broyé (A10, IKA Labortechnik) et tamisé avant d'être utilisé.

Arachide

L'arachide (*Arachis hypogaea*) utilisée dans les procédés modifiés a été achetée en quantité suffisante pour toutes les expériences. Elle a été utilisée sous forme de graines brutes non torréfiées et non dépelliculées.

II. METHODOLOGIES

II.I. Etude des caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du procédé traditionnel de fabrication du « *ben-saalga* »

II.1.1. Choix des ateliers suivis

L'étude des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de l'aliment a concerné 24 micro-ateliers sélectionnés de façon aléatoire parmi 93 micro-ateliers identifiés dans la ville de Ouagadougou dans le cadre d'une étude précédente (Djossou et al, 1999). L'étude sur les

caractéristiques microbiologiques a porté sur 12 micro-ateliers choisis de façon aléatoire parmi les 93 précédents.

II.1.2. Observations et prélèvement des échantillons sur le terrain

Différentes observations et mesures ont été réalisées dans chacun des 24 ateliers de fabrication de bouillie fermentée (cf. fiche d'enquête en annexe 1). Ces observations et mesures ont été réalisées dans le but de faire une description précise et approfondie des procédés traditionnels de fabrication des bouillies fermentées (Tou et al, 2006).

En plus des observations et mesures ci-dessus citées, les cinétiques d'acidification pendant le trempage et la décantation ont été enregistrées dans 10 ateliers choisis de façon aléatoire parmi les 24 précédents.

II.1.3. Etude des cinétiques de fermentation au cours du trempage et de la décantation

L'étude des cinétiques de fermentation a consisté à caractériser la cinétique de consommation de substrats et de formation de produits de fermentation au cours du trempage et de la décantation. En raison de la difficulté d'accès des ateliers et des heures nocturnes de déroulement des fermentations (décantation), cette étude a été réalisée à l'échelle pilote dans les locaux de l'université de Ouagadougou en utilisant le même mil et les mêmes ingrédients aromatiques et récipients que les productrices. A cet effet, les récipients ont été utilisés préalablement par les productrices pendant quelques jours avant les expérimentations (Tou et al, 2006).

II.1.3.1. Procédés de transformation

Etape du trempage

Il est en général considéré qu'une première fermentation se déroule lors de l'étape de trempage des céréales, et une chute de pH a été fréquemment rapportée. Concernant le procédé de transformation du mil, des travaux antérieurs ont montré que, dans des conditions de laboratoire, le trempage de graines de mil provenant de Ouagadougou se caractérisait essentiellement par une fermentation alcoolique spontanée, accompagnée d'une légère chute de pH avec une production très réduite d'acide lactique (Nuna, 2001 ; Ben Arfa, 2002). A première vue, ces résultats semblent en contradiction avec les observations de terrain, qui montrent une diminution de pH de 6,6 à 4,4 en début et en fin de trempage respectivement (Tou, 2001). Ainsi, dans cette étude, nous avons cherché à montrer si, dans des conditions de trempage telles que pratiquées dans des conditions réelles ou proches de celles des ateliers

traditionnels, les cinétiques de formation de métabolites seraient semblables ou non à celles obtenues dans un laboratoire géographiquement éloigné du lieu de production traditionnel.

Lavage

Conformément aux données moyennes des enquêtes (Tou, 2001), nous avons fixé la quantité d'eau de lavage à 3 fois la masse de mil à laver. A l'aide de deux petites calebasses, le mil a été trié (2 min) comme le font 71% des préparatrices (mouvements circulaires du bras) et lavé (en frottant le mil entre les deux paumes : 2 min) puis égoutté à la main et mis à tremper.

Trempage

Après lavage, le mil est pesé et l'eau de trempage est fixée au double de la masse de mil lavé. Le trempage est fait dans un seau en plastique (environ 50 l) non couvert et laissé à température ambiante, comme le font les préparatrices. Selon les observations réalisées lors des mêmes enquêtes, la durée la plus longue de trempage est de 36 h. Ainsi nous avons fixé la durée du trempage à 36 h pour pouvoir déceler toutes les modifications qui ont lieu au cours de cette étape. Le trempage de 36 h a débuté vers 8 h du matin et pour prendre fin le lendemain vers 20 h.

Mesures effectuées au cours du trempage

Nous avons prélevé toutes les 2 heures pendant les 14 premières heures, et de 22 h à 36 h, des échantillons (surnageant de trempage) auxquels nous avons ajouté de l'acide sulfurique 2N, puis que nous avons centrifugé (10000 tpm pendant 5 min) pour arrêter la fermentation. Les surnageants de centrifugation ont été congelés pour les dosages ultérieurs des sucres (glucose, fructose, maltose, saccharose, mélibiose, raffinose et stachyose) et des produits de fermentation (éthanol, acides lactique et acétique). Par ailleurs, nous avons prélevé toutes les 7 h, des graines de mil trempées qui ont été congelées et lyophilisées pour analyses ultérieures. Enfin, le pH et la température au cours du trempage ont été enregistrés.

Etape de décantation

Préparation des farines humides

Neuf échantillons de farine humide ont été prélevés dans les ateliers. Pour des raisons pratiques, afin que les étapes de décantation puissent se dérouler simultanément, nous avons choisi des ateliers ayant des durées de trempage différentes mais procédant à la mouture aux mêmes heures.

Filtration et décantation

○ Modalités de filtration :

- Ajouter l'eau de filtration (3/1) à la farine humide et pétrir à la main le mélange eau + farine.

- Prélever à l'aide d'une calebasse le mélange eau + farine humide et le verser tout en mélangeant de la main sur le filtre (mousseline) attaché par un élastique au seau.
- Presser ensuite le mélange à la main jusqu'à éliminer le maximum d'eau des drêches.

On a procédé ainsi jusqu'à ce que tout le mélange eau-farine ait été filtré, comme le font les productrices de bouillies fermentées.

○ *Modalités de décantation :*

Les seaux contenant les filtrats ont été recouverts de la même mousseline que celle utilisée pour la filtration. Nous avons laissé alors les filtrats décanter pendant 24 heures à l'extérieur du laboratoire. Toutes les heures pendant les 10 premières heures, puis à 12 h, 15 h et 24 h, des échantillons ont été prélevés, additionnés d'acide sulfurique 2 N pour stopper la fermentation puis centrifugés et congelés dans des micro-tubes eppendorf de 1,5 ml pour les analyses identiques à celles effectuées sur les échantillons prélevés au cours du trempage (Tou et al, 2006).

II.1.4. Etude des caractéristiques microbiologiques de la pâte en début et en fin de décantation du procédé traditionnel de préparation dans 12 micro-ateliers

II.1.4.1. *Choix des ateliers suivis*

Les 12 micro-ateliers ont été choisis de façon aléatoire parmi les 93 ateliers répertoriés pour toute l'étude.

II.1.4.2. *Observations et prélèvement des échantillons sur le terrain*

Les observations ont été des mesures de pH et de températures en début et en fin de décantation. Les échantillons de pâtes ont été prélevés avant et après décantation pour leur étude microbiologique qui a consisté à faire la numération de la flore totale, la flore lactique et lactique amylolytique et des levures (Tou et al, 2006).

II.1.5. Etude préliminaire de caractérisation de la flore lactique des pâtes fermentées provenant de 12 ateliers différents de Ouagadougou

Cette étude visait à caractériser la microflore lactique (bactéries lactiques et bactéries lactiques amylolytiques) à partir des pâtes fermentées.

Prélèvement des échantillons sur le terrain

Différentes mesures ont été réalisées dans chaque atelier de fabrication où nous avons prélevé les échantillons.

- mesure de la température et du pH en fin de décantation.
- Prélèvements des échantillons de pâtes fermentées (20 ml). Le prélèvement des échantillons destinés aux analyses microbiologiques a été fait dans des bocaux stériles et étiquetés.

Conservation des échantillons

Les échantillons de pâte, prélevés pendant les heures de production dans chaque atelier, ont été mis immédiatement dans une glacière contenant des pains de glace puis au réfrigérateur à 4°C jusqu'au moment de l'isolement qui s'est déroulé le même jour au laboratoire de l'université de Ouagadougou. Les isolats ont été conservés à -20°C puis rapportés au laboratoire de l'UR106 de Montpellier où ont eu lieu la purification et la conservation de la collection.

Analyses effectuées

Les souches ont été caractérisées sur la base des caractères suivants : morphologie, coloration de Gram, catalase et profils biochimiques (galeries API 50CHL) analysés par le logiciel APILAB plus. Le type métabolique a été déterminé par dosage des acides acétique et lactique, et de l'éthanol par HPLC (Tou et al, *projet d'article*).

II.2. Etude de l'amélioration de la densité énergétique du « *ben-saalga* » par combinaison de procédés susceptibles de favoriser l'hydrolyse partielle de l'amidon.

L'étude sur les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques réalisée précédemment (Tou et al, 2006) ayant mis en évidence la très faible densité énergétique des bouillies traditionnelles de mil fermenté il était nécessaire d'étudier les modifications du procédé traditionnel susceptibles d'augmenter leur densité énergétique. Il s'est agi de mettre en œuvre des étapes intermédiaires de cuisson et d'incorporation de malt, seules ou en combinaison. Les modifications ont été choisies en raison de leur potentialité à favoriser une hydrolyse partielle de l'amidon susceptible de rendre des bouillies épaisses plus fluides.

Cette étude a été réalisée en deux étapes dont la première a consisté à faire des essais préliminaires de modification du procédé traditionnel. Les modifications testées dans l'étude préliminaire étaient les suivantes : ajouter une pré-cuisson de 10 min après filtration dans le but de gélatiniser l'amidon et le rendre plus sensible à une attaque amylasique, et/ou incorporer du malt d'orge en début de décantation à raison de 1g/100g de matière sèche de farine humide pour l'action des amylases qu'il contient. Nous avons mesuré à l'aide d'un consistomètre *Bostwick* la consistance (en mm/30s) à 45°C des bouillies préparées suivant les

différents procédés. Pendant la décantation, les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées à l'aide d'un pH-mètre enregistreur (WTW 340i) afin de suivre le déroulement de la fermentation. La méthodologie de cette étude préliminaire a été bien détaillée par Tou et al, (2003).

La deuxième étape de l'étude a consisté à compléter la première et à optimiser les paramètres modifiés. A l'occasion de cette deuxième étape, une modification supplémentaire du procédé a été testée : il s'agissait de l'ajout d'inoculum (un pied de cuve) à la pâte après cuisson. Cette deuxième étape a permis d'étudier plus spécifiquement les effets des combinaisons de procédés sur les cinétiques de fermentation, la microflore et la densité énergétique des bouillies de mil fermenté. Ces combinaisons de procédés étudiés étaient : cuisson et inoculation (CI), cuisson et ajout de malt (CM) et cuisson, ajout de malt et inoculation (CMI). Des bouillies ont été préparées suivant ces différents procédés et leur consistance a été mesurée à 45°C à l'aide d'un consistomètre *Bostwick* (en mm/30s). Pendant la décantation, les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées à l'aide d'un pH-mètre enregistreur (WTW 340i) afin de suivre le déroulement de la fermentation. Les cinétiques de fermentation et l'évolution de la microflore ont été étudiées pour mieux caractériser les procédés modifiés. La méthodologie de cette deuxième étape a été clairement détaillée par Tou et al, (2007).

II.3. Etude de l'amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* et caractérisation des cinétiques de fermentation et de l'évolution de la flore au cours de la fermentation dans les procédés traditionnel et modifiés.

Les bouillies de mil fermenté *ben-saalga*, du fait de la fermentation lactique, présentent de bonnes qualités microbiologiques et organoleptiques, mais leurs densités énergétiques sont très faibles et leur composition en nutriments inadaptée (Tou et al, 2006). Il faut donc améliorer la valeur nutritionnelle de ces bouillies. Par ailleurs, l'amélioration de la valeur nutritionnelle d'une bouillie ne paraît possible qu'en tenant compte nécessairement de trois axes essentiels (augmentation de la densité énergétique (DE), recherche de l'équilibre nutritionnel adapté et l'amélioration de la biodisponibilité des micronutriments). Selon ces 3 axes, l'incorporation de malt (augmentation de la DE) et la substitution partielle de la fraction amylacée par des légumineuses riches en protéines et/ou en lipides devrait permettre d'améliorer la valeur nutritionnelle des bouillies. Des études préliminaires faites pour améliorer la valeur nutritionnelle des bouillies fermentées par co-fermentation de céréales et légumineuses (soja, niébé et arachide) ont permis de montrer que l'arachide apparaît comme le complément de choix de la fraction amylacée, en raison de sa grande disponibilité et de son

coût. Cette étude a donc visé à mettre au point une bouillie de bonne valeur nutritionnelle par la mise en œuvre d'une co-fermentation mil-arachide combinée à une précuisson, une incorporation de malt d'orge et une inoculation par pied de cuve. Elle a aussi permis de caractériser les cinétiques de formation des produits de fermentation et l'évolution de la flore au cours de la fermentation dans les procédés traditionnels et modifiés (co-fermentation, cuisson, inoculation et incorporation de malt).

II.3.1. Protocole de mise en œuvre des procédés traditionnels et modifiés

II.3.1.I. Procédés traditionnels

Les informations sur les procédés traditionnels de transformation ont été recueillies lors des études préliminaires (Tou et al, 2006) et ces procédés ont été standardisés afin d'améliorer leur reproductibilité.

Lavage

Le mil est pesé et lavé avec un rapport massique eau/mil égal à 3/1.

Trempage

Après lavage, le mil est pesé et mis à tremper dans une quantité d'eau égale au double de la masse de mil (2/1, p/p). La durée du trempage a été fixée à 16 h (durée moyenne de trempage observée dans les micro ateliers, Tou et al, 2006). Selon les observations réalisées lors de la première enquête, pour que le pH de début de décantation soit favorable à une activité optimale des alpha-amylases du malt d'orge (soit entre 4,7 et 5,4, Trèche, 1995), il faut que la durée de trempage soit comprise entre 10 et 20 heures.

Lavage/égouttage

En fin de trempage, le mil est égoutté et l'eau de trempage est éliminée. Le mil trempé est pesé et lavé avec une quantité d'eau respectant le rapport 3/1 (p/p).

Mouture

Les ingrédients d'aromatisation découpés et lavés ont été ajoutés au mil trempé à raison de 3g/100g pour la menthe et de 6g/100g pour le gingembre, avant la mouture qui a lieu dans un moulin communautaire identique à celui utilisé par les productrices.

Filtration

Une quantité d'eau égale à 3 fois la masse de la farine humide a été ajoutée à la farine. Le mélange eau-farine est versé sur une mousseline (maille $\leq 0,5$ mm).

Fermentation ou décantation

La pâte après filtration est laissée au repos pour la fermentation pendant 12 h (durée moyenne observée sur le terrain).

II.3.1.2. Procédés modifiés

Les modifications des procédés ont consisté à transformer le mélange mil-arachide selon le procédé CMI (cuisson, malt et inoculation) décrit précédemment par Tou et al, (2007).

Le mil et l'arachide, décortiquée mais non dépelliculée sont mélangés dans les proportions voulues puis mis à tremper. Les quantités d'ingrédients aromatiques ajoutées avant mouture ont été diminuées à 1 g de menthe et 2 g de gingembre / 100 g de mil trempé, afin de tenir compte de la concentration plus élevée des bouillies améliorées. Le mélange est ensuite porté au moulin et filtré de la même façon que dans le procédé traditionnel.

Cuisson après filtration

Le mélange, eau-farine, obtenu après filtration est porté à ébullition pendant 10 min. La durée d'ébullition est notée à partir du moment où le mélange atteint une température d'environ 85°C. La quantité d'eau évaporée pendant les 10 min de cuisson est mesurée et ajoutée à la fin de la cuisson.

Inoculation

L'inoculation a consisté à ajouter, à la pâte cuite non fermentée, une fraction de pâte fermentée de la veille, préparée selon le procédé traditionnel. L'inoculum est introduit à raison de 10 % de la pâte à inoculer à la température de 35°C pour favoriser l'activité bactérienne.

Malt d'orge

Le taux d'incorporation du malt a été de 0,125% de la teneur en matière sèche de la farine humide. Il a été introduit dans la pâte cuite à la température de 65°C.

Les proportions de matières premières (mil-arachide) utilisées étaient de 76,5/23,5 en tenant compte des objectifs nutritionnels et d'une addition de 15% de sucre à la bouillie finale (Tableau 1).

Tableau 1 : formulation de la bouillie co-fermentée mil-arachide additionnée de 15% de sucre

	Proportions (% / MS)	Lipides (g)		Protéines (g)		Valeur énergétique (kcal)	
		VE	VR	VE	VR	VE	VR
Mil	65	3,4		6,0		251,7	
Arachide	20	9,6		5,1		119,0	
Sucre	15	0		0		60*	
Total (en g/100g MS)	100	13,0	13,7	11,1	6,7-10,7	430,7	440
Total (en g/100kcal)	-	3,0		2,6		-	

VE : valeurs estimées ; VR : valeurs recommandées

II.3.2. Observations et mesures effectuées

Les bouillies ont été préparées suivant les deux différents procédés et leur consistance a été mesurée à 45°C à l'aide d'un consistomètre *Bostwick* (en mm/30s). Pendant la décantation, les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées à l'aide d'un pH-mètre enregistreur (WTW 340i) afin de suivre le déroulement de la fermentation. Les cinétiques de fermentation et l'évolution de la microflore ont été étudiées pour mieux caractériser les procédés modifiés. La méthodologie de cette étude a été clairement détaillée par Tou et al, (*article soumis*).

II.3.3. Etude de la valeur nutritionnelle des bouillies issues des procédés modifiés

Les bouillies issues des procédés modifiés mis en oeuvre trois fois ont été prélevées, conservées au congélateur (-20°C) puis lyophilisées. Les bouillies lyophilisées ont ensuite été apportées au laboratoire de l'UR106 de Montpellier où ont été effectuées les analyses de composition globale (protéines, lipides, cendres et fibres totales) et de teneur en phytates. La teneur en sucres et en énergie des bouillies ont été calculées (Tou et al, *article soumis*).

II.3.4. Etude des cinétiques de fermentation dans les procédés modifiés

Cette étude, cinétique de la fermentation au cours des procédés modifiés, vient en complément de la caractérisation détaillée de ces procédés afin d'évaluer les éventuelles influences des modifications de procédés sur le déroulement de la fermentation. Cette étude a été menée conjointement à l'étude sur l'amélioration de la valeur nutritionnelle des bouillies fermentées dont elle faisait partie intégrante.

Méthodologie

La méthodologie de cette étude a été décrite par Tou et al, (*article soumis*) et les informations ci-dessous sont des compléments à cette description.

Trempage

A t=0 et à toutes les 4 heures, pendant les 16 heures de trempage, le surnageant de trempage est prélevé dans des micro-tubes eppendorf (environ 1,5 ml) auxquels est ajouté de l'acide sulfurique 2N et qui sont centrifugés afin de bloquer la fermentation avant de les congeler pour des analyses ultérieures. On a prélevé des échantillons en double pour le dosage des sucres et des acides organiques.

Décantation

A t=0 et à 6, 12 et 24 h, la pâte en cours de fermentation est prélevée dans des micro-tubes eppendorf (environ 1,5 ml) auxquels est ajouté de l'acide sulfurique 2N et qui sont centrifugés

afin de bloquer la fermentation avant de les congeler pour des analyses ultérieures. On a prélevé des échantillons en double pour le dosage des sucres et des acides organiques.

II.3.5. Etude de l'évolution de la microflore totale, la flore lactique et lactique amylolytique et des levures au cours de la fermentation dans les procédés modifiés

Cette étude nous a permis d'obtenir des données générales sur l'évolution de la flore au cours de la fermentation dans les procédés modifiés. Elle venait donc compléter l'étude sur l'amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*. Elle a permis, d'une part, de suivre l'évolution de la flore lactique et des levures dans les différents procédés et, d'autre part, d'apporter des informations sur les changements possibles de cette flore du fait de l'introduction des procédés modifiés. De multiples études ont mis en évidence la présence de levures dans la plupart des fermentations lactiques. En effet, les levures, en interaction avec les bactéries lactiques dans ces types de fermentations, permettraient d'améliorer les caractéristiques organoleptiques des produits fermentés (Judith et al, 2003).

Méthodologie

Cette étude a été menée conjointement à l'étude sur l'amélioration de la valeur nutritionnelle des bouillies fermentées dont elle faisait partie intégrante. La méthodologie de cette étude a été décrite par Tou et al, (*article soumis*) et les informations ci-dessous sont des compléments à cette description.

Modalités de prélèvement des échantillons

Les échantillons de pâtes fermentées issus des procédés modifiés mis en œuvre au laboratoire ont été prélevés à t=0, 4, 8 et 24 h (soit 4 points par procédé). Sur ces échantillons, on a effectué des numérations de la flore totale, la flore lactique (bactéries lactiques) et lactique amylolytique (bactéries lactiques amylolytiques) et les levures. Environ 20 ml ou 20 g de chaque échantillon ont été prélevés dans des pots à prélèvement stériles et étiquetés. Les échantillons ont été mis immédiatement au réfrigérateur à 4°C jusqu'au moment des analyses qui se sont déroulées le jour même.

III. METHODES D'ANALYSE

III.1. Analyses physicochimiques et biochimiques

III.1.1. Mesure de la consistance des bouillies

La consistance des bouillies a été estimée par la mesure de l'écoulement Bostwick (Bookwalter et al, 1968). Cette mesure a consisté à verser 100 g de bouillie dans le premier compartiment d'un consistomètre Bostwick (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, Virginia, USA). Le consistomètre est disposé sur une surface plane horizontale (vérifiée à l'aide d'un niveau). Lorsque la température de la bouillie est autour de 45°C ($45,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$), la gâchette de l'appareil est actionnée pour libérer la bouillie qui s'écoule alors dans le second compartiment. Le paramètre retenu correspond à la distance parcourue par le front de la bouillie en 30 s et s'exprime en mm/30 s.

III.1.2. Mesure de la teneur en matière sèche des bouillies

Un échantillon de 5 à 10 g de produit est pesé dans un pot en plastique thermorésistant, préalablement taré, sur une balance de précision égale à 0,001g. Les pots sont ensuite placés dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant (en pratique 24 heures). Chaque mesure est répétée deux fois, et la moyenne des deux valeurs est retenue.

III.1.3. Mesure du pH de la bouillie et des surnageants de trempage et de décantation

Elle a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre (SUNTEX TS-2) de laboratoire à compensation de température. L'électrode du pH-mètre a été plongée dans les produits préalablement homogénéisés pendant 1 à 2 min.

III.1.4. Enregistrement des cinétiques d'acidification

Les cinétiques d'acidification ont été enregistrées au cours des étapes de trempage et de décantation. L'appareil utilisé est un collecteur de pH (WTW 340 Multi/ACHAT II, pH 340/set). Les données ont ensuite été transférées sur ordinateur grâce au logiciel WTW 340 et les graphes ont été tracés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2000.

III.1.5. Détermination de la composition globale

Des échantillons de bouillies issus des différentes expériences ont été lyophilisés à l'aide d'un appareil de type *Beta 1-8 CHRIST LOC-2*.

La teneur en protéines ($N \times 6,25$) a été déterminée sur les échantillons lyophilisés par la méthode de Kjeldahl selon la norme NF V03-050 (AFNOR, 1970). La détermination des teneurs en lipides a été réalisée par la méthode d'extraction au Soxtec Tecator (note d'application n°3144) après extraction à l'éther de pétrole. Les fibres totales (solubles et

insolubles) ont été dosées par la méthode gravimétrique et enzymatique de Prosky et al, (1988). Les cendres totales ont été déterminées par minéralisation au four à 530°C. Les glucides totaux ont été calculés par différence. La valeur énergétique théorique de la bouillie a été calculée en prenant 4 kcal/g comme coefficient de conversion pour les protéines et les glucides et 9 kcal/g comme coefficients de conversion pour les lipides.

III.1.6. Dosage des phytates par HPIC

Principe

La chromatographie ionique à haute performance (HPIC) est une technique de dosage des ions par couplage échange d'ions et détection conductimétrique. La séparation se fait sur colonne échangeuse d'anions ou cations. L'éluant est généralement de composition chimique simple : acide méta-sulfonique pour les cations, hydroxyde de sodium pour les anions. Un module de suppression ou de neutralisation, neutralise chimiquement les ions provenant de l'éluant.

Extraction des phytates

L'extraction des phytates se fait à l'acide chlorhydrique: 100 mg d'échantillon lyophilisé et 5 ml d'acide chlorhydrique 0,5N sont placés dans des béchers d'eau bouillante pendant 6 min sous agitation. La première minute sert à atteindre la température d'extraction à l'intérieur du tube et durant les 5 minutes restantes a lieu l'extraction. Le mélange est ensuite centrifugé pendant 20 minutes à 4000 rpm, le surnageant est recueilli et repris dans 1,5 ml d'acide chlorhydrique concentré. Le mélange est évaporé sous vide à 40°C pendant une nuit (Speed Vac RC 10.10). Le culot obtenu est stocké à 4°C jusqu'au dosage.

Dosage par HPIC

Au cours des 10 minutes qui précèdent l'injection de la préparation dans le chromatographe, le culot est repris dans 2 ml d'eau millipore et filtrée (Acrodisc de 0,2µm). Le filtrat obtenu est dilué au 1/25 et 50 µl sont passés sur une colonne échangeuse d'anions Omnipac pax-100 (25 cm x 4 mm I.D) équipée d'une pré colonne Omnipac pax-100 (8µm) et d'un supprimeur d'anions (AMMS* III4-mm). La séparation est assurée par un gradient d'éluant composé de trois solvants : NaOH, isopropanol, eau.

III.1.7. Dosage des mono- diholosides et des α -galactosides

L'extraction des oses contenus dans les échantillons se fait à l'éthanol : 80 mg d'échantillon lyophilisé et 3 ml de solution d'éthanol à 80% sont mis au bain-marie à 90°C sous agitation durant 30 minutes. Le mélange est centrifugé pendant 15 minutes à 4000 rpm à 4°C, le

surnageant est recueilli et mis de côté. Le culot est repris dans 3 ml d'éthanol à 80°C et l'opération précédente est renouvelée. Puis le culot est rincé avec 3 ml de solution d'éthanol (80%), centrifugé et le surnageant est recueilli. Les 3 surnageants sont cumulés puis évaporés sous vide pendant une nuit à température ambiante (SPEEDVAC RC 10.10). Le culot obtenu est stocké au froid et, repris au moment du dosage dans 10 ml d'eau ultra pure puis filtré. Le filtrat recueilli sert aux dosages du glucose, fructose, maltose et saccharose et des α -galactosides (raffinose, stachyose, verbascose et mélibiose), effectué par HPIC (Dionex DX 500), en utilisant une colonne Carbo PAC PA1, et un détecteur par ampérométrie pulsée. L'éluant est de la soude 120mM.

III.1.8. Dosage des produits de fermentation

L'éthanol, les acides lactique et acétique ont été identifiés comme les principaux produits de fermentation. Le dosage des produits de fermentation a été réalisé par HPLC (Calderon et al, 2001) en utilisant une colonne Aminex HPX-87H (Biorad, Yvry-sur-Seine, France) reliée à un détecteur d'index de réfraction (Waters 2410, France).

III.2. Analyses microbiologiques

III.2.1. Préparation des milieux de culture et du diluant

Des milieux de culture lyophilisés ont été utilisés. Cependant, le milieu MRS-Amidon a été préparé à partir des éléments qui le compose. Les milieux de culture utilisés étaient :

- Gélose MRS-glucose : pour la culture et l'isolement des bactéries considérées lactiques (BL)
- Milieu MRS-Amidon : pour la culture et l'isolement de la flore lactique amylolytique (BLA).
- Milieu Yeasts Glucose Chloramphénicol (YGC) : pour la culture des levures
- Milieu Plate Count Agar (PCA) : pour la culture de la flore aéromésophile totale

La composition détaillée de tous les milieux de culture se trouve en annexe 2. Pour les dilutions, une solution physiologique à 9% de NaCl a été utilisée. Le même diluant a été utilisé pour la préparation des solutions mères et les dilutions en cascade. Pour la culture des bactéries lactiques, un milieu MRS-glucose déshydraté (MRS-broth) a été utilisé après resuspension dans l'eau conformément aux instructions du fabricant. De l'agar (15%) a été ajouté à ce milieu pour les isolements et les purifications en boîte de Pétri. Les pH des milieux ont été mesurés et ajustés le cas échéant aux pH appropriés.

III.2.2. Préparation des échantillons et ensemencement

Avant la préparation des solutions mères, les échantillons prélevés sont d'abord homogénéisés à l'aide d'un ultraturrax à tige stérilisée et à 10000 tours/min. La solution mère utilisée est préparée de la manière suivante:

- Pipeter aseptiquement 1ml de l'échantillon à analyser
- Ajouter l'échantillon (1ml) dans des tubes à vis contenant environ 9ml de diluant autoclavé
- Homogénéiser le mélange à l'aide d'un vortex. Cet homogénat a constitué la solution mère à une concentration de 10^{-1} .

Dilution en cascade

On a réalisé à partir des solutions mères des dilutions décimales en cascade dans de l'eau physiologique.

Ensemencement

La technique utilisée a été l'ensemencement par étalement de 0,1ml de la dilution de suspension microbienne dans chaque boîte contenant le milieu MRS gélosé.

Incubation

Les boîtes de pétri étiquetées ont ensuite été incubées 48h à 30°C, voire 72 h si nécessaire. Pour les levures, l'incubation s'est déroulée à 37°C pendant 72 h et pour la microflore totale à 37°C pendant 48 h.

Dénombrement des colonies

Les boîtes de pétri contenant des nombres de colonies compris entre 30 et 300 sont retenues pour la numération, deux boîtes de Pétri sont comptées par dilution.

III.2.3. Repiquage, purification et conservation des colonies

Nous avons repiqué dans chaque tube contenant du bouillon MRS une colonie. Le nombre de colonies prélevées au hasard par boîte est la racine carrée de N colonies (N=nombre total de colonies sur la boîte compris entre 100 et 300). Les tubes sont ensuite mis à incuber pendant 12 à 24 h (selon la croissance obtenue) à 30°C. Une seconde étape de purification est effectuée par des ensemencements par stries. Pour la conservation, une fraction de la culture liquide pure a été prélevée pour être distribuée dans 5 cryotubes stériles à raison de 0,5 ml par cryotube auxquels sont additionnés 0,5 ml d'une solution stérile de glycérol à 50 %. La conservation a été faite au congélateur à - 80°C.

III.2.4. Caractérisation des souches bactériennes issues de 12 échantillons de pâtes fermentées prélevées dans 12 ateliers de Ouagadougou

III.2.4.1. Préparation des cultures en culot

Nous avons repiqué dans chaque tube contenant du bouillon MRS une souche. Nous avons ensuite incubé ces tubes pendant 12 à 24 h (selon la croissance obtenue) à 30°C. Après la croissance nous avons récupéré le culot de bactéries par centrifugation pendant 10 min à 5000 rpm. Ce culot est ensuite lavé et centrifugé deux fois à l'eau distillée stérile. Le lavage permet d'éliminer toutes traces de milieu dans le culot et de ne garder que les souches bactériennes. Enfin, les différentes caractérisations ont été réalisées avec le culot obtenu.

III.2.4.2. Coloration Gram

La coloration différentielle de Gram a été faite à l'aide du kit prêt à l'emploi de BioMérieux.

III.2.4.3. Catalase

La caractérisation par réaction enzymatique du type catalase a été faite à partir du kit « ID color catalase » prêt à l'emploi de BioMérieux.

III.2.4.4. Galeries API 50 CHL

Les profils biochimiques des souches ont été réalisés grâce à l'utilisation de galeries API 50 CHL (BioMérieux) analysés par le logiciel APILAB plus. La classification taxonomique des isolats a été réalisée en établissant une matrice des distances à partir du calcul de l'indice de dissimilitude de Nei et Li. Basé sur cette matrice, un dendrogramme a été établi en utilisant l'algorithme UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean).

III.2.4.5. Type métabolique

Le type métabolique des souches a été déterminé par dosage des acides acétique et lactique, et éthanol par HPLC (High Performance Liquid Chromatography).

III.3. Analyses statistiques

Toutes les expériences ont été répliquées trois fois et le dosage des échantillons a été fait en double. L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics Plus version 5.1 (Manugistics, Inc., Etats-Unis). Le niveau de signification ($P \leq 0,05$) des différences entre les échantillons a été testé par analyse de variance (ANOVA) en utilisant le test des comparaisons multiples de Duncan pour séparer les moyennes (Duncan, 1955).

CHAPITRE III.

**CARACTERISTIQUES PHYSICO-
CHIMIQUES, BIOCHIMIQUES ET
MICROBIOLOGIQUES DU
PROCEDE TRADITIONNEL DE
PREPARATION DU *BEN-SAALGA***

Caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du procédé traditionnel de préparation du *ben-saalga*

Au Burkina Faso, les premiers aliments de complément donnés aux nourrissons sont généralement préparés à partir de produits locaux et consommés sous forme de bouillies pour la plupart fermentée. A Ouagadougou, les bouillies de mil fermenté communément appelées *ben-saalga* et *ben-kida* sont largement utilisées comme aliment de complément. En *mooré*, langue des Mossis, ethnie majoritaire au Burkina, le mot « *ben* » signifie bouillie (*benrée*) et « *saalga* » signifie lisse, tandis que « *kida* » veut dire granuleux. Le *ben-kida* se distingue donc du *ben-saalga* par la présence de granules de farine. Une étude préliminaire a montré que ces bouillies, produites dans plus de 150 micro-ateliers dans la ville de Ouagadougou, sont acceptées et largement consommées par les jeunes enfants (Mouquet et al, 2003).

Cependant, il existe très peu d'informations sur les technologies traditionnelles de fabrication de ces bouillies fermentées, en relation avec leur variabilité inter et intra-atelier, le savoir-faire des préparatrices, et leurs impacts sur les caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques de la bouillie finale. Notre étude s'est attachée, d'une part à caractériser le procédé traditionnel et la microflore dans 24 ateliers de production choisis au hasard dans Ouagadougou, et d'autre part, à mieux décrire les cinétiques de fermentation à travers des essais pilotes réalisés au laboratoire. La réalisation des essais pilotes a consisté à répliquer le procédé traditionnel au laboratoire en utilisant les mêmes matières premières et ustensiles que les productrices.

Les principaux résultats de cette partie ont été valorisés sous forme d'un article publié dans *International Journal of Food Microbiology* en 2006, d'un projet d'article, d'un résumé proposé au 18^{ème} congrès de Nutrition (Durban 2006), d'une communication orale au FRSIT (2002) et de deux posters (2nd international workshop... ; FoodMicro 2006)

Les références de ces différents documents sont données ci-après :

Article

Tou, E. H., Guyot, JP., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traore, A. S., & Trèche, S. (2006). Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into “*ben-saalga*”, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. *International Journal of Food Microbiology*, 106, 52-60.

Projet d'article

Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Kéléké, S., Traoré, A. S., Trèche, S. & Guyot, J. P. Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of *ben-saalga*, a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children. *A soumettre*

Communication orale au FRSIT 2002 (cf. annexe 3)

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 micros ateliers de production à Ouagadougou. Communication orale au FRSIT (Forum national de Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques), 11-18 mai 2002, Ouagadougou, Burkina Faso.

Posters (cf. annexe 4 et 5)

Tou, E.H., Keleke, S., Mouquet, C., Traoré, A.S., Guyot, J.P. (2003). Preliminary characterization of lactic microflora from fermented paste of pearl millet used for the preparation of *ben-saalga*, traditional burkinabè gruel. Poster presented to *the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.

Guyot J.P., Tou E.H., Sifer M., Galissaire L., Vernière C., Mouquet C. (2006) Microbial Diversity of *Bensaalga*, a Pearl-Millet Based Fermented Gruels from Burkina Faso. 5th International ICFMH Symposium, FOODMICRO 2006, Bologna, Italy, August 2006.

Communication (cf. annexe 6)

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Traoré, A.S., Trèche, S., Guyot, JP. (2006). Nutritional and microbial characteristics of *ben-saalga*, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. Abstract presented to the *18th International Congress of Nutrition*, 19 - 23 September 2005, ICC, Durban, South Africa.



Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso

E.H. Tou^{a,b}, J.P. Guyot^{b,*}, C. Mouquet-Rivier^b, I. Rochette^b, E. Council^b, A.S. Traoré^a, S. Trèche^b

^a Université de Ouagadougou/UFR-SVT/CRSBAN, Burkina Faso

^b UR106, «Nutrition, Alimentation, Sociétés», Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP 64501, 34394 Montpellier, France

Received 23 June 2004; received in revised form 19 February 2005; accepted 21 May 2005

Abstract

Traditional cereal-based fermented foods are frequently used as complementary foods for infants and young children in Africa. This is the case for *ben-saalga*, a popular fermented gruel produced from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Burkina Faso. Detailed knowledge of traditional processing is a prerequisite for investigating ways to improve both the nutritional and sanitary qualities of the corresponding foodstuff. In this work, the traditional processing of pearl millet into *ben-saalga* was investigated in 24 production units, and fermentation kinetics were studied in pilot scale experiments. Processing steps include: washing (optional), soaking of the grains (first fermentation step), grinding and sieving of the wet flour, settling (second fermentation step), and cooking. The soaking step was mainly characterized by alcoholic fermentation whereas lactic acid fermentation occurred during the settling step. Fermentation kinetics during settling indicates a temporal variation of metabolic activity. Initially, both homofermentative and heterofermentative pathways were simultaneously active, and later only a homofermentative pathway was active. The paste produced at the end of settling had a low pH (4.0 ± 0.4) and its microflora was dominated by lactic acid bacteria (LAB) with an amyolytic LAB/LAB ratio of 12%. Sucrose disappeared in the grains during soaking but was not detected in the soaking water, whereas glucose, fructose and maltose appeared transiently. Glucose and fructose were the main substrates observed for lactic acid fermentation during the settling step; however unbalanced fermentation led to the hypothesis that starch hydrolysis products may also serve as substrates for lactic acid formation. At the end of the processing, a 75% and 83% decrease was observed in phytate (IP6) and raffinose, respectively. The sour gruel *ben-saalga* resulting from cooking the sour paste had inadequate nutritional characteristics with respect to infants' and young children's requirements; it was characterized by fluid consistency (Bostwick flow: 137 mm/30 s) and low energy density (about 30 kcal/100 g of gruel).

© 2005 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Lactic acid fermentation; Pearl millet; Complementary food; Phytate; α -Galactoside; Amyolytic lactic acid bacteria

1. Introduction

Throughout Africa, fermentation is a traditional part of cereal and cassava processing. A wide range of cereal-based fermented foods exists (Tomkins et al., 1988; Hounhouigan et al., 1991; Oyewole, 1997; Blandino et al., 2003) such as *ogi* and *mawè* in Benin, *kenkey* in Ghana, *injera* in Ethiopia, *poto-poto* in Congo, *ogi* and *kwunu-zaki* in Nigeria, *uji* and *togwa* in Tanzania, *kisra* in Sudan. These foods are still often used to prepare gruels for the complementary feeding of infants and young children. However, compared to the required composi-

tion of complementary food (Dewey and Brown, 2003; Lutter and Dewey, 2003), the traditional gruels have low energy and nutrient density (Lorri and Svanberg, 1994; Trèche and Mbome, 1999) and traditional methods of processing need to be changed to improve the quality of these foods.

A great deal of information about processing (Kitabatake et al., 2003; Blandino et al., 2003), biochemical (Hounhouigan et al., 1993; Kingamkono et al., 1994; Svanberg and Lorri, 1997) and microbiological characteristics (Odufa and Adcyele, 1985; Nout et al., 1989; Mensah et al., 1991; Lei and Jakobsen, 2004) is available on numerous traditional cassava and cereal-based fermented foods. However, only a few studies, like those on Ghanaian *koko* (Lei and Jakobsen, 2004) and on *togwa* (Kitabatake et al., 2003), are based on descriptions made from

* Corresponding author.

E-mail address: jpguyot@mpl.ird.fr (J.P. Guyot).

representative number of traditional production units to take into account variability induced by field conditions. The main problems involved in obtaining information that describes traditional processes in a reliable way are surveys, sampling and processing of numerous samples which are labor intensive, time consuming and expensive. In addition, there are not always enough traditional production units (TPUs) in a given area, and it is not easy to access them, as they are often cottage or family (micro)-enterprises.

In Ouagadougou (Burkina Faso), a large number of TPUs for millet-based fermented gruels exist. These gruels are called *ben-saalga* and *ben-kida* in *mooré* (language of the main ethnic group in Burkina Faso) or *koko* in *dioula*. They are sold early in the morning in a ready-to-eat form in front of the producer's home or on the street and are frequently eaten by the population for breakfast. A preliminary survey established that 49% of households in Ouagadougou eat these fermented gruels. In the households considered as regular consumers, 75% of children less than 5 years old are regularly fed with these gruels (Cerefer, 2003).

The purpose of the investigation presented in this paper was to study the processing of pearl millet into *ben-saalga* in a wide range of TPUs in Ouagadougou, with the aim of providing a rational basis for the improvement of processing techniques and thus the nutritional quality of *ben-saalga* for its use as complementary food for infants and young children.

2. Materials and methods

2.1. Raw material and aromatic ingredients

The raw material used in the preparation of *ben-saalga* and *ben-kida* in the TPUs was pearl millet (*Pennisetum glaucum*) together with aromatic ingredients: ginger, mint, pepper and black pepper. These ingredients were purchased by the producers in the local market.

2.2. Observations and sampling in production units

A total of 24 TPUs of fermented gruel were randomly selected from a list of 93 TPUs identified during a previous survey carried out in the town of Ouagadougou (Cerefer, 2003).

To describe the different processing steps and to characterize the variability of the resulting product, the following measurements were performed in each TPU: duration of each step; weighing of the raw material used (grains, other ingredients, water), intermediary and final products and wastes; titratable acidity of unfermented wet flour and fermented paste; pH and consistency of gruels. Products of the different stages were sampled and freeze-dried for further analyses.

2.3. Titratable acidity

Samples were prepared by mixing either 80 g of unfermented wet flour or 10 g of decanted paste with 200 ml distilled water. Titratable acidity, reported as lactic acid

equivalent, was determined by titration of 40 ml of these solutions against 0.1 M NaOH using 1% phenolphthalein as indicator.

2.4. Changes in pH

During the soaking and settling steps in the TPUs and in the pilot scale experiments (PSE), changes in pH were continuously measured on-line using a pH-meter register (WTW 340i, Fisher Bioblock Scientific, Illkirch, France). Recorded data were thereafter transferred into an Excel file.

2.5. Fermentation kinetics

As study of fermentation kinetics in TPUs was logistically difficult, the traditional process was replicated at the University of Ouagadougou in pilot scale experiments that reproduced the field conditions identified in the survey. Experiments were performed at ambient temperature, using identical ingredients and recipients to those used by the producers. Grains for the soaking experiments and flour for the settling experiments were purchased from different producers. For soaking, five independent pilot scale experiments were performed. For settling, considered to be the most important step, three series of independent triplicate experiments were performed (a total of nine experiments).

2.6. Enumeration of aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria, amyolytic lactic acid bacteria and yeast

Plate counts of aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria (LAB), amyolytic lactic acid bacteria (ALAB) and yeast were determined on the following media: Plate Count Agar (PCA, Difco), de Man, Rogosa and Sharp (MRS, Difco), modified MRS (without tween 80, glucose was replaced by soluble starch at 20 g/l) and Yeast Glucose Chloramphenicol (YGC, Oxoid), respectively. Samples were unfermented wet flour and fermented pastes taken from 12 TPUs. MRS and modified MRS plates were incubated at 30 °C for 48 h, PCA plates at 30 °C for 48 h and YGC plates at 30 °C for 3 days.

2.7. Analytical methods

Lactic acid, acetate and ethanol in supernatants from the soaking and settling steps were analyzed as previously described (Calderon et al., 2001) by HPLC using an Aminex HPX-87H column (Biorad, Yvry-sur-Seine, France) connected to a refractive index detector (Waters 2410, France).

Mono- and disaccharides were analyzed by high-performance ion chromatography (HPIC) using an anion exchange chromatograph (Dionex S.A., Jouy en Josas, France) with a CarboPac PA1 column (Dionex S.A., Jouy en Josas, France) connected to an amperometric detector (Dionex Model ED 40).

Phytate (IP6) content was determined on freeze-dried samples by HPIC using an Omnipac Pax-100 anion-exchange column (Dionex S.A., Jouy en Josas, France) (Talamond et al., 1998).

Consistency of gruels was measured with a *Bostwick* consistometer (Bookwalter et al., 1968), at 45 °C over a period of 30 s.

3. Results

3.1. Description of the traditional processing of pearl millet into *ben-saalga*

Processing comprises the following main steps: washing and soaking of the grains, grinding, kneading, sieving, settling and cooking (Fig. 1) and is performed under natural conditions in the yard of the TPU, except for the grinding step which is not performed by the producer himself but in small community milling units. The daily quantity of millet usually

processed into *ben-saalga* in a TPU was around 6.8 kg. A large amount of water was used (an average of 25 kg of water per kg of raw millet), mainly for the kneading, filtration and settling steps (Table 1). In all the TPUs, the longest steps were soaking the grains (mean: 16 h) and settling (mean: 11 h) (Fig. 1). The daily amount of fermented gruel produced by the TPUs varied from 27.9 to 229 kg (average: 129 kg), depending on the amount of millet processed in the TPU. Of the aromatic ingredients added, ginger was the most often used (19 cases out of 24), followed by black pepper, pepper and mint (in 11, 10 and 10 cases out of 24, respectively) and occasionally local spices.

After processing, a loss of dry matter (DM) was observed, mainly due to the discarding of draff during the sieving step. Draffs consist mainly of the hulls and

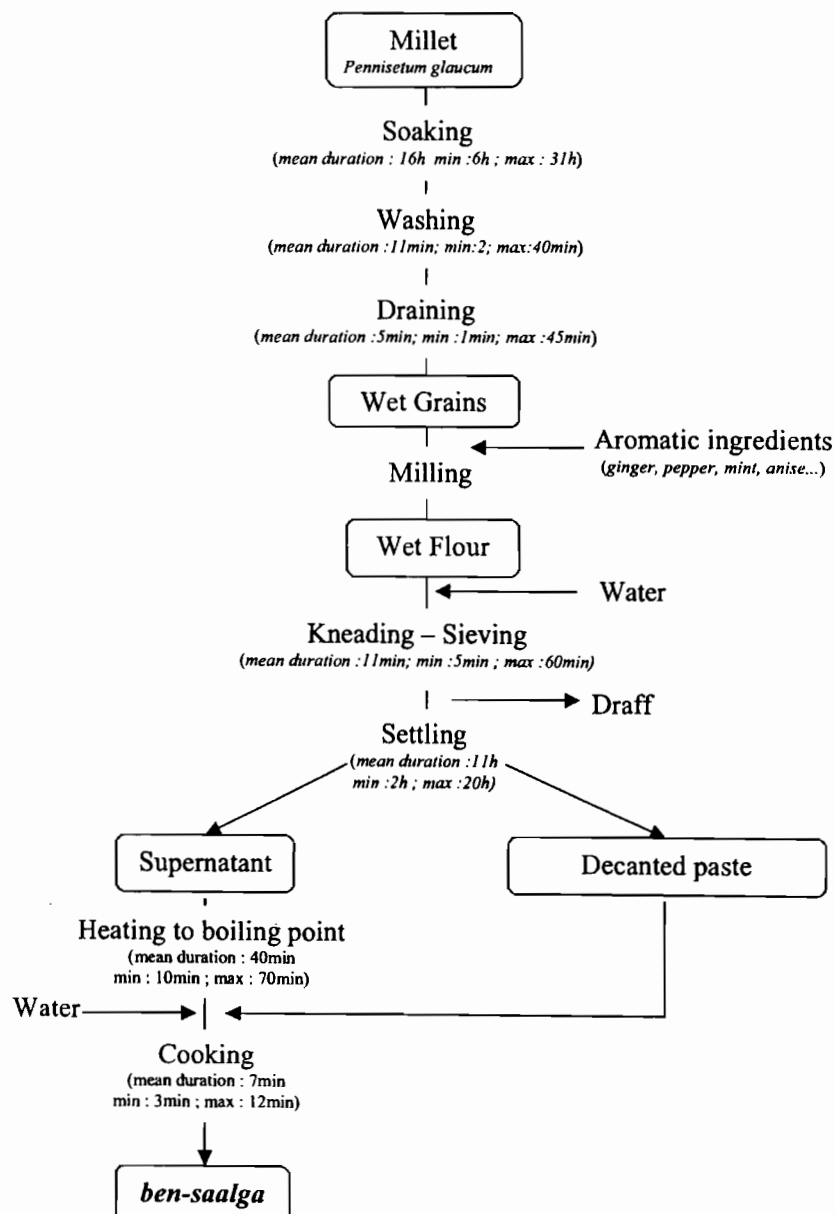


Fig. 1. Description of the traditional processing of pearl millet into *ben-saalga*.

Table 1
Mass balance of the *ben-saalga* processing in 24 TPUs

Quantity (wet weight)	TPU number (1)	Mean value	Standard deviation	Min	Max
Pearl millet (kg)	24	6.8	3.9	1.4	18.0
Drained, soaked millet (kg)	24	10.3	4.8	4.0	17.1
Aromatics ingredients (g)					
Ginger	19	272	180	94	725
Black pepper	11	22	16	4	49
Pepper	10	18	13	6	45
Mint	10	52	39	8	128
Intermediary products (kg)					
Humid flour	24	12.3	8.0	2.0	29.5
Discarded draff	24	4.0	2.2	0.5	8.4
Unfermented sieved paste	24	23.4	19.0	9.7	45.1
Fermented paste	24	8.4	1.9	3.0	15.3
Water used during the process (kg)					
Washing	17	14.9	10.2	4.8	39.2
Soaking	24	10.0	5.7	3.3	25.4
Kncading	24	38.2	24.1	9.9	107.0
Filtration	24	35.2	19.0	9.9	70.7
Settling	24	34.5	19.1	9.9	70.7
Cooking	14	15.3	9.7	1.8	32.7

(1): number of traditional producing units (TPU) where the values were registered. When this number is inferior to 24, this means that this is a facultative operation of the processing. Min: minimum value, Max: maximum value.

sometimes the germs of the millet grains and are used for animal feed. Cooking was the final step of millet processing into gruels (*ben-saalga* or *ben-kida*). First the supernatant resulting from the settling step was collected and heated for 40 min close to boiling point (Fig. 1 and Table 2). Afterward, the paste was added to the supernatant and boiled for 7 min. After boiling the supernatant, some producers added granules obtained by rolling wet millet flour. When the granules are added to *ben-saalga*, the gruel is called *ben-kida* (a granular gruel in *mooré*). However, only *ben-saalga* is used as a complementary food, and whatever the type of gruel produced, the *ben-saalga* flow diagram is always the same and so the production of *ben-kida* can be considered as a variant.

Titrateable acidity, temperature and pH of the products of fermentation steps and *ben-saalga* are shown in Table 2. A decrease in pH was observed during the soaking and settling steps (from 6.4 to 4.4 and from 5.5 to 3.7, respectively) and suggests that both steps are in fact fermentation steps. In addition, the biggest increase in titrateable acidity was observed during the settling step.

During processing there was a considerable decrease in IP6, raffinose and sucrose contents, 75%, 83% and 99%, respectively (Table 3). In addition, protein content decreased from 10.2 g/100 g DM in the grains to 6.0 g/100 g DM in the fermented paste. This decrease was due to the elimination of some protein rich fractions contained in the draff during the sieving step. The DM content in the gruels was low, corresponding to very low energy density (about 30 kcal/100 g of gruel before the addition of sugar). The consistency of the gruel was rather thin and the mean value of Bostwick flow was 137 mm/30 s (ranging from 99 to 180 mm/30 s).

The mean value of the pH of gruels was 3.9 (values ranged from 3.6 to 4.0).

3.2. Kinetics of pH changes during the soaking and settling steps

Changes in pH were continuously measured on-line using a pH-meter register during the soaking and settling steps in 8 TPUs (Fig. 2).

During the soaking step, similar acidification profiles were observed in all TPUs except for two where soaking was stopped after a shorter period by the producers (Fig. 2). pH decreased in two phases. In the first phase (0 to 6 h) the average pH decreased from an initial value of 6.6 to 5.3. In the second phase (5 to 8 h) the pH decreased from 5.3 to 4.4.

In the settling step, initial pH varied with the TPU but in general the decrease in pH followed a similar and classical pattern (Fig. 2) and stopped between 5 and 6 h to reach a mean final value of 3.9 (maximum: 4.0; minimum: 3.6). There was no apparent relation between the pH at the end of the soaking step and the initial pH at the settling step. The differences observed in the initial pH at the settling step in different TPUs might be due to the time spent between the grinding in the community milling units and the beginning of the settling step at the TPU, which can vary (duration of transportation between the TPU and the community unit, time spent waiting for grinding, etc.).

3.3. Fermentation kinetics in pilot scale experiments and in TPUs

As soaking and settling were identified as the two fermentation steps, these steps were investigated in more detail to better characterize consumption of substrates and the formation of products.

Table 2
pH, titrateable acidity and temperature of the products during the fermentation steps in 24 TPUs

	Mean value	Standard deviation	Min ^a	Max ^a
<i>pH</i>				
Water at the beginning of soaking	6.4	0.5	5.09	6.95
Water at the end of soaking	4.4	0.5	3.63	5.88
Wet flour after sieving	5.6	0.8	4.09	6.66
Supernatant at the beginning of settling	5.5	0.8	4.10	6.53
Supernatant at the end of settling	3.7	0.2	3.39	4.46
Fermented paste obtained after settling	4.0	0.4	3.45	4.75
<i>Titrateable acidity (mmol of lactic acid/100 g wet matter)</i>				
Wet flour after sieving	108.9	69.1	24.8	306.1
Fermented paste obtained after settling	341.4	113.4	171.1	570.3
<i>Temperature (°C)</i>				
Supernatant during cooking	98.6	1.2	97.0	99.9
<i>Ben-saalga</i> during cooking	89.2	3.6	81.4	93.3

^a Min: minimum value, Max: maximum value.

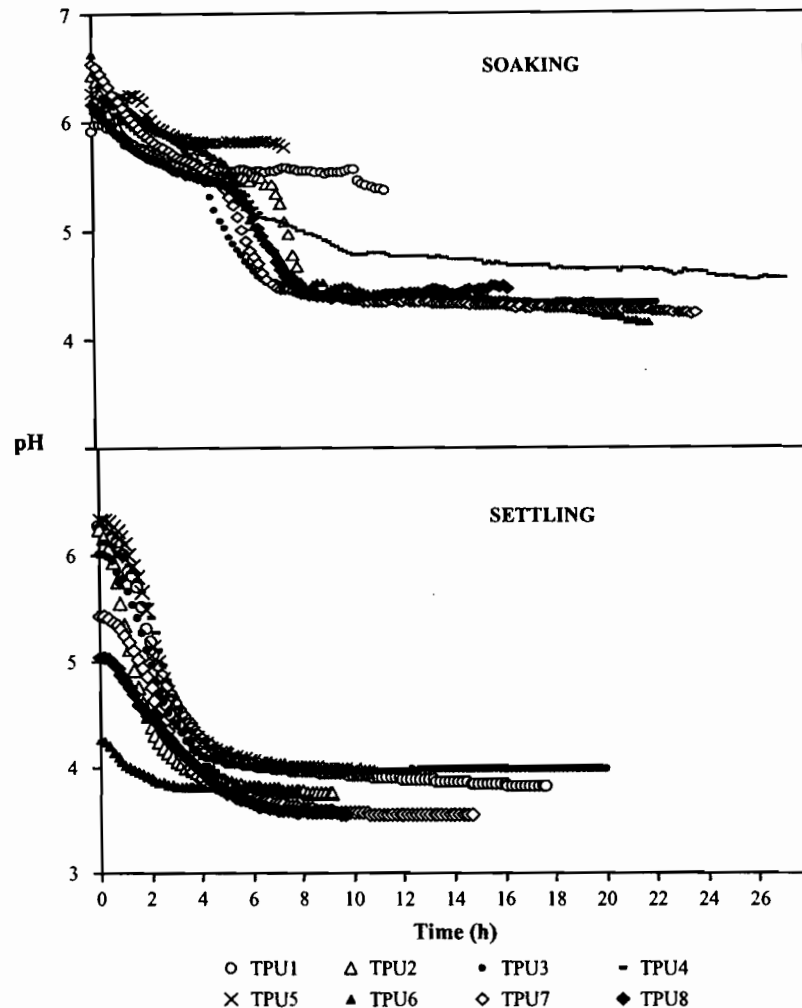


Fig. 2. Changes in pH during soaking and settling of the pearl millet grains in eight (1–8) traditional production units (TPU).

3.3.1. Kinetics of substrate and product formation during the soaking step

To characterize what could be the main substrates responsible for fermentation during the soaking step, changes in sugars (glucose, fructose, maltose, sucrose, melibiose, raffinose and stachyose) in the grains and in the soaking water (supernatant) were investigated in pilot scale experiments (PSE) (Fig. 3). The main sugars in the grains were sucrose (24.9 mmol/100 g DM), glucose (12.5 mmol/100 g DM), fructose (12.1 mmol/100 g DM) and raffinose (7.6 mmol/100 g DM). Their concentration decreased during soaking with the biggest changes in sucrose, fructose and glucose (Fig. 3).

Glucose, fructose and maltose were the major mono- and disaccharides which appeared in the supernatant transiently between 2 and 12 h.

Ethanol, acetic and lactic acids were identified as the fermentation products in the supernatant during the soaking step (Fig. 4). Surprisingly, ethanol was the main end-product and the same observation was made in samples taken from five different TPUs (Fig. 5). During the soaking step in both TPUs and PSEs, ethanol concentration increased to reach mean final values of 41 and 21 mM, respectively. From these results it can

thus be inferred that the soaking step is dominated by alcoholic fermentation. The relatively limited production of lactic and acetic acids might account for the limited decrease in pH observed in poor buffering conditions. Furthermore, the first phase of the limited decrease in pH observed in TPU conditions (Fig. 2) may correspond to the period in which organic acid production is hardly detectable (up to 8 h) (Fig. 4).

3.3.2. Kinetics of substrate and product formation during the settling step

After the onset of the fermentation, only traces of maltose and α -galactosides were detected and the sugars initially present in the supernatant during the settling step (Fig. 6), mainly glucose (8.0 mM) and fructose (3.6 mM), decreased to reach mean final values of 0.43 and 0.02 mM, respectively.

As a result of sugar fermentation, ethanol, acetic and lactic acids were formed during the settling step (Fig. 4). Lactic acid was the main fermentation product in both TPUs and PSEs (Fig. 7) and its concentration increased to reach mean final values of 35.4 and 31.0 mM, respectively. Furthermore, lactic acid production increased up to the end of fermentation (24 h) whereas ethanol production lasted only 8 h (Fig. 4).

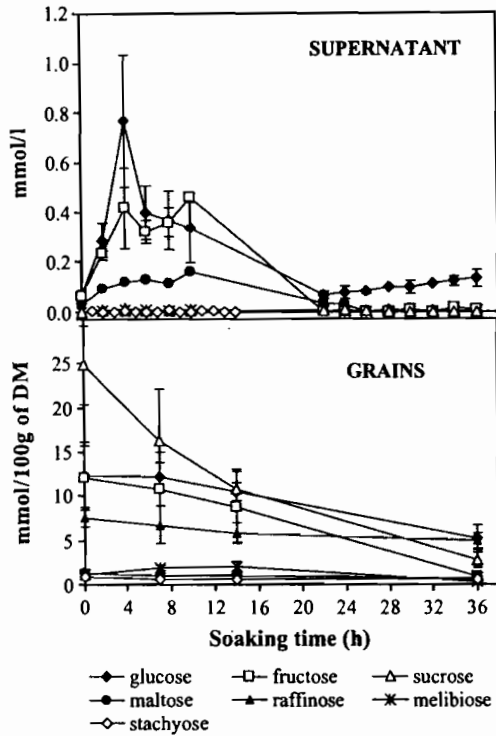


Fig. 3. Changes in sugars in grains and in the supernatant during soaking. Bars indicate standard deviation.

In addition to these results, microbial counts were determined in samples from different TPUs. In the unfermented wet flour, counts were similar for the lactic acid bacteria and yeasts (Table 4). Consistent with the fermentation patterns, at the end of the fermentation LAB increased and became the dominant microflora whereas yeasts decreased, though yeasts were still present. Moreover, amylolytic lactic acid bacteria (ALAB) were counted and found to increase during fermentation (from 5.1 to 6.1 log CFU/ml). However, the ALAB/LAB ratio (12%) was constant (Table 4).

4. Discussion

As the flow diagram of *ben-saalga* production (Fig. 1) shows, the processing of pearl millet is similar to that of other African traditional processing of cereals into fermented dough and pastes such as *mawè*, *ogi* in Benin, Ghana, Nigeria (Blandino et al., 2003; Hounhouigan et al., 1993; Odunfa and

Table 3
Main biochemical characteristics of products during the processing of pearl millet into *ben-saalga* in 24 TPUs (results are mean values in g/100 g DM with standard deviation)

	Dry matter	Protein	Phytate (IP6)	Sucrose	Raffinose
Washed grains	76.7±8.3	10.2±0.6	0.67±0.05	1.09±0.33	0.48±0.23
Soaked grains	59.3±2	10.1±0.6	0.63±0.10	0.27±0.17	0.21±0.16
Unfermented paste	7±3.2	8.7±1.2	0.51±0.13	0.03±0.02	0.04±0.05
Fermented paste	39.2±9.9	6.0±2.1	0.18±0.12	0.01±0.01	0.08±0.27
<i>Ben-saalga</i>	7.4±1.4	-	0.16±0.07	-	-

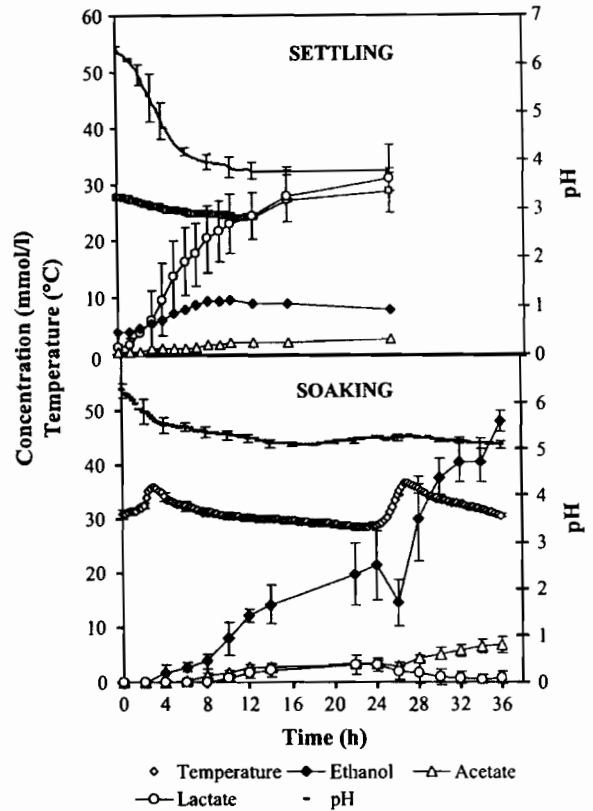


Fig. 4. Changes in pH, temperature, ethanol, acetic and lactic acid concentrations in supernatant during soaking and settling in pilot scale experiments. Bars indicate standard deviation.

Adeyale, 1985; Tomkins et al., 1988). Without claiming to thoroughly describe the nutritional characteristics of *ben-saalga* (further investigations are currently underway), some preliminary conclusions can be drawn from the results. In agreement with previous results (Svanberg and Lorri, 1997), in all the TPUs investigated, during the lactic acid fermentation step (settling) there was natural degradation of phytate, an anti-nutritional factor (ANF) that reduces the bioavailability of mineral micronutrients. As for α -galactosides such as raffinose,

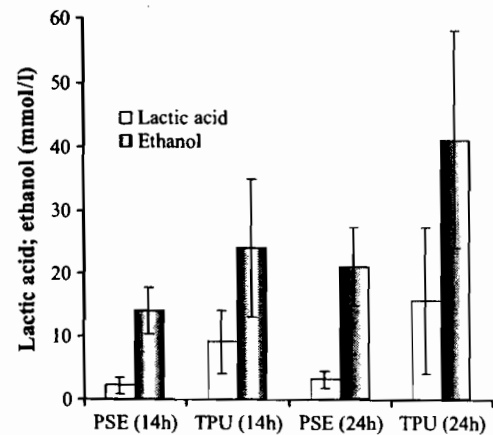


Fig. 5. Comparison between five traditional production units (TPU) and pilot scale experiments (PSE) for lactic acid and ethanol concentrations in supernatant during soaking. Bars indicate standard deviation.

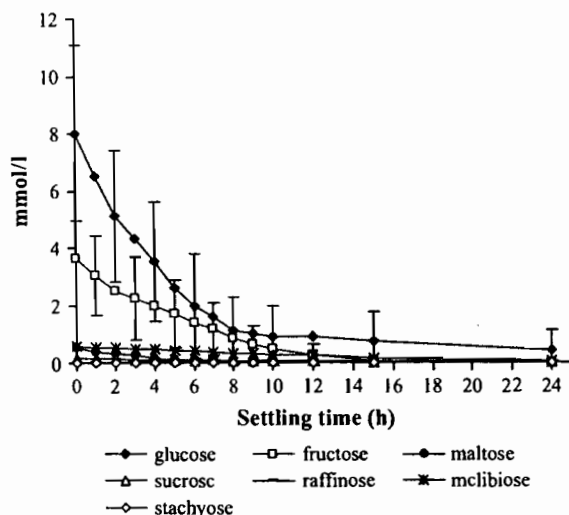


Fig. 6. Kinetics of sugar consumption in supernatant during settling in pilot scale experiments. Bars indicate standard deviation.

the ANF responsible for digestive disorders, their degradation was also investigated to establish if they are eliminated naturally during processing.

In contrast to phytates, the raffinose content in the grains decreased mainly during the soaking step probably due to the combined effect of diffusion and α -galactosidase activities. However, even if ANF content does naturally decrease during processing, *ben-saalga*, like many other traditional complementary foods (Lorri and Svanberg, 1993, 1994; Trèche and Mbonie, 1999), is a diluted gruel that does not have the necessary energy and nutrient density to fulfill the nutritional requirements of infants and young children. To obtain a local gruel with the required nutritional characteristics (Trèche, 1999; Lutter and Dewey, 2003; WHO, 1998), some modifications of the traditional process will be necessary, taking into account the skill of producers and thus relying on more detailed knowledge of processing conditions. Notwithstanding, apart from the nutritional aspects, more immediate benefits for the

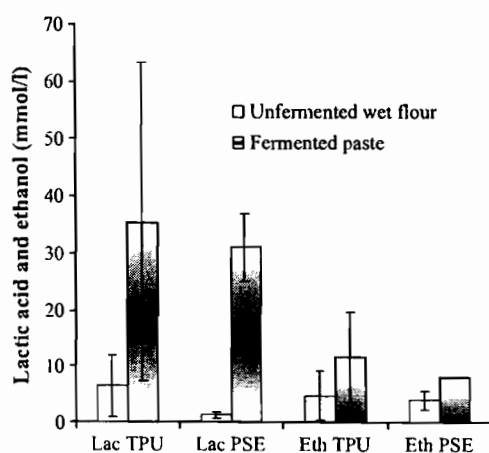


Fig. 7. Comparison of the changes in lactic acid (Lac) and ethanol (Eth) concentrations in supernatant during settling between five traditional production units (TPU) and pilot scale experiments (PSE). Bars are for standard deviation.

Table 4

Counts of the aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria and yeasts in the unfermented wet flour and fermented paste in 12 TPUs

	Unfermented wet flour (log CFU/ml \pm S.D.)	Fermented paste (log CFU/ml \pm S.D.)
Aerobic mesophilic counts	6.5 \pm 0.4	7.1 \pm 0.4
Lactic acid bacteria (LAB)	6.2 \pm 0.9	7.0 \pm 1.1
Amylolytic acid bacteria (ALAB)	5.1 \pm 0.5	6.1 \pm 0.4
Yeasts	6.1 \pm 0.4	5.5 \pm 0.7
Ratio LAB/yeast	1.01	40.02
Ratio ALAB/LAB	0.10	0.12

LAB: lactic acid bacteria; ALAB: amylolytic lactic acid bacteria; S.D.: standard deviation.

sanitary quality of the gruels resulting from the traditional processing of pearl millet would be expected. The combination of a decrease in pH to values lower than 4.0 during the settling step, together with the simultaneous production of antimicrobial compounds by LAB (lactic acid and possibly bacteriocins) and a temperature near to boiling point during the final cooking phase would limit contamination by food-borne pathogens (Kingamkono et al., 1994; Lei and Jakobsen, 2004; Nout et al., 1989; Nout and Motarjemi, 1997).

In spite of many studies describing the traditional processing of cereals by lactic acid fermentation, detailed information on fermentation kinetics is scant. In this study, particular attention was paid to providing an accurate description of the fermentation process combining observations made directly in several TPUs and at the pilot scale. *Ben-saalga* processing clearly includes two stages of fermentation, first alcoholic fermentation during soaking and then lactic acid fermentation during settling. The fact that lactic acid concentration is higher than ethanol during the first 8 h of settling indicates the metabolic heterogeneity of the LAB population, in which homofermentative and heterofermentative pathways are simultaneously active. Furthermore, it appears that from 8 to 24 h of fermentation, only the homofermentative or facultative heterofermentative LAB are active, suggesting a temporal variation in the microflora.

High variability in the concentration of final products, such as ethanol and lactic acid during soaking and settling, respectively, was observed in the TPUs, and illustrates the need to find a suitable strategy to better control processing conditions. This is not only necessary to improve the nutritional characteristics of the gruel but also to obtain a foodstuff with constant food composition. This high variability might be due to variations observed in the duration of the different unit operations as shown in Fig. 1.

Whereas lactic acid fermentation is a classical phenomenon during the settling step of cereal flours in many traditional forms of processing, this is the first time that the soaking step has been described in such detail and also associated with alcoholic fermentation. This is consistent with the fact that soaking the grains in water does not provide conditions favorable for the growth of lactic acid bacteria which have fastidious nutrient requirements, giving a competitive advantage to microorganisms with less stringent nutritional requirements such as some yeasts. In contrast, during settling nutrients such as proteins and vitamins from pearl millet could be made

more easily available to LAB through reduction in size during grinding of the grains and also possibly by the autolysis of yeasts or other biological factors. The soaking step can thus be regarded as a fermentation process, which combines substrate diffusion out of the grains and metabolic activity of the microorganisms during which ethanol production relies mainly on the fermentation of glucose, fructose and maltose. Sucrose, which is the main disaccharide of the grains, was not detected as a substrate in the soaking water, probably due to endogenous invertase activity in the grain converting sucrose into glucose and fructose and/or a perfect coupling between the diffusion rate and consumption rate by microorganisms. This hypothesis is currently being further investigated.

For the settling step, glucose and fructose appeared to be the main substrates for lactic acid fermentation. However, a closer examination of data brought to light an unbalanced situation, since the production of around 10 mmol/l of ethanol and 30 mmol/l of lactic acid, i.e. a total of 40 mmol/l of fermentation end-products, cannot be explained by an initial concentration of 8 and 3.6 mmol/l of glucose and fructose, respectively. From the total concentration of the end-products it can be inferred that 20 mmol/l of “glucose equivalent” (considered as glucose and fructose) would have been necessary, taking as hypothesis that 2 mol of fermentation end-product (i.e. ethanol or lactic acid) are formed per mole of substrate, and that fructose is used as substrate and not as an electron acceptor. Thus, such a balance highlights a deficit in substrate for fermentation and suggests the use of an additional carbon source, probably starch, which is widely available in the pearl millet grain. This hypothesis is consistent with the presence during the settling step of amyolytic lactic acid bacteria, and suggests an active role during fermentation. This is also consistent with other reports on their presence at similar ratios in other traditional fermented cereal pastes and dough (Diaz-Ruiz et al., 2003; Johansson et al., 1995; Sanni et al., 2002) and with the ability of their α -amylase to hydrolyse native starch (Rodriguez-Sanoja et al., 2000).

5. Conclusion

This study of the processing of pearl millet into *ben-saalga* allowed a detailed flow diagram to be established and fermentation steps to be characterized, providing a rational basis for further investigations to ensure reproducible conditions for the production of constant food quality. However, if some information has been obtained on changes in nutritional characteristics during processing, a more detailed study is required to improve not only production conditions but also gruel nutritional characteristics. Particular attention will have to be paid to identifying methods to improve the energy and nutrient density of traditional gruels.

Acknowledgements

This work was performed in the framework of the project Cerefer (www.mpl.ird.fr/cerefer/) funded by the European Commission, Contract No. ICA4-CT-2002-10047.

References

- Blandino, A., Al-Aseeri, M.E., Pandiella, S.S., Cantero, D., Webb, C., 2003. Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International* 36, 527–543.
- Bookwalter, G.N., Peplinski, A.J., Pfeifer, V.F., 1968. Using a Bostwick consistometer to measure consistencies of processed corn meals and their CSM blends. *Cereal Science Today* 13 (11), 407–410.
- Calderon, M., Loiseau, G., Guyot, J.P., 2001. Nutritional requirements and simplified cultivation medium to study growth and energetics of a sourdough lactic acid bacterium *Lactobacillus fermentum* Ogi E1 during heterolactic fermentation of starch. *Journal of Applied Microbiology* 90, 508–516.
- Cerefer, 2003. European Commission, Annual Report of the European INCO-DEV Project (5th FP), Contract No. ICA4-CT2002-100471: «Meeting consumer requirements for cereal based fermented foodstuffs with improved nutritional and sanitary quality and shelf-life in Africa», Oct. 2002–2003. Report available at: <http://www.mpl.ird.fr/cerefer/>.
- Dewey, K.G., Brown, K.H., 2003. Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs. *Food and Nutrition Bulletin* 24, 5–28.
- Diaz-Ruiz, G., Guyot, J.P., Ruiz-Teran, F., Morlon-Guyot, J., Wachter, C., 2003. Microbial and physiological characterization of weak amyolytic but fast growing lactic acid bacteria: a functional role in supporting microbial diversity in *pozol*, a Mexican maize sourdough. *Applied and Environmental Microbiology* 69, 4367–4374.
- Hounhouigan, D.J., Jansen, J.M.M., Nout, M.J.R., Nago, C.M., Rombouts, F.M., 1991. Production and quality of maize-based fermented dough in Benin urban area. Proceedings of regional workshop on traditional African foods. *Quality Nutrition*, 9–18 (25–29 Oct.)
- Hounhouigan, D.J., Nout, M.J.R., Nago, C.M., Houben, J.H., Rombouts, F.M., 1993. Changes in the physico-chemical properties of maize during natural fermentation of Mawè. *Journal of Cereal Science* 17, 291–300.
- Johansson, M.L., Sanni, A., Lonner, C., Molin, G., 1995. Phenotypically-based taxonomy using API 50 CH of lactobacilli from Nigerian Ogi, and the occurrence of starch fermenting strains. *International Journal of Food Microbiology* 25, 159–168.
- Kingamkono, R., Sjögren, E., Svanberg, U., Kaijser, B., 1994. pH and acidity in lactic-fermenting cereal gruels: effects on viability of enteropathogenic microorganisms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 10, 664–669.
- Kitabatake, N., Gimbi, D.M., Oi, Y., 2003. Traditional non-alcoholic beverage, *togwa*, in East Africa, produced from maize flour and germinated finger millet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 54, 447–455.
- Lei, V., Jakobsen, M., 2004. Microbiological characterization and probiotic potential of *koko* and *koko* sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink. *Journal of Applied Microbiology* 96 (2), 384–397.
- Lorri, W., Svanberg, U., 1993. Lactic acid-fermented cereal gruels; viscosity and flour concentration. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 44, 207–213.
- Lorri, W., Svanberg, U., 1994. An overview of the use of fermented foods for child feeding in Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition* 34, 65–81.
- Lutter, C.K., Dewey, K.G., 2003. Nutrient composition for fortified complementary foods: proposed nutrient composition for fortified complementary foods. *Journal of Nutrition* 133, 3011S–3020S.
- Mensah, P., Tomkins, A.M., Draser, B.S., Harrison, T.J., 1991. Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough. *Journal of Applied Bacteriology* 7, 203–210.
- Nout, M.J.R., Motarjemi, Y., 1997. Assessment of fermentation as a household technology for improving food safety: a joint FAO/WHO workshop. *Food Control* 8, 221–226.
- Nout, M.J.R., Rombouts, F.M., Havelaar, A., 1989. Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology* 8, 351–361.

- Odunfa, S.A., Adeyeye, S., 1985. Microbiological changes during the traditional production of *ogi-baba*, a West African fermented sorghum gruel. *Journal of Cereal Science* 3, 173–180.
- Oyewole, O.B., 1997. Lactic fermented foods in Africa and their benefits. *Food Control* 8, 289–297.
- Rodriguez-Sanoja, R., Morlon-Guyot, J., Jore, J., Pintado, J., Juge, J., Guyot, J.P., 2000. Comparative characterization of complete and truncated forms of *Lactobacillus amylovorus* α -amylase and the role of the C-terminal direct repeats in raw starch binding. *Applied and Environmental Microbiology* 66, 3350–3356.
- Sanni, A., Morlon-Guyot, J., Guyot, J.P., 2002. New efficient amylase producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *International Journal of Food Microbiology* 72, 53–62.
- Svanberg, U., Lorri, W., 1997. Fermentation and nutrient availability. *Food Control* 8 (5/6), 319–327.
- Talamond, P., Gallon, G., Trèche, S., 1998. Rapid and sensitive liquid chromatography method using a conductivity detector for the determination of phytic acid in food. *Journal of Chromatography, A* 805, 143–147.
- Tomkins, A., Alnwick, D., Haggerty, P., 1988. Fermented foods for improving child feeding in eastern and southern Africa. In: Alnwick, D., Moses, S., Schmidt, O.G. (Eds.), *Improving Young Child Feeding in Eastern and Southern Africa—Household-Level Food Technology*. Ottawa International Development Research Center, pp. 136–167.
- Trèche, S., 1999. Techniques for improving the energy density of gruel. In: Dop, M.-C., Benbouzid, D., Trèche, S., de Benoist, B., Verster, A., Delpuech, F. (Eds.), *Complementary Feeding of Young Children in Africa and the Middle-East*. Geneva, 1999, World Health Organization (WHO/NHD/99.3 et WHO/AFRO/NUT/99.4), pp. 101–119.
- Trèche, S., Mbome, I.L., 1999. Viscosity, energy density and osmolality of gruels for infant prepared from locally produced commercial flours in some developing countries. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 50, 117–125.
- WHO, 1998. *Complementary Feeding of Young Children in Developing Countries—A Review of Current Scientific Knowledge*. World Health Organization, Geneva. WHO/NUT/98.1.

Projet d'article:

Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of *ben-saalga*, a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children

Preliminary characterization of lactic acid bacteria from pearl millet fermented pastes used for the preparation of *ben-saalga*, a traditional burkinabe gruel used as complementary food for young children

E. H. Tou^{1,2}, C. Mouquet-Rivier^{1,3}, S. Kéléké⁴, A. S. Traoré¹, S. Trèche³, J. P. Guyot³

¹UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement (IRD) 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso

²Université de Ouagadougou /UFR-SVT/ CRSBAN, Burkina Faso

³UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Montpellier, France

⁴EPRAN (Equipe Pluridisciplinaire de Recherche en Alimentation et Nutrition) Pointe-Noire /Congo

* Corresponding author: E-mail address: jpguyot@mpl.ird.fr (J.P. Guyot)

Abbreviated running title: lactic acid bacteria of *ben-saalga*

Abstract

The current work was performed in the frame of a wide study with the aim to assess the microbial diversity of pearl millet fermented pastes contributing to the *ben-saalga* stability and safety. The samples have been taken from twelve traditional small-producing units of *ben-saalga*. The isolated strains were tested according to their phenotypic characteristics (morphology, Gram reaction, catalase activity, biochemical profiles by API 50 CHL strips and metabolic type by HPLC). The numeration of lactic acid bacteria (LAB) from the pastes highlighted that LABs are the dominant microorganisms of the *ben-saalga* microbiota. LAB counts in the pastes vary

from 7.5 to 8.5 log CFU/g dry weight. Isolated strains of LAB (presumptively) represented 92% of the microbial community. Results of metabolic type of LABs based on HPLC determinations revealed that 58% were homofermentative and based on morphological observation 80% were lactobacilli. In addition, 57 and 69% of LABs can ferment melibiose and raffinose (α -galactoside) respectively, and 100, 100, 72 and 57% fermented glucose and fructose, maltose, sucrose, respectively. Only one strain fermented starch. The heterofermentative *Lactobacillus fermentum*-like (i.e. *Lb fermentum* and *Lb cellobiosus*) are the most represented lactic acid bacteria

(24%) followed by *Lb plantarum* (14%) and *Pediococcus pentosaceus* (12%).

1. Introduction

Numerous fermented foods consumed throughout the world are cereal-based foods produced by natural fermentation (Blandino et al., 2003). Several studies reported that cereal-based fermented foods have good nutritional properties (Nout 1991; Hounhouigan et al., 1993; Kingamkono et al., 1994; Svanberg and Lorri, 1997) and sanitary characteristics (Odunfa and Adeyele, 1985; Nout et al., 1989; Mensah et al., 1991; Lei and Jakobsen, 2004) attributed to natural lactic acid bacteria. There are various indigenous fermented foods and a great deals of data are available on these foodstuffs: *koko* (Lei and Jakobsen, 2004), *kenkey* (Olasupo et al. 1997; Hayford et al. 1999), *mawè* (Hounhouigan et al. 1993 ; 1994), *ogi* (Johansson et al. 1995; Olasupo et al. 1997), *ogi-baba* (Odunfa and Adeyele 1985), *hussuwa* (El Nour et al. 1999), *kisra* (Hamad et al. 1992), *kanu-zarki* (Olasupo et al. 1997), *kamu* (Oyeyiola 1991), *ambali* (Antony and Chandra 1997), *obiolor* (Achi 1990), *sigda* (Elfaki et al. 1991) and *ben-saalga* (Ben Omar et al, 2006; Tou et al, 2006).

Keywords: pearl millet, traditional fermentation, complementary food, lactic acid bacteria, phenotypic characterization

In Ouagadougou (Burkina Faso), fermented gruels traditionally consumed are produced from millet and are often used as complementary foods. These millet-based fermented gruels are called *ben-saalga* or *ben-kida* in *mooré* (popular language in Burkina Faso) and *koko* in *dioula*. At the difference of *ben-saalga*, *ben-kida* was characterized by the presence of granules. *Ben-saalga* or *ben-kida* is produced in small scale producing units which are widespread in Ouagadougou. These producing units are often cottage or family micro-enterprises. As reported by a preliminary survey (*unpublished data*), young children preferred *ben-saalga*, because it is a thin gruel, whereas, adults largely consumed *ben-kida* for breakfast. Preparation of these gruels is an old practice well-known by the producers. Gruels are sold in a ready-to-eat form, early in the morning in front of the producer's homes or on the street. Surveys reported that 49 % of households in Ouagadougou eat these fermented gruels. In the households considered as regular consumers, 75 % of children less than 5 years old are regularly fed with these gruels (Cerefer, 2003). Study of the processing of pearl millet into *ben-*

saalga (Tou et al., 2006) showed that it had a low pH (4.0 ± 0.4), low energy density (about 30 kcal/100g of gruel). In *ben-saalga* processing method, two fermentation steps were observed. The first occurred during soaking of the grains and the second during the settling step. Soaking was characterised by an alcoholic fermentation whereas, a lactic acid fermentation occurred during settling. *Ben-saalga* microbiota was dominated by lactic acid bacteria (LAB) with an ALAB/LAB ratio of 12% (Tou et al., 2006). If information is available concerning the bacteriocinogenic activity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from *ben-saalga* (Ben Omar et al, 2006), however, no general description is available about the lactic acid bacteria involved in the processing of *ben-saalga*. Information about the microorganisms involved in indigenous foods is essential because they specially contribute to improve the stability and properties of these foods.

The aim of the current work was to isolate and characterize the lactic acid bacteria involved in *ben-saalga* processing method. Lactic acid bacteria of *ben-saalga* were characterized according to their phenotypic characteristics (morphology, Gram reaction, catalase activity, biochemical profiles by API 50 CHL strips and metabolic type by HPLC).

2. Materials and methods

2.1. Numeration and isolation of bacterial strains

Among a list of 93 traditional producing units (TPU) identified during a preliminary survey carried out in Ouagadougou (Djossou et al, 1999), 12 TPUs of fermented gruels (*ben-saalga* or *ben-kida*) have been randomly selected. Fermented pastes were taken aseptically in these 12 TPUs at the end of the fermentation step. Samples were conserved at $+4^{\circ}\text{C}$ before their analyses which were performed the same day. Medium of de Man, Rogosa and Sharpe (MRS, Difco) was used to isolate lactic acid bacteria (LAB) strains from these samples of fermented pastes. MRS-agar was used for numeration and isolation and MRS-broth media for routine culture.

Strains were stored in glycerol (40%) at -80°C . For use in biochemical tests, a 24h culture of each strain was centrifuged (SGMA, 4K10) at 10000 rpm for 5 min and the pellet was washed three times in sterilised physiological water (9 g NaCl/l).

2.2. Phenotypic characterization of bacterial strains

The isolated strains were tested according to their phenotypic characteristics: morphology, Gram reaction, catalase activity, biochemical

profiles by API 50 CHL strips and metabolic type. The metabolic type of strains was determined by analysis of the acetic and lactic acids, and ethanol in the fermentation broth by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). The phenotypic identification of LAB was carried out by API 50 CHL biochemical tests (BioMérieux, France). The results of the identification tests were interpreted using the APILAB PLUS software (BioMérieux). The taxonomic classification of the isolates was based on a binary matrix established from the presence or absence of phenotypic characters. The binary matrix was translated into a matrix of distances using the coefficient of dissimilarity of Nei and Li. Based on this matrix, a dendrogram was established by using the algorithm UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean).

3. Results and discussions

3.1. Lactic acid bacteria counts

Counts of lactic acid bacteria (LAB) were performed in samples of fermented pastes obtained from 12 producing units. LAB counts varied between 7.5 and 8.5 logCFU/ml, and they were similar to those observed in *boza*, Bulgarian cereal-based fermented beverage (Gotcheva et al, 2000). However, LAB counts seem rather

low in comparison to those of other traditional fermented cereals (Mugula et al, 2003). That could be attributed to the low dry matter content of *ben-saalga* fermented pastes which were much diluted and resulting therefore in a low availability of substrate for microbial growth. LAB represented the dominant microflora, similarly to results from several studies carried out on the microorganisms involved in cereal-based fermented foods (Aguirre and Colins, 1993; Caplice and Fitzgerald, 1999; Gotcheva et al, 2000; Lei and Jakobsen, 2004). LAB dominance is consistent with the fermentation kinetics during the settling step (Tou et al, 2006).

3.2. Phenotypic characteristics of bacterial strains

184 bacteria were randomly isolated from fermented pastes sampled in 12 producing units and they were purified and characterised. For each isolate being Gram positive and catalase negative (presumptively LAB), their fermentation profile was determined using API 50 CHL galleries and their end-products from glucose fermentation were determined by HPLC to determine their fermentative pathway. The results are shown in table1.

Table1. Results from morphological observations, Gram reaction, catalase activity and API 50 CHL tests

	Percentage (%)
Gram +	98
Catalase -	94
Gram + et Catalase -	92
Homofermentative	58
Lactobacilli (morphology)	80
Glucose	100
Fructose	100
Maltose	72
Sucrose	57
Lactose	52
Melibiose	57
Raffinose	69

As shown in table1, 57 and 69 % of LABs can ferment melibiose and raffinose, respectively. All strains fermented glucose and fructose, and 72 and 57 % fermented the main disaccharides of cereals maltose and sucrose, respectively. Surprisingly, only one strain fermented starch but it has been previously reported that API50CHL API strips often gave false negative results regarding starch fermentation, and therefore this test cannot enable to detect amylolytic LABs (Agati et al, 1998). It is interesting to observe that most of the LABs can ferment α -galactosides which are antinutritional factors. Therefore if for nutritional

improvement of *ben-saalga* pulses and beans are added to millet in order to increase the protein and lipid content, it would be possible to rely upon the natural ability of the microbiota to remove the α -galactosides brought with these complementary raw materials.

The phenotypic and biochemical tests showed that among the 184 strains isolated, 126 of the isolates were confirmed as LAB (73 % lactobacilli, 20 % cocci) and 5 % were presumptively identified as *Bacillus* sp. Consistently with the fermentation patterns obtained during fermentation kinetics experiments (Tou et al, 2006), 50 and 80 %

of lactobacilli and cocci were heterofermentative, respectively.

Clustering based on fermentation profiles obtained with API 50 CHL (49characters/isolate) was performed (Fig.1). Two major clusters (A and B) can be identified which share 60 % of similarity.

The group A included 70 % of *Lactobacilli*. It is interesting to observe that the sub-group A1 is composed of mainly heterofermentative strains (except two isolates) and that group B is exclusively composed of homofermentative strains.

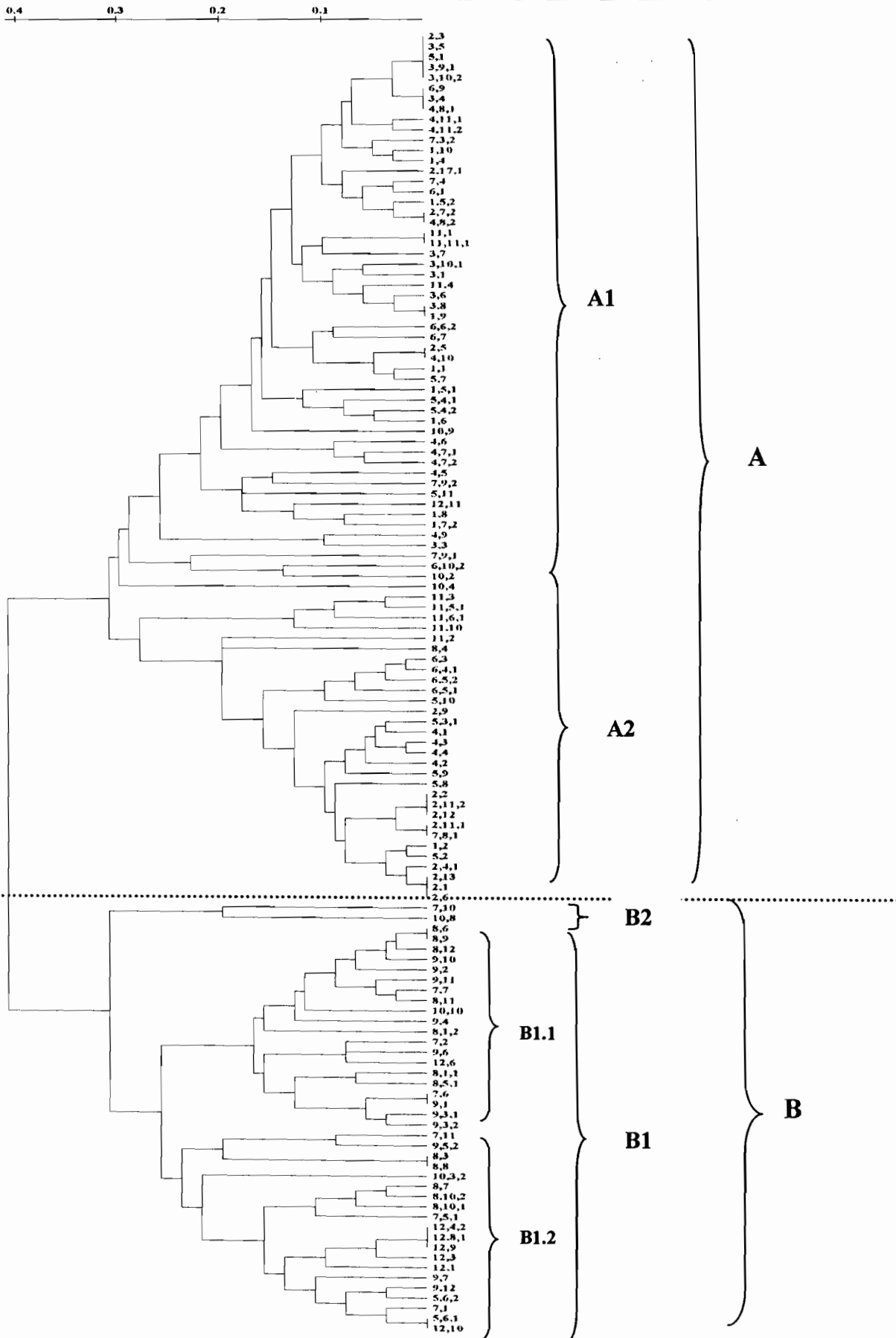


Fig.1. Dendrogram showing the classification of lactic acid bacteria based on phenotypic characters

Lactobacillus cellobiosus is the major lactic acid bacteria (24%) followed by *Lb plantarum* (14%) and *Pediococcus pentosaceus* (12%) (Fig.2). Considering *Lb fermentum* and *cellobiosus* as belonging to a same group, the bacterial collection is dominated by *Lb fermentum*-like species

which are heterofermentative. For some different fermented cereal-based foods, *Lb plantarum* dominated the bacterial population at the end of fermentation, such as in Nigerian *Ogi* (Akinrele, 1970), Uganda *boza* (Gotchva et al, 2000) and Tanzanian *togwa* (Mugula et al, 2003).

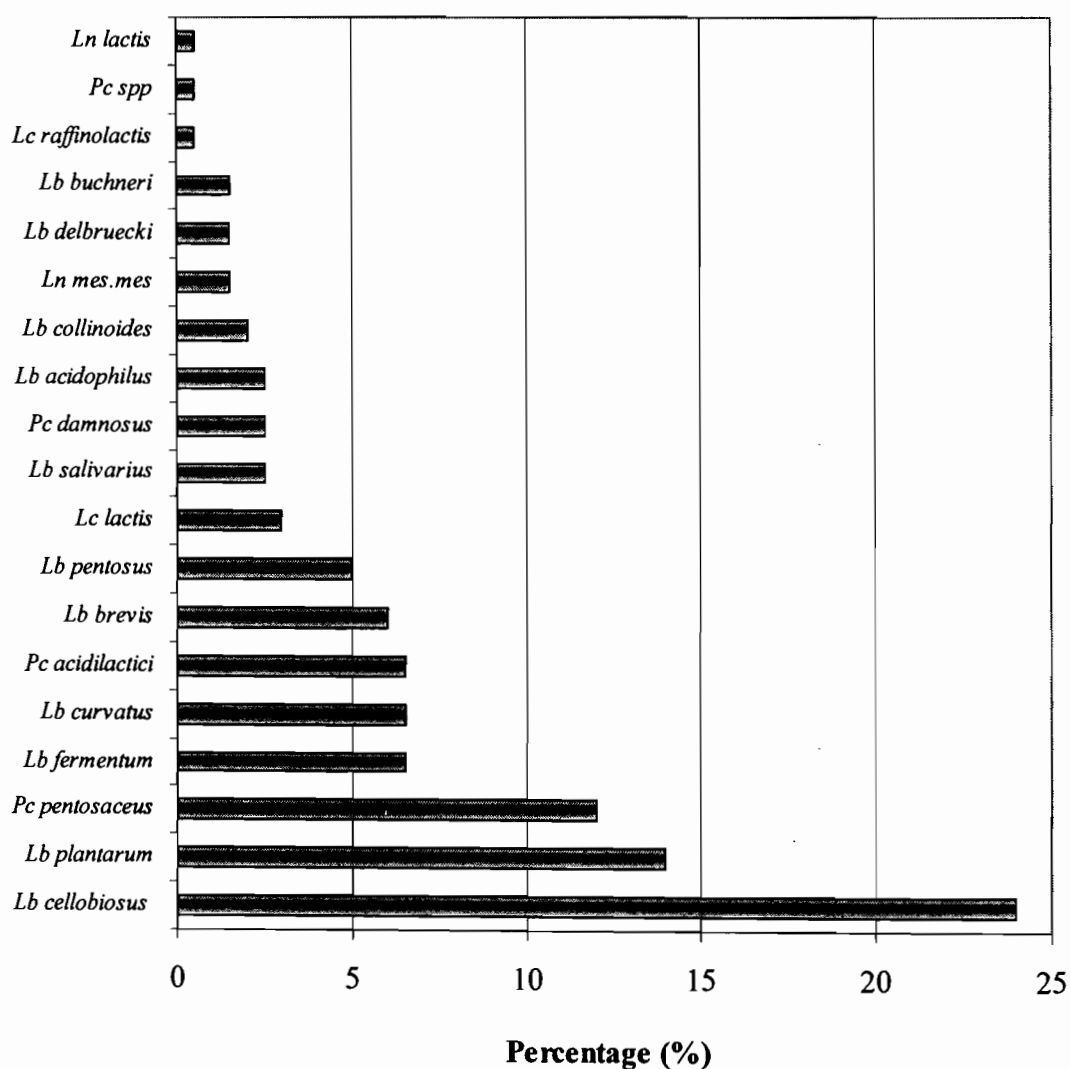


Fig.2. Tentative identification of lactic acid bacteria based on API 50 CHL and percentage of occurrence of species.

4. Conclusion

Preliminary characterization of *ben-saalga* microbiota revealed that it was composed of a majority of LABs. These LABs have a large inter- and intra-specific diversity however two main species often found in natural fermentation of vegetables and cereals were dominant: *Lb. fermentum* and *Lb. plantarum*. It is now necessary to better characterize the strains for their functional properties and in particular to select strains with amylolytic and phytasic activities in order to use them as starter culture to improve the hydrolysis of starch and phytates. Improving the hydrolysis of starch and phytate would, respectively, enable to prepare gruels with higher energy density and have some positive effects on mineral micronutrient bioavailability.

Acknowledgements

This work was performed in the framework of the project Cerefer (www.mpl.ird.fr/cerefer/) funded by the European Commission, contract N° ICA4-CT-2002-10047.

References

- Achi, O. K. (1990). Microbiology of "obiolor": a Nigerian fermented non-alcoholic beverage. *Journal of Applied Bacteriology*, 69, 321–325.
- Agati A., J.P. Guyot, J. Morlon-Guyot, Hounhouigan J. (1998) Isolation and characterization of new strains of amylolytic *Lactobacillus fermentum* from fermented maize doughs (mawè and ogi) from Benin. *Journal of Applied Microbiology* 85: 512-520.
- Aguirre, M., & Collins, M. D. (1992). Lactic acid bacteria and human clinical infection. *Journal of Applied Bacteriology*, 75, 95-107.
- Akinrele, I. A. (1970). Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *J Sci Food Agric*, 21, 619–25.
- Antony, U. and Chandra, T. S. (1997). Microbial population and biochemical changes in fermenting finger millet (*Elusine coracana*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13, 533–537.
- Ben Omar, N., Abriouel, H., Lucas, R., Martínez-Cañamero, M., Guyot, J-P., & Gálvez, A. (2006). Isolation of bacteriocinogenic *Lactobacillus plantarum* strains from *ben-saalga*, a traditional fermented gruel from Burkina Faso.

International Journal of Food Microbiology, 112, 44–50.

Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003). Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36, 527-543.

Caplice, E., & Fitzgerald, G. F. (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 50, 131–149.

Cerefer, (2003). European Commission, Annual Report of the European INCO-DEV Project (5th FP), Contract N°ICA4-CT2002-100471: « Meeting consumer requirements for cereal based fermented foodstuffs with improved nutritional and sanitary quality and shelf-life in Africa », Oct 2002-2003. Report available at: <http://www.mpl.ird.fr/cerefer/>

Djossou, V. A. (2001). Etude de la production, de la consommation et de la commercialisation des bouillies de petit mil fermenté (*Binkida* et *Binsaalga*) à Ouagadougou (Burkina Faso). Mémoire de DESS, Université de Ouagadougou, p.58.

Elfaki, A. E., Dirar, H. A., Collins, M. A. and Harper, D. B. (1991). Biochemical and microbiological investigations of *Sigda* – a Sudanese fermented food derived from sesame oilseed cake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57, 351–365.

Gotcheva, V., Pandiella, S. S., Angelov, A., Roshkova, Z. G., & Webb, C. (2000). Microflora identification of the Bulgarian cereal-based fermented beverage *boza*. *Process Biochemistry*, 36, 127–130.

Hayford, A. E., Petersen, A., Vogensen, F. K. and Jakobsen, M. (1999). Use of conserved randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) fragments and RAPD pattern of characterization of *Lactobacillus fermentum* in Ghanaian fermented maize dough. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 3213–3221.

Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R., Nago, C. M., Houben, J. H. and Rombouts, F. M. (1993). Characterization and frequency distribution of species of lactic acid bacteria involved in the processing of *mawè*, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Microbiology*, 18, 279–287.

- Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R., Nago, C. M., Houben, J. H. and Rombouts, F. M. (1994). Microbiological changes in *mawè* during natural fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10, 410–413.
- Johansson, M.-L., Sanni, A., Lönnér, C. and Molin, G. (1995). Phenotypically based taxonomy using API 50CH of lactobacilli from Nigerian *ogi*, and the occurrence of starch fermenting strains. *International Journal of Food Microbiology*, 25, 159–168.
- Kingamkono, R., Sjögren, E., Svanberg, U., & Kaijser, B. (1994). pH and acidity in lactic-fermenting cereal gruels : effects on viability of enteropathogenic microorganisms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10, 664-669.
- Lei, V., & Jakobsen, M. (2004). Microbiological characterization and probiotic potential of koko and koko sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink. *Journal of Applied Microbiology*, 96(2), 384-397.
- Mensah, P., Tomkins, A. M., Drasar, B. S. and Harrison, T. J. (1991). Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough. *Journal of Applied Bacteriology*, 70, 203–210.
- Mugula, J. K., Nnko, S. A. M., Narvhus, J. A. and Sørhaug T. (2003). Microbiological and fermentation characteristics of *togwa*, a Tanzanian fermented food. *International Journal of Food Microbiology*, 80, 187–199.
- Nout, M. J. R. (1991). Ecology of accelerated natural lactic fermentation of sorghum-based infant food formulas. *International Journal of Food Microbiology*, 12, 217–224.
- Nout, M. J. R., Rombouts, F. M., & Havelaar, A. (1989). Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, 8, 351-361.
- Odunfa, S. A. and Adeyele, S. (1985). Microbiological changes during the traditional production of *ogi-baba*, a West African fermented sorghum gruel. *Journal of Cereal Science*, 3, 173–180.
- Olasupo, N. A., Olukoya, D. K and Odunfa, S. A. (1997). Identification of *Lactobacillus* species associated with selected African

fermented foods. *Zeitung für Naturforschung* 52c, 105–108.

Oyeyiola, G. P. (1991). Fermentation of millet to produce kamu, a Nigerian starch-cake food. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 7, 196–201.

Svanberg, U., Lorri, W., 1997. Fermentation and nutrient availability. *Food Control* 8 (5/6), 319-327.

Tou, E. H., Guyot, JP., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traore, A. S., & Trèche, S. (2006). Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into “ben-saalga”, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. *International Journal of Food Microbiology*, 106, 52-60.

CHAPITRE IV.

**AMELIORATION DE LA DENSITE
ENERGETIQUE DU BEN-SAALGA
PAR COMBINAISON DE PROCEDES
SUSCEPTIBLES D'HYDROLYSER
OU DE FAVORISER L'HYDROLYSE
DE L'AMIDON**

Amélioration de la densité énergétique du *ben-saalga* par combinaison de procédés susceptibles d'hydrolyser ou de favoriser l'hydrolyse de l'amidon

Les bouillies de mil fermenté *ben-saalga* sont bien acceptées et largement consommées par la population de Ouagadougou, en particulier par les jeunes enfants. Cependant, ces bouillies, comme la plupart des bouillies traditionnelles en Afrique, ont une faible densité énergétique (DE). Le *ben-saalga* est caractérisé par un pH acide ($4,0 \pm 0,1$), une grande fluidité (écoulement Bostwick moyen : 137 mm/30 s) et une densité énergétique très faible (environ 30 kcal/100 g de bouillie) ne permettant pas au jeune enfant burkinabé, dans les conditions habituelles de consommation (2 repas/jour) et en raison de sa capacité gastrique limitée, de compléter les apports du lait maternel (Tou, et al, 2006). Il a donc paru nécessaire de modifier le procédé traditionnel de préparation du *ben-saalga* pour améliorer sa DE en vue de l'utiliser comme un aliment de complément adéquat.

Les modifications du procédé traditionnel de préparation du *ben-saalga* ont été mises en œuvre en deux parties. La première partie des modifications a consisté à introduire au procédé traditionnel des étapes supplémentaires de pré-cuisson et incorporation de malt, choisies en fonction de leurs potentialités à favoriser une hydrolyse partielle de l'amidon susceptible de rendre des bouillies épaisses plus fluides. Les modifications testées étaient les suivantes : ajouter une cuisson de 10 min de la pâte après filtration dans le but de gélatiser l'amidon et le rendre plus sensible à une attaque amylasique, et/ou incorporer du malt d'orge (source d'amylases) en début de décantation à 65°C et au taux de 1 % de la matière sèche de la farine humide.

Les procédés combinant les étapes de cuisson et d'incorporation de malt ont permis d'obtenir des bouillies ayant à la fois une consistance appropriée (écoulement de 120 mm/30 s) et une DE élevée (152 kcal/100 g de bouillie), deux fois supérieure à la valeur recommandée (84 kcal/100 g de bouillie) pour les aliments de complément (Dewey et Brown, 2003). En revanche, ces mêmes étapes mises en œuvre individuellement n'ont permis d'obtenir, pour la même consistance, que des bouillies de faibles DE (30 et 24 kcal/100 g de bouillie, respectivement pour la précuisson et l'incorporation de malt d'orge) similaires à celle de la bouillie traditionnelle. Si l'incorporation de malt n'influe pas sur la cinétique d'acidification de la pâte au cours de la décantation, la cuisson quant à elle, induit, par la destruction de la flore naturelle, une modification caractérisée par un allongement important (jusqu'à 8 h) de la phase du début de fermentation pendant laquelle la pâte pourrait subir des modifications à la fois biochimiques et bactériologiques. La mise en œuvre combinée des étapes de cuisson et

d'incorporation de malt à 65°C s'est révélée très efficace pour augmenter la DE des bouilles (+ 440 % par rapport à celle de la bouillie traditionnelle), mais retarde considérablement le démarrage de la fermentation.

Les résultats de cette étape préliminaire ont été valorisés sous forme d'un article publié (*Proceedings of the 2nd international workshop ...*) et d'un poster (*2nd international workshop...*)

Article

Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2003). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « *ben-saalga* » en vue d'augmenter leur densité énergétique. *Proceedings of the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso. ISBN: 2-915071-063, 517 – 524

Poster (cf. annexe 7)

Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2003). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « *ben-saalga* » en vue d'augmenter leur densité énergétique. Poster presented to the *2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.

La deuxième partie a consisté à optimiser les modifications introduites dans la première partie et pallier leurs inconvénients en tenant compte des objectifs sanitaires et nutritionnels. De ce fait, le taux de malt a été réduit de 1 à 0,125%, et un inoculum (pied de cuve) a été ajouté à la pâte à raison de 10 % v/v. Cette partie a étudié la mise en œuvre de trois combinaisons de procédés : cuisson et ajout de malt (CM), cuisson et inoculation (CI) et cuisson, ajout de malt et inoculation (CMI). Conjointement, les effets de ces combinaisons de procédés sur les caractéristiques de fermentation et la composition microbienne ont été mesurés. Dans la combinaison de procédé CI et le témoin (procédé traditionnel), le glucose et le fructose ont été identifiés comme les sucres majoritaires et leurs concentrations diminuaient progressivement pendant la fermentation. Quant aux combinaisons de procédés avec ajout de malt (CM et CMI), le maltose était le sucre majoritaire et sa concentration augmentait au cours de la fermentation. Dans la combinaison de procédé CM, le démarrage de la fermentation a été considérablement retardé par la destruction de la microflore due à la cuisson, comme observé précédemment dans la première partie. Cependant, dans les combinaisons de procédés CI et CMI, l'inoculation à l'aide du pied de cuve a permis d'accélérer l'acidification de la pâte et a

conduit à un abaissement du pH à 4,0 après seulement 7 h de fermentation. En dépit du faible taux de malt incorporé (0,125 %), les bouillies préparées à partir des procédés CM et CMI, de consistance convenable, avaient, après incorporation de sucre au taux de 15 g /100g de MS, des DE supérieures ou égales à 84 kcal/100 g de bouillie, valeur minimale recommandée pour les aliments de complément (Tou et al, 2007).

Les résultats de cette deuxième partie ont été valorisés sous forme d'un article publié dans *Food Chemistry*.

Article

Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Traoré, A. S., Trèche S., & Guyot, JP. (2007). Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. *Food Chemistry*, 100, 935–943.

Essai de modification du procédé traditionnel de fabrication des bouillies de mil fermenté *ben-saalga* en vue d'augmenter leur densité énergétique

Tou^{1,2*} El Hassane, Mouquet^{1,2} Claire, Guyot² Jean Pierre,
Traoré¹ Alfred S, Trèche² Serge

¹ CRSBAN/UFR-SVT/Univ. de Ouagadougou, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso.

² UR106 "Nutrition, Alimentation, Sociétés", IRD, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France.

*Auteur correspondant: elassane@yahoo.fr

- Résumé -

Les bouillies de mil fermenté *ben-saalga* ont, comme la plupart des bouillies traditionnelles en Afrique, une faible densité énergétique (DE) (≈ 30 kcal/100 g). Leurs procédés de fabrication consistent en un trempage des grains (première fermentation), un broyage et une filtration de la farine humide, une décantation (seconde fermentation) et une cuisson finale. Cette étude vise à augmenter la DE du *ben-saalga* en modifiant sa préparation à travers l'introduction d'étapes de cuisson et d'incorporation de malt.

Ces modifications, choisies pour leurs potentialités à favoriser une hydrolyse partielle de l'amidon susceptible de rendre les bouillies plus fluides, ont consisté en l'introduction d'une cuisson (10 min) de la pâte après filtration pour gélatiniser l'amidon et le rendre plus sensible aux amylases et/ou en l'ajout de malt d'orge en début de décantation. La consistance des bouillies a été estimée à l'aide d'un consistomètre Bostwick (en mm/30 s). Pendant la décantation, les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées.

Les procédés combinant les étapes de cuisson et d'ajout de malt ont permis d'obtenir des bouillies ayant à la fois un écoulement approprié (120 mm/30 s) et une DE élevée (152 kcal/100 g). En revanche, ces mêmes étapes mises en œuvre individuellement n'ont permis d'obtenir, pour la même consistance, que des bouillies de faibles DE (< 30 kcal/100 g) similaires à celle de la bouillie traditionnelle. Si l'incorporation de malt n'influe pas sur la cinétique d'acidification de la pâte au cours de la décantation, la cuisson quant à elle, induit, par la destruction de la flore naturelle, une modification caractérisée par un allongement important (jusqu'à 8 h) de la phase du début de fermentation pendant laquelle la pâte pourrait subir des modifications à la fois biochimiques et bactériologiques.

La mise en œuvre combinée des étapes de cuisson et d'incorporation de malt à 65°C s'est révélée très efficace pour augmenter la DE des bouillies, mais retarde considérablement le démarrage de la fermentation. Une inoculation de la pâte à l'aide d'un pied de cuve pourrait compenser cet inconvénient.

Mots-clés: Aliment de complément – bouillie de mil fermenté – densité énergétique – malt d'orge.

- Abstract -

Attempt of modification of traditional processing of pearl millet into fermented gruel *ben-saalga*, to improve its energy density

The fermented millet gruels, *ben-saalga*, produced and commercialized in Ouagadougou, are widely accepted and consumed by the population, particularly by the young children. However, these gruels, as most of traditional gruels in Africa, have a low energy density (ED) (on average, 30 kcal/100g of gruel). The processing of pearl millet into *ben-saalga* comprises the following successive main steps: soaking the grains (first fermentation), grinding and filtration of humid flour, decanting (second fermentation) and cooking. This study aimed to improve the ED of *ben-saalga* by modifying this traditional processing in introducing intermediary steps of precooking and/or barley malt incorporation.

The modifications (precooking and barley malt incorporation) were chosen because of their potentiality to partially hydrolyse starch, thus allowing the preparation of high ED gruels. The modifications tested were (i) adding a precooking of 10 min after filtration stage to gelatinize the starch in order to enable the amylase attack and/or (ii) incorporate the barley malt (amylase source) at the beginning of decantation step at the rate of 1% of dry matter of the humid flour. The consistency of gruels prepared following the different processes was measured with a Bostwick consistometer in mm/30s at 45°C. During the decantation, the kinetics of acidification of the dough were registered with a pH-meter (WTW 340i).

The process combining both steps of precooking and barley malt incorporation allowed the preparation of high ED gruels (152 kcal/100g of gruel) having an appropriate consistency (Bostwick flow distance of 120mm/30s). On the other hand, each of these steps, tested individually, gave low ED gruels (24 and 30 kcal/100g of gruel, respectively) for the same Bostwick flow distance value, similar to the one of the traditional gruel. Barley malt incorporation did not modify the kinetics of acidification of the dough during decantation. However, the introduction of a precooking step induced a modification of the kinetics of acidification due to the destruction of the natural microflora and characterized by an important extension (up to 8 hours) of latency period. During this long latency period, the dough could undergo biochemical and bacteriological damages

The process combining both steps of modification proved highly efficient to increase the ED of gruels (on average, 440% more than the one of traditional gruel) and considerably delay the start of the fermentation. This disadvantage could be discarded through dough inoculation by the back-slopping technique.

Key words: Complementary food – Pearl millet fermented gruel – Energy density – Barley malt.

INTRODUCTION

Au Burkina, les aliments de complément les plus fréquemment consommés par les nourrissons sont des bouillies à base de céréales locales, pour la plupart fermentées. A Ouagadougou, les bouillies de mil fermenté sont acceptées et largement consommées par la population et en particulier par les jeunes enfants¹. Les bouillies de mil fermenté se caractérisent par leur pH acide ($3,9 \pm 0,1$), leur fluidité (écoulement Bostwick: 133 ± 17 mm/30 s) et leur faible densité énergétique (environ 30 kcal/100 g de bouillie). Si ces bouillies présentent un grand intérêt de par leur bonne acceptabilité sur les plans organoleptique et culturel et leur faible coût qui les rend accessibles aux couches de populations les moins aisées, leur valeur nutritionnelle, quant à elle, reste insuffisante ne permettant pas, dans les conditions habituelles de consommation (deux repas/jour), de compléter de manière adéquate les apports énergétiques du lait maternel. Il faut donc améliorer les procédés traditionnels utilisés pour augmenter la densité énergétique de ces bouillies². L'intérêt d'augmenter la densité énergétique des bouillies a, par ailleurs, été mis en évidence dans plusieurs autres contextes africains à l'occasion d'études réalisées sur les pratiques d'alimentation complémentaire et la valeur nutritionnelle des bouillies traditionnelles^{3,4}.

L'étude visait à améliorer la densité énergétique des bouillies de mil fermenté par la mise en œuvre de procédés (cuisson et incorporation de malt d'orge), seuls ou en combinaison, susceptibles de réduire la viscosité des bouillies.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels

Mil

Pour éviter la variabilité émanant de la matière première, une quantité suffisante de mil (*Pennisetum glaucum*) a été achetée sur le marché comme le font les productrices pour les ateliers traditionnels.

Malt d'orge

Le malt d'orge utilisé nous a été fourni par la brasserie «Brakina». Le malt a été broyé et tamisé avant d'être utilisé comme source d'amylases.

Méthodes

Les procédés de transformation

Les informations sur les procédés traditionnels de transformation ont été recueillies lors des études préliminaires² et ces procédés ont été standardisés afin d'améliorer leur reproductibilité. L'ensemble des procédés de transformation est représenté sur la figure 1. Les principales étapes sont:

- le lavage: la quantité d'eau de lavage a été fixée au double du poids du mil;
- le trempage: l'eau de trempage a été fixée au double du poids du mil lavé (2/1; p/p). Selon les observations réalisées lors des études préliminaires, pour obtenir une acidification modérée de façon à ce que le pH en début de fermentation soit favorable à une activité optimale des alpha-amylases du malt d'orge (4,7 à 5,4)⁵, il faut de ce fait que la durée de trempage soit comprise entre 5 et 13 heures. La durée de trempage a donc été fixée à 8 h;

- le lavage/égouttage: en fin de trempage, l'eau de trempage est éliminée. Le mil a été lavé avec une quantité d'eau respectant le rapport 3/1 (p/p);
- la mouture: les ingrédients aromatiques ajoutés avant mouture sont la menthe, le piment noir et le gingembre (respectivement 1, 1 et 2 g/100 g de mil trempé), combinaison la plus répandue chez les productrices;
- la filtration: une quantité d'eau égale à 3 fois le poids de la farine humide a été utilisée pour la filtration. Le mélange, eau plus farine, a été filtré sur une mousseline identique à celle utilisée par les productrices (maille de 0,5 mm) et les drêches recueillies ont été éliminées;
- la cuisson après filtration: le mélange, eau/farine, obtenu après filtration a été porté à ébullition pendant 10 min. La durée d'ébullition a été notée après que le mélange ait atteint une température d'environ 85°C. La quantité d'eau évaporée pendant les 10 min de cuisson a été calculée et rajoutée à la fin;
- l'incorporation de malt d'orge: le malt d'orge a été incorporé au taux de 1 % de la matière sèche de la farine humide. La pâte après cuisson est laissée refroidir jusqu'à 35°C ou 65°C puis le malt est incorporé. L'ensemble est laissé au repos pendant 12 h pour fermentation;
- la fermentation: la fermentation ou repos de la pâte après filtration ou cuisson a duré 12 h. La pâte après fermentation a été mélangée avant de préparer la bouillie;
- la cuisson finale: sa durée a été fixée à 5 min à partir d'une température d'environ 85°C. Elle est réalisée sur une plaque électrique de puissance 1000 W. Le temps de cuisson a été largement allongé dans le cas des procédés avec incorporation de malt qui ont donné des bouillies très fluides. Pour chaque procédé, des séries de 5 bouillies ont été préparées à des teneurs en matière sèche croissantes pour obtenir des valeurs permettant de tracer des courbes d'évolution de l'écoulement des bouillies en fonction de leur concentration à l'intérieur de l'intervalle de mesure d'écoulement du consistomètre de Bostwick (10 à 240 mm/30 s).

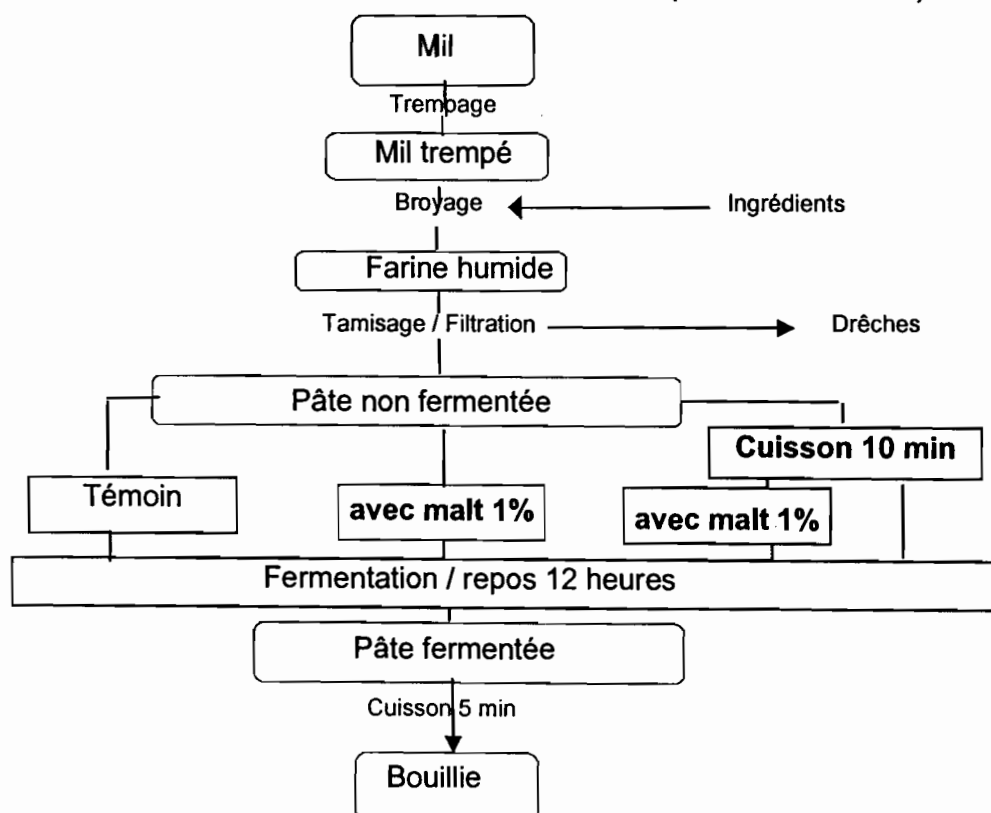


Figure 1: Schéma de préparation des bouillies selon les différents procédés.

Mesure de l'écoulement Bostwick

Le compartiment délimité par un système de type guillotine est rempli avec un volume déterminé (100 ml) de bouillie. A $t=0$, la bouillie est libérée et le paramètre de consistance retenu correspond à la distance parcourue par le «front de bouillie» après 30 secondes d'écoulement. La seule condition de mesure contrôlée a été la température de la bouillie, soit environ 45°C, température proche de celle de la consommation des bouillies.

Densité énergétique

La densité énergétique (DE) des bouillies a été calculée en multipliant par 4 kcal (contenu énergétique moyen d'un g de matière sèche) les teneurs en matière sèche des bouillies. Ces DE ont été calculées pour des consistances jugées comme optimales⁶ compte tenu des habitudes de consommation au Burkina Faso, correspondant à un écoulement Bostwick de 120 mm/30 s.

Enregistrement des cinétiques d'acidification

Les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées au cours des étapes de fermentation dans les différents procédés. L'appareil utilisé a été un collecteur de pH (WTW 340, pH 340/set). Les données ont ensuite été transférées sur un ordinateur grâce au logiciel WTW 340 et les graphes ont été tracés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2000.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Cinétiques d'acidification des pâtes

Les courbes de cinétiques d'acidification des pâtes présentent une même allure générale et se divisent en 3 phases (figure 2): une phase d'initiation de la fermentation, une phase d'acidification rapide et une phase de stabilisation du pH qui marque la fin de la fermentation. Toutes les cinétiques obtenues pour les pâtes ayant subi une cuisson après filtration ont une phase d'initiation de la fermentation relativement importante (jusqu'à 6-8 h).

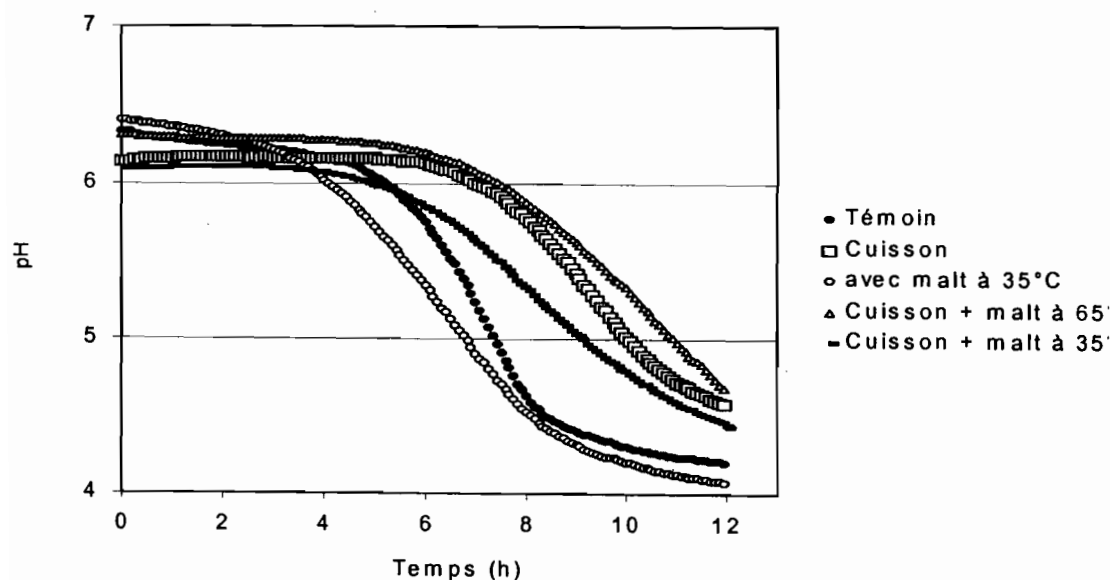


Figure 2: Cinétiques d'acidification des pâtes au cours de la fermentation (étape de repos de la pâte).

Cet allongement important de la phase d'initiation de la fermentation suite à l'introduction d'une étape de cuisson est probablement dû à la destruction de la flore naturelle initiale. Celle-ci contribue à retarder considérablement l'acidification des pâtes: après 12 h de fermentation, la stabilisation du pH est à peine amorcée et le pH est encore autour de 4,5. L'incorporation de malt ne semble pas entraîner de modification majeure de la cinétique d'acidification. Toutefois, la température d'incorporation du malt semble influencer la cinétique d'acidification des pâtes dans les procédés de cuisson et incorporation de malt. En effet, dans ces procédés, on note une acidification un peu plus rapide lorsque le malt est incorporé à 35°C.

Consistance des bouillies

Des séries de 5 bouillies ont été préparées à différentes concentrations à partir des pâtes fermentées obtenues selon les différents procédés. L'évolution de la consistance de ces bouillies en fonction de leur teneur en matière sèche est présentée sur la figure 3.

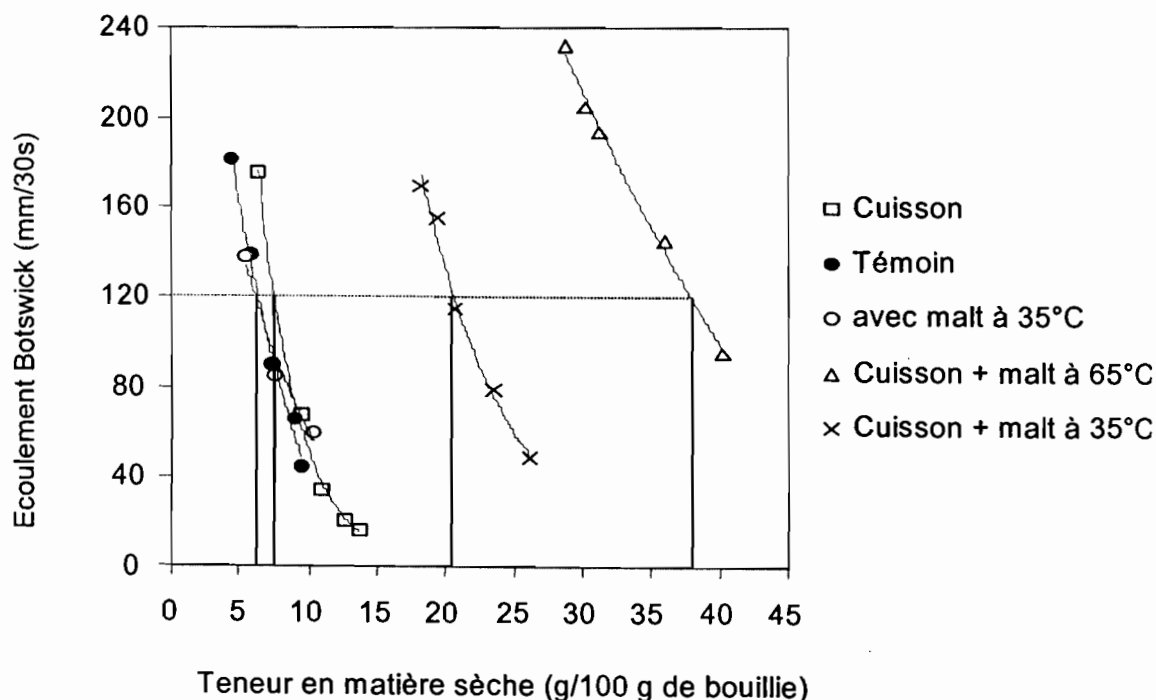


Figure 3: Evolution de la consistance des bouillies en fonction de leurs teneurs en matière sèche.

L'analyse des courbes de consistance obtenues montre que les procédés avec cuisson et incorporation de malt à 35°C et 65°C, dont les courbes se démarquent nettement des autres, ont permis de préparer des bouillies ayant à la fois une consistance appropriée (120 mm/30 s) et des teneurs en matière sèche très élevées (20,8 et 38,0 g/100 g de bouillie, respectivement). En revanche, les procédés (cuisson et incorporation de malt) testés individuellement n'ont permis d'obtenir que des bouillies qui, à consistance égale, n'atteignent que de faibles teneurs en matière sèche, similaires à celles des bouillies obtenues à partir des procédés traditionnels. Ceci met en évidence le fort pouvoir amylolytique du malt sur l'amidon gélatinisé sous l'effet de la cuisson. Cependant, la température d'incorporation de malt influence considérablement la consistance des bouillies. En effet, l'incorporation de malt à 65°C permet de préparer des bouillies, à consistance égale, de teneurs en matière sèche 2 fois supérieures à celles obtenues après incorporation de malt à 35°C. Cela confirme les résultats de l'étude⁵ selon laquelle, les alpha-amylases du malt d'orge ont

une activité optimale à une température autour de 70°C et à un pH entre 4,7 et 5,4. Des études similaires ont mis en évidence la réduction de la viscosité des bouillies traditionnelles fermentées ou non par incorporation de malts d'orge ou de sorgho. En effet, selon Traoré⁷, l'incorporation d'une farine de malt d'orge au taux de 3,8 % a permis d'obtenir des bouillies non fermentées de teneur en matière sèche de 25 g/100 g de bouillie et de consistance appropriée (≈ 120 mm/30 s). Une autre étude⁸, montre que l'incorporation d'une farine de malt de sorgho à un taux de 5 à 15 % et à 35°C permet de réduire la viscosité des bouillies fermentées ou non à des valeurs appropriées. Cependant, notre étude se distingue par l'utilisation d'un taux relativement faible (1 %) de malt d'orge à 65°C qui a permis d'obtenir des bouillies de très forte concentration (38 g/100 g de bouillie) à une consistance appropriée (120 mm/30 s). L'importante fluidification des bouillies fermentées pourrait s'expliquer d'une part, par la température d'incorporation du malt et, d'autre part, par la durée de contact au cours de la fermentation (10 à 12 h) entre les alpha-amylases du malt et l'amidon gélatinisé avant que le pH n'atteigne le seuil critique (4,7) d'inactivation des alpha-amylases.

Densité énergétique des bouillies

La DE des bouillies ayant une consistance optimale⁶ (écoulement de 120 mm/30 s) a été calculée à partir de la figure 3. Les procédés combinant les étapes de cuisson et d'incorporation de malt à 35°C et à 65°C ont permis d'obtenir des bouillies de DE très élevée (84 et 152 kcal/100 g de bouillie, respectivement). En revanche, ces mêmes étapes mises en œuvre individuellement, ont donné, des bouillies de faible DE (respectivement, 30 et 24 kcal/100 g de bouillie), similaires à celle de la bouillie traditionnelle. Les recommandations actuelles concernant la DE minimale des bouillies sont de 84 kcal/100 g de bouillie pour les enfants de 9 – 11 mois bénéficiant d'un allaitement maternel normal et de deux repas de bouillie par jour⁹. La DE des bouillies (non sucrées) des procédés de cuisson et d'incorporation de malt à 65°C est nettement supérieure à ces valeurs. Il conviendrait, alors, d'optimiser le taux de malt incorporé, tout en tenant compte du supplément d'énergie apporté par la quantité de sucre habituellement ajoutée (20 g/100 g de matière sèche pour les bouillies fermentées de haute DE), pour obtenir des DE des bouillies proches des valeurs recommandées.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les procédés combinant les étapes de cuisson et d'incorporation de malt à 65°C ont permis d'augmenter de façon très importante la densité énergétique des bouillies (+ 440 % par rapport à celle de la bouillie traditionnelle lorsqu'elles sont préparées avec une consistance correspondant à un écoulement Bostwick de 120 mm/30 s). Cependant, ces procédés, du fait de la cuisson, entraînent une destruction de la microflore naturelle de la pâte qui a pour conséquence de retarder considérablement le démarrage de la fermentation et d'aboutir, pour une durée de fermentation identique à celle du procédé traditionnel, à un pH final autour de 4,5 qui correspond à une zone de pH favorable à la prolifération de certains pathogènes. L'inoculation de la pâte à l'aide d'un pied de cuve d'une fabrication précédente pourrait compenser cet inconvénient. En tenant compte des objectifs nutritionnels et sanitaires, la combinaison de procédés la plus prometteuse pour améliorer la DE des bouillies pourrait être la cuisson / inoculation accompagnée d'une incorporation de malt.

La valorisation des ressources alimentaires locales pour une alimentation saine et équilibrée du jeune enfant doit se faire par des technologies simples, peu onéreuses, appropriées et appréciées des populations. Pour ce faire, notre étude qui a pour

avantage de s'appuyer sur des technologies traditionnelles doit être approfondie d'une part, en étudiant la possibilité de substituer le malt d'orge par du malt de céréales locales (mil, sorgho et maïs) et, d'autre part, par des études d'acceptabilité et de transférabilité des procédés modifiés.

RÉFÉRENCES

1. Djossou M, Mouquet C, Trèche S. 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, 22 – 24 novembre 1999.
2. Tou EH, Mouquet C, Trèche S, Guyot JP, Traoré SA. Caractérisation des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de petit mil fermenté dans 24 micro-ateliers de production à Ouagadougou. Communication présentée au Forum national de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT). Ouagadougou, Burkina Faso, 11 – 18 mai 2002.
3. Trèche S, Giamarchi P, Pezennec S, Gallon G, Massamba J. Les bouillies de sevrage au Congo: composition, valeur nutritionnelle et modalités d'utilisation. Communication présentée aux 5èmes journées internationales du GERM. Balaruc. France, 23 – 27 novembre 1992.
4. Trèche S, Massamba J, Gallon G, Cornu A. Utilization and nutritive value of traditional weaning gruels in rural Congo. Communication affichée présentée au XVème Congrès International de Nutrition. Adelaide, Australie, septembre 1993.
5. Trèche S. Techniques pour augmenter la densité énergétique des bouillies. In: Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpeuch F, eds. *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris: Orstom, 1995: 7–13.
6. Vieu MC, Traoré T, Trèche S. Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *Int J Food Sci Nutr* 2001;52:213–8.
7. Traoré T. Caractérisation et amélioration de la valeur nutritionnelle et de l'acceptabilité d'une farine infantile produite localement à Ouagadougou. Mémoire de DEA. Ouagadougou : Université de Ouagadougou, 2000:69.
8. Thaoge ML, Adams MR, Sibara MM, Watson TG, Taylor JRN, Goyvaerts EM. Production of improved infant porridges from pearl millet using a lactic acid fermentation step and addition of sorghum malt to reduce viscosity of porridges with high protein, energy and solids (30 %) content. *World J Microbiol Biotechnol* 2003;19:305-10.
9. Dewey KG, Brown KH. Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and applications for intervention programs. *Food Nutr Bull* 2003;24(1):5-28.

Remerciements: Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet "Cerefer" (www.mpl.ird.fr/cerefer/) financé par la Commission Européenne, contrat N°ICA4-CT-2002-10047.



Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso

E.H. Tou^{a,b}, C. Mouquet-Rivier^{a,b,*}, I. Rochette^c, A.S. Traoré^b, S. Trèche^c, J.P. Guyot^c

^a UR 106 Nutrition, Alimentation, Sociétés, Institut de Recherche pour le Développement (IRD) 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso

^b CRSBAN, UFR-SVT, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131, Burkina Faso

^c UR106 Nutrition, Alimentation, Sociétés, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP 64501, F-34394, Montpellier, France

Received 5 August 2005; received in revised form 1 November 2005; accepted 3 November 2005

Abstract

Three different processes combining cooking (C), addition of malt (M) and/or backslop inoculation (I) were investigated to increase the energy density (ED) of *ben-saalga*, a millet-based fermented gruel and their effects on fermentation kinetics and microbiological characteristics were assessed. In the process combining cooking and inoculation (CI) and in the control (traditional processing methods), glucose and fructose were the main sugars and their concentrations decreased during the settling step (fermentation). In the process combinations that included the addition of malt (CM and CMI), maltose was the main sugar that accumulated during settling. In the CM process combination, the start of fermentation was considerably delayed due to the marked reduction in natural microflora during cooking. In contrast, in the CI and CMI process combinations, inoculation by back slopping accelerated acidification, resulting in a pH value of below 4.0 after 7 h of fermentation. Although malt was added at a very low rate (0.125%), gruels made using CM and CMI process combinations, and prepared at a suitable consistency, had an ED close to or above 84 kcal/100 g of sweetened gruel, the minimum value required for complementary food.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Pearl millet; Lactic acid fermentation; Sugars; Organic acids; Complementary food; Energy density; Malt

1. Introduction

Traditional cereal-based fermented foods, such as *poto-poto*, *ogi*, *kenkey* and *ben-saalga*, are well accepted and widely consumed in Africa (Blandino, Al-Aseeri, Pandiella, Cantero, & Webb, 2003; Oyewole, 1997). Some of these traditional cereal-based fermented gruels are frequently used as complementary foods for infants and young children. However, they are characterized by a low energy and nutrient density (Lorri & Svanberg, 1994), well below the values recommended by Dewey and Brown (2003) for complementary foods. The consumption of high energy density (ED) gruels enables improvement of the infant's

energy and nutrient intakes (Brown et al., 1995; Den Besten, Glatthaar, & Ijsselmuiden, 1998; Moursi, Mbemba, & Trèche, 2003; Vieu, Traoré, & Trèche, 2001).

The ED of cereal-based gruels depends on their flour content. However, this flour content is limited by the thickening of the gruels due to the swelling of the starch during cooking, which results in gruels with low EDs. One of the ways to obtain a thin cereal-based gruel with a high ED is to achieve partial hydrolysis of the starchy fraction. The effect of natural fermentation on the viscosity of cereal-based gruels has already been assessed. It has been shown that natural lactic acid fermentation of cereal gruels has a slight viscosity-reducing effect that cannot result in thin gruels with high ED (Lorri & Svanberg, 1993; Westby & Gallat, 1991).

Different technological methods have been tested to increase the ED of fermented and unfermented

* Corresponding author. Fax: +226 50 31 03 85.

E-mail address: claire.mouquet@ird.bf (C. Mouquet-Rivier).

complementary foods for infants. The addition of α -amylase from commercial sources or produced from germinated cereals to gelatinize starch proved to be an efficient method (Kitabatake, Gimbi, & Oi, 2003; Moshia & Svanberg, 1983; Thaoge et al., 2003). Recently, several studies tested the combination of the use of germinated cereals and fermentation to increase gruel ED (Thaoge et al., 2003).

Ben-saalga is a pearl millet-based fermented gruel widely consumed by infants and young children in Ouagadougou (Burkina Faso). As it is the case in many other traditional cereal-based fermented gruels, the dry matter content of *ben-saalga* is very low (Guyot et al., 2003) and consequently its ED is not high enough to meet the energy requirements of infants and young children. Modifications of the traditional processing method are required to produce an improved gruel with the suitable characteristics.

The present work aimed at increasing the ED of this fermented gruel by implementing three different combinations of processes (pre-cooking, addition of malt flour and inoculation by back-slopping) in addition to the processes traditionally used to produce *ben-saalga*. These processes were chosen according to their potential ability to favour partial starch hydrolysis (pre-cooking and addition of malt) and also to promote rapid acidification by lactic acid fermentation (back-slopping) to improve hygienic conditions (Nout, Rombouts, & Havelaar, 1989). In addition to the assessment of the influence of these processes on the fermented gruel ED, special attention was paid to their effects on fermentation kinetics and on microflora.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and aromatic ingredients such as ginger and mint used in the preparation of *ben-saalga* were purchased on the retail market in Ouagadougou. Malted grains of barley were obtained from Brakina, an industrial brewery in Ouagadougou.

2.2. Description of the processing conditions

The traditional processing of pearl millet into *ben-saalga* has been previously described in details (Tou et al., in press). It comprises the following main steps: washing, soaking the pearl millet grains and milling them in wet conditions, kneading and sieving the dough, settling the diluted slurry to allow natural fermentation to occur (fermentation step) and cooking the fermented slurry to obtain the gruel *ben-saalga*. The flow chart of traditional processing method (used as control), and the process combinations including new processes are presented in Fig. 1. These experiments were performed at pilot-scale using the facilities of the University of Ouagadougou, in the same conditions and with the same raw materials as local producers. Results are means of triplicate experiments for control and process combinations. The innovations introduced in

the traditional process consisted in different process combinations: pre-cooking, addition of malt and inoculation by back-slopping of the slurry obtained after the sieving/kneading step. The process combinations were called "CI" for the combination of pre-cooking and inoculation, "CM" for the combination of pre-cooking and addition of malt and "CMI" for the combination of the three processes. The conditions for each process (pre-cooking, addition of malt and inoculation) are described below.

2.2.1. Pre-cooking step (C)

The pre-cooking step consisted in boiling the unfermented slurry resulting from sieving for 10 min to gelatinize the starch and to allow either the action of malt amylase in CM and CMI process combinations or the possible action of amylases produced by the natural microflora introduced by the inoculation.

2.2.2. Incorporation of malt (M)

Malted grains of barley were milled and sieved to obtain the malt flour used as the source of amylase. The malt flour was used at the rate of 0.125 g/100 g of the dry matter (DM) of the wet flour. It was added to the unfermented paste, when it had cooled down to 65 °C, 10–20 min after cooking.

2.2.3. Inoculation (I)

Inoculation of the paste by the back-slopping technique was used to favour fermentation after pre-cooking. A portion of fermented paste prepared the day before according to the traditional processing method was used as inoculum. It was added at a rate of 10% (w/w) to the unfermented paste after the addition of malt, when it had cooled down to 35 °C, after 2–3 h.

2.3. Preparation of gruels

For each experiment, five gruels were prepared at different DM contents by boiling the fermented paste for at least 5 min. The dry matter content of gruels was determined by oven-drying at 105 °C to constant weight. The consistency of the gruels was assessed by measurement in a Bostwick consistometer (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, VA, USA) (Bookwalter, Peplinski, & Pfeifer, 1968). Measurements were made at 45 °C and the Bostwick flow value was expressed in mm/30 s. The ED of gruels was calculated by multiplying their dry matter content by 4 kcal, which was taken as the mean energy value of 1 g of DM. This ED was calculated for gruels with a suitable consistency, corresponding to a Bostwick flow of 120 mm/30 s (Vieu et al., 2001).

2.4. Fermentation kinetics

Samples were taken during the fermentation step (from 0 to 24 h) of the different process combinations and of the control experiment. The pH was recorded on-line using a pH-meter register (WTW 340i, Fisher Bioblock Scientific,

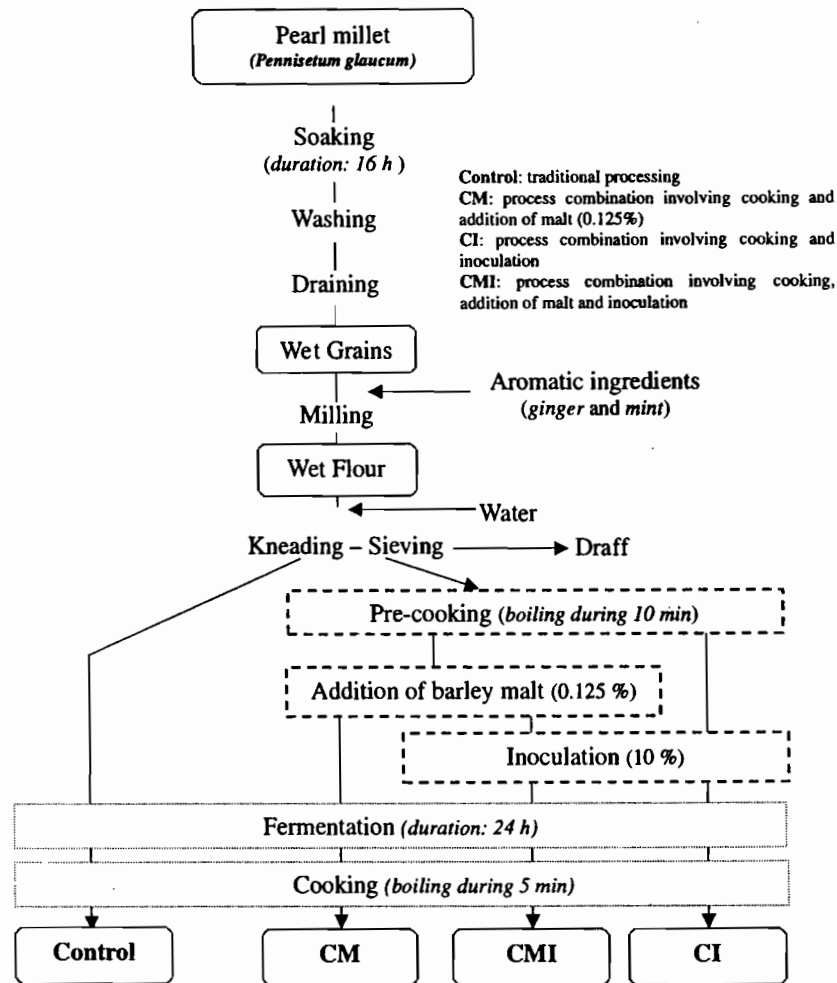


Fig. 1. Description of different process combinations to improve the energy density of *ben-saalga*.

France), and pH data were subsequently transferred to an Excel file for data processing.

2.5. Enumeration of aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria, amylolytic lactic acid bacteria and yeasts

Bacterial and yeast counts were isolated from samples taken during the fermentation step (from 0 to 24 h) in all process combinations after serial decimal dilutions in 9‰ (w/v) chloride sodium solution. Aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria (LAB), amylolytic lactic acid bacteria (ALAB) and yeasts were enumerated on the following media: Plate Count Agar (PCA, Difco, France), de Man, Rogosa and Sharp (MRS, Difco, France), modified MRS (without tween 80, and glucose was replaced by soluble starch at 20 g/L, Calderon, Loiseau, & Guyot, 2001) and yeast glucose chloramphenicol (YGC, Oxoid, France), respectively. MRS and modified MRS plates were incubated at 30 °C for 48 h, PCA plates at 37 °C for 48 h and YGC plates at 30 °C for 3 days. Results are means of triplicate enumerations of microflora in samples of each experiment.

2.6. Measurements of organic acid and sugar concentrations

Ethanol, lactic and acetic acid concentrations in pastes sampled during the fermentation step were determined by HPLC using an Aminex HPX-87H column (Biorad, Yvry-sur-Seine, France).

Mono- and disaccharides (glucose, fructose, maltose and melibiose) were extracted from samples that were mixed with ethanol solution (80% v/v), agitated for 30 min in a thermostated bath at 90 °C and then centrifuged at 5000 rpm for 10 min at 4 °C. The supernatant was retrieved and the same procedure applied to the residue. The two mixed supernatants were dry evaporated overnight using a Speed vac centrifugal evaporator (JOUAN RC 10-10, Saint Herblain, France), then stored at 4 °C, before the determination of sugar contents by ionic chromatography using a Dionex DX 500 apparatus (Sunnyvale, CA, USA). After evaporation, the residue was mixed in millipore water and filtered. Glucose, fructose, maltose and melibiose contents were determined using a Carbo PA1 column. Detection was made by pulsed

amperometry and the eluant used was 90 mM sodium hydroxide solution. The results were expressed in mmol/l.

2.7. Statistical analysis

Data were submitted to analysis of variance (ANOVA). Duncan's multiple range tests were used to separate means. Significance was accepted at the probability $P \leq 0.05$ (Duncan, 1955).

3. Results

3.1. Effect of the different process combinations (CI, CM, CMI) on fermentation kinetics

3.1.1. Changes in pH

In all process combinations, pH decreased during the settling step to reach a value below 4.0 (Fig. 2). Except in the process combination including pre-cooking and the addition of malt (CM), acidification followed a similar and classical pattern (Fig. 2).

The first phase of accelerated acidification occurred at the beginning of the fermentation step (from 0 to 6 h), and resulted in a pH decrease from an initial value around 6.0 to a final value around 4.0, followed by a phase of slow acidification (from 6 to 24 h), that resulted in a further decrease in pH to around 3.7. In the CM process combination, the pH was almost constant during the first 6 h of settling (5.73–5.53) and then decreased very slowly and continuously from 6 to 24 h to reach 3.8. In this case, acidification was considerably delayed by the fact that the natural lactic microflora has been seriously affected by the pre-cooking stage. This justifies the need of the post-cooking inoculation step. As shown

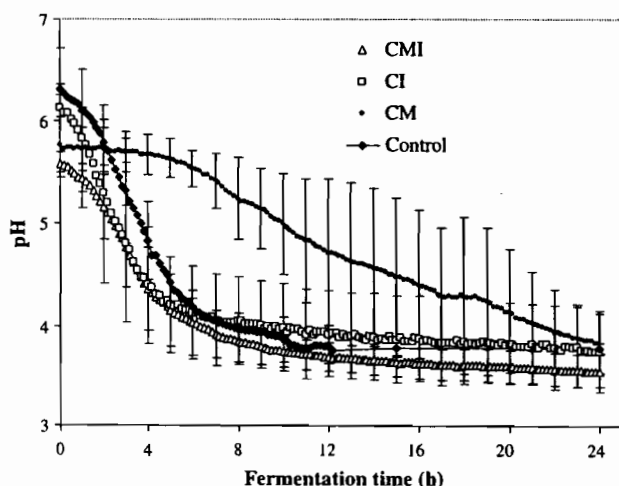


Fig. 2. Changes in pH during the fermentation steps in control and process combinations: pre-cooking and addition of malt (CM); pre-cooking and inoculation by back-slopping (CI); pre-cooking, addition of malt and inoculation (CMI).

in Fig. 2, inoculation allowed a slightly more rapid decrease in pH than in the control.

3.1.2. Changes in mono- and disaccharide concentrations during the fermentation step

The analysis of mono- and disaccharides during fermentation of the slurry revealed the presence of maltose, glucose, fructose and traces of melibiose. The main sugar was glucose in the control and the CI samples (Fig. 3A and B) whereas it was maltose in the samples obtained after the addition of malt (CM and CMI) (Fig. 3C and D). Initial and final glucose ($P = 0.002$ and $P = 0.01$, respectively) and maltose ($P < 10^{-4}$) concentrations in the control and CI slurries were significantly lower than those of CM and CMI. In the samples of process combinations with the addition of malt (CM and CMI), not only were the glucose and fructose concentrations 10 times higher than those of the control and CI samples, but maltose was the main sugar produced (Fig. 3C and D). The increase of the concentration of maltose during the fermentation step indicates that the malt amylase is active in spite of the decrease in pH. It should however be noted that the highest maltose concentration was observed in the CM sample (Fig. 3C), which can be explained by an altered consumption pattern by the natural microflora affected by the pre-cooking step.

3.1.3. Changes in ethanol, lactic and acetic acids concentrations during the fermentation step

Ethanol, lactic and acetic acids were identified as the main fermentation products in the fermented slurries of control and process combinations (Fig. 4A–D).

Lactic acid was the main product formed during the fermentation step in all methods of processing. However, its final concentration in the control sample (25 mmol/L after 24 h of fermentation) was significantly ($P = 0.002$) lower than in CI and CMI samples (around 40 mmol/L or above). In the CMI sample, the final lactic acid concentration was the highest and reached 65 mmol/L (Fig. 4D).

In the CM sample, the final lactic acid concentration was not significantly ($P > 0.05$) different to that obtained in the CI sample, but a delay in lactic acid production was observed, as it began to increase only after more than 4 h of fermentation (Fig. 4C). This result is consistent with the acidification profile shown in Fig. 2 for the slurry of the CM process combination. Furthermore, in CM process, simultaneously with the increase in the concentration of lactic acid, there was also an important increase of ethanol concentration during fermentation (Fig. 4C). The final ethanol concentration was higher than in other process combinations but the difference was not significant ($P = 0.078$). Inoculation of the pre-cooked slurry with or without the addition of malt (CMI and CI process combinations, respectively) favoured a high level of production of lactic acid, as shown in Fig. 4B and D. Lactic acid production was significantly ($P = 0.002$) higher in the CMI sample than in the CM sample due to higher maltose consumption resulting from inoculation.

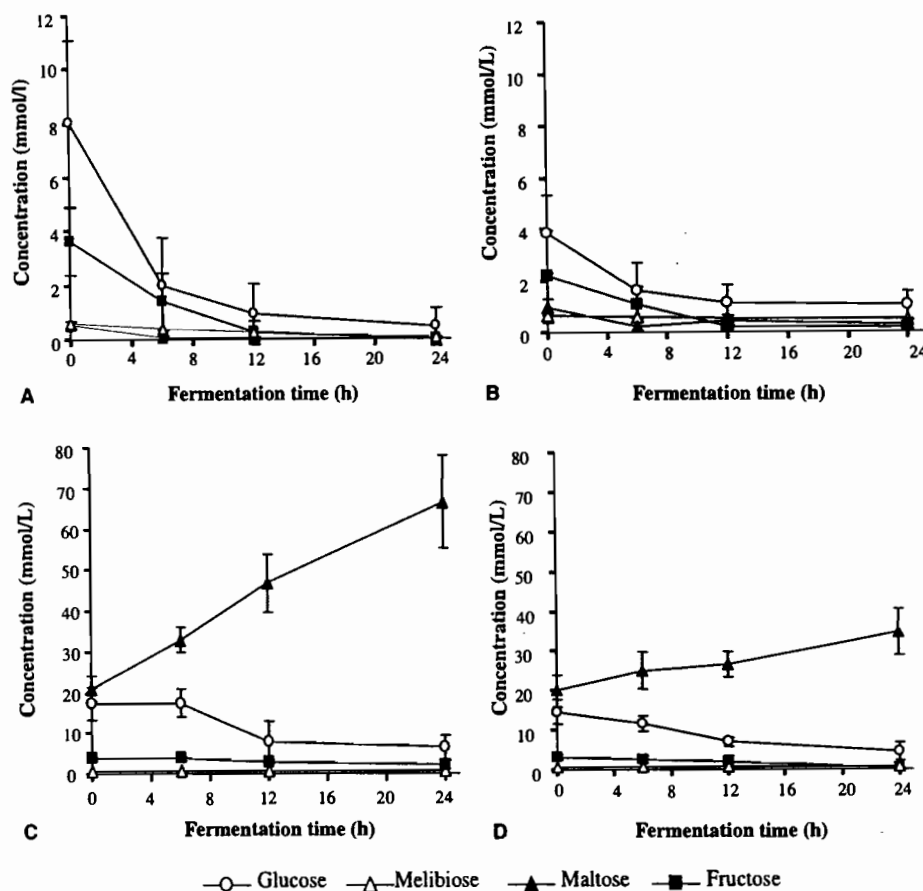


Fig. 3. Kinetics of sugar consumption and formation during fermentation at the settling step in control (A) and CI (B), CM (C) and CMI (D) process combinations. Bars are standard deviations.

3.2. Effect of the different process combinations on microflora during the fermentation step

To assess the effect of the process combinations on microflora (mesophilic aerobic bacteria, yeasts, lactic acid bacteria -LAB- and amylolytic lactic acid bacteria -ALAB-) microbiological analyses were performed during the fermentation step (Table 1).

Except for the process combination including pre-cooking and the addition of malt (CM), LAB were the dominant microflora isolated from the samples taken during fermentation. Among the samples obtained after the three different process combinations, the CM samples had the lowest counts for all microorganisms. The main effect of pre-cooking was to reduce the LAB concentration to undetectable levels at the beginning of the fermentation stage (Table 1). However, growth of LAB was detected during fermentation in the CM samples reaching a lower final concentration than those observed for samples from other process combinations. Surprisingly, no ALAB were found in the samples taken during the fermentation step in the CM process combination. The number of mesophilic aerobic bacteria and yeasts was also affected by pre-cooking and increased slowly during the settling step but were nevertheless from 10^3 to 10^4 times lower than for the other pro-

cess combinations at the end of fermentation. Since LAB were detected during fermentation despite the fact they were drastically affected by pre-cooking, they were most probably introduced after pre-cooking through recontamination by the added malt and/or environmental conditions (air, dust, etc.). Microbial counts during the fermentation step of both process combinations with inoculation (CI and CMI) followed a similar pattern to that of the control. Inoculation after pre-cooking allowed the bacterial population to be restored to a similar level to that of the control at the beginning of the settling step. For yeasts, compared to the other process combinations, the process combination including inoculation and the addition of malt (CMI) was seen to favour their growth, and this process combination bears a certain similarity to the traditional brewing processes used to produce African beers.

3.3. Effect of different process combinations on gruel consistency and energy density

In order to assess the effect of the three different process combinations on gruel consistency, five gruels with different dry matter (DM) contents were prepared for each process combination and their Bostwick flow was measured (Fig. 5).

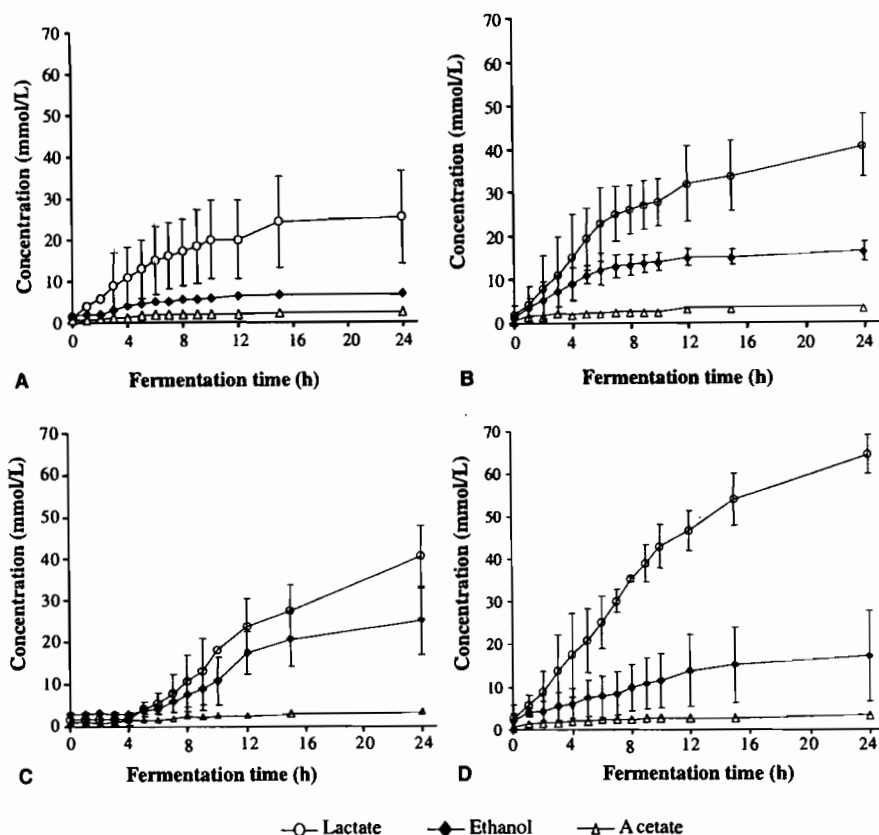


Fig. 4. Kinetics of the formation of ethanol and organic acids (lactic and acetic acids) during fermentation at the settling step in control (A) and CI (B), CM (C) and CMI (D) process combinations. Bars are standard deviations.

Table 1

Changes in microbial counts during the fermentation step of the control process and of the different process combinations

Hours	Microbial counts (CFU/ml)			
	0	4	8	24
<i>Mesophilic aerobic bacteria</i>				
Control	2.9×10^8	3.3×10^8	3.8×10^8	8.0×10^8
Cooking and addition of malt	1.8×10^3	1.0×10^4	2.8×10^4	4.2×10^4
Cooking and inoculation	2.4×10^8	3.7×10^8	7.5×10^8	7.0×10^8
Cooking, addition of malt and inoculation	2.9×10^8	4.0×10^8	5.5×10^8	4.8×10^8
<i>Yeasts</i>				
Control	2.1×10^6	1.4×10^6	4.1×10^4	5.0×10^4
Cooking and addition of malt	7.3×10^2	1.7×10^3	3.6×10^3	9.2×10^3
Cooking and inoculation	4.5×10^5	9.0×10^5	2.0×10^6	2.1×10^6
Cooking, addition of malt and inoculation	9.4×10^6	1.0×10^7	2.6×10^7	3.7×10^7
<i>Lactic acid bacteria</i>				
Control	2.6×10^8	3.1×10^8	5.9×10^8	8.0×10^8
Cooking and addition of malt	< 10	2.5×10^3	1.4×10^4	2.4×10^4
Cooking and inoculation	2.6×10^8	4.2×10^8	6.6×10^8	7.3×10^8
Cooking, addition of malt and inoculation	3.2×10^8	4.4×10^8	5.0×10^8	5.5×10^8
<i>Amyolytic lactic acid bacteria</i>				
Control	1.3×10^7	2.0×10^7	3.1×10^7	3.4×10^7
Cooking and addition of malt	< 10	< 10	< 10	< 10
Cooking and inoculation	1.3×10^7	3.0×10^7	3.3×10^7	3.8×10^7
Cooking, addition of malt and inoculation	2.3×10^7	2.8×10^7	3.4×10^7	3.2×10^7

The consistency profiles of gruels prepared using the CM, CI or CMI process combinations all shifted towards significantly higher DM contents compared to the control

($P < 10^{-4}$), showing that all three process combinations modified the gruel consistency through partial hydrolysis of starch. For all process combinations, the DM contents

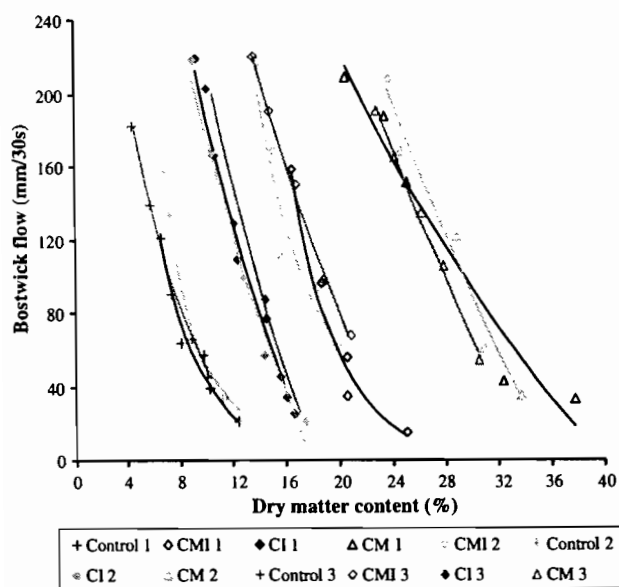


Fig. 5. Effect of the different process combinations, traditional (control), cooking and addition of malt (CM), cooking and inoculation (CI) and cooking, addition of malt and inoculation (CMI) on gruel consistency.

of gruels with a Bostwick flow of 120 mm/30 s corresponding to a consistency suitable for infants and young children (Vieu et al., 2001), were deduced from the curves (Fig. 5). The DM contents of gruels prepared using the traditional processes (used as control), CI, CMI and CM process combinations were 6.5 ± 0.5 , 12.4 ± 0.3 , 17.5 ± 0.8 and 27.6 ± 0.7 g DM/100 g, respectively. The addition of malt to gelatinized starch considerably modified the consistency of the gruels, and the highest DM content (27.6 g DM/100 g) was obtained with the CM process combination. Taking into account the addition of 3 g of sugar/100 g of gruel before consumption and an energy value of 4 kcal/g of DM, the ED of sweetened gruels corresponding to the control, CI, CMI and CM process combinations were 39 ± 2.1 , 62 ± 1.0 , 81.3 ± 3.2 and 122 ± 2.6 kcal/100 g of gruel, respectively (Fig. 6). However, only the process combinations that included the addition of malt (CMI and CM) resulted in an ED close to or higher than the minimum value of 84 kcal/100 g of gruel recommended for children of 9–11 months of age at a rate of 2 meals/day added to average breast milk intake (Dewey & Brown, 2003).

4. Discussion

The process combination involving cooking and the addition of malt (CM) considerably delayed the start of fermentation. This is explained by the marked reduction of the natural LAB population of the paste during cooking that have to be followed by reactivation of spoiled cells or by post-cooking contamination by LAB to promote fermentation. It suggests that the LAB contaminants, even if they develop at a low concentration during fermentation, are highly competitive compared to the other microorgan-

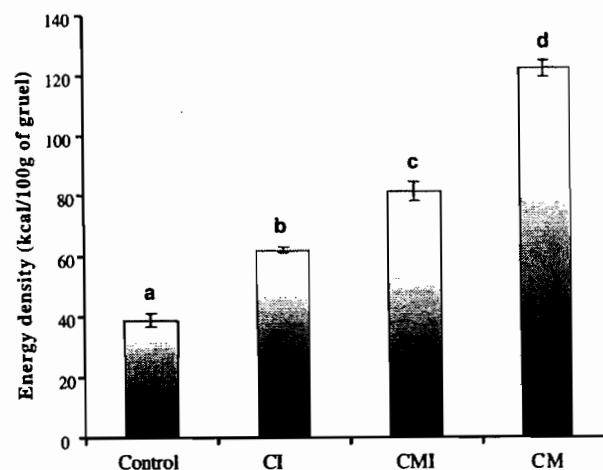


Fig. 6. Effect of the different process combinations, traditional (control), cooking and addition of malt (CM), cooking and inoculation (CI) and cooking, addition of malt and inoculation (CMI) on gruel energy density. Different letters indicate significantly different means ($P < 0.05$) as assessed by ANOVA and Duncan's multiple range test.

isms. There was a slow decrease in pH after a period of time of about 8 h together with simultaneous production of lactic acid and ethanol. These conditions favour malt amylase activity (Trèche, 1999), leading to a high rate of starch hydrolysis and consequently to a significant ($P < 10^{-4}$) increase in maltose concentration during fermentation, and a high ED of CM gruel (122 kcal/100 g of sweetened gruel). The CM process combination is quite similar to the process used to make *togwa*, an East-African maize-based fermented beverage (Kitabatake et al., 2003). Nevertheless, the 8 h delay before the beginning of the acidification process presents a high risk of contamination by foodborne pathogens or spoilage microorganisms, making this alternative process combination unsuitable for use in cottage-level production.

In contrast, when the pre-cooked slurry was inoculated (CI and CMI process combinations), acidification started without a noticeable delay. Compared to the control, the main differences in the fermentation profiles were observed for the CMI process combination in which there was an accumulation of maltose, indicating that the rate of maltose production exceeded its consumption by the microflora that had been introduced by inoculation. The main risk associated with the relatively high final maltose concentration together with a low final pH is post-contamination by spoilage yeasts, with possible product alteration if storage conditions are not appropriate. In this respect, the shelf-life of the final product need to be further investigated. Given that concentration of maltose and fermentation products – such as lactic acid – also increased considerably, there may be consequences for the organoleptic characteristics of the resulting gruel with possible enhancement of the sweet and sour tastes, respectively. The consequences for gruel acceptability thus also need to be assessed.

More generally, it is interesting to notice that a closer examination of kinetics of product fermentation allow

some conclusions to be drawn about the metabolic activity of LABs involved in the different process combinations. Two stages were distinguished in the control and inoculated experiments (CI and CMI) but not in CM. The first stage corresponded roughly to the first half of the total fermentation time, when there was a simultaneous increase in both ethanol and lactic acid concentrations, and the second stage when there was no longer an increase in the concentration of ethanol, while the increase in lactic acid continued. The first stage indicates that both homo and heterofermentative LABs and possibly yeasts could be active, and the second stage that mainly homofermentative LAB could still be active in conditions, where the pH is very low. This variation in metabolic pattern is consistent with general descriptions given for many plant-based fermented foods in relation to temporal variations displayed by the different LAB species during the course of fermentation (Ampe, ben Omar, Moizan, Wachter, & Guyot, 1999; Brauman, Kéléké, Malonga, Miambi, & Ampe, 1996).

In the CI process combination, the implementation of the processes of pre-cooking and inoculation by back-slopping had a small positive effect on the gruel ED which reached 62 kcal/100 g for a sweetened gruel at a Bostwick flow of 120 mm/30 s, against 39 kcal/100 g for a sweetened control gruel. This could be explained by the fact that gelatinization during pre-cooking makes the starch more susceptible to a slight amylolysis by amylolytic lactic acid bacteria (ALAB). The counts of lactic acid microflora in fermented slurries indeed showed the presence of ALABs with an ALAB/LAB ratio of 0.06 (Table 1). Similar studies reported the presence of ALABs in many cereal-based fermented foods (Diaz-Ruiz, Guyot, Ruiz-Teran, Morlon-Guyot, & Wachter, 2003; Johansson, Sanni, Lonner, & Molin, 1995; Sanni, Morlon-Guyot, & Guyot, 2002) and the ability of their α -amylase to hydrolyze raw starch (Rodriguez-Sanoja et al., 2000). However, it is shown here that even if the gelatinized starch did favour amylolysis by ALAB amylases, natural fermentation was not efficient enough to reduce the viscosity of the gruel enough to obtain gruels with appropriate ED values.

The gruel obtained using the CMI process combination had an ED of about 82 kcal/100 g after sugar had been added. This ED is significantly higher ($P < 10^{-4}$) than that of traditional gruel and is close to the minimum value required for complementary foods, but it is significantly ($P < 10^{-4}$) lower than that of the gruel produced using the CM process combination. That could be explained by the fact that in the CMI process combination, due to accelerated acidification of the slurry, the pH reached a value of 4.7 after less than 3 h of fermentation, that considerably slowed down the amylase activity of barley malt (Mercier & Colas, 1967). Thus, the time of amylolysis was reduced compared to that in the CM process combination. Nevertheless, it should be noted that a very low percentage of barley malt (0.125%) was incorporated in this process combination. A slight increase of the percentage of barley malt added could allow to obtain gruel with an energy density

above the minimum required. In comparison, in the study of Thaoge et al. (2003), the addition of sorghum malt flour at rates ranging from 5% to 15% was required to reduce fermented or unfermented gruel viscosity to suitable values.

5. Conclusion

All the different process combinations tested in this study allowed the positive effects of each process added to the traditional processing to be highlighted. Furthermore, the detailed analysis of fermentation kinetics for each process, provided a more rational basis to explain the effects of modifications introduced in the traditional processing method. The addition of malt to gelatinized starch after pre-cooking, even at a very low rate (0.125%), leads to sufficient starch hydrolysis to allow the preparation of thin fermented gruels with an appropriate ED (about 82 kcal/100 g of sweetened gruel). Inoculation by back-slopping allows the action of LAB, which were destroyed by the pre-cooking step, to be restored. Thus, taking nutritional and sanitary objectives into account, the process combination which seems to be the most promising to improve the gruel ED is the one involving pre-cooking, the addition of malt and inoculation. Beyond this increase in the ED of fermented gruel, it would be advisable to improve the nutrient balance of *ben-saalga*, particularly by increasing its lipid and protein contents. To this end, further studies are now in progress using the same kinetic approach to apply the CMI process combination to co-fermentation of millet with legumes (soybean, groundnut or cowpea).

Acknowledgements

This work was performed in the framework of the project Cerefer (www.mpl.ird.fr/cerefer/) funded by the European Commission, Contract No. ICA4-CT-2002-10047.

References

- Ampe, F., ben Omar, N., Moizan, C., Wachter, C., & Guyot, J. P. (1999). Polyphasic study of the spatial distribution of microorganisms in Mexican pozol, maize-fermented dough, demonstrates the need for cultivation-independent methods to investigate traditional fermentations. *Applied and Environmental Microbiology*, *65*, 5464–5473.
- Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003). Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, *36*, 527–543.
- Bookwalter, G. N., Peplinski, A. J., & Pfeifer, V. F. (1968). Using a Bostwick consistometer to measure consistencies of processed corn meals and their CSM blends. *Cereal Science Today*, *13*(11), 407–410.
- Brauman, A., Kéléké, S., Malonga, M., Miambi, E., & Ampe, F. (1996). Microbiological characterization of cassava retting a traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production. *Applied and Environmental Microbiology*, *62*, 2854–2858.
- Brown, K. H., Sanchez-Grinan, M., Perez, F., Peerson, J. M., Ganoza, L., & Stern, J. S. (1995). Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *American Journal of Clinical Nutrition*, *62*(1), 13–18.

- Calderon, M., Loiseau, G., & Guyot, J. P. (2001). Nutritional requirements and simplified cultivation medium to study growth and energetics of a sourdough lactic acid bacterium *Lactobacillus fermentum* Ogi E1 during heterolactic fermentation of starch. *Journal of Applied Microbiology*, *90*, 508–516.
- Den Besten, L., Glatthaar, I. I., & Ijsselmuiden, C. B. (1998). Adding α -amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *Journal of Tropical Pediatrics*, *44*, 4–9.
- Dewey, K. G., & Brown, K. H. (2003). Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs. *Food Nutrition Bulletin*, *24*(1), 5–28.
- Diaz-Ruiz, G., Guyot, J. P., Ruiz-Teran, F., Morlon-Guyot, J., & Wacher, C. (2003). Microbial and physiological characterization of weak amyolytic but fast growing lactic acid bacteria: a functional role in supporting microbial diversity in *pozol*, a Mexican maize sourdough. *Applied and Environmental Microbiology*, *69*, 4367–4374.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple-*F* tests. *Biometrics*, *11*, 1.
- 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. *Electronic proceedings of the 2nd international workshop food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: the role of food technologists and nutritionists*, 25–28 November 2003, Ouagadougou (www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003).
- Johansson, M. L., Sanni, A., Lonner, C., & Molin, G. (1995). Phenotypically based taxonomy using API 50 CH of lactobacilli from Nigerian *ogi*, and the occurrence of starch fermenting strains. *International Journal of Food Microbiology*, *25*, 159–168.
- Kitabatake, N., Gimbi, D. M., & Oi, Y. (2003). Traditional non-alcoholic beverage, *togwa*, in East Africa, produced from maize flour and germinated finger millet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *54*(6), 447–455.
- Lorri, W., & Svanberg, U. (1993). Lactic acid-fermented cereal *gruels*: viscosity and flour concentration. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *44*, 207–213.
- Lorri, W., & Svanberg, U. (1994). An overview of the use of fermented foods for child feeding in Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition*, *34*, 65–81.
- Mercier, C., & Colas, A. (1967). Les amylases en panification. *Annales de Nutrition et Alimentation. France*, *21*, B299–B340.
- Mosha, A. C., & Svanberg, U. (1983). Preparation of weaning foods with high nutrient density using flour of germinated cereals. *Food Nutrition Bulletin*, *5*(2), 10–14.
- Moursi, M., Mbemba, F., & Trèche, S. (2003). Does the consumption of amylase-containing gruels impact on the energy intake and growth of Congolese infants. *Public Health Nutrition*, *6*(3), 249–257.
- Nout, M. J. R., Rombouts, F. M., & Havelaar, A. (1989). Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, *8*, 351–361.
- Oyewole, O. B. (1997). Lactic fermented foods in Africa and their benefits. *Food Control*, *8*, 289–297.
- Rodriguez-Sanoja, R., Morlon-Guyot, J., Jore, J., Pintado, J., Juge, J., & Guyot, J. P. (2000). Comparative characterization of complete and truncated forms of *Lactobacillus amylovorus* α -amylase and the role of the C-terminal direct repeats in raw starch binding. *Applied and Environmental Microbiology*, *66*, 3350–3356.
- Sanni, A. I., Morlon-Guyot, J., & Guyot, J. P. (2002). New efficient amylase-producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *L. fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *International Journal of Food Microbiology*, *72*, 53–62.
- Thaoge, M. L., Adams, M. R., Sibara, M. M., Watson, T. G., Taylor, J. R. N., & Goyvaerts, E. M. (2003). Production of improved infant porridges from pearl millet using a lactic acid fermentation step and addition of sorghum malt to reduce viscosity of porridges with high protein, energy and solids (30%) content. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *19*, 305–310.
- Tou, E.H., Guyot, J.P., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traoré, A.S., et al. Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. *International Journal of Food Microbiology* [in press].
- Trèche, S. (1999). Techniques for improving the energy density of gruel. In M.-C. Dop, D. Benbouzid, S. Trèche, B. de Benoist, A. Verster, & F. Delpeuch (Eds.), *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East* (pp. 101–119). Geneva: World Health Organization (WHO/NHD/99.3 et WHO/AFRO/NUT/99.4).
- Vieu, M. C., Traoré, T., & Trèche, S. (2001). Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *52*, 213–218.
- Westby, A., & Gallat, S. (1991). The effect of fermentation on the viscosity of sorghum porridges. *Tropical Science*, *31*, 131–139.

CHAPITRE V.

**Amélioration de la valeur nutritionnelle
du *ben-saalga* par co-fermentation (mil-
arachide) et cuisson, addition de malt et
inoculation**

Amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* par co-fermentation (mil-arachide) et cuisson, addition de malt et inoculation

Cette étude qui venait en complément de l'étude sur l'amélioration de la densité énergétique (DE) du *ben-saalga* a été réalisée dans le but de mettre au point une bouillie de DE élevée ayant des teneurs en protéines et en lipides appropriées. Deux types de transformation ont été mis en œuvre dont le premier (MG-T), considéré comme témoin, a consisté à appliquer le procédé traditionnel au mélange de mil et arachide et le second (*ben-saalga enrichi*), à la différence de la première, a appliqué le procédé CMI, précédemment décrit par Tou et al, (2007) au mélange (MG-CMI). De plus, les cinétiques de fermentation et la microflore ont été étudiées pour estimer les effets des deux types de transformation sur les produits finaux.

Les pâtes en fin de fermentation dans le témoin et le *ben-saalga enrichi* avaient des pH acides autour de 3,8 et 4,1 respectivement, ce qui est en cohérence avec la composition microbienne de ces pâtes où la flore dominante était constituée de bactéries lactiques dont respectivement 4 et 15 % étaient amylolytiques. Le glucose et le fructose étaient les principaux substrats de la fermentation lactique pendant l'étape de décantation dans le témoin, tandis que dans le *ben-saalga enrichi*, le maltose était le sucre prédominant et sa concentration augmentait progressivement. Au cours de la transformation du témoin et du *ben-saalga enrichi* une réduction importante de la teneur en phytate (IP6) a été observée, respectivement de 50 à 66 %.

L'incorporation de l'arachide a permis d'obtenir des bouillies ayant des teneurs en protéines et en lipides appropriées, répondant aux récentes recommandations sur les aliments de complément (Lutter & Dewey, 2003). La composition globale des bouillies issues de MG-T et MG-CMI était très similaire sur la base de la matière sèche (MS) des bouillies du fait de l'incorporation de l'arachide. Cependant, à une même consistance correspondant aux habitudes alimentaires des jeunes enfants burkinabè (écoulement Bostwick d'environ 120 mm/30 s), les teneurs en MS des bouillies issues du procédé MG-CMI étaient environ deux fois plus élevées que celles du procédé MG-T. Cela est dû au fort pouvoir fluidifiant du malt (procédé MG-CMI) qui permet d'obtenir des bouillies, à la même consistance, avec des DE deux fois supérieures à celles des bouillies préparées selon le procédé traditionnel.

Les principaux résultats de cette étude ont été valorisés sous forme d'un article soumis à *LWT-International Journal of Food Science and Technology*, d'un résumé à la 7^{ème} édition du FRSIT (2006) et d'une communication orale (GP3A, 2005)

Article

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Picq, C., Traoré, A.S., Trèche, S., Guyot, J.P. Improving the nutritional quality of *ben-saalga*, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method. *Soumis à LWT-International Journal of Food Science and Technology*.

Résumé au FRSIT 2006 (cf. annexe 8)

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Picq, C., Trèche, S., Guyot, JP., Traoré, A.S. (2006). Caractérisation et amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*, une bouillie traditionnelle de mil fermenté, utilisée comme aliment de complément au Burkina Faso. Résumé présenté au FRSIT 2006, 18-25 Novembre, Ouagadougou, Burkina Faso.

Communication orale (cf. annexe 9)

Mouquet-Rivier, C., Tou, E.H., Trèche, S. (2005). Transfert de procédés technologiques pour la production à petite échelle d'aliments traditionnels de qualité maîtrisée : une démarche en sept étapes. Communication orale au GP3A, Ouagadougou, Burkina Faso.

1 **Improving the nutritional quality of *ben-saalga*, a traditional fermented millet-based**
2 **gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method.**

3

4 E.H. Tou^{1,2}, C. Mouquet-Rivier^{1,2}, C. Picq³, A.S. Traoré¹, S. Trèche³, J.P. Guyot³

5 ¹UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement
6 (IRD) 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso

7 ²Université de Ouagadougou /UFR-SVT/ CRSBAN, Burkina Faso

8 ³UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement,
9 BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France

10 *corresponding author: Email: claire.mouquet@ird.bf

11

12 **Abbreviated running title:** Improving the nutritional quality of “*ben-saalga*”

13

14 **Abstract**

15 To improve the nutritional value of *ben-saalga*, a traditional gruel from Burkina Faso, co-
16 fermentation of millet and groundnut was monitored using either the traditional processing
17 method (MG-T) or a modified processing method including precooking, addition of malt, and
18 inoculation by back-slopping (MG-CMI). Fermentation kinetics and microbial composition
19 were characterized in the two processing methods. It was possible to improve the nutritional
20 value of *ben-saalga* to meet the energy density and macronutrient requirements for
21 complementary foods without affecting fermentation patterns in comparison to the *ben-saalga*
22 process used as control. At a suitable consistency, the dry matter content of MG-CMI gruel
23 was almost twice as high as that of *ben-saalga*. Samples of control, MG-T and MG-CMI
24 fermented pastes had a low pH of 4.0, 3.8 and 4.1 respectively, consistent with the
25 fermentation patterns. Their microbiota was dominated by lactic acid bacteria (LAB) with

26 amylolytic LAB: LAB ratios of 12, 4 and 15%, respectively. In MG-T paste, glucose and
27 fructose were the main substrates for lactic acid fermentation and their concentration
28 decreased during settling, whereas in MG-CMI paste, the main substrate was maltose and its
29 concentration increased transiently. At the end of the three processing methods (control, MG-
30 T and MG-CMI), a decrease in phytate content of about 75, 50 and 66% respectively, was
31 observed.

32 Keywords: pearl millet, groundnut, complementary food, nutritional quality, lactic acid
33 fermentation

34

35 **1. Introduction**

36 Malnutrition is a public health concern in most developing countries. In Burkina Faso,
37 according to the last demographic and health survey conducted in 2003, the prevalence of
38 stunting, underweight and wasting reached 39, 38 and 19 % respectively (INSD & Macro
39 International, 2004). Examination of the causes of malnutrition (ACC/SCN, 2000) revealed
40 that the nutrition status of young children depends on multiple factors among which the
41 quality of complementary feeding is essential. This includes child-care practices and the
42 nutritional value of complementary foods.

43 In West Africa, the most widely-consumed complementary foods are local cereal-based gruels
44 prepared in small production units or in households (Cornu, Trèche, Massamba & Delpuch,
45 1993). The preparation of several of these foods includes a lactic acid fermentation step
46 (Tomkins, Alnwick & Haggerty, 1988; Blandino, Al-Aseeri, Pandiella, Cantero & Webb,
47 2003). Although fermentation has some nutritionally positive effects such as a reduction in
48 phytate content, or an increase in the contents of certain vitamins, the nutritional value of
49 these gruels is very low (Westby & Gallat, 1991; Lorri & Svanberg, 1994; Tou et al., 2006).
50 Protein, lipid and energy contents are generally well below the values recommended for

51 complementary foods by Dewey and Brown (2003). In Burkina Faso, the most common
52 cereal-based fermented gruel called *ben-saalga* is prepared from millet. The traditional
53 processing method of *ben-saalga*, described in detail in Tou et al. (2006) involves five main
54 steps: soaking, milling, sieving, settling -during which fermentation occurs- and cooking.

55 To improve the nutritional value of *ben-saalga* and other fermented cereal-based gruels,
56 different modifications can be implemented including adding protein or lipid-rich raw
57 materials to the cereal to improve the macronutrient balance, partial starch hydrolysis to
58 increase the energy density (ED) of the gruel, or using a culture starter of lactic acid bacteria
59 selected for their high phytasic activity to improve nutrient bioavailability.

60 To improve the macronutrient balance of fermented complementary food, several studies
61 replaced part of the traditionally-used cereal with legume seeds (soybean, cowpea and/or
62 groundnut). Co-fermentation of cereal and legume seeds has thus frequently been proposed to
63 produce protein-rich complementary foods (Sanni, Onilude & Ibidapo, 1999; Egounlety,
64 2002). The co-fermentation process is easy, inexpensive and appreciated by the infants
65 (Egounlety & Aworh, 1995; Egounlety, 2002; Ojofeitimi, Abiose, Ijadunola, Pedro & Jinadu,
66 2001).

67 Several methods based on partial starch hydrolysis have been used to prepare high ED gruels
68 with suitable consistency and high dry matter content. They generally include either thermo-
69 mechanical treatments, such as extrusion cooking (Mouquet, Salvignol, Van Hoan, Monvois
70 & Trèche, 2003), or enzymatic starch hydrolysis which can be obtained by adding either
71 industrial amylases (Trèche, 1995) or germinated cereal flour (malt), combined or not with
72 lactic acid fermentation (Kitabatake, Gimbi & Oi, 2003; Thaoge, Adams, Sibara, Watson,
73 Taylor & Goyvaerts, 2003; Onyango, Henle, Hofmann & Bley, 2004; Tou, Mouquet-Rivier,
74 Rochette, Traoré, Trèche & Guyot, 2007). Only a limited decrease in the viscosity of cereal-
75 based gruels was observed after natural lactic acid fermentation alone, but the use of selected

76 amylolytic lactic acid bacteria as starter cultures could be a new biotechnological method for
77 the preparation of high ED fermented gruels (Nguyen, Loiseau, Icard-Vernière, Rochette,
78 Trèche & Guyot, 2007).
79 Cooking to pre-gelatinize starch delays the start of the fermentation (Tou et al., 2007). To
80 avoid this inconvenience, Nout, Rombouts and Hautvast (1989) added malt to the gelatinized
81 starch (gruel) at the end of processing (i.e. after fermentation), while Tou et al., (2007)
82 proposed the addition of malt plus backslopping to restore the lactic acid microbiota.
83 The objective of this study was to improve the nutritional quality of *ben-saalga* by combining
84 co-fermentation of millet and groundnut to improve its macronutrient balance with
85 implementation of a modified processing method to increase its energy density. This modified
86 processing method, called 'CMI' (Tou et al., 2007) included additional steps: precooking,
87 adding malt and backslop inoculation. The CMI process enables partial starch hydrolysis thus
88 making it possible to prepare concentrated high-energy density gruels of suitable semi-liquid
89 consistency. In addition, backslop inoculation promotes better hygienic conditions by
90 immediate dominance of lactic acid bacteria (Nout et al., 1989). In our study, acidification
91 kinetics were monitored, microbial counts were made and sugar contents and fermentation
92 products were analysed to characterize the progress of fermentation. The nutritional quality of
93 the resulting enriched gruel is described and compared to that of *ben-saalga*.

94

95

96 **2. Materials and methods**

97 **2.1. Materials**

98 The pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and groundnuts (*Arachis hypogaea*) used as raw
99 materials in the preparation of gruels, and the aromatic ingredients (ginger and mint) were
100 purchased in local markets. To increase the protein and lipid contents of the gruel, groundnuts

101 were preferred to cowpea or soybean because they are cheap and easily available at local
102 markets. Malted barley seeds were obtained from BRAKINA, an industrial brewery in
103 Ouagadougou, and ground (A10, IKA Labortechnik) before being used in the laboratory.

104

105 2.2. Formulation of gruels

106 The proportions of millet and groundnut were calculated taking into account their respective
107 lipid and protein contents as well as the addition of 15% of sugar before consumption (Table
108 1) to obtain the protein, lipid and energy contents recommended for complementary food
109 (Dewey & Brown, 2003). On the basis of dry matter contents, the proportions of millet and
110 groundnut were 76/24.

111

112 2.3. Description of the processing methods

113 Millet-groundnut (MG) blends were used to prepare two types of gruel: the first made with
114 the traditional processing method used to prepare *ben-saalga* (MG-T). The second type of
115 gruel was prepared according to the CMI method (MG-CMI) described by Tou et al., (2007).
116 The CMI method differs from the traditional one by the additional steps of precooking, malt
117 addition and backslop inoculation. For the latter, a fraction of traditional fermented paste was
118 added to the paste after precooking, when it had cooled to around 35°C.

119 Results were compared with those obtained with the traditional millet-based *ben-saalga*
120 (control) previously described in Tou et al., (2006).

121 2.4. Preparation of gruels

122 Gruels were prepared at different DM contents by boiling the fermented paste for at least
123 5 min. However, to prepare gruels with high energy density, a longer cooking time (10 –
124 20 min) was sometimes required to concentrate the gruel.

125

126 2.5. Fermentation kinetics

127 *a. Sampling*

128 In order to describe the fermentation kinetics during the soaking and settling steps, all
129 experiments were performed at ambient temperature and at laboratory scale using the same
130 utensils as those used by traditional producers. Samples were taken during the soaking step
131 (from 0 to 16 h) and the settling step (from 0 to 24 h), and frozen until analyses.

132 *b. Changes in pH*

133 The pH was recorded on-line using a pH-meter (WTW 340i, Fisher Bioblock Scientific,
134 France). Data were then transferred onto an Excel file.

135 *c. Changes in sugar concentrations*

136 Mono- and disaccharides (glucose, fructose, maltose and melibiose) were extracted from
137 samples and their contents were determined by High Performance Ionic Chromatography
138 (Dionex DX 500 apparatus using a Carbo PA1 column). Detection was made by pulsed
139 amperometry. Experimental conditions are detailed in Tou et al. (2007). The results are
140 expressed in mmol/l.

141 *d. Changes in lactic and acetic acid and ethanol concentrations*

142 Ethanol, lactic and acetic acid contents of samples taken during the soaking and fermentation
143 steps were determined by HPLC according to the method described by Calderon, Loiseau &
144 Guyot, (2001). The results are expressed in mmol/l.

145 2.6. Assessment of nutritional value

146 *a. Proximate composition*

147 Protein content was determined according to the AFNOR NF V03-050 standard method
148 (AFNOR, 1970) based on determination of nitrogen content with the Kjeldahl method with a
149 conversion factor of 6.25. Lipid content was determined with the HT6 Soxtec system
150 (Tecator, Höganäs, Sweden) according to the application note Tecator N° 3144. Ash content

151 was measured after calcination in a furnace at 530°C. Acid Detergent Fibre (ADF) contents
152 (cellulose and lignin) were determined using the gravimetric method of Van Soest, (1963)
153 with a Dosi-fiber (Selecta, Barcelona, Spain). Available carbohydrate contents were obtained
154 by difference. The energy value was then calculated using the coefficients of 4 kcal/g DM for
155 proteins and available carbohydrates, and 9 kcal/g DM for lipids, and expressed in kcal/100 g
156 of DM of the gruel.

157 *b. Energy density*

158 The consistency of gruels was assessed using a Bostwick consistometer (CSC Scientific
159 Company Inc., Fairfax, Virginia, USA) (Mouquet & Trèche, *in press*). Measurements were
160 made at 45°C and the Bostwick flow value was expressed in mm/30 s. Dry matter (DM)
161 contents of gruels were determined by oven-drying at 105°C to constant weight. The energy
162 density of the gruel was calculated at a Bostwick flow of 120 mm/30s, corresponding to a
163 suitable consistency for young children (Vieu, Traoré & Trèche, 2001), by multiplying the
164 gruel DM content by its energy value, and expressed in kcal/100 g of gruel.

165 *c. Phytate content*

166 Phytate was extracted from 0.2 g of sample treated with 10 ml of 0.5 M HCl. The phytate
167 content was estimated by determination of myo-inositol hexaphosphate (IP6) content obtained
168 by anion exchange HPLC separation, according to the method of Talamond et al. (1998).

169 2.7. Enumeration of mesophilic aerobic bacteria, lactic acid bacteria, amylolytic lactic acid
170 bacteria and yeasts

171 Bacteria and yeasts were counted in samples of pastes taken after 0, 4, 8 and 24 h of
172 fermentation. Aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria (LAB), amylolytic lactic acid
173 bacteria (ALAB) and yeasts were counted on respectively plate count agar (PCA, Difco), de
174 Man, Rogosa and Sharpe (MRS, Difco), modified MRS (without tween 80, glucose was

175 replaced by soluble starch at 20 g/l) and Yeast Glucose Chloramphenicol (YGC, Oxoid), in
176 the conditions described by Tou et al., (2006).

177

178 2.8. Statistical analysis

179 Each experiment was replicated three times. All analyses and counts were done in duplicate
180 and the two resulting values were averaged. Data were submitted to analysis of variance
181 (ANOVA), using the general model procedure of STATGRAPHIC Plus version 5.1.
182 Statistical differences between means ($P < 0.05$) were tested by Duncan's multiple range test
183 (Duncan, 1955).

184

185 3. Results and discussion

186 3.1. Fermentation kinetics

187 3.1.1. Soaking step

188 *Changes in pH and concentrations of sugar, ethanol, lactic and acetic acids*

189 During the soaking of the millet and of the millet-groundnut blend, the pH of the soaking
190 water (supernatant) decreased in a similar way from an initial value around 6.0 to a final value
191 around 5.1 (Fig. 2A). As already mentioned by Tou et al. (2006), this indicates that initial
192 fermentation occurs during the soaking step. Changes in sugar concentrations (glucose,
193 fructose, maltose and melibiose) in the supernatant were investigated (Fig. 2B). The soaking
194 step was characterized by an initial increase in glucose and fructose concentrations in the
195 soaking medium due to sugar diffusion out of the grains, followed by a decrease in the
196 concentrations of these sugars. At the end of soaking, glucose and fructose concentrations
197 reached a value around 6.4 mmol/l. During the initial 12 hours of soaking, the increase in
198 glucose and fructose concentrations occurred simultaneously with a decrease in pH (phase of
199 slight acidification). One possible explanation is that the rate at which sugar diffuses out of

200 the grains exceeds the rate of its utilization by the microbial flora which is still in the initial
201 phase of growth. Changes in sugar concentrations in the soaking water of millet-groundnut
202 blend were similar to those observed during the soaking step in control (Tou et al., 2006).
203 Changes were also observed in the concentrations of the main fermentation products (ethanol,
204 lactate and acetate) in the supernatant (Fig. 2C). Ethanol and lactic acid concentrations
205 increased significantly ($P < 0.001$) during soaking to reach final values of 76 and 67 mmol/l,
206 respectively. However, during the first 12 h, only ethanol was formed. After 12 h of soaking,
207 lactic and acetic acids appeared and their concentrations increased simultaneously with that of
208 ethanol, indicating the beginning of lactic acid fermentation (Fig. 2A). As was the case in the
209 soaking of millet in *ben-saalga* processing (Tou et al., 2006), the soaking of the millet-
210 groundnut blend was dominated by alcoholic fermentation.

211

212 3.1.2. Settling step

213 *Changes in pH*

214 A decrease in pH was observed during fermentation in both processing methods (traditional
215 and CMI) (Fig. 3). Acidification profiles of pastes followed a classical pattern similar to that
216 of other fermented cereal-based products (Kingamkono et al, 1994).

217 In both processing methods, the pH decreased during fermentation from an initial value
218 around 6.5 to a final value of around 4.0. Two phases of acidification were distinguished: the
219 first one occurred during the first six hours when the pH decreased from 6.5 to 4.7, followed
220 by a second phase of slower acidification (from 6 to 24 h), that resulted in a slight decrease in
221 pH from 4.7 to about 4.0. The combined effects of the decrease in pH to under 4.5 with the
222 production of antimicrobial compounds by LAB (lactic acid and possibly bacteriocins) and
223 the final cooking step when the temperature reaches boiling point, ensure conditions that

224 prevent contamination by food-borne pathogens (Kingamkono, Sjögren, Svanberg & Kaijser,
225 1994; Lei & Jakobsen, 2004; Nout et al., 1989; Nout & Motarjemi, 1997).

226
227 *Changes in mono- and disaccharide, ethanol, lactic and acetic acid concentrations during the*
228 *fermentation step*

229 Analyses of sugars in the pastes during fermentation revealed the presence of maltose,
230 glucose, fructose and melibiose (Fig. 4A and B). Changes in ethanol, lactate and acetate,
231 identified as the main fermentation products in the pastes, were also monitored during
232 fermentation in both processing methods (Fig. 4C and D).

233 Glucose and fructose were the major sugars in MG-T samples and their concentrations
234 decreased due to their consumption by bacteria during fermentation (Fig. 4A). Maltose
235 concentration was very low in MG-T pastes (below 2 mmol/l). Conversely, the initial maltose
236 concentration in MG-CMI samples was not only significantly ($P < 0.05$) higher than its final
237 concentration in the MG-T samples but itself increased significantly ($P < 0.05$) during
238 fermentation to reach a final value of 93.2 mmol/l (Fig. 4A and B). This increase in maltose
239 concentration is due to the action of barley malt amylase on pre-gelatinised millet starch.
240 Despite probable consumption of maltose due to micro-organism activities, maltose
241 accumulated in the MG-CMI pastes during fermentation as production exceeded consumption
242 (Fig. 4B). It should be noted that the high final maltose concentration associated with a low
243 final pH may present a risk of post-contamination by spoilage yeasts, with possible product
244 alteration if storage conditions are not appropriate.

245 Lactic acid was the major product formed during fermentation with final concentrations of 53
246 and 71mmol/l after 24 h of fermentation in MG-T and MG-CMI, respectively (Fig. 4C and
247 D). Thus, the fermentation steps in both processing methods, as in the control, were
248 characterized by lactic acid fermentation. However, in MG-CMI samples, the final lactic acid

249 concentration was significantly ($P < 0.05$) higher than in MG-T samples, which was itself
250 higher than in the control (35.4 mmol/l). These results are consistent with the higher
251 concentrations of fermentation substrates (maltose and glucose) in the MG-CMI pastes. Apart
252 from the step of backslop inoculation, which accelerates the initiation of fermentation, the
253 CMI processing method is very close to that of *togwa* (Kitabatake et al., 2003). These authors
254 also reported an increase in substrate (glucose) and fermentation products (lactic acid) during
255 settling.

256 Although the lactic acid content of the three types of gruels, *ben-saalga*, MG-T and MG-CMI
257 gruels was different, their pH values, respectively 3.88 ± 0.2 , 3.80 ± 0.1 and 3.90 ± 0.1 , were
258 very close. Given that concentrations of maltose and fermentation products - such as lactic
259 acid - increased considerably, this may have consequences for the organoleptic characteristics
260 of the resulting MG-CMI gruel with possible enhancement of both the sweet and sour taste.
261 The effect of these changes in organoleptic characteristics on the acceptability of the gruel
262 will have to be assessed. As previously observed in the traditional fermentation process (Tou
263 et al., 2006), the kinetics pattern indicates the same metabolic dominance of
264 homofermentative lactic acid bacteria during the fermentation step (i.e. longer and higher
265 production of lactic acid than of ethanol).

266
267 3.3. Changes in microbial counts during the fermentation step in MG-T and MG-CMI
268 processing methods

269 The microbial composition (mesophilic aerobic bacteria, yeasts, lactic acid bacteria and
270 amylolytic lactic acid bacteria) of fermented pastes was analysed during the fermentation step
271 (Table 2).

272 The number of mesophilic aerobic bacteria (MAB) and LAB increased slowly during
273 fermentation in both processing methods, whereas yeast counts were lower and more variable

274 with a decrease at the end of the fermentation. Similar microbiota characteristics were
275 reported in fermented pearl millet porridge by Thaoge et al. (2003). In all processing methods,
276 LAB were the dominant microflora and their number increased during fermentation in all
277 samples of MG-T and MG-CMI, to reach final values of 8.83 and 8.79 log CFU/ml,
278 respectively. Surprisingly, the lactic microflora counts were similar in both MG-T and MG-
279 CMI pastes in the early stage of fermentation despite the fact that inoculation by backslopping
280 was introduced in the MG-CMI processing method. This could be due to the fact that
281 backslop inoculation enabled the microflora in MG-CMI paste to be restored to the same level
282 as the microflora in the MG-T paste. It is interesting to note that in the MG-T processing
283 method, the ALAB/LAB ratio decreased during fermentation, whereas in the MG-CMI
284 processing method it remained of the same order of magnitude from the onset to the end of
285 fermentation. One possible explanation is that in the MG-CMI process, pre-cooking before
286 fermentation gelatinizes starch, which is a substrate for ALAB.

287

288 3.4. Nutritional value of final gruels

289 *a. Proximate composition*

290 The proximate composition of MG-T and MG-CMI gruels was similar (Table 3). As
291 expected, the incorporation of groundnuts into the pearl millet before fermentation enables a
292 substantial increase in protein and lipid contents and DM energy value which meet recent
293 recommendations for complementary foods (Lutter & Dewey, 2003). These results are
294 consistent with other studies that have shown improvement of the nutritional balance of
295 traditional fermented foods by incorporation of protein-rich materials such as grain legumes
296 (Sanni et al., 1999; Egounlety, 2002; Onyango, Noetzold, Ziems, Hofmann, Bley & Henle,
297 2005). However, the incorporation of groundnuts could present the risk of mycotoxin
298 contamination of the gruel if storage conditions are not appropriate. To prevent

299 contamination, it is important to sort the groundnuts before processing and to remove any
300 mouldy seeds.

301 In all three types of gruels, a decrease in fibre content was observed after processing. This
302 might be due to the sieving step when the draff was eliminated. Decreases in phytate content
303 of 68, 50 and 66 % in control, MG-T and MG-CMI gruels, respectively were observed during
304 the course of processing, probably due to microbial phytase activity during fermentation.
305 These results are consistent with those reported in lactic acid fermented maize (Lopez,
306 Gordon, & Fields, 1983) and pearl millet (Mahajan & Chauhan, 1987; Agte, Tarwadi Joshi,
307 Chiplonkar & Paknikar, 1999). The phytate content in the MG-CMI and MG-T samples was
308 higher than in the control (192 mg) due to the high phytate content of groundnuts. Agte,
309 Tarwadi & Chiplonkar, (1998) also reported that the addition of legumes such as groundnuts
310 or soybean increases the total phytate content. Nevertheless, the phytate content in both MG
311 samples was less than that of the raw millet. The phytate content in the MG-CMI samples
312 (297mg) was significantly ($P < 0.05$) lower than in the MG-T sample. This could be due to
313 the combined action of malt and microbial phytase.

314 *b. Energy density of gruels*

315 The dry matter contents of traditional *ben-saalga* and gruels prepared using the MG-T and
316 MG-CMI processes at the same Bostwick consistency of 120 mm/30s were 8.6, 9.8 and
317 25.6 g/100g respectively; these values correspond to gruels with an energy density (ED) of
318 35.0, 45.3 and 117.3 kcal/100g of sweetened gruels, respectively. Thus, due to the high DM
319 energy value of MG-blend (Table 3), MG-T gruels had higher ED than *ben-saalga*. However,
320 the increase was limited and ED of MG-T gruels (45.3 kcal/100g) remained far below the
321 value of 84 kcal/100g of gruel recommended for complementary food (Dewey & Brown,
322 2003). This demonstrates that the MG-CMI processing method should be used to achieve a
323 substantial improvement in gruel energy density and macronutrient balance.

324

325 **4. Conclusion**

326 The two processing methods for a millet-groundnut blend experimented in this study enabled
327 a gruel with appropriate macronutrient content to be obtained. However, only the MG-CMI
328 processing method enabled preparation of gruel with the appropriate balance of
329 macronutrients and high energy density at a suitable consistency. Although considerable
330 changes are proposed compared with the traditional processing method of *ben-saalga*, the
331 fermentation kinetics remains similar except that lactic acid production is exacerbated by the
332 higher glucose and maltose contents. High final maltose and lactic acid concentrations in the
333 improved MG-CMI gruel may have consequences for its organoleptic characteristics such as
334 enhancement of the sweet and/or sour tastes, so the acceptability of the improved gruel needs
335 to be assessed. In addition, the high final maltose concentration in the MG-CMI gruel
336 associated with a low final pH present a risk of post-contamination by spoilage yeasts, with
337 possible product alteration if storage conditions are not appropriate. In this respect, the shelf-
338 life of the final product needs to be further investigated.

339

340 **Acknowledgements**

341 This work was performed within the framework of the Cerefer project
342 (www.mpl.ird.fr/cerefer/) funded by the European Commission, contract N° ICA4- CT-2002-
343 10047.

344 **References**

345 ACC/SCN. 2000. Commission on the nutrition challenges of the 21th century. *Ending*
346 *malnutrition by 2020: an agenda for change in the Millennium. Food and Nutrition Bulletin*
347 *supplement*, 21(3), 88p.

348

349 AFNOR. (1970). Directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la
350 méthode Kjeldahl (produits agricoles alimentaires). Norme NF V 03-050.

351

352 Agte, V. V., Khot, S., Joshi, S., Chiplonkar, S. A., and Paknikar, K. M. (1998). Effect of
353 traditional processing of legumes on trace metal bioavailability. *Journal of Food Sciences and*
354 *Technology*, 35, 330-332.

355

356 Agte, V. V., Tarwadi, K., and Chiplonkar, S. A. (1999). Phytate Degradation During
357 Traditional Cooking: Significance of the Phytic Acid Profile in Cereal-Based Vegetarian
358 Meals. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12, 161-167.

359

360 Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003). Cereal-
361 based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36, 527-543.

362

363 Calderon, M., Loiseau, G., & Guyot, J. P. (2001). Nutritional requirements and simplified
364 cultivation medium to study growth and energetics of a sourdough lactic acid bacterium
365 *Lactobacillus fermentum* Ogi E1 during heterolactic fermentation of starch. *Journal of*
366 *Applied Microbiology*, 90, 508– 516.

367

368 Cornu A., Trèche S., Massamba J., & Delpeuch F. (1993). Alimentation de sevrage et
369 interventions nutritionnelles au Congo. *Cahiers Santé*, 3, 168-177.

370

371 Dewey, K. G., & Brown, K. H. (2003). Update on technical issues concerning complementary
372 feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs.
373 *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 5-28.

374

375 Duncan, D. B. (1955). Multiple range and Multiple-F tests. *Biometrics*, 11, 1.

376

377 Egounlety, M. (2002). Production of legume-fortified weaning foods. *Food Research*
378 *International*, 35, 233–237.

379

380 Egounlety, M., & Aworh, O. C. (1995). Changes in oligosaccharides during fermentation of
381 soybean (*Glycine max Merr.*), cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*) and groundbean
382 (*Macrotyloma geocarpa Harms*). Paper presented at the 9th World Congress of Food Science
383 & Technology. Budapest, Hungary, 30 July 3 August 3.

384

385 Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), & Macro International.
386 (2004). Enquête Démographique et de Santé (EDS), Burkina Faso. Allaitement et Etat
387 Nutritionnel. Ed. G. S. Mariko, pp. 145-172.

388

389 Kingamkono, R., Sjögren, E., Svanberg, U., & Kaijser, B. (1994). pH and acidity in lactic-
390 fermenting cereal gruels : effects on viability of enteropathogenic microorganisms. *World*
391 *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10, 664-669.

392 Kitabatake, N., Gimbi, D. M., & Oi, Y. (2003). Traditional non-alcoholic beverage, *togwa*, in
393 East Africa, produced from maize flour and germinated finger millet. *International Journal of*
394 *Food Sciences and Nutrition*, 54(6), 447-455.

395

396 Lei, V., & Jakobsen, M. (2004). Microbiological characterization and probiotic potential of
397 koko and koko sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink.
398 *Journal of Applied Microbiology*, 96(2), 384-397.

399

400 Lestienne, I. (2005). Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le
401 grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments de complément. Université
402 Montpellier II, PhD thesis, 291p.

403

404 Lopez, Y., Gordon, D. T., & Fields, M. L. (1983). Release of phosphorous from phytate by
405 natural lactic acid fermentation. *Journal of Food Science*, 48, 953-954.

406

407 Lorri, W., & Svanberg, U. (1994). An overview of the use of fermented foods for child
408 feeding in Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition*, 34, 65-81.

409

410 Lutter, C. K., & Dewey K. G. (2003). Nutrient composition for fortified complementary
411 foods: proposed nutrient composition for fortified complementary foods. *Journal of Nutrition*,
412 133, 3011S-3020S.

413

414 Mahajan, S., & Chauhan, B. M. (1987). Phytic acid and extractable phosphorous of pearl
415 millet flour as affected by natural lactic acid fermentation. *Journal of the Science of Food and*
416 *Agriculture*, 41, 381-386.

417

418 Mouquet, C., Salvignol, B., Van Hoan, N., Monvois, J., & Trèche, S. (2003). Ability of a
419 "very low-cost extruder" to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam. *Food*
420 *Chemistry*, 82, 249-255.

421

422 Mouquet C., & Trèche S. *in press*. Characterization of the consistency of gruels consumed by
423 infants in developing countries: assessment of the Bostwick consistometer and comparison

424 with viscosity measurements and sensory perception. *International Journal of Food Sciences*
425 *and Nutrition*.

426

427 Nguyen, T. T. T., Loiseau, G., Icard-Vernière, C., Rochette, I., Trèche, S., & Guyot, JP. 2007.
428 Effect of fermentation by amylolytic lactic acid bacteria, in process combinations, on
429 characteristics of rice/soybean slurries: A new method for preparing high energy density
430 complementary foods for young children. *Food Chemistry*, 100, 623-631.

431

432 Nout, M. J. R., & Motarjemi, Y. (1997). Assessment of fermentation as a household
433 technology for improving food safety: a joint FAO/WHO workshop. *Food Control*, 8, 221-
434 226.

435

436 Nout, M. J. R., Rombouts, F. M., & Havelaar, A. (1989). Effect of accelerated natural lactic
437 fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International*
438 *Journal of Food Microbiology*, 8, 351-361.

439

440 Ojofeitimi, E. O., Abiose, S., Ijadunola, K. T., Pedro, T., & Jinadu, M. K. (2001).
441 Modification and improvement of nutritive quality of cornpa “Ogi” with cowpea and
442 groundnut milk. *Nutrition Health*, 15(1), 47-53.

443

444 Onyango, C., Henle, T., Hofmann, T., & Bley, T. (2004). Production of high energy density
445 fermented *uji* using a commercial alpha-amylase or by single-screw extrusion. *Lebensmittel-*
446 *Wissenschaft und –Technologie*, 37, 401-407.

447

448 Onyango, C., Noetzold, H., Ziems, A., Hofmann, T., Bley, T., & Henle, T. (2005).
449 Digestibility and antinutrient properties of acidified and extruded maize-finger millet blend in
450 the production of uji. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 38(7), 697-707.

451

452 Sanni A. I., Onilude A. A., & Ibidapo O. T. (1999). Biochemical composition of infant
453 weaning food fabricated from fermented blends of cereal and soybean. *Food Chemistry*, 65,
454 35–39.

455

456 Talamond, P., Gallon, G., & Trèche, S. (1998). Rapid and sensitive liquid chromatography
457 method using a conductivity detector for the determination of phytic acid in food. *Journal of*
458 *Chromatography A*, 805, 143– 147.

459

460 Thaoge, M. L., Adams, M. R., Sibara, M. M., Watson, T. G., Taylor, J. R. N., & Goyvaerts,
461 E. M. (2003). Production of improved infant porridges from pearl millet using a lactic acid
462 fermentation step and addition of sorghum malt to reduce viscosity of porridges with high
463 protein, energy and solids (30 %) content. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*,
464 19, 305-310.

465

466 Tomkins, A., Alnwick, D., & Haggerty, P. (1988). Fermented foods for improving child
467 feeding in eastern and southern Africa. In: D. Alnwick, S. Moses, O. G. Schmidt, (Eds.),
468 *Improving Young Child Feeding in Eastern and Southern Africa-Household-Level Food*
469 *Technology*. Ottawa International Development Research Center, pp. 136– 167.

470

471 Tou, E. H., Guyot, JP., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traore, A. S., & Trèche,
472 S. (2006). Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of

473 pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into “ben-saalga”, a millet-based fermented gruel from
474 Burkina Faso used as complementary food. *International Journal of Food Microbiology*, 106,
475 52-60.

476

477 Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Traoré, A. S., Trèche S., & Guyot, JP. (2007).
478 Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy
479 density of *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. *Food Chemistry*, 100, 935–943.

480

481 Trèche, S. (1995). Techniques pour augmenter la densité énergétique des bouillies. In S.
482 Trèche, B. de Benoist, D. Benbouzid, A. Verster, & F. Delpuch (Eds.), *L'alimentation de*
483 *complément du jeune enfant* (pp. 123–146). Paris: ORSTOM.

484

485 Van Soest, P. J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method
486 for the determination of fiber and lignin. *Journal Association Office of Analyse Chemistry*, 46,
487 829-835

488

489 Vieu, M. C., Traoré, T., & Trèche, S. (2001). Effects of energy density and sweetness of
490 gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *International Journal of*
491 *Food Sciences and Nutrition*, 52, 213 – 218.

492

493 Westby, A., & Gallat, S. (1991). The effect of fermentation on the viscosity of sorghum porridges. *Tropical*
494 *Sciences*, 31, 131-139.

Figure captions

Figure 1 Description of the two processing methods (the traditional process and the modified process) experimented on blends of pearl millet and groundnuts to produce enriched fermented gruels.

Figure 2 Changes in pH (A) (◆: Millet-groundnut and ◇: Millet) and concentrations of sugar (B) (◇: Glucose, ■: Fructose, Δ: Melibiose and ▲: Maltose), ethanol, lactate and acetate (C) (◇: Lactate, ◆: Ethanol and Δ: Acetate) in the soaking of millet-groundnut blend. Bars indicate standard deviation.

Figure 3 Changes in pH during the fermentation step in MG-T and MG-CMI processing methods (▲: MG-T and ◇: MG-CMI). Bars indicate standard deviation.

Figure 4 Changes in sugar concentrations (○: Glucose, ■: Fructose, Δ: Melibiose and ▲: Maltose) in MG-T (A) and MG-CMI (B), and in ethanol, lactate and acetate concentrations (◇: Lactate, ◆: Ethanol and Δ: Acetate) in MG-T (C) and MG-CMI (D) in supernatant of pastes during the fermentation step. Bars indicate standard deviation.

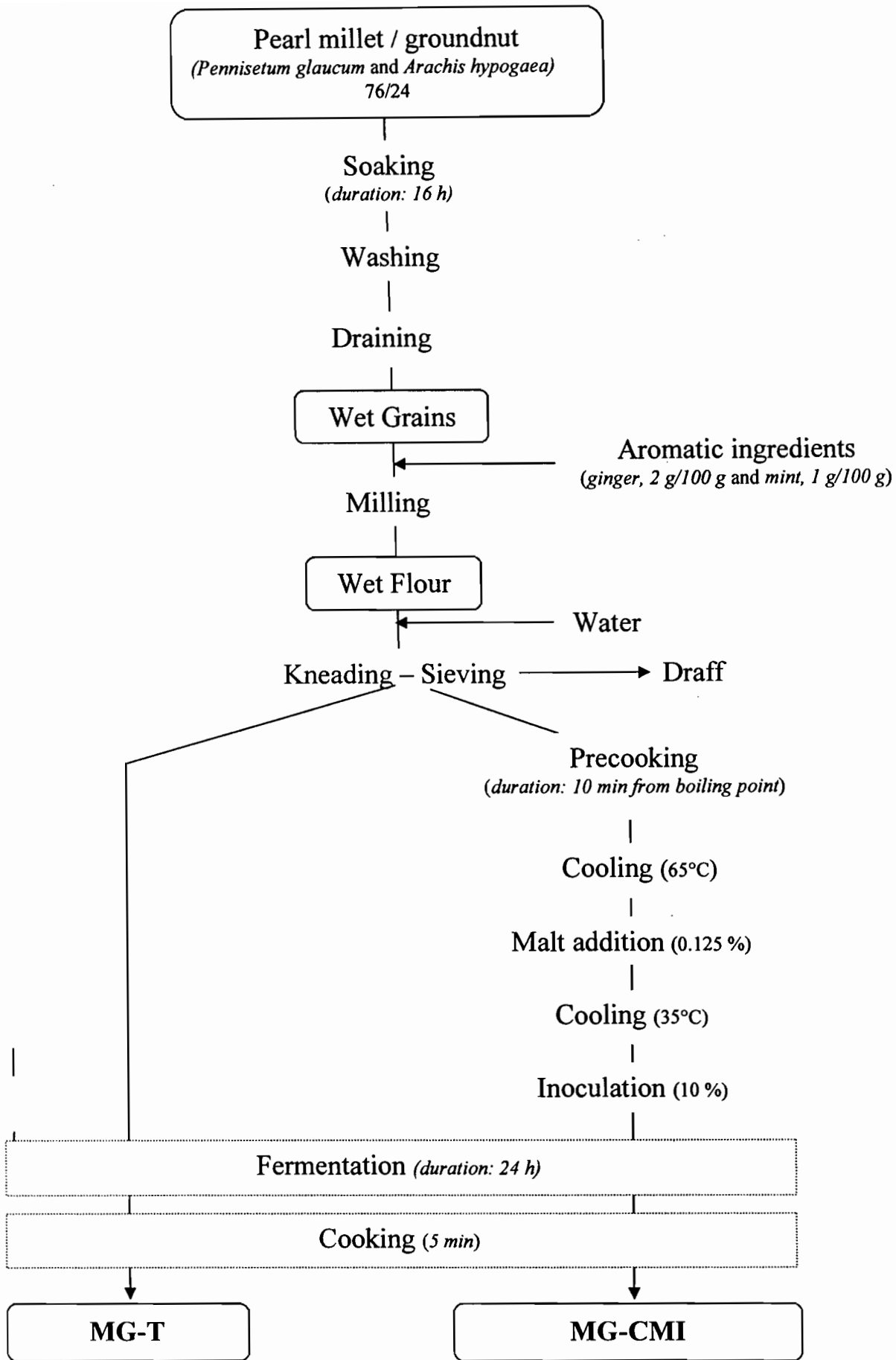


Figure 1

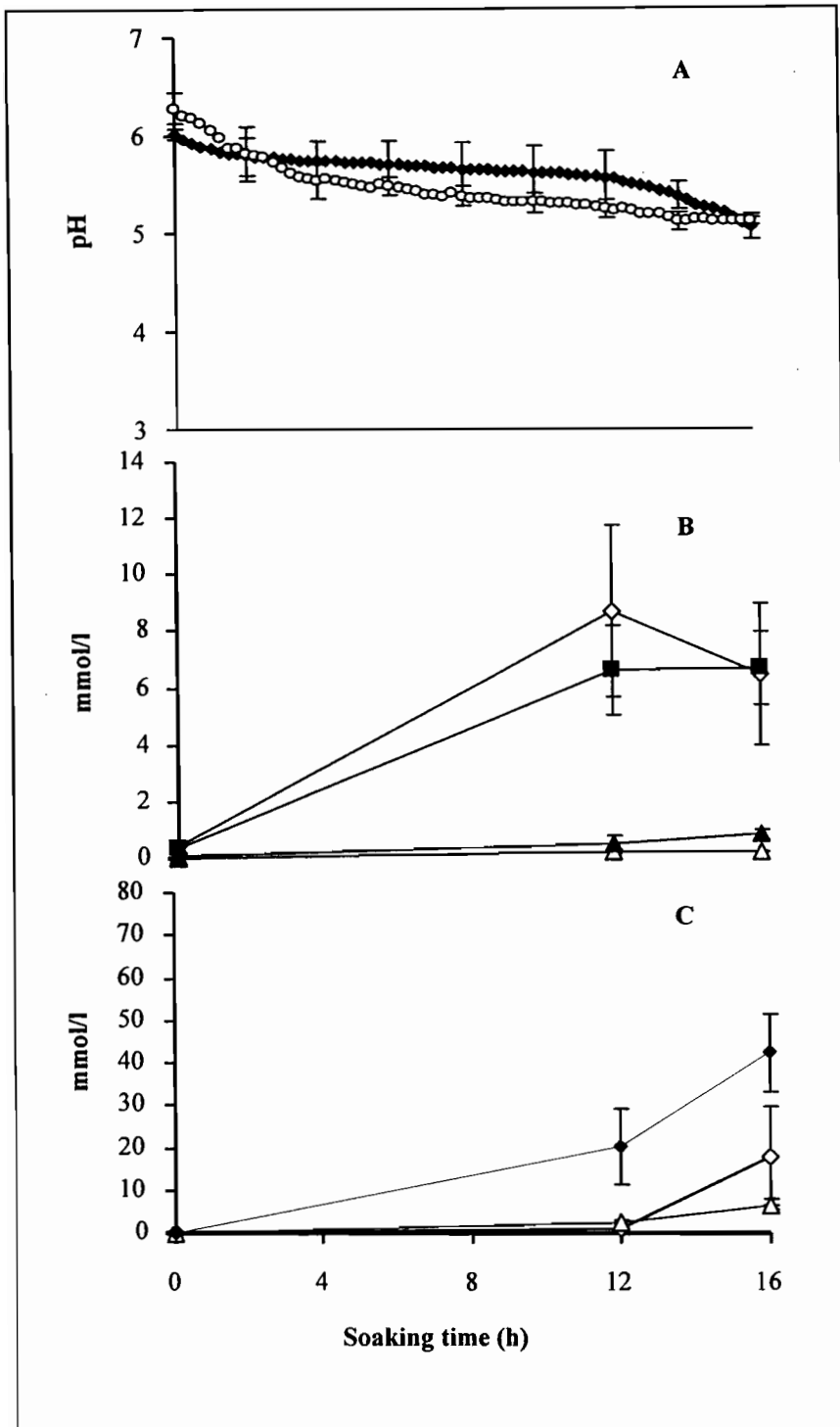


Figure 2

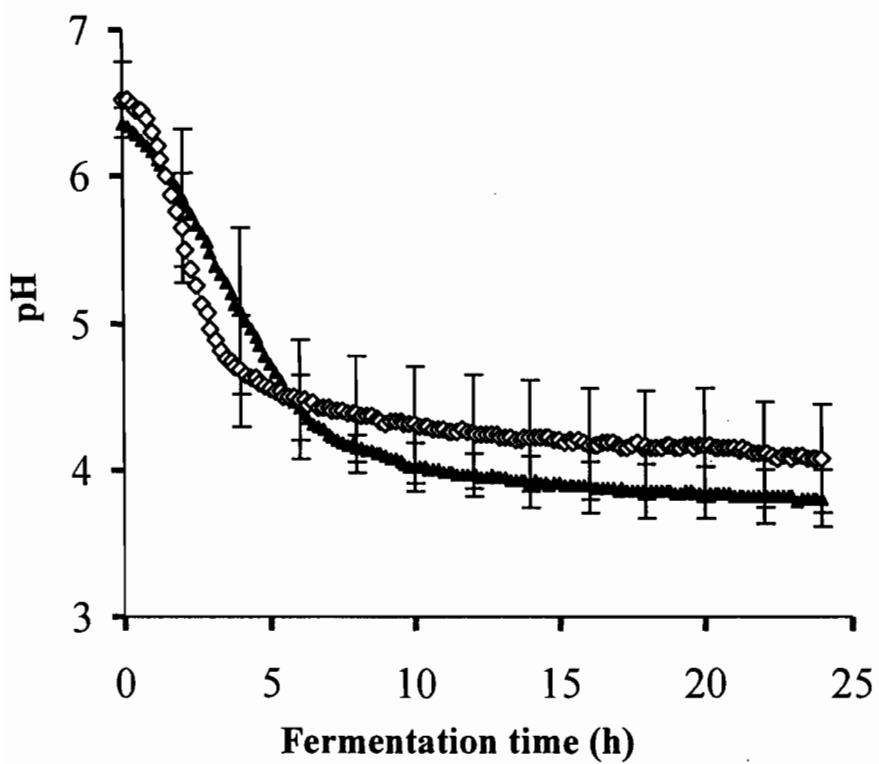


Figure 3

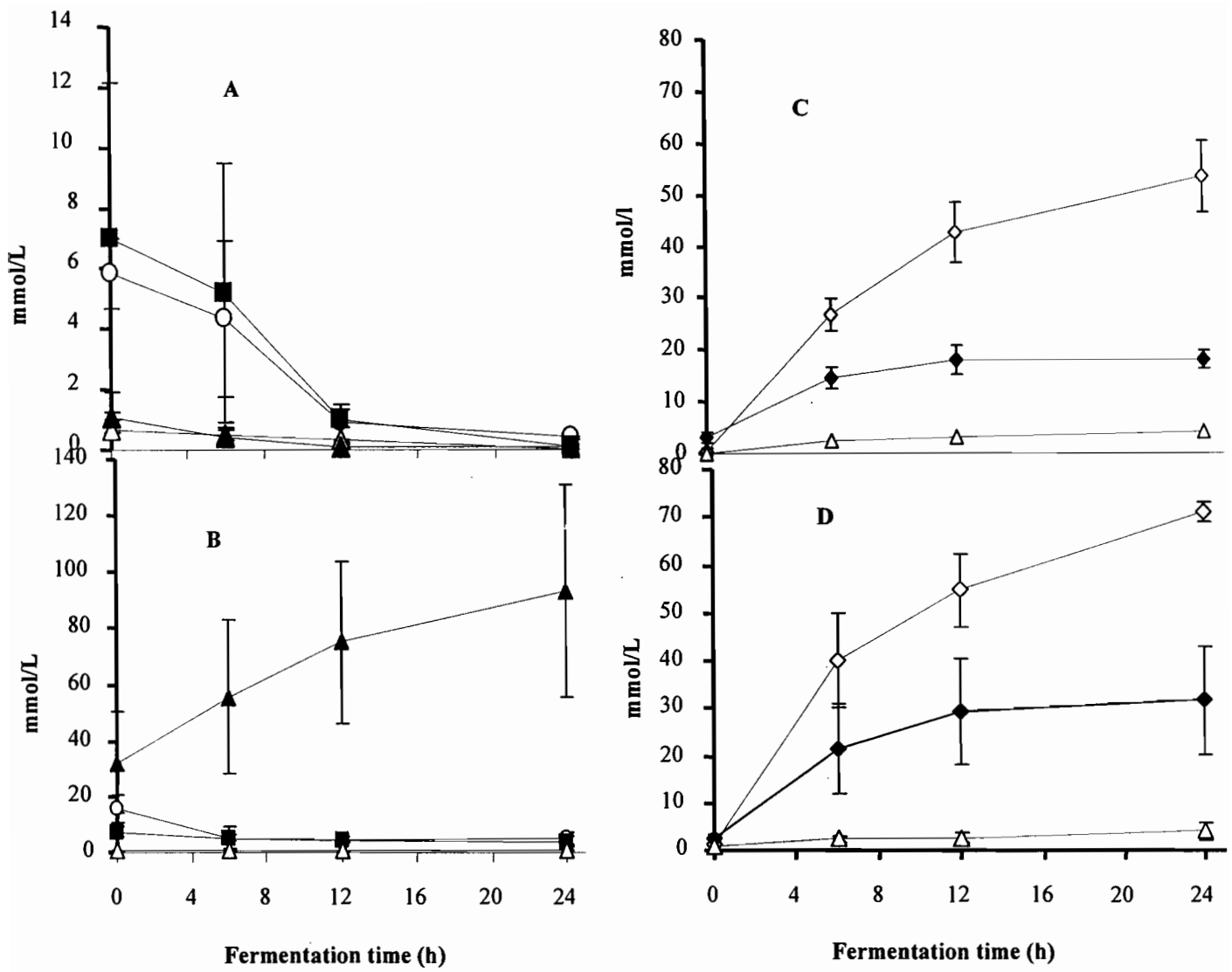


Figure 4

Table 1

Formulation of gruels (millet co-fermented with groundnuts) taking into account 15 % of added sugar, and estimation of their final protein and lipid contents

Materials	Proportions (g/100g DM)	Fat (g)		Protein (g)		Energy (kcal)	
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
Pearl millet	65	3.4	-	6.0	-	251.7	-
Groundnuts	20	9.6	-	5.1	-	119.0	-
Sugar	15	0	-	0	-	60	-
Total	100	13.0	>13.7	11.1	6.7-10.7	430.7	440

A: Values were calculated using proximate composition data obtained on samples of raw materials from Burkina Faso analysed in our laboratory; *B*: Values recommended by Dewey and Brown (2003) for complementary food.

Table 2

Changes in microbial counts in MG-T and MG-CMI pastes during fermentation

Microbial numbers (log CFU/ml)								
Fermentation time (h)	MG-T				MG- CMI			
	0	4	8	24	0	4	8	24
MAB	8.36	8.66	8.71	8.87	8.18	8.49	8.60	8.81
Yeasts	6.32	6.80	6.20	5.81	6.00	6.73	6.59	5.86
LAB	8.26	8.58	8.65	8.83	8.15	8.43	8.60	8.79
Ratio LAB/Yeasts	86	60	281	1046	140	50	102	835
ALAB	7.04	6.77	6.48	6.40	6.79	6.62	7.18	6.97
Ratio ALAB/LAB	0.06	0.02	0.007	0.004	0.04	0.02	0.04	0.02

MAB: Mesophilic Aerobic Bacteria

LAB: Lactic Acid Bacteria

ALAB: Amylolytic Lactic Acid Bacteria

Table 3

Proximate composition and phytate content of raw materials and fermented gruels (results are expressed for 100 g of dry matter)

	Raw materials			Sweetened gruel (taking the addition of 15 % of sugar into account)		
	Millet (M)	Groundnut (G)	Formula (M/G/Sugar: 65/20/15)	traditional <i>ben-saalga</i> *	MG-T	MG-CMI
Energy, kcal	409.2	631.7	452.2	407.7	462.5	458.2
Protein, g	8.4	29.3	11.3	7.0 ± 0.7	11.6 ± 0.3	11.7 ± 0.1
Fat, g	5.6	52.9	14.2	4.0 ± 0.7	14.5 ± 0.5	14.6 ± 0.6
Carbohydrates, g	81.3	9.6	69.8	86.0 ± 1.7	71.4 ± 0.1	70.0 ± 0.1
Fibres, g	3.4	5.8	3.4	1.8 ± 0.4	1.1 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Ashes, g	1.3	2.4	1.3	1.20 ± 0.2	1.4 ± 0.1	1.3 ± 0.1
Phytate, mg	546	832	604	192 ± 97	388 ± 20	297 ± 30

*(Lestienne, 2005)

CHAPITRE VI.
DISCUSSION GENERALE

DISCUSSION GENERALE

Au Burkina Faso, les bouillies de mil fermenté de types *ben-saalga* et *ben-kida*, produites dans des micro-ateliers de transformation, sont largement utilisées comme aliments de complément par les jeunes enfants (Mouquet et al, 2003). Une étude préliminaire a montré que ces bouillies étaient de faible teneur en matière sèche (7,5 g/100 g de bouillie) et donc d'une très faible densité énergétique d'environ 30 kcal/100 g de bouillie. Notre travail a eu pour objectif de caractériser et d'améliorer les procédés traditionnels de préparation du *ben-saalga* en vue de son utilisation comme aliment de complément adéquat.

Une discussion synthétique des principaux résultats des différentes études présentées dans ce document est proposée dans ce chapitre pour permettre de dégager les perspectives et formuler des recommandations sur l'amélioration de la situation nutritionnelle du jeune enfant burkinabé.

Caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques du procédé traditionnel de fabrication du *ben-saalga*

Les observations et les mesures faites sur le terrain dans 24 ateliers ont permis de décrire en détails le procédé traditionnel de fabrication du *ben-saalga*. Ce procédé se caractérise par les principales étapes suivantes : le trempage des graines, le lavage, la mouture, la filtration, la décantation et la cuisson. Le procédé traditionnel est ponctué par deux types de fermentations : une fermentation alcoolique qui a lieu pendant le trempage des graines et une fermentation lactique qui a lieu pendant la décantation et qui conditionne les principales caractéristiques de l'aliment. Si l'étape de décantation a largement été décrite pour plusieurs types de fermentation de céréales comme l'étape durant laquelle se déroule la fermentation lactique (Caplice & Fitzgerald, 1999; Gotcheva et al, 2000; Lei & Jakobsen, 2004) c'est la première fois que l'étape de trempage des graines est décrite de manière détaillée. La fermentation alcoolique associée à cette étape pourrait être due au fait que le milieu de trempage est pauvre en nutriments (faible diffusion des sucres des graines vers l'eau de trempage) et par conséquent présente des conditions défavorables à la croissance des bactéries lactiques (BL) qui sont auxotrophes vis-à-vis d'un certain nombre de facteurs de croissance. Les levures en revanche ne présentent pas de telles exigences et les conditions de milieux lors du trempage des graines sont plus favorables à leur croissance. D'un point de vue pratique, l'étape de trempage pour les productrices permet de ramollir la graine et faciliter une mouture du mil.

En revanche, la fermentation lactique de l'étape de décantation est consistant avec une prédominance des BL dont la croissance serait favorisée par une relative abondance de nutriments libérés lors de l'étape de mouture. En effet, la numération de la microflore en fin de décantation indique que la flore dominante était constituée de BL, similairement aux résultats de Gotcheva et al, (2000). Le dénombrement des BL des pâtes fermentées montre des niveaux de populations qui varient entre 7,5 et 8,5 log CFU/ g de matière sèche de la bouillie. Ces valeurs sont très inférieures aux concentrations rapportées pour certains produits fermentés similaires (Mugula et al, 2003). Cette différence pourrait être expliquée par la faible teneur en matière sèche des pâtes fermentées du *ben-saalga*.

Les cinétiques de fermentation pendant la décantation indiquaient une variation temporaire de l'activité métabolique. Le début de la fermentation était caractérisé par l'action simultanée des voies homo et hétérofermentaires, et la fin par la voie homofermentaire uniquement. La pâte en fin de décantation avait un pH bas ($4,0 \pm 0,4$) et sa flore microbienne dominée par des BL avec un ratio BLA/BL de 12 %. Le glucose et le fructose ont été identifiés comme les principaux substrats de la fermentation lactique. Cependant, le bilan métabolique de la fermentation a permis de mettre en évidence un déséquilibre entre les produits (10 mmol/l d'éthanol et 30mmol/l d'acide lactique, pour un total de 40mmol/l de produits finaux) et les substrats (8 mmol/l de glucose et 3,6 mmol/l de fructose, pour un total de 11,6 mmol/l de substrats). Au regard de la concentration des produits finaux (40 mmol/l), au moins 20 mmol/l d'"équivalent glucose" (considéré comme glucose et fructose) aurait été nécessaire, au lieu de 11,6 mmol/l, pour former ces produits et cela en supposant que 2 moles de produit final de fermentation (éthanol ou acide lactique) sont formé à partir d'une mole de substrat, et que le fructose est utilisé comme substrat et non comme accepteur d'électron. Ainsi, un tel bilan met en évidence un déficit en substrat pour la fermentation et suggère l'utilisation d'une autre source de carbone, probablement l'amidon, constituant de base du mil. Cette hypothèse est supportée par la présence de bactéries lactiques amylolytiques (BLA) pendant l'étape de décantation, et suggère leur rôle actif pendant la fermentation. La présence de BLA à des ratios similaires a également été rapportée par d'autres études sur des produits fermentés traditionnels (Diaz-Ruiz et al, 2003 ; Johansson et al, 1995 ; Sanni et al, 2002) et Rodriguez-Sanoja et al, (2000) ont rapporté leur capacité à hydrolyser l'amidon natif. Cependant, aucune fermentation naturelle n'a permis par hydrolyse partielle de l'amidon d'obtenir des bouillies de densité énergétique (DE) suffisante à une consistance acceptable (Trèche, 1995).

La caractérisation préliminaire des BL du *ben-saalga* a permis de mettre en évidence la prédominance des *Lactobacilli* dont l'espèce dominante serait le *Lb. fermentum*. En revanche,

dans les autres produits fermentés, l'espèce *Lb. plantarum* serait la plus dominante. Bien qu'il existe une grande diversité intra et inter espèces chez les BL, seulement deux espèces principales (*Lb. fermentum* et *Lb. plantarum*) sont généralement dominantes dans des fermentations naturelles des légumes et des céréales. Pour une amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*, il est nécessaire de caractériser davantage les souches selon leurs propriétés fonctionnelles pour sélectionner celles qui auraient des activités amylolytiques et/ou phytasiques importantes afin de les utiliser comme culture starter dans la fermentation. L'utilisation de ces souches dans la fermentation pourrait améliorer, d'une part la densité énergétique du *ben-saalga* par hydrolyse partielle de l'amidon et d'autre part, la biodisponibilité des minéraux divalents (fer, zinc et calcium) par la réduction des teneurs en phytates. Il est aussi intéressant d'observer que la plupart des BLs fermentent les α -galactosides qui sont des facteurs antinutritionnels. Par conséquent, l'amélioration de la teneur en protéines et/ou en lipides du *ben-saalga* par ajout de légumineuses (haricot, arachide et soja) riches en α -galactosides est envisageable, grâce à la capacité de ces souches à fermenter les α -galactosides et à réduire ainsi la teneur en ces facteurs antinutritionnels. Ainsi, au cours du procédé la teneur en raffinose diminue en moyenne de 83%.

Par ailleurs, le procédé traditionnel de préparation du *ben-saalga* présente un autre avantage sur le plan nutritionnel : sous l'effet des phytases bactériennes, les teneurs en phytate (IP6) sont réduites de 75% en moyenne.

Cependant, étant donné la faible densité énergétique du *ben-saalga* traditionnel (30kcal/100 g de bouillie), il apparaît donc intéressant et nécessaire de modifier le procédé traditionnel de préparation pour améliorer sa DE en vue de l'utiliser comme un aliment de complément adéquat.

Amélioration de la densité énergétique du *ben-saalga* par combinaison de procédés susceptibles d'hydrolyser ou de favoriser l'hydrolyse de l'amidon.

L'étude préliminaire, mettant en œuvre des procédés combinant les étapes de cuisson et d'ajout de malt, a permis d'obtenir des bouillies ayant à la fois un écoulement approprié (120 mm/30 s) et une DE élevée (152 kcal/100 g de bouillie), supérieure à la valeur recommandée (84 kcal/100 g de bouillie). En revanche, ces mêmes étapes mises en œuvre individuellement n'ont permis d'obtenir, pour la même consistance, que des bouillies de faibles DE (environ 30 kcal/100 g) similaires à celle de la bouillie traditionnelle. Cependant, si l'ajout de malt a des effets très positifs sur la DE et n'influe pas sur la cinétique

d'acidification de la pâte au cours de la décantation, l'étape de cuisson avant fermentation quant à elle, bien qu'elle favorise l'action du malt, entraîne la destruction de la flore naturelle, et induit ainsi une modification de la cinétique d'acidification caractérisée par un allongement important (jusqu'à 8 h) de la phase de début de fermentation pendant laquelle la pâte pourrait subir des altérations à la fois biochimiques et bactériologiques. Il est donc apparu comme nécessaire d'inoculer la pâte à l'aide d'un pied de cuve pour compenser cet inconvénient.

La seconde étude a mis en œuvre des combinaisons de procédés (CM, CI et CMI) incluant des étapes de cuisson (C), ajout de malt (M) et inoculation (I) et a mesuré les effets de ces modifications sur la DE des bouillies, la cinétique d'acidification et la microflore.

L'analyse détaillée de la cinétique de fermentation et de l'évolution de la flore dans les différents procédés modifiés a servi de base rationnelle pour expliquer les effets des modifications apportées au procédé traditionnel. Excepté la combinaison de procédés impliquant la cuisson et l'ajout de malt (CM), les bactéries lactiques (BLs) constituent la flore microbienne dominante isolée des échantillons prélevés pendant la fermentation. Le plus faible taux de microorganismes a été observé dans les échantillons de CM et cela, du fait de l'étape de cuisson qui a réduit le taux de BL à un niveau indétectable en début de fermentation. Cependant, la croissance des BL a été observée pendant la fermentation dans les échantillons de CM, mais leur concentration finale est restée inférieure à celles observées dans les échantillons des autres procédés. Curieusement, aucune BLA n'a été détectée dans les échantillons de CM. Le nombre total de bactéries aérobies mésophiles et de levures a également été affecté par la cuisson et ce nombre a lentement augmenté pendant la fermentation au point qu'il était en fin de fermentation 10^3 à 10^5 fois plus bas que dans les échantillons des autres procédés. La présence de BL dans les échantillons de CM en dépit du fait qu'elles ont été rigoureusement affectées par la cuisson, est probablement due à une recontamination par l'ajout de malt et/ou par les conditions environnementales (air, poussière, etc.). En effet, Tomkins et al (1989) ont utilisé le malt comme source d'amylase et d'inoculum (charge élevée en microflore) dans la préparation du *mahewu*, un breuvage non alcoolique et populaire en Afrique du Sud. Le procédé CM est très similaire à celui du *togwa* mis en œuvre par Kitabatake et al (2003).

Toutefois, l'évolution de la flore microbienne dans les combinaisons de procédés CI et CMI était très similaire à celle du procédé traditionnel. L'inoculation de la pâte après cuisson permet donc de reconstituer la population bactérienne à un niveau semblable à celui du procédé traditionnel en début de fermentation. Pour les levures, en comparaison aux autres procédés, le procédé CMI avait le taux le plus élevé du fait de l'inoculation et de l'ajout de

malt qui favoriseraient leur croissance. En effet, le procédé CMI présente certaines similitudes avec les procédés traditionnels de brassage utilisés pour préparer les bières africaines.

Les différentes combinaisons de procédés mises en oeuvre dans cette étude ont permis de mettre en évidence les effets positifs de chaque modification sur la densité énergétique (DE) des bouillies. Les teneurs en matière sèche (MS) des bouillies préparées selon le procédé traditionnel (utilisé comme témoin) et les combinaisons de procédés CI, CMI et CM sont respectivement de 6,5, 12,4, 17,5 et 27,6 g /100 g de MS pour une consistance Bostwick égale à 120 mm/30 s. L'ajout de malt à l'amidon gélatinisé a significativement modifié la consistance des bouillies et la plus forte teneur en MS (27,6 g /100 g de MS) a été obtenue avec le procédé CM. En tenant compte d'un ajout de 3 g de sucre/100 g de bouillie avant consommation et de l'estimation de la valeur énergétique de la bouillie à 4 kcal/ g de MS, la DE des bouillies étaient respectivement de 39, 62, 82 et 122 kcal/100 g de bouillie pour le procédé traditionnel et les combinaisons de procédés CI, CMI et CM. Cependant, seules les combinaisons de procédés incluant l'addition de malt (CMI et CM) ont permis d'obtenir des bouillies de DE supérieures ou égales à la valeur minimale (84 kcal/100 g de bouillie) recommandée pour les enfants de 9-11 mois d'âge avec une moyenne de 2 repas/jour pour compléter leurs apports du lait maternel (Dewey et Brown, 2003).

La bouillie obtenue par le procédé CMI avec une DE de 82 kcal/100 g de bouillie sucrée, quoique supérieure à la DE de la bouillie traditionnelle, reste bien inférieure à celle de la bouillie CM. Cela s'explique par le fait que dans le procédé CMI, du fait de l'acidification accélérée de la pâte grâce à l'addition de l'inoculum, le pH atteint rapidement (en moins de 3 h) une valeur inférieure à 4,7, seuil critique d'inactivation de l'amylase du malt d'orge (Mercier & Colas, 1967). Le procédé CM avec un taux faible de malt ajouté (0,125 %) a permis d'obtenir une bouillie de DE très élevée et se distingue de ce fait des procédés mis en oeuvre par Thaoge et al, (2003) qui ont incorporé une farine de malt de sorgho aux taux de 5 à 15 % pour obtenir des bouillies fermentées ou non avec une viscosité appropriée.

L'ajout de malt à un taux très bas (0,125 %) à la pâte après cuisson (amidon gélatinisé), permet de préparer des bouillies de DE appropriée (environ 82 kcal/100 g de bouillie sucrée) à des consistances convenables. L'inoculation par un pied de cuve permet de restaurer les BL qui ont été détruites par l'étape de cuisson. Ainsi, en tenant compte des objectifs nutritionnels et sanitaires, la combinaison de procédé qui semble être la plus prometteuse pour améliorer la DE des bouillies est celle impliquant cuisson, addition de malt et inoculation (CMI). En plus de cette augmentation de la DE du *ben-saalga*, il convient d'améliorer son équilibre nutritionnel en particulier en augmentant ses teneurs en lipides et en protéines. À cet effet,

l'étude basée sur la cofermentation mil-arachide a été mise en œuvre en appliquant la combinaison de procédés CMI.

Amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* par co-fermentation (mil, arachide) et cuisson, addition de malt et inoculation

Cette étude, pour améliorer la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*, a mis en œuvre une co-fermentation du mil et de l'arachide suivant deux procédés différents dont l'un était le procédé traditionnel (MG-T) et l'autre le procédé CMI (MG-CMI). La cinétique de fermentation et la composition microbienne ont été caractérisées dans les deux procédés de transformation afin d'évaluer la possibilité d'améliorer la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* pour répondre aux recommandations en énergie et en macronutriments des aliments de complément sans pour autant affecter les cinétiques de fermentation par rapport au procédé traditionnel.

L'étape de trempage d'un mélange de mil et d'arachide est pour la première fois étudiée en détail et cela permet d'obtenir des informations servant de base rationnelle pour comprendre ce procédé.

Pendant le trempage du mil et du mélange de mil et arachide, le pH de l'eau de trempage (surnageant) diminue progressivement suivant des profils similaires pour atteindre une valeur finale de 5,1. La présence d'arachide ne semble pas modifier la cinétique d'acidification au cours du trempage qui indique qu'une première fermentation se produit. L'évolution des sucres dans le surnageant pendant cette étape est caractérisée initialement par une augmentation des concentrations en glucose et en fructose due à la diffusion des sucres hors des grains, suivis d'une diminution de leurs concentrations, probablement due à l'activité microbienne. À la fin du trempage, les concentrations en ces sucres sont autour de 6,4 mmol/l. L'augmentation des concentrations en glucose et fructose pendant les 12 premières heures du trempage, associée à une diminution du pH (phase de légère acidification) peut s'expliquer par le fait que la vitesse de diffusion des sucres hors des grains excède celle de leur utilisation par la flore microbienne. L'évolution des sucres dans le surnageant de trempage du mil et de l'arachide est très similaire à celle observée pendant l'étape de trempage du mil seul.

Par ailleurs, les concentrations en éthanol et en acide lactique augmentent de manière significative ($P < 0,001$) pendant le trempage et les valeurs finales sont respectivement de 76 et 67 mmol/l. Cependant, pendant les 12 premières heures, seul l'éthanol est produit de manière décelable. Les acides lactique et acétique quant à eux, apparaissent après 12 h de

trempage, et leurs concentrations augmentent, indiquant le début d'une fermentation lactique. Toutefois, l'étape de trempage du mélange mil-arachide est dominée par une fermentation alcoolique comme dans le cas du mil seul dans le procédé traditionnel du *ben-saalga*.

L'incorporation de l'arachide permet d'obtenir des bouillies ayant des teneurs appropriées en protéines et en lipides, répondant aux récentes recommandations sur les aliments de complément (Lutter & Dewey, 2003). Des études ont également mis en évidence l'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits fermentés traditionnels par l'incorporation de légumineuses riches en protéines (Sanni et al, 1999 ; Egounlety, 2002 ; Onyango, et al, 2005). Akinrele et al, (1971) et Osungbaro et al, (2000) ont proposé l'addition de soja aux pâtes de céréales afin d'augmenter leur valeur nutritionnelle. Sur la base de la matière sèche (MS), les compositions globales des bouillies issues de MG-T et MG-CMI sont très similaires. Cependant, pour une même consistance de 120 mm/30 s correspondant aux habitudes alimentaires de jeunes enfants burkinabè, les teneurs en MS des bouillies issues du procédé MG-CMI sont environ deux fois plus élevées que celles du procédé MG-T. Cela est dû au fort pouvoir fluidifiant du malt (procédé MG-CMI) qui permet d'obtenir des bouillies environ deux fois plus concentrées que les bouillies préparées selon le procédé traditionnel. Les échantillons de pâtes fermentées issues du *ben-saalga*, de MG-T et de MG-CMI ont des pH acides respectivement de 4,0, 3,8 et 4,1. La microflore de fermentation dans le procédé traditionnel et les procédés MG-T et MG-CMI est dominée par les BL avec un ratio BLA/BL respectivement de 12, 4 et 15 %. Dans la pâte issue du procédé MG-T, le glucose et le fructose sont les principaux substrats et leurs concentrations diminuent progressivement pendant la fermentation, tandis que dans la pâte issue de MG-CMI le principal substrat est le maltose et sa concentration augmente. Dans tous les procédés, l'acide lactique est le produit majoritairement formé pendant la fermentation. Cependant, la plus forte concentration finale en acide lactique est observée dans les pâtes issues du procédé MG-CMI, du fait de leur forte concentration en substrats.

Dans tous les procédés, on a une diminution de la teneur en fibre, dû à l'élimination des drèches pendant l'étape de tamisage. Dans le procédé traditionnel et les procédés MG-T et MG-CMI, on a également une diminution de la teneur en phytate respectivement de 68, 50 et 66 %, probablement dû à l'activité phytasique des microorganismes et/ou l'action des phytases endogènes des graines ou du malt. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés sur les produits de fermentation lactique du maïs (Lopez et al, 1983) et du mil (Mahajan & Chauhan, 1987 ; Agte et al, 1999). Toutefois, les teneurs en phytate dans les échantillons de MG-CMI et MG-T sont plus élevées que dans le *ben-saalga* (192 mg), en raison de la teneur

en phytate élevée de l'arachide incorporée. Agte et al, (1998) ont également rapporté que l'incorporation de légumineuses telles que l'arachide ou le soja augmente les teneurs en phytate des mélanges à base de céréales. Néanmoins, les teneurs en IP6 dans les bouillies issues des deux procédés MG-T et MG-CMI avec le mélange mil-arachide sont inférieures à celle du mil brut.

CHAPITRE VII.
CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les résultats sur l'amélioration de la DE du *ben-saalga* ont montré qu'en tenant compte des objectifs nutritionnels et sanitaires, la combinaison de procédés mettant en œuvre les étapes de cuisson, ajout de malt et inoculation (CMI) est la plus prometteuse pour améliorer la DE des bouillies. Le procédé CMI a permis de préparer des bouillies ayant une consistance appropriée et une DE d'environ 82 kcal/100 g de bouillie sucrée, conforme aux recommandations pour la densité énergétique des aliments de complément.

Les résultats sur l'amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* ont montré que la mise en œuvre d'une co-fermentation mil-arachide à laquelle on applique le procédé CMI permet d'obtenir des bouillies de consistance adéquate et ayant une DE deux fois supérieure à celle des bouillies préparées selon le procédé traditionnel. Les fortes concentrations finales en maltose et en acide lactique observées dans les bouillies améliorées issues du procédé MG-CMI pourraient cependant avoir des conséquences sur les caractéristiques organoleptiques à savoir la modification de la saveur sucrée et/ou aigre et sur l'acceptabilité de ces bouillies. Cet aspect mérite d'être exploré au cours de travaux ultérieurs afin de s'assurer de la bonne acceptabilité des bouillies améliorées avant d'envisager un transfert des procédés modifiés sur le terrain. En outre, la forte concentration finale en maltose de ces mêmes bouillies, associée à leur pH final faible peut entraîner un risque de post-contamination par des levures et donc une altération possible des bouillies, si les conditions de stockage ne sont pas appropriées. À cet égard, il est nécessaire de veiller à une bonne conservation des bouillies améliorées et de mener une investigation sur leur durée de conservation.

Si l'amélioration du procédé traditionnel de préparation des bouillies fermentées par l'introduction de l'arachide (produit local) et des étapes supplémentaires (cuisson, ajout de malt d'orge et inoculation) a permis d'obtenir des bouillies ayant une valeur nutritionnelle acceptable, il faut toutefois reconnaître d'une part que cette formule de bouillie améliorée reste incomplète du point de vue équilibre en micronutriments par rapport aux recommandations pour les aliments de complément. D'autre part, les modifications apportées constituent, pour les productrices locales (faible pouvoir d'achat et faible niveau d'éducation), des contraintes pratiques et socioéconomiques.

La valorisation des ressources alimentaires locales pour une alimentation saine et équilibrée du jeune enfant doit se faire par des technologies simples, peu onéreuses, appropriées et appréciées des populations. Pour ce faire, nos travaux de thèse qui ont pour avantage de s'appuyer sur des technologies traditionnelles doivent être approfondis d'une part, en étudiant

la possibilité de substituer le malt d'orge par du malt de céréales locales (mil, sorgho et maïs) et, d'autre part, par des études d'acceptabilité et de transférabilité des procédés modifiés.

En effet, dans la suite de ces travaux et selon la stratégie proposée par Mouquet et al (2005) et appliquée à la bouillie *ben-saalga*, des essais de fortification ont été réalisés et ont donné de bons résultats.

Enfin, des essais de production en atelier de la bouillie améliorée ont été également réalisés et l'appropriation du procédé modifié par les productrices semble aisée, avec toutefois des contraintes qui résident surtout dans l'augmentation du coût du produit lié à l'augmentation de sa concentration et à l'incorporation d'arachide. Pour donner des chances de succès au transfert du procédé modifié et à la pérennisation de la production de la bouillie améliorée par les productrices sur le terrain, il est nécessaire de faire des campagnes d'éducation nutritionnelle pour sensibiliser les familles et les centres de santé à l'utilisation d'aliments de complément adéquats, gages de la bonne santé et de la croissance des jeunes enfants.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abd El-Hady, E.A., Habiba, R.A. (2003). Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 36, 285-293.
- Abdel Gadir, A. M., & Mohamed, M. (1993). Sudanese kiswa/ aseeda/ aceda. In K. H. Steinkraus (Ed.), *Handbook of indigenous fermented foods* (pp. 196–200). New York: Marcel Dekker.
- ACC/SCN. (2000). Commission on the nutrition challenges of the 21st century. *Ending malnutrition by 2020: an agenda for change in the Millennium. Food and Nutrition Bulletin supplement*, 21(3), 88p.
- Achi, O. K. (1990). Microbiology of “obiolor”: a Nigerian fermented non-alcoholic beverage. *Journal of Applied Bacteriology*, 69, 321–325.
- Adeniji, A. O., & Potter, N. N. (1978). Properties of ogi powders made from normal, fortified and opaque-2 corn. *Journal of Food Science*, 43, 1571–1574.
- Adeyemi, I. A. (1983). Dry milling of sorghum for ogi manufacture. *Journal of Cereal Science*, 1, 221–227.
- Adler-Nissen, J., and Demain, A. L. (1994). Aeration-controlled formation of acetic acid in heterolactic fermentations. *J. Ind. Microbiol.* 13:335–343.
- AFNOR. (1970). Directives générales pour le dosage de l’azote avec 349 minéralisation selon la méthode Kjeldahl (produits agricoles alimentaires). Norme NF V 03-050.
- Agati A., J.P. Guyot, J. Morlon-Guyot, Hounhouigan J. (1998) Isolation and characterization of new strains of amylolytic *Lactobacillus fermentum* from fermented maize doughs (mawè and ogi) from Benin. *Journal of Applied Microbiology* 85: 512-520.
- Agte, V. V., Khot, S., Joshi, S., Chiplonkar, S. A., and Paknikar, K. M. (1998). Effect of traditional processing of legumes on trace metal bioavailability. *Journal of Food Sciences and Technology*, 35, 330-332.
- Agte, V. V., Tarwadi, K., and Chiplonkar, S. A. (1999). Phytate Degradation During Traditional Cooking: Significance of the Phytic Acid Profile in Cereal-Based Vegetarian Meals. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12, 161-167.
- Aguirre, M., & Collins, M. D. (1992). Lactic acid bacteria and human clinical infection. *Journal of Applied Bacteriology*, 75, 95-107.

- Ainsworth, P., Fuller, D., Plunkett, A., Ibanoglu, S. (1999). Influence of extrusion variables on the protein in vitro digestibility and protein solubility of extruded soy tarhana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 675-678.
- Akingbala, J.O., Rooney, L.W., Faubion, J.M. (1981). A laboratory procedure for the preparation of Ogi, a Nigerian fermented food. *Journal of Food Science*, 46, 1523-1526.
- Akinrele, I. A. (1970). Fermentation studies on maize during the preparation of a traditional African starch-cake food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21, 619-25.
- Akinrele, I. A., & Bassir, O. (1967). The nutritive value of ogi, a Nigerian infant food. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 70, 279-280.
- Akinrele, I. A., Adeyinka, O., Edwards, G. C. A., Olatunji, F. O., Dina, J. A. & Koleoso, O. A. (1971). The development and production of soy-ogi (a corn-based complete protein food). Federal Ministry of Industries, Lagos, Nigeria.
- Alonso, R., Orue, E., Marzo, F. (1998). Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. *Food Chemistry*, 63, 505-512.
- Ampe, F., ben Omar, N., Moizan, C., Wachter, C., & Guyot, J. P. (1999). Polyphasic study of the spatial distribution of microorganisms in Mexican pozol, maize-fermented dough, demonstrates the need for cultivation-independent methods to investigate traditional fermentations. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 5464 – 5473.
- Antony, U. and Chandra, T. S. (1997). Microbial population and biochemical changes in fermenting finger millet (*Elusine coracana*). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13, 533-537.
- Ashenafi, M. (1993). Ethiopian enjera. In K. H. Steinkraus (Ed.), Handbook of indigenous fermented foods (pp. 182-194). New York: Marcel Dekker.
- Bagheri, S., Fontaine, N., Pointillard, A., Guéguen, L. (1982). Influence des fibres et des phytates sur l'utilisation des minéraux chez le Porc. *Physiologie digestive chez le Porc*, INRA Publication Versailles, 247-260.
- Banigo, E. O. I. (1993). Nigerian ogi. In K. H. Steinkraus (Ed.), Handbook of indigenous fermented foods (pp. 212-222). New York: Marcel Dekker.
- Banigo, E. O. I., & Muller, H. G. (1972). Manufacture of ogi, a Nigerian fermented cereal porridge. Comparative evaluation of corn, sorghum and millet. *Canadian Journal of Food Science and Technology*, 5, 217-221.
- Bayané, Y., Ouattara, C.A.T., Barro, N., Ouattara, A.S., Traoré, A.S. (2003). Nutritional evaluation of some pearl millet genotypes (*Pennisetum glaucum* (L.) Br.) grown in

- Burkina. Poster presented at the 2nd international workshop, *Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.
- Ben Arfa, A. (2002). "Fermentation du petit mil : Influence des étapes de transformation en amont de la décantation sur les cinétiques de fermentation de pâtes de petit mil et de sorgho inoculées ou non par des cultures starters." Mémoire de DEA en Sciences des Aliments de l'Université de Montpellier II
- Ben Omar, N., Abriouel, H., Lucas, R., Martínez-Cañamero, M., Guyot, J-P., & Gálvez, A. (2006). Isolation of bacteriocinogenic *Lactobacillus plantarum* strains from *ben-saalga*, a traditional fermented gruel from Burkina Faso. *International Journal of Food Microbiology*, 112, 44–50.
- Benito, B., Riballo E., & Lagunas R. (1991). Turnover of the K⁺ transport system in *Saccharomyces cerevisiae*. *Federation of European Biochemical Societies*, 294, (12), 35 – 37.
- Berner, L.A., Clydesdale, F.M., Douglass, J.S. (2001). Fortification contributed greatly to vitamin and mineral intakes in the United States, 1989-1991. *Journal of Nutrition*, 131, 2177-2183.
- Besançon, P. (1999). Safety of complementary foods and bioavailability of nutrients. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoist B., Verster A., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 59-73.
- Blandino, A., Al-Aseeri, M.E., Pandiella, S.S., Cantero, D., Webb, C. (2003). Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International* 36, 527-543.
- Bookwalter, G.N., Peplinski, A.J., Pfeifer, V.F. (1968). Using a bostwick consistometer to measure consistencies of processed corn meals and their CSM blends. *Cereal Science Today*, 13(11), 407-410.
- Brauman, A., Kéléké, S., Malonga, M., Miambi, E., & Ampe, F. (1996). Microbiological characterization of cassava retting a traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 2854 – 2858.
- Brown, K.H. (1997). Complementary feeding in developing countries : factors affecting energy intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, 56 (1A), 139-148.
- Brown, K.H., Sanchez-Grinan, M., Perez, F., Peerson, J.M., Ganoza, L., Stern, J.S. (1995). Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(1), 13-18.

- Brown, L.V., Zeitlin, M.F., Peterson, K.E., Chowdhury, A.M., Rogers, B.L., Weld, L.H., Gershoff, S.N. (1992). Evaluation of the impact of weaning food messages on infant feeding practices and child growth in rural Bangladesh. *American Journal of Clinical Nutrition*, 56, 994-1003
- Butte N. F. (1996). Energy requirements of infant. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50 (1 suppl.) : S24-S36.
- Butte, N.F., Wong, W.W., Hopkinson, J.M., Heinz, C.J., Mehta, N.R., Smith, E.O.B. (2000). Energy requirements derived from total energy expenditure and energy deposition during the first 2 years of life. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 1558-1569.
- Calderon, M., Loiseau, G., Guyot, J.P. (2001). Nutritional requirements and simplified cultivation medium to study growth and energetics of a sourdough lactic acid bacterium *Lactobacillus fermentum* Ogi E1 during heterolactic fermentation of starch. *Journal of Applied Microbiology* 90, 508-516.
- Caplice, E., & Fitzgerald, G. F. (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 50, 131-149.
- Cerefer, (2003). European Commission, Annual Report of the European INCO-DEV Project (5th FP), Contract N°ICA4-CT2002-100471: « Meeting consumer requirements for cereal based fermented foodstuffs with improved nutritional and sanitary quality and shelf-life in Africa », Oct 2002-2003. Report available at: <http://www.mpl.ird.fr/cerefer/>
- Chavan, J. K., & Kadam, S. S. (1989). Critical reviews in food science and nutrition. *Food Science*, 28, 348-400.
- Colonna, P., Buléon, A. (1994). "Transformation structurale de l'amidon" In Colonna P., Della Valle G., éd : La cuisson extrusion, Paris collection Sciences et techniques agro-alimentaires. Lavoisier , Paris, pp. 18-43.
- Cornu A., Trèche S., Massamba J., Delpeuch F. (1993). Alimentation de sevrage et interventions nutritionnelles au Congo. *Cahiers Santé* 3 : 168-177.
- Darling, J.C., Kitundu, J.A., Kingamkono, R.R., Msengi, A.E., Mduma, B., Sullivan, K.R. (1995). Improved energy intakes using amylase-digested weaning foods in Tanzanian children with acute diarrhea. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 21(1), 73-81.
- De Benoist B. (1995). Le sevrage, un défi pour l'enfant et pour sa mère. In : Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpeuch F, eds : *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris, 1995, Orstom, collection colloques et séminaires : 7-13.

- De Cindio, B., Gabriele, D., Pollini, C.M., Peressini, D., Sensidoni, A. (2002). Filled snack production by coextrusion-cooking : 2. Effect of processing on cereal mixtures. *Journal of Food Engineering*, 54, 63-73.
- De Vuyst, L. (2000). Technology aspects related to the application of functional starter cultures. *Food Technology and Biotechnology*, 38(2), 105-112.
- Den Besten, L., Glatthaar, I.I., Ijsselmuiden, C.B. (1998). Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomised controlled trial. *Journal of Tropical Paediatrics*; 44:4-9.
- Dendy, D.A. (1995). Sorghum and millets: Production and importance. p. 11–26. In: D.A.V. Denby (ed.), Sorghum and millets: Chemistry and technology. *Am. Assoc. Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.*
- Desikachar, H.S.R. (1980). Development of weaning foods with high caloric density and low hot-paste viscosity using traditional technologies. *Food and Nutrition Bulletin*, 2, 12-23.
- Desmazeaud, M.J., Roissart, H. (1994). Métabolisme général des bactéries lactiques. En: de Roissart, H. Luquet, F.M. (Ed.), Bactéries Lactiques, vol. 1. Lorica, Uriage, pp. 169-207
- Dewey, K.G. (2000). Approaches for improving complementary feeding of infants and young children. Geneva: World Health Organisation.
- Dewey, K.G., Beaton, G, Fjeld, C., Lönnerdal, B., Reeds, P. (1996). Protein requirements of infants and children. Proceeding of the International Dietary Energy Consultative Group. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50, S119-S147.
- Dewey, K.G., Brown, K.H. (2003). Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 5-28.
- Dewey, K.G., Peerson, M.J., Heinig, M.J., Nommsen, L.A., Lonnerdal, B., Lopez de Romana, G., de Kanashiro, H.C., Black, R.E., Brown, K.H. (1992). Growth patterns of breast-fed infants in affluent (United States) and poor (Peru) communities: implications for timing of complementary feeding. *American Journal of Clinical Nutrition*, 56, 1012-1018.
- Diaz-Ruiz, G., Guyot, J.P., Ruiz-Teran, F., Morlon-Guyot, J., Wachter, C. (2003). Microbial and physiological characterization of weak amylolytic but fast growing lactic acid bacteria: a functional role in supporting microbial diversity in *pozol*, a Mexican maize sourdough. *Applied and Environmental Microbiology* 69, 4367-4374.
- Dicko, M.H., Searle-van Leeuwen, M.J.F., Beldman, G., Ouedraogo, O.G., Hilhorst, R., Traore, A.S. (1999). Purification and characterization of β-amylase from *Curculigo pilosa*. *Applied Microbiology Biotechnology*, 52(6), 802-805.

- Dirar, H. A. (1993). Ethiopian enjera. In K. H. Steinkraus (Ed.), Handbook of indigenous fermented foods (pp. 182–194). New York: Marcel Dekker.
- Djossou M, Mouquet C et 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"*, 22-24 Novembre 1999, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Djossou V.A. (2001). Etude de la production, de la consommation et de la commercialisation des bouillies de petit mil fermenté (*Binkida* et *Binsaalga*) à Ouagadougou (Burkina Faso). Mémoire de DESS, Université de Ouagadougou, p. 58.
- Dop, M.C., Benbouzid, D. (1999). Regional features of complementary feeding in Africa and Middle East. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoist B., Verster A., Delpuech F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 43-58.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and Multiple-F tests. *Biometrics*, 11, 1.
- Egounlety, M. (2002). Production of legume-fortified weaning foods. *Food Research International*, 35, 233–237.
- Egounlety, M., & Aworh, O. C. (1995). Changes in oligosaccharides during fermentation of soybean (*Glycine max Merr.*), cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa Harms*). Paper presented at the 9th World Congress of Food Science & Technology. Budapest, Hungary, 30 July 3 August 3.
- Elfaki, A. E., Dirar, H. A., Collins, M. A. and Harper, D. B. (1991). Biochemical and microbiological investigations of *Sigda* – a Sudanese fermented food derived from sesame oilseed cake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 57, 351–365.
- Elsheik, E.A.E., El Tinay, A.H., Fadul, I.A. (1999). Effect of nutritional status of faba bean on proximate composition, anti-nutritional factors and in vitro protein digestibility (IVPD). *Food Chemistry*, 67, 379-383.
- Erten, H. (1998). Metabolism of fructose as an electron acceptor by *Leuconostoc mesenteroides*. *Process Biochemistry*, 33, 735–739.
- Escalante, A., Wachter, C., & Farres, A. (2001). Lactic acid bacteria diversity in the traditional Mexican fermented dough pozol as determined by 16S rDNA sequence analysis. *International Journal of Food Microbiology*, 64, 21–31.
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (1995) *Sorghum and Millets in Human Nutrition*. FAO, Rome.

- Frölich, W. (1995). Bioavailability of micronutrients in fibre-rich diet, especially related to minerals. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, S116-S122.
- Gänzle, M.G., Ehmann, M., and Hammes, W. (1998). Modeling of Growth of *Lactobacillus sanfranciscensis* and *Candida milleri* in Response to Process Parameters of Sourdough Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 7, 2616–2623.
- Gashe, B. A., Girma, M., & Bisrat, A. (1993). Ethiopian enjera. In K. H. Steinkraus (Ed.), *Handbook of indigenous fermented foods* (pp. 182–194). New York: Marcel Dekker.
- Gebrekidan, B., Gebrettiwat, B. (1982). Sorghuminjera: preparation and quality parameters. In ICRISAT, *Proceedings of International Symposium on Sorghum Grain Quality* (pp. 55–56), Patancheru, India.
- Gobetti, M., Corsetti, A., Rossi, J. (1995). Maltose– fructose co-fermentation by *Lactobacillus brevis* subsp. *lindneri* CB1 fructosenegative strain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 42, 939–944.
- Gopaldas, T., Deshpande, S., John, C. (1988). Studies on a Wheat based amylase-rich food. *Food and Nutrition Bulletin*, 10, 55-59.
- Gotcheva, V., Pandiella, S. S., Angelov, A., Roshkova, Z. G., & Webb, C. (2000). Microflora identification of the Bulgarian cereal-based fermented beverage *boza*. *Process Biochemistry*, 36, 127–130.
- Guandalini, S., Pensabene, L., AbuZikri, M., Dias, J.A., Casali, L.G., Hoekstra, H., Kolacek, S., Massar, K. et al. (2000). *Lactobacillus* GG administered in oral rehydration solution to children with acute diarrhea: a multicenter European trial. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 30, 54–60.
- Guerrant, R.L., Hughes, J.M., Lima, N.L. and Crane, J. (1990). Diarrhea in developed and developing countries: magnitude, special settings and etiologies. *Reviews of Infectious Diseases*, 12, S41–S50.
- 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. Electronic proceedings of the 2nd International Workshop "Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: the role of food technologists and nutritionists", 25-28 November 2003, Ouagadougou. ISBN: 2-915071-063, 437-444
- Haggerty, P.A., Manunebo, M.N., Ashworth, A., Muladi, K. and Kirkwood, B.R. (1994). Methodological approaches in a base-line study of diarrheal morbidity in weaning-age children in rural Zaire. *International Journal of Epidemiology*, 23, 1040–1049.

- Hammes, W.P., Stolz, P., Gänzle, M. (1996). Metabolism of lactobacilli in traditional sourdoughs. *Advances in Food Sciences*, 18, (5/6) 176–184.
- Hayford, A. E., Petersen, A., Vogensen, F. K. and Jakobsen, M. (1999). Use of conserved randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) fragments and RAPD pattern of characterization of *Lactobacillus fermentum* in Ghanaian fermented maize dough. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 3213–3221.
- Hervé, S., Mouquet-Rivier, C. (2004). Etude de marché des farines infantiles et compléments alimentaires en milieu urbain au Burkina Faso. Rapport d'étude réalisé dans le cadre du projet NUTRIFASO. Appui financier du Programme d'Appui Danois au développement de l'agriculture au Burkina Faso, Appui Direct aux Opérateurs Privés. 77 p.
- Honke, J., Kozłowska, H., Vidal-Valverde, J.F., Gorecki, R. (1998). Changes in quantities of inositol phosphates during maturation and germination of legume seeds. *Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und - Forschung A* 206, 279-283.
- Hounhouigan D.J. Nout M.J.R., Nago C.M., Houben J.H., Rombouts F.M. (1993). Changes in the physico-chemical properties of maize during natural fermentation of Mawè. *Journal of Cereal Science*, 17 : 291-300.
- Hounhouigan, D. J., Nout, M. J. R., Nago, C. M., Houben, J. H. and Rombouts, F. M. (1993). Characterization and frequency distribution of species of lactic acid bacteria involved in the processing of *mawè*, a fermented maize dough from Benin. *International Journal of Food Microbiology*, 18, 279–287.
- Hounhouigan, D.J. (1994). Fermentation of maize (*Zea mays*) meal for “*mawè*” production in Bénin – physical, chemical and microbiological aspects. PhD Thesis, Wageningen, The Netherlands, 99pp.
- Hounhouigan, D.J., Jansen, J.M.M., Nout, M.J.R., Nago, C.M., Rombouts, F.M. (1991). Production and quality of maize-based fermented dough in Benin urban area. Proceedings of regional workshop on traditional African foods. *Quality Nutrition*, 25-29 Oct, 9-18.
- Ikedibi, C.O., Olugboji, O. (1988). Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) sprouts. *Food Chemistry*, 27, 167-175.
- Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), & Macro International. (1994). *Enquête de Démographie et de Santé – Burkina Faso 1993*, pp 115-127.
- Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), & Macro International. (2000). *Enquête de Démographie et de Santé – Burkina Faso 98/99*, pp 121-134.

- Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), & Macro International. (2004). Enquête Démographique et de Santé (EDS), Burkina Faso. Allaitement et Etat Nutritionnel. Ed. G. S. Mariko, pp. 145-172.
- Institute of Medicine (1997). Dietary reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride. Washington, DC: National Academic Press.
- Institute of Medicine (1998). Dietary reference intakes for thiamine, riboflavin, niacin, vitamin B₆, folate, vitamin B₁₂, pantothenic acid, biotin and choline. Washington, DC: National Academic Press.
- Institute of Medicine (2000). Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium and carotenoides. Washington, DC: National Academic Press.
- Institute of Medicine (2001). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington, DC: National Academic Press.
- Johansson, M.L., Sanni, A., Lonner, C., Molin, G. (1995). Phenotypically-based taxonomy using API 50 CH of lactobacilli from Nigerian Ogi, and the occurrence of starch fermenting strains. *International Journal of Food Microbiology* 25, 159-168.
- Judith, A.N., Tendekayi, H.G. (2003). The role of interaction between yeasts and lactic acid bacteria in African fermented milks: review. *International Journal of Food Microbiology*, 86, 51 – 60.
- Kingamkono R., Sjögren E., Svanberg U., Kaijser B. (1994). pH and acidity in lactic-fermenting cereal gruels : effects on viability of enteropathogenic microorganisms. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 10 : 664-669.
- Kitabatake, N., Gimbi, D.M., Oi, Y. (2003). Traditional non-alcoholic beverage, *togwa*, in East Africa, produced from maize flour and germinated finger millet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54, 447-455.
- Kuboye, A. O. (1985). Traditional fermented foods and beverages of Nigeria. In Proceedings of the International Foundation for Science (IFS)/United Nations University (UNU). Workshop on Development of indigenous fermented foods and Food technology in Africa (pp. 225–236), Douala, Cameroon.
- Kuye, A., Sanni, L.O. (1999). Industrialization of fermented foods processes: how far in Nigeria? *Journal of Scientific and Industrial Research*, 58(11), 837-843.
- Lartey, A., Manu, A., Brown, K.H., Peerson, J.M., Dewey, K.G. (1999). A randomized, community-based trial of the effects of improved, centrally processed complementary

- foods on growth and micronutrient status of Ghanaian infants from 6 to 12 mo of age. *American Journal Clinical Nutrition*, 70, 391-404.
- Lee, Y.C., Kim, K.T. (1990). Gelatinization and Liquefaction of Starch with a Heart stable α -Amylase. *Journal of Food Science*, 55(5), 1365-1372.
- Lei, V., Jakobsen, M. (2004). Microbiological characterization and probiotic potential of *koko* and *koko* sour water, African spontaneously fermented millet porridge and drink. *Journal of Applied Microbiology*, 96 (2), 384-397.
- Lestienne, I. (2005). Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments de complément. Université Montpellier II, PhD thesis, 291p.
- Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., Trèche, S. (2005). Effect of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89, 421-425.
- Levine, H., Slade, L. (1992). Glass transitions in foods. In : Physical Chemistry of foods, ed. H. G. Shawartzberg et R. W. Hartel pp. 83-221. Marcel Dekker, New York.
- Lopez, Y., Gordon, D. T., & Fields, M. L. (1983). Release of phosphorous from phytate by natural lactic acid fermentation. *Journal of Food Science*, 48, 953-954.
- Lorri W., Svanberg U. (1993). Lactic acid-fermented cereal gruels : viscosity and flour concentration. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 44 : 207-213.
- Lorri, W., & Svanberg, U. (1994). An overview of the use of fermented foods for child feeding in Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition*, 34, 65 – 81.
- Lutter, C.K. (2000). Processed complementary foods: summary of nutritional characteristics, methods of production and distribution, and cost. *Food and Nutrition Bulletin*, 21, 95-100.
- Lutter, C.K. (2003). Macrolevel approaches to improve the availability of complementary foods. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 83-103.
- Lutter, C.K., Dewey, K.G. (2003). Nutrient composition for fortified complementary foods: proposed nutrient composition for fortified complementary foods. *Journal of Nutrition* 133:3011S-3020S.
- Lutter, C.K., Mora, J.O., Habicht, J.P., Rasmussen, K.M., Robson, D.S., Herrera, M.G. (1990). Age-specific responsiveness of weight and length to nutritional supplementation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 359-364.
- Macro International Inc. (2000). Nutrition des jeunes enfants et des mères au Burkina Faso, 1999-99, in : Nutrition en Afrique, graphiques commentées.

- Macro International Inc. (2005). Nutrition des jeunes enfants et des mères au Burkina Faso, 2003-04, in : Nutrition en Afrique, graphiques commentées.
- Mahajan, S., & Chauhan, B. M. (1987). Phytic acid and extractable phosphorous of pearl millet flour as affected by natural lactic acid fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 41, 381-386.
- Mahgoub, S. E. O., Ahmed, B. M., Ahmed, M. M. O., & El Agib El Nazeer, A. A. (1999). Effect of traditional Sudanese processing of kiswa bread and hulu-mur drink on their thiamine, riboflavin and mineral contents. *Food Chemistry*, 67, 129-133.
- Mahgoub, S.E.O., Elhag, S.A. (1998). Effect of milling, soaking, malting, heat-treatment and fermentation on phytate level of four Sudanese sorghum cultivars. *Food Chemistry*, 61, 77-80.
- Makinde, M. A., & LaChance, P. A. (1976). Tryptophan: first limiting amino acid in ogi. *Nutrition Reports International*, 14, 671-679.
- Malleshi, N.G., Daodu, M.A., Chandrasekhar, A. (1989). Development of weaning food formulations based on malting and roller drying of sorghum and cowpea. *International Journal of Food Science and Technology*, 24, 511-519.
- Malleshi, N.G., Desikachar, H.S.R. (1988). Reducing the past viscosity (dietary bulk) of roller dried weaning food using malt flour or fungal amylase. *Journal of Food Science and Technology India*, 25: 1.
- Marfo, E.K., Simpson, B.K., Idowu, J.S., Oke, O.L. (1990). Effect of local processing on ohytate levels in cassava, cocoyam, yam, maize, sorghum, rice, cowpea and soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1580-1585.
- Martorell, R. (1995). Results and implications of the INCAP follow-up study. *Journal of Nutrition*, 125(4 Suppl), 1127S-1138S.
- Mbugua S.K., Njenga J. (1992). The antimicrobial activity of fermented Uji. *Ecology of food and nutrition*, 28: 191-198.
- Mensah P., Tomkins A.M., Drasar B.S., Harrison T.J. (1990). Fermentation of cereals for reduction of bacterial contamination of weaning foods in Ghana. *Lancet*, 336 : 140-143.
- Mensah P., Tomkins A.M., Drasar B.S., Harrison T.J., 1991. Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough. *Journal of Applied Bacteriology*, 70: 203-210.
- Mensah, P., Ndiokwelu, C.I., Uwaegbute, A., Ablordey, A., Van Boxtel, A.M.G.A., Brinkman, C., Nout, M.J.R., Ngoddy, P.O. (1995): Feeding of lactic-acid fermented high nutrient density weaning formula in paediatric setting in Ghana and Nigeria: acceptance

- by mother and infant and performance during recovery from acute diarrhoea. *International Journal of Foods Sciences and Nutrition*, 46(4), 353-362.
- Mercier, C. & Colas, A. (1967). Les amylases en panification. *Annales de Nutrition et Alimentation*. France, 21, B299 – B340.
- Mercier, C. (1993). Nutritional appraisal of extruded foods. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 44, 45-53.
- Milan-Carrillo, C., Reyes-Morero, C., Cmacho-Hernandez, I., Rouzand-Sandez, O. (2002). Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) into useful product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 718-728.
- Morlon-Guyot, J., Guyot, J. P., Pot, B., Jacobe de Haut, I., & Raimbault, M. (1998). A new starch-hydrolyzing lactic acid bacterium isolated from cassava sour starch fermentation. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48, 1101–1109.
- Mosha, A. C., & Svanberg, U. (1983). Preparation of weannig foods with high nutrient density using flour of germinated cereals. *Food Nutrition Bulletin*, 5 (2), 10 – 14.
- Motarjemi Y., Käferstein F., Moy G., Quevedo F. (1993). Contamination weaning food : a major risk factor for diarrhoea and associated malnutrition. *Bulletin of the World Health Organization*, 71 (1): 79-92.
- Motarjemi, Y., Käferstein, F., Moy, G. Quevedo, F. (1999). Contaminated complementary food: a major risk factor for diarrhoea and associated malnutrition. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoist B., Verster A., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 75-94.
- Mouquet, C., & Trèche, S. *in press*. Characterization of the consistency of gruels consumed by infants in developing countries: assessment of the Bostwick consistometer and comparison with viscosity measurements and sensory perception. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*.
- Mouquet, C., Bruyeron, O., Trèche, S. (1998). Caractéristiques d'une bonne farine infantile. In : les farines infantiles. *Bulletin du réseau Technologie et Partenariat en Agro-alimentaire*, n°15 : 8-11.
- Mouquet, C., Guyot, JP., Trèche, S. (2001). Changes in phytate content during traditional processing of cereal into fermented gruels in West-African small scale units. *Poster présenté au 17th International Congress of Nutrition*, août 2001, Vienne, Autriche. *Annals of Nutrition & metabolism*, 45(suppl 1) : 16.

- Mouquet, C., Salvignol, B., Van Hoan, N., Monvois, J., Trèche, S. (2003). Ability of a 'very low-cost extruder' to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam. *Food Chemistry*, 82, 249-255.
- Mouquet-Rivier, C., Tou, E.H., & Trèche, S. (2005). Transfert de procédés technologiques pour la production à petite échelle d'aliments traditionnels de qualité maîtrisée : une démarche en sept étapes. Communication orale au GP3A, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Moursi, M., Mbemba, F., Trèche, S. (2003). Does the consumption of amylase-containing gruels impact on energy intake and growth of Congolese infants ? *Public Health Nutrition*, 6 (3), 249-257.
- Mugula, J. K., Nnko, S. A. M., Narvhus, J. A. and Sørhaug T. (2003). Microbiological and fermentation characteristics of *togwa*, a Tanzanian fermented food. *International Journal of Food Microbiology*, 80, 187-199.
- Nago, M.C. (1997). La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin : Détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage ; relations avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Thèse doctorale présentée à l'Université Paris VII.
- Nago, M.C., Hounhouigan, J.D., Akissoe, N., Zanou, E., Mestres, C. (1998). Characterization of the beninese traditional ogi, a fermented maize slurry: physicochemical and microbiological aspects. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 307-315.
- Nanson, N. J., & Field, M. L. (1984). Influence of temperature on the nutritive value of lactic acid fermented cornmeal. *Journal of Food Science*, 49, 958-959.
- Nche, P.F., Nout, M.J.R., Rombouts, F.M. (1995). The effects of processing on the availability of lysine in Kenkey, a Ghanaian fermented maize food. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 46, 241-246.
- Nguyen, T. T. T., Loiseau, G., Icard-Vernière, C., Rochette, I., Trèche, S., & Guyot, JP. (2007). Effect of fermentation by amylolytic lactic acid bacteria, in process combinations, on characteristics of rice/soybean slurries: A new method for preparing high energy density complementary foods for young children. *Food Chemistry*, 100, 623-631.
- Nnam, N.M. (2000). Chemical evaluation of multimixes formulated from some local staples for use as complementary foods in Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55(3):255-263.

- Noukpoape A. (1997). Etude des pratiques alimentaires et de la valeur nutritionnelle des aliments de complément du jeune enfant en milieu rural au Burkina Faso. Mémoire de DESS, Université de Montpellier II, Montpellier.
- Nout, M. J. R. (1991). Ecology of accelerated natural lactic fermentation of sorghum-based infant food formulas. *International Journal of Food Microbiology*, 12, 217–224.
- Nout, M. J. R., Rombouts, F. M., & Havelaar, A. (1989). Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, 8, 351-361.
- Nout, M.J.R., Motarjemi, Y. (1997). Assessment of fermentation as a household technology for improving food safety: a joint FAO/WHO workshop. *Food Control* 8, 221-226.
- Nout, M.J.R., Rambouts, F.M. (1990). Recent developments in Tempe research. *J. Appl. Bacteriol.*, 69, 609.
- Nuna Vovor. (2001). Contribution à l'étude de la diffusion et de la fermentation lactique des oses lors de l'étape de trempage au cours de la transformation des graines de mil en bouillies au Burkina Faso. Mémoire de DEA en Sciences des Aliments de l'Université de Montpellier II.
- Oda, M., Hasegawa, H., Komatsu, S., Jambe, M., & Tsuchiya, F. (1983). Antitumour polysaccharide from *Lactobacillus* sp. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47, 1623–1625.
- Odunfa, S. A. and Adeyele, S. (1985). Microbiological changes during the traditional production of *ogi-baba*, a West African fermented sorghum gruel. *Journal of Cereal Science*, 3, 173–180.
- Ojofeitimi, E. O., Abiose, S., Ijadunola, K. T., Pedro, T., & Jinadu, M. K. (2001). Modification and improvement of nutritive quality of cornpa “Ogi” with cowpea and groundnut milk. *Nutrition Health*, 15(1), 47-53.
- Olasupo, N. A., Olukoya, D. K and Odunfa, S. A. (1997). Identification of *Lactobacillus* species associated with selected African fermented foods. *Zeitung für Naturforschung* 52c, 105–108.
- Olympia, M., Fukuda, H., Ono, H., Kaneko, Y., & Takano, M. (1995). Characterization of starch-hydrolysing lactic acid bacteria isolated from a fermented fish and rice food, “Burong Isda” and its amylolytic enzyme. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 80, 124–130.
- OMS (1986). Besoins énergétiques et besoins en protéines. Séries de rapport technique n° 724. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU, 130-131.

- Onyango, C., Henle, T., Hofmann, T., & Bley, T. (2004). Production of high energy density fermented *uji* using a commercial alpha-amylase or by single-screw extrusion. *Lebensmittel- Wissenschaft und –Technologie*, 37, 401-407.
- Onyango, C., Noetzold, H., Ziems, A., Hofmann, T., Bley, T., & Henle, T. (2005). Digestibility and antinutrient properties of acidified and extruded maize-finger millet blend in the production of *uji*. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie*, 38(7), 697-707.
- Onyekwere, O. O., Akinrele, I. A., & Koleoso, O. A. O. In K. H. Steinkraus (1993). (Ed.), *Handbook of indigenous fermented foods* (pp. 212–222). New York: Marcel Dekker.
- Osungbaro, T.O., Esuoso, Y.A., Esuoso, K.O. (2000). Nutritional and textural qualities of Soy-Ogi (soy-maize porridge) and Agidi (fermented Soy-Ogi meal). *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. 77(6), 499-502
- Oyewole, O.B. (1997). Lactic fermented foods in Africa and their benefits. *Food Control* 8, 289-297.
- Oyeyiola, G. P. (1991). Fermentation of millet to produce kamu, a Nigerian starch-cake food. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 7, 196–201.
- Parker, M. L., Melaku, U., & Faulks, R. M. (1989). The contribution of flour components to the structure of injera, an Ethiopian fermented bread made from tef (*Eragrostis tef*). *Journal of Cereal Science*, 10, 93–104.
- Potus J., Drapron R. (1997). Les enzymes dans les industries de cuisson des céréales. In : *Enzymes en Agro-alimentaire*, Paris, Lavoisier, pp. 122-134.
- Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., Devries, J.W., Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *Journal Association of Analyse Chemistry*, 71(5), 1017-1023.
- Reddy, N.R., Salunkle D.K. (1980). Effects of fermentation on phytate phosphorus and mineral content in black gram, rice and black gram and rice blends. *Journal of Food Science*, 45: 1708-1712.
- Ribeiro, H. (2000). Diarrheal disease in a developing nation. *American Journal of Gastroenterology*, 95, S14–S15.
- Rodriguez-Sanoja, R., Morlon-Guyot, J., Jore, J., Pintado, J., Juge, J., Guyot, J.P. (2000). Comparative characterization of complete and truncated forms of *Lactobacillus amylovorus* α -amylase and the role of the C-terminal direct repeats in raw starch binding. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 3350-3356.

- Rosenfeldt, V., Michaelsen, K.F., Jakobsen, M., Larsen, C.N., Møller, P.L., Pedersen, P., Tvede, M., Weyrehter, N.H. et al. (2002). Effect of *Lactobacillus* strains in young children hospitalized with acute diarrhea. *Pediatric Infectious Disease Journal*, 21, 411–416.
- Saavedra, J. (2000). Probiotics and infectious diarrhea. *The American Journal of Gastroenterology*, 95, S16–S18.
- Sandberg, A.S., Svanberg, U. (1991). Phytate hydrolysis by phytase in cereal; effects on in vitro estimation of iron availability. *Journal of Food Science*, 56(5), 1330-1333.
- Sanni A. I., Onilude A. A., & Ibidapo O. T. (1999). Biochemical composition of infant weaning food fabricated from fermented blends of cereal and soybean. *Food Chemistry*, 65, 35–39.
- Sanni, A., Morlon-Guyot, J., Guyot, J.P. (2002). New efficient amylase producing strains of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus fermentum* isolated from different Nigerian traditional fermented foods. *International Journal of Food Microbiology*, 72, 53-62.
- Sanni, A.I. (1993). The need for process optimization of African fermented foods and beverages. *Int J. Food Microbiol.* 18, 85–95.
- Simondon, K.B., Gartner, A., Berger, J., Cornu, A., Massamba, J.P., San Miguel, J.L., Ly, C., Missotte, I., Simondon, F., Traissac, P., Delpeuch, F., Maire, B. (1996). Effect of early, short-term supplementation on weight and linear growth of 4-7-mo-old infants in developing countries: a four-country randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 537-545.
- Somda J.C. (1995). Les pratiques de sevrage au Burkina Faso. In : Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpeuch F, eds : *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris, 1995, Orstom, collection colloques et séminaires : 15-26.
- Somda, J.C. (1999). Feeding practices in Burkina Faso. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoist B., Verster A., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 227-235.
- Steinkraus, K. H. (1983). Fermented foods, feeds and beverages. *Biotechnology Advances*, 10, 31–46.
- Svanberg U., Sjögren E., Lorri W., Svennerholm A. M., Kaijser B. (1992). Inhibited growth of common enteropathogenic bacteria in lactic-fermentation cereal gruels. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 8: 601-606.
- Svanberg, U., and Lorri, W. (1997). Fermentation and nutrient availability. *Food Control* 8 (5/6), 319-327.

- Svanberg, U., Lorri, W., Sandberg, A.S. (1993). Lactic fermentation of non-tannin and high tannin cereals: effect on *in vitro* estimation of iron availability and phytate hydrolysis. *Journal of Food Science*, 58, 408-412.
- Tabekhia, M.M., Luh, B.S. (1980). Effects of germination, cooking and canning on phosphorus and phytate retention in dry beans. *Journal of Food Science*, 45, 406-408.
- Talamond, P., Gallon, G., Trèche, S. (1998). Rapid and sensitive liquid chromatographic method using a conductivity detector for the determination of phytic acid in food. *Journal of Chromatography A*, 805, 143-147.
- Tamang, J.P., Nikkuni, S. (1996). Selection of starter cultures for the production of kinema, a fermented soybean food of the Himalaya. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12, 629-635.
- Tanasupawat, S., & Komagata, K. (1995). Lactic acid bacteria in fermented foods in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11, 253-256.
- Teniola, O. D., & Odunfa, S. A. (2001). The effects of processing methods on the levels of lysine, methionine and the general acceptability of ogi processed using starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*, 63, 1-9.
- Thakur, S., Prasad, M. S., & Rastogi, N. K. (1995). Effect of xanthan on textural properties of idli (traditional south Indian food). *Food Hydrocolloids*, 9, 141-145.
- Thaoge, M. L., Adams, M. R., Sibara, M. M., Watson, T. G., Taylor, J. R. N., & Goyvaerts, E. M. (2003). Production of improved infant porridges from pearl millet using a lactic acid fermentation step and addition of sorghum malt to reduce viscosity of porridges with high protein, energy and solids (30 %) content. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19, 305 - 310.
- Thomson, J., Gentry-Weeks, C.R. (1994). Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. En : Bactéries Lactiques. Roissart H., Luquet F.M. (ed.), Uriage, Loriga, 1, pp. 239-290.
- Tomkins A., Alnwick D., Haggerty P. (1988). Fermented foods for improving child feeding in eastern and southern africa. In : Alnwick D, Moses S, Schmidt OG eds : *Improving young child feeding in eastern and southern africa- Household-level food technology*. Ottawa International Development Research Centre, pp. 136-167.
- Tomkins A., Alnwick D., Haggerty P. (1989). " L'emploi de produits fermentés pour améliorer l'alimentation des enfants d'Afrique australe et orientale ". In : Alnwick D, Moses S, Schmidt OG eds : *Pour améliorer l'alimentation des enfants d'Afrique australe et orientale : une technologie à la portée des ménages*, Compte-rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12-16 Octobre 1987, IDRC-265f, Ottawa : 156-192.

- Torun, B., Davies, P.S.W., Livingstone, M.B.E., Paolisso, M., Sackett, R., Spurr, G. (1996). Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50(1 suppl), S37-S80.
- Tou, E. H., Mouquet C, Trèche S, Guyot J-P, Traoré S.A. (2002). Caractérisation des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de petit mil fermenté dans 24 micro-ateliers de production à Ouagadougou. *Communication présentée au Forum national de la Recherche*. 11-18 mai 2002, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tou, E. H. (2001). Bouillies de petit mil fermenté à Ouagadougou : caractérisation de la variabilité des procédés traditionnels et étude préliminaire de voies d'amélioration de la densité énergétique. Mémoire de DEA. Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tou, E. H., Guyot, JP., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Counil, E., Traore, A. S., & Trèche, S. (2006). Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into "ben-saalga", a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. *International Journal of Food Microbiology*, 106, 52-60.
- Tou, E. H., Mouquet-Rivier, C., Rochette, I., Traoré, A. S., Trèche S., & Guyot, JP. (2007). Effect of different process combinations on the fermentation kinetics, microflora and energy density of *ben-saalga*, a fermented gruel from Burkina Faso. *Food Chemistry*, 100, 935-943.
- Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2003). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « *ben-saalga* » en vue d'augmenter leur densité énergétique. *Proceedings of the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso. ISBN: 2-915071-063, 517 – 524.
- Traoré, T. (2000). Caractérisation et amélioration de la valeur nutritionnelle et de l'acceptabilité d'une farine infantile produite localement à Ouagadougou. Mémoire de DEA. Ouagadougou : Université de Ouagadougou, p69.
- Traoré, T., Mouquet, C., Icard-Vernière, C., Traoré, A.S. and Trèche, S. (2004). Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and α -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chemistry*, 88(1) 105-114.

- Traoré, T., Vieu, M.C., Traoré, S.A, Trèche, S. (2005). Effects of the duration of the habituation period on energy intakes from low and high energy density gruels by Burkinabè infants living in free conditions. *Appetite*, 45, 279–286.
- Trèche S. (1995). Techniques pour augmenter la densité énergétique des bouillies. In : Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpeuch F, eds : *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris, 1995, Orstom, collection colloques et séminaires : 7-13.
- Trèche S., Giamarchi P., Pezennec S., Gallon G., Massamba J. (1992). Les bouillies de sevrage au Congo : composition, valeur nutritionnelle et modalités d'utilisation. Communication présentée aux 5èmes journées Internationales du GERM, 23-27 Novembre 1992, Balaruc, France.
- Trèche S., Massamba J., Gallon G., Cornu A. (1993). Utilization and nutritive value of traditional weaning gruels in rural Congo. Communication affichée présentée au XVème congrès International de Nutrition, septembre 1993, Adelaide, Australie.
- Trèche, S. (1999). Techniques for increasing the energy density of gruel. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoist B., Verster A., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization, pp.101-119.
- Trèche, S. (2002). Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoérée T, Perez-Cueto eds: *Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives*. Antwerpen: ITG Press: 132-148.
- Trèche, S., Mbome Lape, I. (1999). Viscosity, energy density and osmolality of gruels for infants prepared from locally produced commercial flours in some developing countries. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50, 117-125.
- Türk, M., Sandberg, A.S. (1992). Phytate degradation during breadmaking: effect of phytates addition. *Journal of Cereal Science*, 15, 281-294.
- UNICEF (1995). Facts for life: a communication challenge. A joint WHO/UNICEF/UNESCO/UNFRA Statement, P & LA éd. 32p.
- UNICEF (1997). La situation des enfants dans le monde, pp. 140-141
- UNICEF (1998). La situation des enfants dans le monde, pp. 108-111
- UNICEF (1999). La situation des enfants dans le monde, pp. 108-111
- UNICEF (2004). La situation des enfants dans le monde 2004 – Les filles, l'éducation et le développement, 147p.
- UNICEF (2005). La situation des enfants dans le monde 2005. 164 p

- Van Soest, P. J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal Association Office of Analyse Chemistry*, 46, 829-835.
- Vieu, M-C., Traoré, T., Trèche, S. (2001). Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52:213-218.
- Vogel, S., Gobezie, A., & Gifawesen, C. (1993). Ethiopian enjera. In K. H. Steinkraus (Ed.), *Handbook of indigenous fermented foods*. New York: Marcel Dekker, pp. 182–194.
- Wacher, C. (1993). Alimentos y bebidas fermentados tradicionales. In M. Garcia-Garibay, R. Quintero-Ramirez, & A. Lopez Munguia (Eds.), *Biotecnologia alimentaria*. Mexico, D.F: LIMUSA, pp. 313–349.
- Walker, S.P., Powell, C.A., Grantham-McGregor, S.M., Himes, J.H., Chang, S.M. (1991). Nutritional supplementation, psychosocial stimulation, and growth of stunted children: the Jamaican study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54: 642-648.
- Walker, T., Olivares, M., Hertrampf, E. (1990). Field trials food fortification with iron: the experience of Chile. In: Lonnerdal D, ed. *Iron metabolism in infants*. Boca Raton: CRC Press, 127-55.
- Warriner, K.S.R., Morris, J.G. (1995). The effects of aeration on the bioreductive abilities of some heterofermentative lactic acid bacteria. *Letters in Applied Microbiology*. 20, 323-327.
- Westby, A., & Gallat, S. (1991). The effect of fermentation on the viscosity of sorghum porridges. *Tropical Science*, 31, 131 – 139.
- WHO (1995). Infant feeding recommendations. *Bulletin of WHO*, 73: 165.
- WHO (2002). *Report of the expert consultation on the optimal duration of exclusive breastfeeding*. WHO/NHD/01.09, WHO/FCH/CAH/01.24, Geneva: World Health Organisation.
- WHO/UNICEF (2002). *Global strategy for infant and young child feeding*. Geneva: World Health Organisation.
- World Health Organization (WHO) (1998). Complementary feeding of young children. Report of a technical consultation supported by WHO, UNICEF, University of California/Davis and ORSTOM. 28-30 Novembre 1995, Montpellier France. WHO/NUT/96.9. Geneva, World Health Organization.
- Zegeye, A. (1997). Acceptability if injera with stewed chicken. *Food Quality and Preference*, 8, 293–295.

ANNEXES

Liste des Annexes

Annexe-1 : **Fiche d'observations sur le terrain**

Annexe-2 : **Composition des milieux de cultures**

Annexe-3 : **Communication au FRSIT 2002**

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 micros ateliers de production à Ouagadougou. Communication orale au FRSIT (Forum national de Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques), 11-18 mai 2002, Ouagadougou, Burkina Faso.

Annexe-4: Poster 1 présenté à la *2nd international workshop*

Tou, E.H., Keleke, S., Mouquet, C., Traoré, A.S., Guyot, J.P. (2003). Preliminary characterization of lactic microflora from fermented paste of pearl millet used for the preparation of *ben-saalga*, traditional burkinabè gruel. Poster presented to *the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.

Annexe-5 : Poster présenté à la *5th International ICFMH Symposium*

Guyot J.P., Tou E.H., Sifer M., Galissaire L., Vernière C., Mouquet C. (2006) Microbial Diversity of *Bensaalga*, a Pearl-Millet Based Fermented Gruels from Burkina Faso. 5th International ICFMH Symposium, FOODMICRO 2006, Bologna, Italy, August 2006.

Annexe-6 : Résumé présenté à la *18th International Congress of Nutrition*

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Traoré, A.S., Trèche, S., Guyot, JP. (2006). Nutritional and microbial characteristics of *ben-saalga*, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food. Abstract presented to the *18th International Congress of Nutrition*, 19 - 23 September 2005, ICC, Durban, South Africa.

Annexe-7: Poster 2 présenté à la *2nd international workshop*

Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2003). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « *ben-saalga* » en vue d'augmenter leur densité énergétique. Poster presented to the *2nd international workshop*,

Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.

Annexe-8: Communication au FRSIT 2006

Tou, E.H., Mouquet-Rivier, C., Picq, C., Trèche, S., Guyot, J.P., Traoré, A.S. (2006). Caractérisation et amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*, une bouillie traditionnelle de mil fermenté, utilisée comme aliment de complément au Burkina Faso. Résumé présenté au FRSIT 2006, 18-25 Novembre, Ouagadougou, Burkina Faso.

Annexe-9 : Communication au GP3A

Mouquet-Rivier, C., Tou, E.H., Trèche, S. (2005). Transfert de procédés technologiques pour la production à petite échelle d'aliments traditionnels de qualité maîtrisée : une démarche en sept étapes. Communication orale au GP3A, Ouagadougou, Burkina Faso.

Identification

Dates des visites _ / _ / _ _ / _ / _ _ / _ / _ / _

Numéro de l'atelier _ _

Numéro du point de chute _ _

Numéro du secteur _ _

Nom de(s) la préparatrice(s)

.....

.....

.....

.....

Adresse

.....

Type(s) de bouillie(s) produite(s)

Nombre de personnes travaillant dans l'atelier _ _

	Unité	Nb d'unités	Quantité
--	-------	-------------	----------

Quantité de mil transformé/jour			_ _ _ _
---------------------------------	--	--	---------

Quantité de produit vendue/jour			_ _ _ _
---------------------------------	--	--	---------

Quantité de produit réservée à l'autoconsommation			_ _ _ _
---	--	--	---------

Origine de l'eau

.....

.....

.....

Prix de l'unité d'eau			_ _ _ _
-----------------------	--	--	---------

Nb d'unités			_ _ _ _
-------------	--	--	---------

Prix total de l'eau utilisée pour la préparation			_ _ _ _
--	--	--	---------

Electricité (O/N)			_ _
-------------------	--	--	-----

Savoir faire des préparatrices

Nombre d'années d'expérience _____

Personne formatrice :

Nombre d'années de formation _____

Echanges d'informations avec d'autres préparatrices :

Formation d'autres personnes :

Adaptation des procédés au climat :

Opération unitaire	Adaptation du procédé (O/N)	Nature du changement
Stockage		
Lavage		
Trempage		
Lavage		
Mouture		
Filtration		
Décantation		
Cuisson		

Commentaires :

1. Matière première

Provenance du petit mil :

	Unité	Px à l'unité	Nb d'unités	Px total
Prix du petit mil	— — —	— — — —

Lieu et conditions de stockage :

	Unité	Durée
Durée de stockage	— — — —

Observations sanitaires :

Observations :

2. Lavage

Lavage (O/N) _____

Heure de début de lavage _____ h ____

Heure de fin de lavage _____ h ____

Durée du lavage _____ h ____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+petit mil _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de petit mil lavé _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de lavage _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour le lavage _____

Modalités du lavage :

.....

.....

Modalités de l'égouttage :

.....

Prélèvement de graines lavées :
Echantillons prélevés

E_{MS} E_{BioCh}

Date et Heure des prélèvements

le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	Pl(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

Observations sanitaires :

.....

.....

.....

.....

.....

3. Trempage

Lieu où s'effectue le trempage :

.....

Matériel :

.....

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+petit mil lavé _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de petit mil lavé mis à tremper _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de trempage _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour le trempage _____

Heure de début de trempage _____ h _____

Heure de fin de trempage _____ h _____

Durée du trempage _____ h _____

pH du SN en début de trempage _____ , _____

pH du SN en fin de trempage _____ , _____

Température de l'eau en début de trempage (°C) _____

Température du SN en fin de trempage (°C) _____

Chauffage systématique(S), occasionnel(O), inexistant(I) de l'eau de trempage _____

Heure de début de chauffage _____ h _____

Heure de fin de chauffage _____ h _____

Durée du chauffage _____ h _____

Raisons du chauffage :

.....

.....

Modalités du chauffage :

.....

Combustible utilisé :

Prix du combustible:

Si chauffage, suivi de la température du SN de trempage (T_{SN}) en fonction du temps de trempage (t_{tremp}) :

t_{tremp}									
T_{SN}									

Observations sanitaires :

.....

.....

Observations :

.....

.....

4. Lavage-Egouttage

Lieu où s'effectue le lavage :

.....

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+petit mil trempé _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de petit mil trempé lavé _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de lavage _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour le lavage _____

Heure de début de lavage _____ h _____

Heure de fin de lavage _____ h _____

Durée du lavage _____ h _____

Procédure :

.....

.....

.....

Observations sanitaires :

.....

.....

Matériel utilisé pour l'égouttage :

.....

.....

Heure de début d'égouttage _____ h ____

Heure de fin d'égouttage _____ h ____

Durée de l'égouttage _____ h ____

Procédure :

.....

.....

.....

Observations sanitaires :

.....

.....

.....

Prélèvement de graines trempées lavées égouttées :

Echantillons prélevés E_{MS} E_{BioCh}

Date et Heure des prélèvements le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	Pl(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

5. Mouture

Lieu où s'effectue la mouture :

	Unité	Distance
Distance à parcourir	_ _ _ _
Poids du récipient vide		_ _ _ _
Poids du récipient+petit mil à moudre		_ _ _ _
Poids d'une unité		_ _ _ _
Nb d'unités	
<i>Poids total de petit mil moulu</i>		_ _ _ _
Poids du récipient vide		_ _ _ _
Poids du récipient+eau de mouture		_ _ _ _
Poids d'une unité		_ _ _ _
Nb d'unités	
<i>Volume total d'eau pour la mouture</i>		_ _ _ _

		Unité	Nb d'unités	Quantité totale	Prix/unité	Prix total
Ingrédients ajoutés	Gingembre	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
:						
	Piment noir	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	Piment	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	Menthe	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	Clou de girofle	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	Alcafoun	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	Féfé	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
Autres :	.....	.....	.....	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
	_ _ _ _	_ _ _ _	_ _ _ _
Prix total des ingrédients						_ _ _ _
Prix de la mouture						_ _ _ _

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+refus de tamis _____

Nb d'unités

Poids de refus de tamis _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+farine humide _____

Nb d'unités

Poids de farine humide _____

Heure de départ pour le moulin _____ h _____

Temps de trajet aller _____ h _____

Heure de début de mouture _____ h _____

Heure de fin de mouture _____ h _____

Durée de l'opération de mouture _____ h _____

Heure de départ du moulin _____ h _____

Temps de trajet retour _____ h _____

Durée totale de l'opération _____ h _____

Modalités de transport :

Type de moulin utilisé :

Maille du tamis :

Prélèvement de farine humide :

Echantillons prélevés

E_{MS} E_{BioCh}

Date et Heure des prélèvements

le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	PI(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

Observations sanitaires :

Observations :

6. Filtration

6.a. Pétrissage

Lieu où s'effectue l'opération :

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+farine humide à pétrir _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de farine humide pétrie _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de pétrissage _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour le pétrissage _____

Heure de début de pétrissage _____ h _____

Heure de fin de pétrissage _____ h _____

Durée du pétrissage _____ h _____

Matériel utilisé :

.....

Procédure :

.....

Observations sanitaires :

.....

6.b.Filtration

Lieu où s'effectue l'opération :

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+farine pétrie à filtrer _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de farine pétrie filtrée _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de filtration _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour la filtration _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+drêches éliminées _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de drêches éliminées _____

Heure de début de filtration _____ h _____

Heure de fin de filtration _____ h _____

Durée de la filtration _____ h _____

Prélèvement de pâte non fermentée :

Echantillons prélevés

E_{MS} E_{pH} E_{BioCh} $E_{\mu bio}$ $E_{Rhéol}$

Date et Heure des prélèvements

le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	PI(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

Matériel utilisé :

.....

.....

.....

Observations sanitaires :

.....

.....

.....

Observations :

.....

.....

.....

7. Décantation

Lieu où s'effectue l'entreposage :

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+pâte non fermentée _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Poids total de pâte non fermentée mise à décanter _____

Poids du récipient vide _____

Poids du récipient+eau de décantation _____

Poids d'une unité _____

Nb d'unités

Volume total d'eau pour la décantation _____*Hauteur de SN* _____

Heure de début de décantation _____ h _____

Heure de fin de décantation _____ h _____

Durée de la décantation _____ h _____

pH du SN en début de décantation _____, _____

pH du SN en fin de décantation _____, _____

pH de la pâte en début de décantation _____, _____

pH de la pâte en fin de décantation _____, _____

Température du SN en début de décantation (°C) _____

Température du SN en fin de décantation (°C) _____

Température de la pâte en début de décantation (°C) _____

Température de la pâte en fin de décantation (°C) _____

Prélèvement de pâte fermentée :**Echantillons prélevés****Date et Heure des prélèvements**
 E_{MS} E_{pH} E_{BioCh} $E_{\mu bio}$ $E_{Rhéol}$
 le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	PI(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

Observations sanitaires :

Observations :

8. Cuisson

Lieu où s'effectue la cuisson :

Modalités de transvasement du SN du canari à la marmite :

Poids du récipient vide _ _ _ _

Poids du récipient+SN de cuisson _ _ _ _

Poids d'une unité _ _ _ _

Nb d'unités

Volume total de SN pour la cuisson _ _ _ _

Poids du récipient vide _ _ _ _

Poids du récipient+pâte fermentée _ _ _ _

Poids d'une unité _ _ _ _

Nb d'unités

Poids total de pâte fermentée mise à cuire _ _ _ _

Poids du récipient vide _ _ _ _

Poids du récipient+eau de cuisson _ _ _ _

Poids d'une unité _ _ _ _

Nb d'unités

Volume total d'eau rajoutée pour la cuisson _ _ _ _

Heure de mise sur le feu du SN _ _ h _ _

Heure de début d'ébullition du SN _ _ h _ _

Heure de fin de cuisson du SN _ _ h _ _

Durée de cuisson du SN _ _ h _ _

Heure d'introduction de la pâte _ _ h _ _

Heure d'introduction de l'eau _ _ h _ _

Heure de fin de cuisson _ _ h _ _

Durée de cuisson de la pâte _ _ h _ _

Durée totale de la cuisson _ _ h _ _

pH de la bouillie à température ambiante _ , _

Température maximale du SN pendant la cuisson (°C) _ _

Température de la bouillie pendant la cuisson (°C) _ _

Écoulement botswick de la bouillie à 45°C (mm/30s) _____

Prélèvement de bouillie :
Echantillons prélevés

E_{MS} E_{BioCh}

Date et Heure des prélèvements

le ____ / ____ / ____ à ____ h ____

N° du pot	T(g)	PI(g)	Heure de mise à l'étuve	Température de l'étuve (°C)	Heure de sortie de l'étuve	PF(g)	%MS

Observations sanitaires :

Observations :

Etat sanitaire général de l'atelier

Configuration des lieux :

Aspect de l'eau (couleur, odeur, dépôt...).....

Présence d'ordures ménagères _____

Présence d'excréments _____

Présence d'eaux usées _____

Présence de poussière en grande quantité _____

Présence d'animaux _____

Animaux présents :

Fréquence des lavages du matériel (/semaine) _____

Modalité du lavage du matériel :

La préparatrice se lave-t-elle les mains avant de toucher la préparation (O/N) ? _____

Modalité du lavage des mains :

Observations :

ANNEXE 2

Composition du milieu MRS-broth (Difco)

Pour 1 litre d'eau distillée :

Peptone de protéose n°3	10g
Extrait de bœuf	10g
Extrait de levure	5g
Dextrose	20g
Polysorbate 80	1g
Citrate d'ammonium	2g
Acétate de sodium	5g
Sulfate de magnésium	0,1g
Sulfate de manganèse	0,05g
Phosphate dipotassique	2g
pH final à 25°C: 6,5 ± 0,2	

Composition du milieu MRS-amidon modifié (liquide)

Pour 1 litre d'eau distillée :

Peptone pancréatique de caséine	10g
Extrait de viande	10g
Extrait de levure	5g
Amidon	20g
Hydrogénocitrate de di-ammonium	2,17g
Acétate de sodium	5g
Sulfate de magnésium heptahydraté	0,207g
Sulfate de manganèse monohydraté	0,056g
Hydrogénophosphate de dipotassium	2,62g
pH final à 25°C: 6,5 ± 0,2	

Composition du milieu YGY (Yeast extract Glucose Chloramphenicol) Agar

Pour 1 litre d'eau distillée :

Extrait de levure	5g
D (+) glucose	20g
Chloramphenicol	1g
Agar-agar	14,9g
pH final à 25°C: 6,6 ± 0,2	

Composition du milieu Plat Count Agar (PCA)

Pour 1 litre d'eau distillée :

Peptone de caséine (Tryptone)	5g
Extrait de levure	2,5g
Glucose	1g
Agar-agar	15g
pH final à 25°C: 7,0 ± 0,2	

Forum National de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT)

5^e édition, Ouagadougou, du 11 au 18 mai 2002

Thème : Recherche scientifique et technologique et stratégies de lutte contre la pauvreté

Communication orale

Sur le Thème :

Caractérisation des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté, *ben-saalga*, dans 24 micro ateliers de production à Ouagadougou

El Hassane Tou^{1,3}, Claire Mouquet^{1,3}, Serge Trèche², Jean-Pierre Guyot², Alfred S. Traoré¹

RESUME

Au Burkina Faso, les premiers aliments de complément donnés aux nourrissons sont généralement préparés à partir de produits locaux et consommés sous forme de bouillies. A Ouagadougou, les bouillies de mil fermenté (*ben-kida* et *ben-saalga*) sont largement utilisées comme aliment de complément. Cependant, il existe très peu d'informations sur les technologies traditionnelles de fabrication de ces bouillies fermentées, en relation avec (i) leur variabilité inter-atelier, (ii) le savoir-faire des préparatrices, et (iii) leurs impacts sur les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la bouillie finale. Notre étude qui s'insère dans un programme plus large visant à améliorer la valeur nutritionnelle de ces bouillies de mil fermenté, s'est attachée à caractériser les procédés dans 24 ateliers de production choisis au hasard dans la ville de Ouagadougou. Dans chacun de ces ateliers, le procédé de fabrication se caractérise généralement par les étapes successives suivantes : un trempage des graines de mil correspondant à une première étape fermentaire, suivi d'un broyage et une filtration de la farine humide, puis d'une décantation correspondant à une seconde étape fermentaire et une cuisson. Les

cinétiques d'acidification ont été enregistrées au cours des étapes fermentaires et des analyses physico-chimiques et biochimiques ont été réalisées sur les bouillies. Les résultats ont permis de mettre en évidence que les caractéristiques des bouillies, en particulier leur consistance, étaient relativement constantes en dépit de variations parfois importantes observées d'un atelier à l'autre dans la durée des étapes fermentaires. Les bouillies se caractérisent par leur pH acide (moyenne = 3,9 ; ET = 0,3), leur grande fluidité (écoulement Bostwick : 133mm/30s) et leur faible densité énergétique (30 kcal/100g de bouillie). Cette étude conclut sur la nécessité d'améliorer la valeur nutritionnelle des bouillies de mil fermenté, afin d'offrir au jeune enfant un aliment de complément répondant à ses besoins, tout en conservant des caractéristiques organoleptiques garantissant leur bonne acceptabilité.

Mots clés : trempage ; décantation , consistance; densité énergétique ; mil ; aliment de complément ; aliment fermenté

Introduction

En 1998, on estimait que dans les pays en développement, sur la base du retard de

¹ Université de Ouagadougou/UFR-SVT/ CRSBAN

² IRD (Institut de Recherche pour le Développement) de Ouagadougou - UR106 Nutrition, Alimentation, Sociétés

³ IRD de Montpellier - UR106 Nutrition, Alimentation, Sociétés

croissance, de l'émaciation et de l'insuffisance pondérale, respectivement 39%, 11% et 31% d'enfants de moins de cinq ans souffraient de Malnutrition (Unicef, 1998).

Au Burkina Faso, les prévalences atteignent, pour le retard de croissance, l'émaciation et l'insuffisance pondérale, 37%, 13% et 34% respectivement (EDS, 2000). La malnutrition se manifeste principalement pendant la période d'alimentation complémentaire qui commence avec l'introduction des aliments de complément et se termine avec l'arrêt définitif de l'allaitement au sein (De Benoist, 1995). Au Burkina Faso, l'allaitement exclusif recommandé de 0 à 6 mois est peu respecté et les aliments de complément sont introduits précocement dans l'alimentation du jeune enfant (Somda, 1995). Les aliments de complément les plus fréquemment consommés par les nourrissons dans la plupart des pays d'Afrique, sont des bouillies à base de produits locaux, pour la plupart fermentés (Tomkins *et al.* 1988 ; Hounhouigan *et al.*, 1993). A Ouagadougou, les bouillies de mil fermenté, appelées en moré *Ben-kida* et *Ben-saalga*, commercialisées sous forme prêtes à consommer, sont largement consommées par la population (par plus de 40% des ménages ouagalais) et surtout par les jeunes enfants (près de 3/4 des enfants de moins de 2 ans de ces ménages sont consommateurs) (Djossou, 2001).

Cependant, il existe peu d'informations sur les procédés traditionnels et la valeur nutritionnelle de ces bouillies. Les objectifs de notre étude étaient par conséquent de les caractériser.

MATERIEL ET METHODES

Protocole de l'étude de la variabilité inter-ateliers

Les 24 micro-ateliers suivis ont été sélectionnés par échantillonnage aléatoire parmi les 70 ateliers répertoriés en 1998 (Djossou, 2001). L'étude s'est étalée sur 7

semaines, à raison d'environ 3 suivis de production par semaine.

Ces suivis ont consisté à réaliser dans chaque atelier de fabrication les différentes observations et mesures suivantes :

- chronométrage des opérations unitaires
- quantification, par pesée, des matières premières utilisées (mil, eau, gingembre, piment, piment noir, menthe...) et des produits intermédiaires (drêches, farine humide, pâtes non fermentée et fermentée, surnageant de décantation et de cuisson);
- mesure de la température et du pH à chaque étape du procédé;
- évaluation de la consistance des bouillies (*ben-saalga* et *ben-kida*) par mesure de l'écoulement Bostwick et de la viscosité apparente;
- prélèvement d'échantillons pour analyses ultérieures.

Méthodes d'analyses

Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche a été déterminée en double par dessiccation d'échantillons d'environ 5 g dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant (en pratique, pendant 24 heures).

Teneur en lipides

La teneur en lipides des bouillies a été déterminée par la méthode d'extraction à l'éther de pétrole au soxhlet.

Teneur en protéines totales

La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl.

Densité Energétique (DE)

La DE des bouillies a été calculée à partir de leur teneur en matière sèche en utilisant une valeur énergétique moyenne de ce type d'aliment de 4kcal/g, calculée à l'aide des coefficients spécifiques d'Atwater.

Evaluation de la consistance

Toutes les mesures ont été faites sur des bouillies à une température proche de 45°C

Écoulement Bostwick

Le consistomètre Bostwick est placé horizontalement grâce à un niveau à bulle avant chaque mesure. La bouillie (100g environ) est versée dans le compartiment à l'extrémité de l'appareil. A t=0, la paroi retenant la bouillie est relevée. Le paramètre retenu est l'écoulement Bostwick en mm/30s, et correspond à la distance parcourue par le " front de la bouillie " en 30 secondes.

Viscosité apparente

La viscosité apparente a été mesurée à l'aide du viscosimètre RION VT04 avec le mobile de mesure n°3, à la vitesse de rotation imposée par l'appareil de 62,5 tours/min, à 45°C et après une minute de rotation du mobile.

Mesure du pH

Elle a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre (SUNTEX TS-2) de laboratoire à compensation de température. L'électrode du pH-mètre a été plongée dans les produits préalablement homogénéisés pendant 1 à 2 min.

Cinétiques d'acidification

Les cinétiques d'acidification ont été enregistrées au cours des étapes de trempage et de décantation dans deux ateliers choisis au hasard

L'appareil utilisé est un collecteur de pH (WTW 340 Multi/ACHAT II, pH 340/set. Les données ont ensuite été transférées sur l'ordinateur grâce aux logiciels WTW 340 et les graphes ont été tracés à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2000.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Description qualitative des procédés

Lavage du mil avant trempage

Le lavage est une étape facultative du procédé. En effet, 17 femmes sur 24 procèdent à un ou plusieurs lavages (en moyenne deux) avant le trempage. Le mil est brièvement brassé dans de l'eau pour mettre

en suspension la poussière et quelques particules des grains.

Trempage

Le trempage est la première étape fermentaire de la transformation du mil. Le mil, préalablement lavé ou non, est mis dans de l'eau pendant plusieurs heures (en moyenne 17h ; ET=9h.). Les modalités de trempage varient d'une préparatrice à l'autre. En effet, 4 femmes sur 24 chauffent l'eau de trempage soit pour "aller vite" soit parce qu'il fait froid. Certaines préparatrices (4 cas sur 24) changent le surnageant au cours d'un trempage de longue durée (quand la femme constate que l'eau est " sale ").

Lavage / égouttage du mil trempé

Ce lavage est systématique. Lorsque le mil a été lavé avant le trempage, il consiste en un simple rinçage du mil dans de l'eau propre après avoir jeté l'eau de trempage. Lorsque le mil a été mis directement à tremper, le lavage suit les modalités décrites pour le lavage avant trempage. Le mil trempé est ensuite égoutté dans un panier.

Ajout d'ingrédients d'aromatisation

Toutes les productrices sondées sauf une ajoutent un ou plusieurs ingrédients au mil avant la mouture, afin d'obtenir les propriétés organoleptiques recherchées par les consommateurs. Sur les 24 préparations suivies, l'ingrédient le plus couramment utilisé est le gingembre (19 cas), suivi du piment noir (11 cas), puis du piment et de la menthe (10 cas chacun). Plus rarement, on retrouve des épices locales (alcafoun : 6 cas / féfé : 2 cas) ou encore du jus de tamarin (3 cas).

Mouture

La mouture s'effectue dans un moulin de quartier équipé de broyeurs électriques à meule. Dans 14 cas sur 24, la mouture est dite "humide" avec ajout d'eau. Les femmes pratiquant une mouture sans ajout d'eau, la font dans des moulins différents et souvent pour disposer de farine peu humide pour faire les granules.

Filtration

L'étape de filtration consiste à mélanger la farine humide avec de l'eau (malaxage), puis à faire passer ce mélange à travers les mailles d'un filtre de type mousseline (tissu à maille fine : environ 0,25mm) préalablement attaché à un grand récipient (bassine, marmite ou jarre). Les drêches, qui contiennent majoritairement le péricarpe des grains, sont retenues par le filtre et retirées au fur et à mesure pendant l'opération.

Décantation

Au cours de la décantation se produit la seconde fermentation de type lactique de la transformation. Cette étape consiste à laisser décanter la farine filtrée dans l'eau de filtration. La décantation ne nécessite aucune intervention de la préparatrice.

Cuisson

La cuisson est l'étape finale de la transformation. Elle permet d'obtenir la bouillie de consistance souhaitée grâce au phénomène de gélatinisation-gonflement des grains d'amidon provoqué par l'élévation de la température durant la cuisson.

Le surnageant de décantation est d'abord porté à ébullition (chauffage au feu de bois). Dans le cas du *ben-kida*, des granules de farine sont introduits quelques minutes (7 min environ) après ébullition du surnageant de cuisson ; puis, après cuisson des granules (16 min environ), la pâte fermentée est ajoutée. Cette pâte est cuite à ébullition pendant en moyenne 13 min pour le *ben-kida*

et 7 min pour le *ben-saalga*. En général, pour obtenir la consistance habituelle de la bouillie, 1 à 5 litres d'eau sont ajoutés en fin de cuisson de la pâte.

Type de bouillie préparée

Sur les 24 ateliers suivis, 18 préparent chaque jour exclusivement du *ben-kida*, 4 du *ben-saalga*, et 2 les deux types de bouillies. Cependant dans les deux ateliers qui fabriquent les deux types de bouillies, seule la bouillie *ben-saalga* a été suivie, car elle est produite le matin. Les adultes pensent que la bouillie à granules (*Ben-kida*) serait de plus énergétique que le *Ben-saalga*. Cependant des études ont montré que ni la densité énergétique des bouillies, ni les quantités consommées par les enfants de moins de deux ans, exprimées en g/kg de poids corporel ne varient significativement en fonction du type de bouillie (Djossou, 2001).

Description quantitative des procédés

Les quantités de matières premières utilisées et les durées des principales étapes de la transformation sont présentées dans le tableau I. L'étape de fabrication consommant le plus d'eau est la filtration (environ 3 fois la masse de farine humide). Au cours de cette opération, un tiers en moyenne de la masse de farine humide est perdu. Il serait donc intéressant, pour la rentabilité économique de l'atelier, de tenter de limiter les pertes de matières lors de la filtration tout en lui conservant sa fonction d'élimination des péricarpes qui confère à la bouillie une texture lisse et onctueuse.

Tableau I : Quantités de matières premières utilisées et de produits intermédiaires au cours de la préparation des bouillies de mil fermenté dans 24 ateliers de Ouagadougou.

	Effectif (1)/24	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quantités					
Mil transformé/jour (Kg)		6,8	3,9	1,4	18
Mil à moulin (Kg)		10,3	4,8	4	17,1
Farine humide (Kg)		12,3	8	2	29,5
Drêches éliminées (Kg)		4	2,2	0,5	8,4
Pâte non fermentée (Kg)		23,4	19	9,7	45,1
Pâte fermentée (Kg)		8,4	3,8	3	15,3
Eau de trempage (l)		10	5,7	3,3	25,4
Eau de mouture (l)	14	5,5	2	3	10
Eau de filtration (l)		35,2	19	9,9	70,7
Eau de décantation (l)		34,5	19,1	9,9	70,7
Granules ajoutés (Kg)	18	2,2	1,9	0 ??	6,5
Surnageant de cuisson (l)		23,8	12,1	5,1	46,8
Eau de cuisson (l)	17	15,3	9,7	1,8	32,7

(1) effectif donné pour les valeurs qui n'ont pas été enregistrées dans les 24 ateliers. Les valeurs correspondent donc à des étapes ou paramètres facultatifs de la transformation

Tableau II : Durées des étapes de transformation du mil en bouillie fermentée dans 24 ateliers de Ouagadougou

Durée	Effectif (1)/24	Moyenne	Ecart type	minimum	maximum
Trempage (heures)	24	16,8	8,7	9,3	31,9
Egouttage (min)	24	4,5	9,8	0	45
Malaxage de la farine (min)	24	3,2	3,6	0	10
Filtration de la farine (min)	24	22,6	14,4	5	60
Décantation (heures)	24	11,1	3,1	8,1	20,9
bouillie " Ben-kida "					
Chauffage du SN à ébullition	18	47,2	20	14	105
Cuisson du surnageant	18	6,7	7,8	1	35
Cuisson des granules	18	16	14,6	4	38
Cuisson de la pâte fermentée	18	2,8	11,5	3	40
Totale de la cuisson (min)	18	68,0	23,1	34	128
bouillie " Ben-saalga "					
Chauffage du SN à ébullition	6	40	20,7	10	70
Cuisson du surnageant	6	5	5,2	1	15
Cuisson de la pâte fermentée	6	7,3	3,5	3	12
Totale de la cuisson (min)	6	55	20,7	25	75

SN : surnageant; (1): effectif donné pour les valeurs qui n'ont pas été enregistrées dans les 24 ateliers. Les valeurs correspondent donc à des étapes ou paramètres facultatifs de la transformation.

Le tableau II présente les durées observées pour la réalisation des différentes étapes de la transformation. Les étapes les plus longues sont le trempage (moyenne: 17 h) et la décantation (moyenne : 11 h), mais elles ne nécessitent pas l'intervention de la préparatrice qui peut vaquer à ses occupations pendant leur déroulement. Les opérations unitaires les plus longues en terme de durée effective de travail et les plus contraignantes sont la filtration et la cuisson. De plus, l'étape de cuisson nécessite l'utilisation de combustible et oblige les femmes à se lever à 3 ou 4 heures du matin pour mettre le surnageant à chauffer et préparer les granules, le cas échéant, afin de terminer la transformation assez tôt pour que la bouillie soit consommable (refroidie à 40-45°C) dès 6 h. Au total, chaque production de bouillie s'étend sur 2 à 3 jours.

Caractéristiques des produits

Teneur en matière sèche

Au cours de la transformation, la teneur en matière sèche passe de 77g/100g dans les grains de petit mil lavé à 7,3g/100g dans le « *ben-kida* » et 7,5g/100g dans le « *ben-saalga* » ce qui indique une absorption d'eau très importante au cours de la transformation. La quantité d'eau utilisée pour l'étape de filtration détermine la teneur en matière sèche des pâtes non fermentées. La très faible teneur en matière sèche des bouillies (7,5 g/100g) leur confère une très faible densité énergétique (environ 30 kcal/100g bouillie) ce qui explique en partie l'insuffisance des ingérés énergétiques relevées chez les enfants de moins de 2 ans (Djossou, 2001), en dépit de leur bonne acceptabilité.

Tableau III : Evolution de la teneur en matière sèche des produits au cours du procédé

Teneur en matière sèche (g/100g)	Effectif ⁽¹⁾ /24	Moyenne	Ecart type	minimum	maximum
Mil entier	2	90,13		90,11	90,14
Mil lavé	17	76,7	8,3	57,6	87,3
Mil trempé/lavé		59,3	2,0	54,7	63,1
Farine humide		48,7	12,1	27,8	66,0
Pâte non fermentée		7,0	3,2	2,2	15,4
Pâte fermentée		39,2	9,9	17,7	70,6
<i>Ben-kida</i>	18	7,3	0,9	5,9	9,2
<i>Ben-saalga</i>	6	7,5	1,8	5,1	10,3

(1) effectif donné pour les valeurs qui n'ont pas été enregistrées dans les 24 ateliers. Les valeurs correspondent donc à des étapes ou paramètres facultatifs de la transformation.

Cinétiques d'acidification au cours des étapes fermentaires (trempage et décantation)

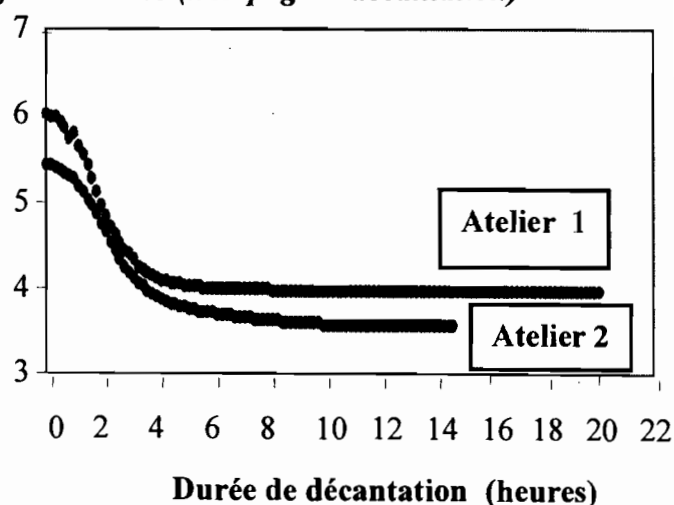
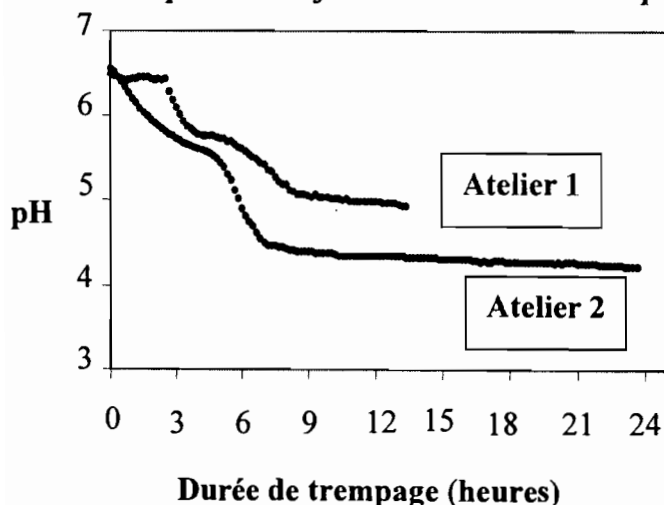


Figure 1 : cinétiques d'acidification au cours du trempage Figure 2 : cinétiques d'acidification au cours de la Décantation

Trempage

L'observation des deux courbes de la figure 1 ne permet pas de mettre en évidence une allure typique : l'acidification au cours du trempage semble se produire de façon irrégulière. Dans les deux cas, on observe en fin de trempage un ralentissement de l'acidification, autour de pH =5,0 dans le cas de l'atelier 1, et de pH =4,2 pour l'atelier 2. Cet abaissement non négligeable du pH confirme que le trempage est une étape fermentaire.

Décantation

Les cinétiques d'acidification au cours de la décantation laissent apparaître trois phases une phase de latence, suivie d'une phase d'acidification rapide puis d'une phase stationnaire au cours de laquelle le pH se

stabilise. Les similitudes entre les courbes obtenues pour les deux ateliers montrent qu'en dépit des variations dans les durées de trempage il n'y a pas de différence notable dans les cinétiques d'acidification au cours de la décantation. Il faut toutefois noter que dans l'atelier 2 pour lequel le trempage a été plus long, le pH final est plus bas. Le trempage pourrait donc avoir un impact sur la décantation. La variation importante du pH (de 6,0 à 3,5) au cours de la décantation montre néanmoins qu'elle est la principale étape fermentaire du procédé.

Le rôle de l'étape de trempage sur le déroulement de la fermentation au cours de la décantation reste à préciser (sélection des flores lactiques, légère acidification favorisant le développement de la flore lactique, etc.)

pH, acidité et température des produits au cours de la transformation dans les 24 ateliers

Tableau IV : pH, acidité et température des produits au cours des différentes étapes de la transformation

pH, acidités et températures	Moyenne	Ecart type	minimum	Maximum
pH				
Surnageant en début de trempage	6,38	0,51	5,09	6,95
Surnageant en fin de trempage	4,44	0,52	3,63	5,88
Surnageant en début de fermentation	5,45	0,79	4,10	6,53
Surnageant en fin de fermentation	3,66	0,24	3,39	4,46
Pâte non fermentée	5,05	0,83	4,09	6,66
Pâte fermentée	3,99	0,35	3,45	4,75
<i>Ben-kida</i>	3,93	0,31	3,29	4,50
<i>Ben-saalga</i>	3,72	0,15	3,50	3,96
Acidité titrable (mmol d'acide/100g MF)				
Pâte non fermentée	108,9	69,1	24,8	306,1
Pâte fermentée	341,4	113,4	171,1	570,3
Température (°C)				
début de trempage	35,6	13,7	25,5	86,8
fin de trempage	33,7	4,1	25,5	40,4
début de fermentation	32,9	2,2	29,8	38,7
fin de fermentation	30,9	1,8	28	34,1

MF : teneur en matière fraîche.

Le pH moyen de début de décantation (5,45) est nettement supérieur au pH moyen de fin de trempage (4,44), ce qui est probablement dû à une dilution très importante liée à l'ajout de grandes quantités d'eau au cours de la filtration et pour la décantation. L'acidité titrable : elle varie de 24,8 à 306

mmol d'acide/100g de produit brut pour les pâtes non fermentées, et de 171 à 570mmol d'acide/100g de produit brut pour les pâtes fermentées. L'acidité titrable des pâtes avant et après fermentation varie d'un atelier à l'autre. Cette variation pourrait s'expliquer par une éventuelle variation des conditions

de fermentation à savoir la température, la durée du trempage et de la décantation, la

charge bactérienne initiale et enfin le rapport mil/eau.

Caractéristiques physico-chimiques

Consistance des bouillies.

Les mesures ont pu être effectuées dans les 24 ateliers étudiés.

Tableau V : Ecoulements Bostwick et viscosités apparentes des bouillies dans les ateliers

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Ben-kida				
écoulement Bostwick (mm/30s)	132,7	16,6	99	161
Viscosité apparente (Pa.s)	0,62	0,13	0,3	0,75
Ben-saalga				
écoulement Bostwick (mm/30s)	140,3	24,9	113	180
Viscosité apparente (Pa.s)	0,39	0,07	0,32	0,45

Les bouillies traditionnelles ont une teneur en matière sèche faible et sont caractérisées par des valeurs d'écoulement Bostwick correspondant à des bouillies très fluides. (*Ben-kida* : teneur en matière sèche moyenne de 7,3 g/100g pour un écoulement Bostwick moyen de 133mm/30s). Les valeurs d'écoulement Bostwick de ces bouillies diminuent considérablement avec leur teneur en matière sèche (figures 1 et 2). Ce qui met en évidence le dilemme lié à la préparation des bouillies destinées aux jeunes enfants : soit on augmente la proportion de pâte par rapport à l'eau et on obtient une bouillie de

densité énergétique élevée mais de viscosité aussi très élevée et donc difficilement consommable par les enfants ; soit on prépare une bouillie de consistance appropriée mais de faible densité énergétique (Mouquet *et al*, 1998). Cette dernière solution est bien celle que les femmes utilisent car la consistance des bouillies est le critère qu'elles perçoivent le plus aisément. Il apparaît alors nécessaire de chercher des voies d'amélioration de la densité énergétique de ces bouillies.

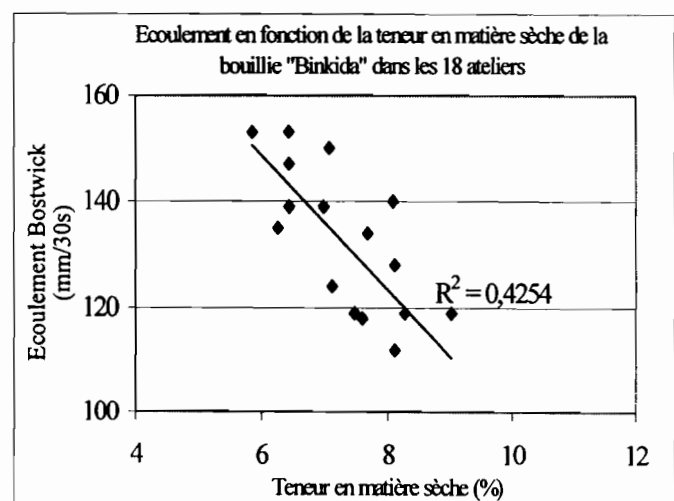
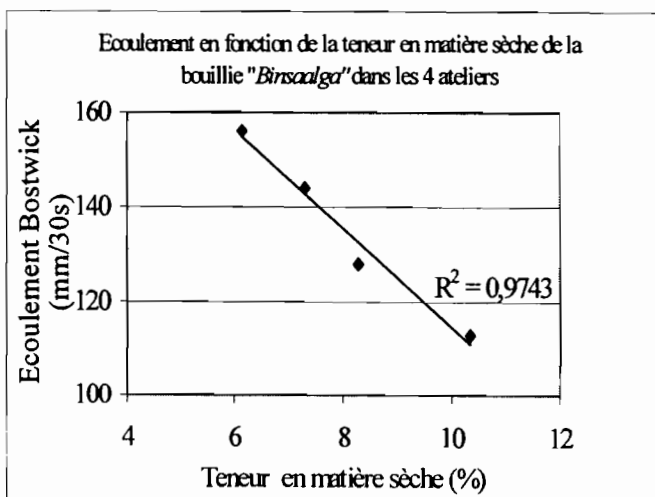


Figure 3 : consistance de la bouillie « *Ben-saalga* » Figure 4 : consistance de la bouillie « *Ben-kida* »

L'analyse des courbes, respectivement du *ben-saalga* et du *ben-kida* montre que l'écoulement (180 à 115mm/30s et 160 à 110mm/30s) diminue très rapidement lorsque les teneurs en matière sèche augmentent (7,8 à 10,4 g/100g et 6,2 à 8,1 g/100g), traduisant un épaississement des bouillies. De l'observation des figures 3 et 4,

il ressort qu'il n'y a pas de différence notable dans le comportement rhéologique de ces bouillies traditionnelles (*ben-kida* et *ben-saalga*) et que les procédés traditionnels ne permettent pas de préparer des bouillies ayant à la fois une densité énergétique et une consistance acceptables.

Caractérisation des propriétés rhéologiques des pâtes fermentées prélevées dans les ateliers.

Tableau VI : Rhéologie des pâtes fermentées

	Moyenne	Ecart type	minimum	maximum
Consistance des bouillies préparées à partir des pâtes fermentées à 5,5g de matière sèche /100g de bouillie				
Viscosité apparente (Pa.s)	0,59	0,08	0,41	0,75
Écoulement Bostwick (mm/30s)	140	13,1	120	159

NB : Les bouillies ont été préparées à différentes concentrations à partir de pâtes fermentées prélevées dans les 24 ateliers afin de déterminer la variabilité de leur consistance à teneur en matière sèche égale (5,5 g/100g).

Les bouillies préparées à partir des pâtes fermentées ont un écoulement Bostwick moyen de 140mm/30s pour une teneur en MS de 5,5 g/100g. En comparant ces résultats à ceux obtenus sur les bouillies *Ben-saalga* (180mm/30s pour 7,8 g/100g), on note que les bouillies préparées sur le terrain auraient une teneur en matière sèche plus élevée, pour un même écoulement, par rapport à celles préparées au laboratoire à partir des pâtes fermentées. Cette différence pourrait être attribuée aux méthodes de préparations des bouillies (au laboratoire, à la place du surnageant utilisé par les préparatrices traditionnelles, nous avons utilisé de l'eau de robinet). La différence pourrait être due aux composants du surnageant (sucres et acides organiques) susceptibles d'augmenter la teneur en matière sèche de la bouillie sans trop modifier sa consistance. Toutefois, on note qu'en dépit des variations observées dans les procédés de transformation, il n'y a pas de différence notable dans le comportement rhéologique des pâtes fermentées.

Cette étude a permis de mettre en évidence que malgré certaines variations dans les procédés de fabrication, surtout dans la durée des étapes fermentaires d'un atelier à l'autre, les caractéristiques physico-chimiques et surtout rhéologiques des bouillies ne présentent pas de différences importantes. En effet, les bouillies de petit mil fermenté vendues (sans sucre) à Ouagadougou ont une teneur en matière sèche moyenne de 7,5g/100g de bouillie, correspondant à une densité énergétique d'environ 30kcal/100g. La très faible densité énergétique de ces bouillies ne permet pas, dans les conditions habituelles de consommation (deux repas/jour), de compléter de manière adéquate les apports énergétiques du lait maternel. De plus il apparaît clairement dans cette étude qu'une simple augmentation de la teneur en matière sèche au cours des procédés traditionnels ne permettrait pas de conférer aux bouillies à la fois une densité énergétique et une consistance convenables. Cette étude met donc en évidence la nécessité de rechercher des voies d'amélioration de la densité énergétique de ces bouillies fermentées, par la mise en œuvre de procédés qui entraîneraient une

CONCLUSION

hydrolyse partielle de l'amidon qu'elles contiennent.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

De Benoist B., 1995. Le sevrage, un défi pour l'enfant et pour sa mère. *In* : Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpuech F, eds : *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris, 1995, Orstom, collection colloques et séminaires : 7-13.

Djossou V.A., 2001. Etude de la production, de la consommation et de la commercialisation des bouillies de petit mil fermenté (*Binkida* et *Binsaalga*) à Ouagadougou (Burkina Faso). Mémoire de DESS, Université de Ouagadougou, p. 58.

Hounhouigan D.J. Nout M.J.R., Nago C.M., Houben J.H., Rombouts F.M., 1993. Changes in the physico-chemical properties of maize during natural fermentation of Mawè. *Journal of Cereal Science*, 17 : 291-300.

Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), 2000. Enquête

Démographique et de Santé (EDS, Burkina Faso. Ed. G. Mboup, pp. 129-133.

Mouquet C., Bruyeron O., Trèche S., 1998. Caractéristiques d'une bonne farine infantile. *In* : les farines infantiles. *Bulletin du réseau Technologie et Partenariat en Agro-alimentaire*, n°15 : 8-11.

Somda J.C., 1995. Les pratiques de sevrage au Burkina Faso. *In* : Trèche S, de Benoist B, Benbouzid D, Verster A, Delpuech F, eds : *l'alimentation de complément du jeune enfant*. Paris, 1995, Orstom, collection colloques et séminaires : 15-26.

Tomkins A., Alnwick D., Haggerty P., 1988. Fermented foods for improving child feeding in eastern and southern Africa. *In* : Alnwick D, Moses S, Schmidt OG eds : *Improving young child feeding in eastern and southern Africa- Household-level food technology*. Ottawa International Development Research Centre, pp. 136-167.

UNICEF, 1998. La situation des enfants dans le monde, pp. 108-111

Caractérisation préliminaire de la microflore lactique des pâtes fermentées de mil servant à la préparation du «ben-saalga», une bouillie traditionnelle burkinabè

Tou^{1,2} El Hassane, Keleke³ Simon, Mouquet^{1,2} Claire, Traoré¹ Alfred, Guyot^{2*} Jean-Pierre

(1) Université de Ouagadougou/UFR-SVT/ CRSBAN, Burkina Faso ; (2) IRD UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Montpellier, France ; (3) EPRAN Pointe-Noire, Congo

Introduction

Les bouillies fermentées à base de céréales consommées traditionnellement en Afrique de l'Ouest présentent des qualités sanitaires et nutritionnelles améliorées qui leur sont conférées par les ferments lactiques naturels. L'étude de ces microorganismes est essentielle car (i) ils sont un des déterminants importants de la stabilité de la qualité des produits fermentés et (ii) leur nature contribue à la spécificité d'un produit alimentaire fermenté. Dans le cadre d'une large étude qui porte sur l'analyse de la diversité microbienne dans les pâtes de mil utilisées dans la préparation du *ben-saalga*, nous avons réalisé une caractérisation phénotypique de la microflore bactérienne de ces pâtes.

Méthodologie

Les échantillons (pâtes fermentées) analysés ont été prélevés de manière stérile dans les récipients de décantation en fin de fermentation, auprès de 12 micro-ateliers de production sélectionnés de façon aléatoire parmi 93 ateliers, le milieu MRS a été utilisé pour les isolements et les cultures en routine

Les isolats ont été caractérisés sur la base des caractères suivants : morphologie, coloration de Gram, catalase et profils biochimiques (galeries API 50CHL) analysés par le logiciel APILAB plus. Le type métabolique a été déterminé par dosage par HPLC des acides acétique et lactique, et de l'éthanol

La classification taxonomique des isolats a été réalisée en établissant une matrice des distances à partir du calcul de l'indice de dissimilitude de Nei et Li. Basé sur cette matrice, un dendrogramme a été établi en utilisant l'algorithme UPGMA.

Résultats

Numération de bactéries lactiques

La numération de la microflore indique que la flore dominante est constituée de bactéries lactiques (BL). Le nombre de BL de pâtes fermentées des 12 ateliers varie entre 7,5 et 8,5 log(UFC)/g de matière sèche.

Caractérisation phénotypique des bactéries

1. Profil biochimique des isolats

Une collection de 184 isolats a été constituée dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des isolats

	Pourcentage d'isolats
Gram +	98
Catalase -	94
Gram + et Catalase -	92
Homofermentaire	58
Lactobacilles	80
glucose	100
fructose	100
maltose	72
saccharose	57
lactose	52
mélibiose	57
raffinose	69

72% des isolats sont à la fois Gram positif et catalase négative et sont donc présomptivement des bactéries lactiques. Leur appartenance au groupe de bactéries lactiques a été confirmée par l'analyse des produits de fermentation. 80% des isolats sont des lactobacilles dont 77% sont hétérofermentaires.

Les principaux oses naturels des céréales fermentés par les bactéries lactiques du *ben-saalga* sont le glucose, le fructose, le maltose, le saccharose.

L'utilisation du mélibiose et du raffinose par une majorité d'entre elles suggère un potentiel naturel pour fermenter les α -galactosides.



2.2. Diversité et identification des isolats

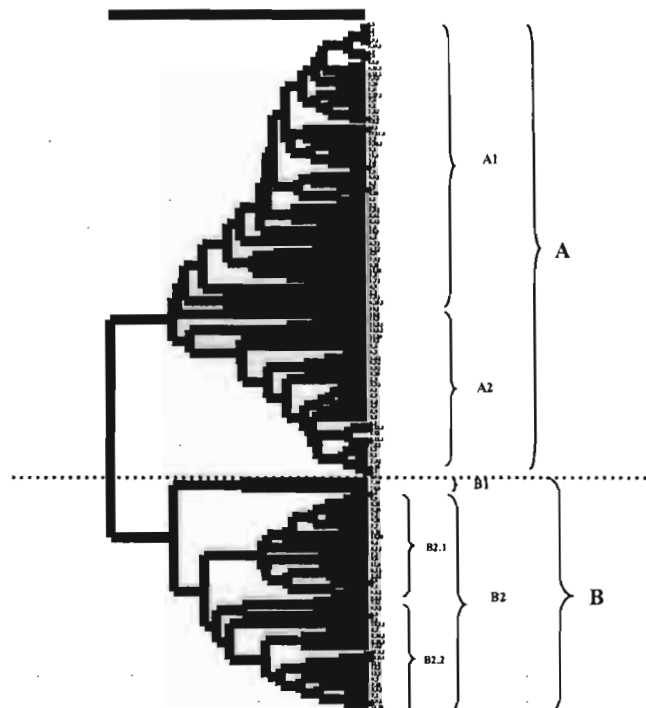


Figure 1. Analyse de la diversité des souches de bactéries lactiques du *ben-saalga* sur la base des caractères phénotypiques

La figure 1 montre que la microflore lactique des pâtes fermentées présente une grande diversité. Cependant, deux groupes majeurs (A et B) peuvent être distingués à un niveau de coupure de 60% de similitude. Le groupe A comprend essentiellement des lactobacilles (70%), le sous-groupe A1 est majoritairement constitué de lactobacilles hétérofermentaires et le groupe B est exclusivement formé par des souches homofermentaires.

Au total 19 espèces différentes ont été identifiées. Le groupe majoritaire (30,5% des isolats) est formé par des bactéries lactiques se rattachant à l'espèce *Lactobacillus fermentum* suivi par des souches identifiées comme *Lactobacillus plantarum* (14% des isolats) et *Pediococcus pentosaceus* (12% des isolats). L'analyse du positionnement des souches dans le dendrogramme (figure 1) a montré qu'il existait une grande diversité intra-espèce.

Conclusion

Ces résultats confirment la dominance des bactéries lactiques et en particulier celle des lactobacilles hétérofermentaires.

La présence d'isolats capables d'utiliser les α -galactosides est un des caractères intéressants qui permet de justifier l'introduction de légumineuses avant fermentation. On pourrait ainsi espérer améliorer les teneurs en protéines et lipides tout en limitant naturellement les effets négatifs des α -galactosides, grâce à leur hydrolyse naturelle par la microflore lactique.

*contact Jean-Pierre GUYOT

Microbial diversity of *Ben-saalga*, a pearl-millet based fermented gruel from Burkina Faso

Guyot Jean-Pierre¹, Tou El Hassane², Sifer Mehdi¹, Galissaires Lydia¹, Icard-Vernière Christèle¹, Mouquet-Rivier Claire¹

(1) IRD (Institut de Recherche pour le Développement) UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Montpellier/France; (2) Université de Ouagadougou, CRSBAN, Burkina Faso

Introduction

Bensaalga is a popular gruel in Ouagadougou (Burkina Faso). Its production involves different steps, mainly soaking of the grains, milling, settling of the resulting slurry and cooking. During the settling step a lactic acid fermentation occurs.

It is frequently given to young children as complementary food to breast feeding. Unfortunately, this type of gruel lacks the necessary functional properties to fulfil their particular nutritional requirements, and ways of improvement must be investigated.

First, one major challenge is to understand the relationships between microbial diversity and characteristics of the foodstuff.

A survey allowed to identify 93 traditional small-scale production units (TSPU) in Ouagadougou from which 12 were randomly selected in order to study the microbiota of the fermented slurry.

174 isolates were characterised using biochemical tests. Statistical analysis was based on the dissimilarity coefficient of Nei and Li to establish a distance matrix that is used for UPGMA. This procedure was applied for the analysis of DGGE patterns and fermentation tests.

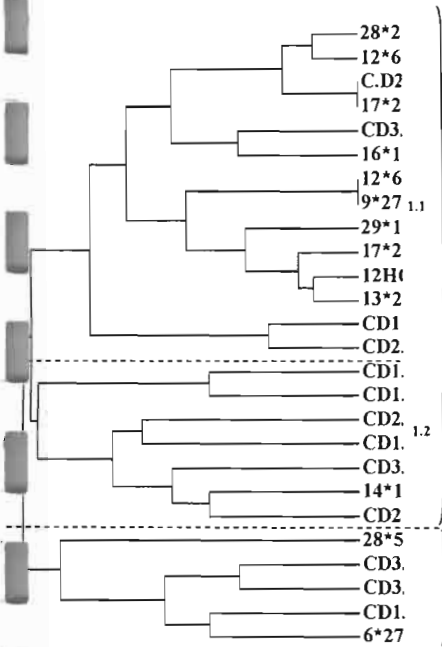


Results

microbial diversity

Nei and Li dissimilarity Index

0.4 0.3 0.2 0.1

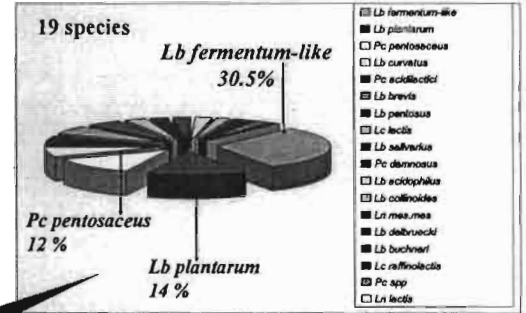


Grouping of TSPU based on PCR-DGGE patterns

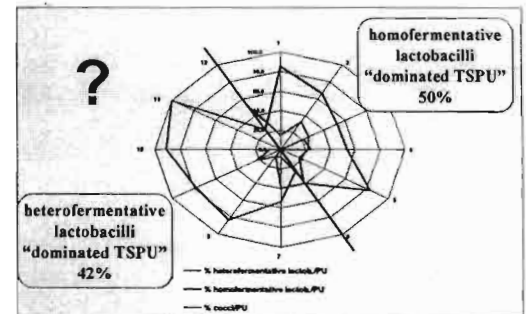
[7.5-8.5] logCFU/g D.M.
174 isolates
LAB: 92% ; lactobacilli 73%
5.2% *Bacillus*-like
1.1% Gram (+), catalase+ cocci
1.7% Gram (-) bacilli

Community analysis by DGGE

- Common core of microbial diversity between TSPU : 56% similarity
- Estimated total diversity : 21 "DGGE-bands" ⇔ 19 species
- Estimated diversity/TSPU : 10 sp./TSPU (min 6-max 14)
- Occurrence of 28% of "species" ≥ 50% of TSPU



LAB diversity based on phenotypic characters



Distribution of LAB metabolic groups between TSPU

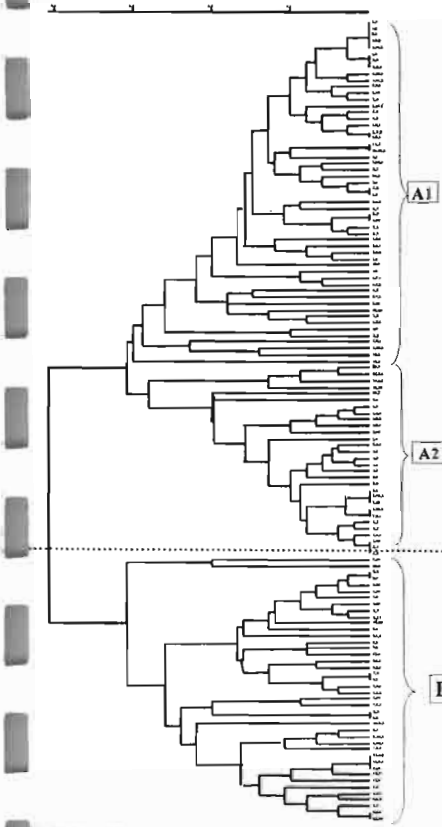
metabolic diversity of lactobacilli

Percentage of LAB and lactobacilli able to hydrolyse starch and antinutritional factors (phytate and raffinose) :

	%total LAB	% of total LAB population	
		heterolactic Lactobacilli	homolactic Lactobacilli
STARCH	9.7	3.2	3.7
PHYTATE (IP6)	23.2	14.7	2.1
RAFFINOSE	56.5	39.2	10.3

Conclusion

- the traditional production units can be grouped according to their DGGE pattern
- DGGE estimate of diversity is consistent with determination based on phenotypic characters
- only a few species/TSPU BUT a large metabolic diversity
- lactobacilli are dominant with *Lb. fermentum* and *Lb. plantarum*
- starch hydrolysis potential evenly distributed between hetero and homofermentative lactobacilli
- higher potential for phytate and raffinose fermentation with heterofermentative lactobacilli
- homo vs. hetero TSPU : a reality or a bias due to the size of sampling ?



Diversity of lactobacilli based on fermentation patterns

Nutritional and microbial characteristics of *ben-saalga*, a millet-based fermented gruel from Burkina Faso used as complementary food

E. H. Tou^{1,2*}, C. Mouquet-Rivier², A. S. Traoré¹, S. Trèche², JP. Guyot²

¹Université de Ouagadougou/UFR-SVT/ CRSBAN, Burkina Faso

²UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP 64501, 34394 Montpellier, France

*corresponding author: elassane@yahoo.fr

Abstract

Ben-saalga is a millet-based fermented gruel frequently used as complementary food in Burkina Faso. The objective of this study is to describe the traditional processing methods, nutritional and microbial compositions which are necessary for investigating ways to improve both the nutritional and sanitary quality of the foodstuff. In this work, the traditional processing of pearl millet into *ben-saalga* and fermentation kinetics were investigated in 24 and 5 traditional production units, respectively. Processing steps include: washing (optional), soaking of the grains (first fermentation step), grinding and sieving of the wet flour, settling (second fermentation step), and cooking. The soaking step was mainly characterized by alcoholic fermentation whereas lactic acid fermentation occurred during the settling step. The paste produced at the end of settling had a low pH value (4.0 ± 0.4) and its micro biota was dominated by lactic acid bacteria (LAB) with an amyolytic LAB:LAB ratio of 12%. Sucrose disappeared in the grains during soaking but was not detected in the soaking water, whereas glucose, fructose and maltose appeared transiently. Glucose and fructose were the main substrates observed for lactic acid fermentation during the settling step. At the end of the processing, 75% and 83% decrease was observed in phytate (IP6) and raffinose, respectively. The sour gruel *ben-saalga* resulting from cooking the sour paste had inadequate nutritional characteristics with respect to infants' and young children's requirements; it was characterized by fluid consistency (Bostwick flow: 137 mm/30s), low protein (8.2 ± 0.9 g/100g DM) and fat content (4.7 ± 0.8 g/100g DM) and low energy density (about 30 kcal/100g of gruel). Therefore, further investigations are needed to improve the nutritional quality of *ben-saalga* to cover nutritional needs of young children and infant of Burkina Faso.

Key-words: lactic acid fermentation, pearl millet, complementary food, phytate, α -galactoside, amyolytic lactic acid bacteria

Essai de modification du procédé traditionnel de fabrication des bouillies de mil fermenté « ben-saalga » en vue d'augmenter leur densité énergétique

Tou^{1,2} El Hassane, Mouquet^{1,2} Claire, Guyot² Jean-Pierre, Traoré¹ Alfred, Trèche² Serge

(1) Université de Ouagadougou/UFR-SVT/CRSBAN, Burkina Faso ; (2) IRD, UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés, France

Introduction

À Ouagadougou, les bouillies de mil fermenté *ben-saalga*, sont largement consommées par la population, en particulier par les jeunes enfants. Ces bouillies se caractérisent par leur pH acide ($3,9 \pm 0,1$), leur fluidité (écoulement Bostwick : 133 ± 17 mm/30s) et leur faible densité énergétique (30 kcal/100g de bouillie) (Tou *et al.*, 2002)¹. Étant donné leur faible valeur nutritionnelle, ces bouillies ne permettent pas aux jeunes enfants, dans les conditions habituelles de consommation (deux repas/jour), de compléter de manière adéquate les apports énergétiques du lait maternel. Ainsi, l'objectif de cette étude était de tester différentes modifications des procédés traditionnels de fabrication en vue d'augmenter la densité énergétique (DE) de ces bouillies.

Méthodologie

Les modifications testées, seules ou en combinaison, sont : 1) une pré-cuisson pendant 10 min de la pâte après filtration et 2) une incorporation après cuisson de malt d'orge lorsque la pâte atteint 65°C , à raison de 1% de la matière sèche (fig. 1).

Les cinétiques d'acidification des pâtes ont été enregistrées pendant l'étape de décantation à l'aide d'un pH-mètre (WTW 340i).

Des bouillies ont été préparées à partir des pâtes obtenues suivant les différents procédés et leur consistance a été mesurée à 45°C à l'aide d'un consistomètre Bostwick (en mm/30s).

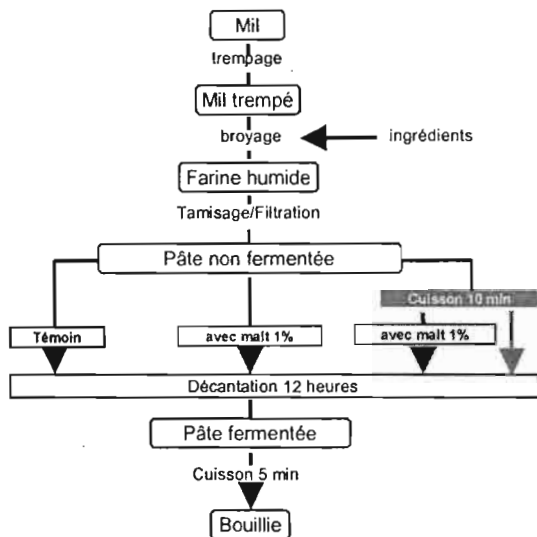


Figure 1. Mode de fabrication des bouillies suivant les différents procédés

Résultats

Cinétiques d'acidification des pâtes au cours de la fermentation

Au cours de l'étape de fermentation-repos, quel que soit le procédé, l'acidification des pâtes se déroule en 3 phases (fig. 2) : une phase de latence, une phase d'acidification rapide, puis une phase de stabilisation du pH autour de 4,0, qui marque la fin de la fermentation.

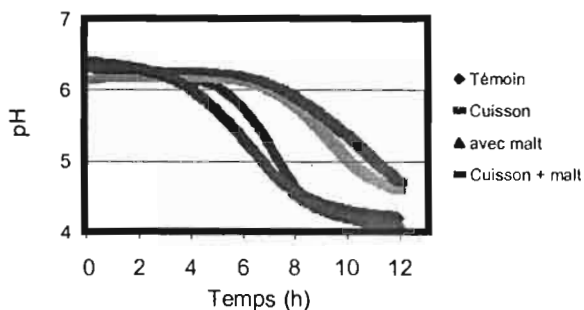


Figure 2. Cinétiques d'acidification des pâtes au cours de la fermentation

On constate que l'introduction d'une étape de pré-cuisson entraîne un allongement important de la phase de latence (jusqu'à 7-8 h), probablement dû à la destruction de la flore naturelle initiale. Ceci retarde considérablement l'acidification des pâtes : après 12 h de fermentation, la stabilisation du pH est à peine amorcée et le pH est encore supérieur à 4,5. L'incorporation de malt ne semble pas entraîner de modification majeure de la cinétique d'acidification.



2. Consistance des bouillies

À partir des pâtes fermentées obtenues selon les différents procédés, des bouillies ont été préparées à différentes concentrations. L'évolution de la consistance de ces bouillies en fonction de leur teneur en matière sèche est présentée sur la figure 3.

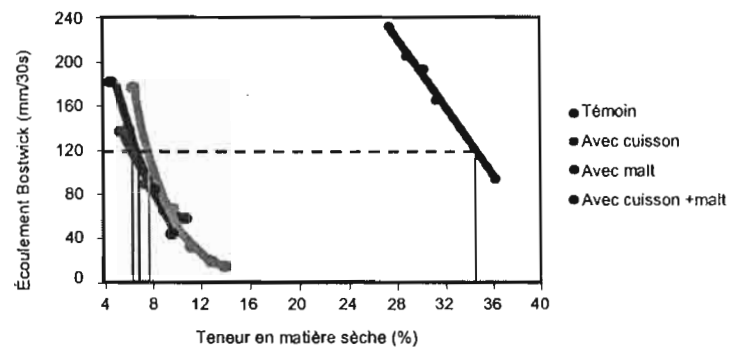


Figure 3. Évolution de la consistance des bouillies en fonction de leur teneur en matière sèche

L'observation des courbes obtenues montre que de tous les procédés testés, seul celui avec cuisson et incorporation de malt permet de préparer, à consistance égale, des bouillies de teneurs en matière sèche nettement supérieures à celles des bouillies préparées selon le procédé traditionnel. Ceci met en évidence le fort pouvoir amylolytique du malt sur l'amidon gélatinisé sous l'effet de la cuisson.

3. Densité énergétique des bouillies

À partir de la figure 3, il est possible d'estimer la teneur en matière sèche, et par conséquent la DE, correspondant pour chaque bouillie à un écoulement Bostwick de 120mm/30s, considéré comme étant l'écoulement moyen des bouillies habituellement consommées par les jeunes enfants burkinabè (Vieu *et al.*, 2001). La cuisson et l'incorporation de malt mises en œuvre individuellement donnent des bouillies de faibles DE (24 et 30 kcal/100g de bouillie, respectivement), similaires à celle de la bouillie traditionnelle. En revanche, la combinaison de ces deux procédés permet d'obtenir des bouillies de forte DE (152 kcal/100g de bouillie).

Conclusion

La mise en œuvre combinée des étapes de cuisson et d'incorporation de malt s'est révélée très efficace pour augmenter la densité énergétique des bouillies, mais retarde considérablement le démarrage de la fermentation. L'inoculation de la pâte à l'aide d'un pied de cuve d'une fabrication précédente pourrait compenser cet inconvénient.

*contact Claire MOUQUET

¹ Tou EH, Mouquet C, Trèche S, Guyot JP, Traoré SA, 2002. Caractérisation des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de petit mil fermenté dans 24 micro-ateliers de production à Ouagadougou. Communication présentée au Forum national de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT), 11-18 mai 2002, Ouagadougou, Burkina Faso.

² Vieu MC, Traoré T, Trèche S, 2001. Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52, 213-218.

Caractérisation et amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*, une bouillie traditionnelle de mil fermenté, utilisée comme aliment de complément au Burkina Faso

El Hassane Tou^{1,2}, Claire Mouquet-Rivier^{1,2}, Christian Picq³, Serge Trèche³, Jean Pierre Guyot³, Alfred S. Traoré¹

Résumé

La fermentation lactique ou alcoolique à longtemps été un procédé de transformation et de conservation des aliments. Les aliments fermentés, très répandus dans le monde, sont consommés très souvent sous forme de bouillies. Au Burkina Faso, les bouillies de mil fermenté, *ben-saalga*, produites dans des micro-ateliers de transformation, sont largement utilisées comme aliments de complément par les jeunes enfants. Cette présente étude a eu pour objectif de caractériser et d'améliorer la valeur nutritionnelle du *ben-saalga*. Cette bouillie se caractérise par une fermentation lactique à pH acide ($4,0 \pm 0,4$), une fluidité (écoulement Bostwick : 137 mm/30 s), une très faible teneur en matière sèche ($7,5 \text{ g} \pm 0,5$ pour 100 g de bouillie), de faibles teneurs en protéine ($7,0 \pm 0,7 \text{ g}$ pour 100 g) et en lipide ($4,0 \pm 0,7 \text{ g}$ pour 100 g) et une densité énergétique inadéquate (environ 30 kcal/100 g de bouillie) ne pouvant pas, dans les conditions habituelles de consommation (2 repas/jour), couvrir les besoins nutritionnels du jeune enfant burkinabé. Une amélioration de la valeur nutritionnelle du *ben-saalga* a donc été apportée par la mise en œuvre d'une co-fermentation (mil et arachide) et ajout de malt, et a permis d'obtenir des bouillies ayant une consistance convenable (120 mm/30 s), une valeur énergétique appropriée (117.3 kcal/100g de bouillie), des teneurs suffisantes en protéine ($11,7 \pm 0,1 \text{ g}$ pour 100 g) et en lipide ($14,6 \pm 0,6 \text{ g}$ pour 100 g) et pouvant être utilisées comme un aliment de complément répondant aux recommandations. Enfin, une étude est en cours sur le transfert du *ben-saalga* amélioré (*ben-songo*) auprès des micro-ateliers.

Mots clés : mil, bouillie traditionnelle, fermentation lactique, valeur nutritionnelle, aliment de complément.

¹UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement (IRD) 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso

²Université de Ouagadougou /UFR-SVT/ CRSBAN, Burkina Faso

³UR106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France

TRANSFERT DE PROCÉDES TECHNOLOGIQUES POUR LA PRODUCTION A PETITE ECHELLE D'ALIMENTS TRADITIONNELS DE QUALITE MAITRISEE: UNE DEMARCHE EN 7 ETAPES

Claire Mouquet-Rivier^{1*}, El Hassane Tou² et Serge Trèche³

¹ UR106, Institut de Recherche pour le Développement, 01 BP 182 Ouagadougou, Burkina Faso.

² CRSBAN/UFR-SVT/Univ. Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

³ UR106/IRD, BP 64501, F34 394 Montpellier cedex, France.

*auteur correspondant : claire.mouquet@ird.bf

Mots clés : transfert ; qualité sanitaire ; qualité nutritionnelle ; procédé technologique traditionnel.

1. RESUME

Rendre accessibles aux groupes à risque, des aliments de qualités conformes à leurs attentes et à leurs besoins constitue l'une des conditions de l'amélioration des situations nutritionnelles dans les pays du Sud. Dans ces pays, les aliments locaux sont consommés sous de nombreuses formes appréciées des populations et dont les modes de préparation sont adaptés aux contraintes locales. Toutefois, elles sont souvent de qualité variable et de valeur nutritionnelle insuffisante. L'amélioration de la qualité de ces aliments consiste donc à modifier les procédés technologiques usuels pour obtenir des formes de consommation similaires aux formes traditionnelles mais ayant les qualités nécessaires. Afin d'assurer les meilleures chances de réussite à de tels projets, il est utile de suivre une démarche structurée en 7 étapes.

La mise en œuvre de cette démarche sera illustrée au cours de l'exposé par l'exemple des modifications proposées pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle et sanitaire des bouillies traditionnelles de mil fermenté consommées à Ouagadougou.

2. INTRODUCTION

Dans les pays du Sud, les nourrissons à partir de 6 mois, les enfants, les femmes enceintes et allaitantes constituent des groupes à risque sur le plan nutritionnel. Une voie d'amélioration des situations nutritionnelles dans ces pays consisterait à rendre accessibles à ces groupes de population, des aliments de qualités sanitaire, organoleptique et nutritionnelle constantes et conformes à leurs attentes et à leurs besoins. Dans la plupart des contextes de ces pays, les aliments locaux sont consommés sous de nombreuses formes différentes qui présentent l'avantage d'être connues et appréciées des populations et dont les modes de préparation sont adaptés aux contraintes locales. Toutefois, ces formes de consommation sont souvent de qualités variables et de valeur nutritionnelle insuffisante pour certains types de consommateurs. Modifier les procédés technologiques habituellement utilisés ou, dans certains cas, mettre au point des procédés nouveaux, en vue de préparer des formes de consommation des aliments locaux proches des formes traditionnelles mais ayant les qualités nécessaires compte tenu de l'utilisation qui en est faite pourrait par conséquent constituer un moyen d'améliorer les situations nutritionnelles.

Des travaux ont été menés dans ce sens par notre équipe de recherche sur plusieurs aliments africains (*foufou et chikwangue de manioc au Congo ; bouillies préparées à partir de farines infantiles ou de pâtes fermentées en Afrique de l'Ouest et Centrale ; plats familiaux composés d'aliments amylacés et de sauces en zones sahéliennes et forestières*). Ces études montrent qu'il est utile de distinguer plusieurs étapes dans la démarche à adopter pour procéder à la mise au point et au transfert de procédés améliorés ou nouveaux vers les unités artisanales ou ménagères de production. L'étude des possibilités d'amélioration de la qualité nutritionnelle et sanitaire des bouillies de mil fermenté commercialisées dans la rue à Ouagadougou (Burkina Faso) servira d'exemple pour illustrer cette démarche tout au long de l'exposé. Les 7 étapes de la démarche proposée ci-après peuvent être regroupées, comme illustré sur la figure 1, en 4 phases : diagnostic (étape 1), mise au point (étape 2), étude de la transférabilité (étapes 3, 4 5 et 6) et évaluation (étape 7).

3. ETABLIR UN DIAGNOSTIC

La première étape consiste à observer, décrire et caractériser les effets des procédés technologiques tels qu'ils sont habituellement utilisés pour produire les formes de consommation considérées. Elle comprend des enquêtes, des prélèvements d'échantillons représentatifs, des mesures sur les lieux de production, des analyses en laboratoire et même parfois, l'élaboration de profils sensoriels par des panélistes entraînés. Les effets des procédés doivent être étudiés au niveau des qualités hygiéniques (éventuellement toxicologiques), organoleptiques et nutritionnelles (densité en énergie et en nutriments, biodisponibilité des nutriments) des produits finis. Il est particulièrement important d'évaluer la variabilité de certaines caractéristiques de ces produits en rapport, d'une part, avec l'origine des matières premières, et d'autre part, avec le choix et les paramètres de réalisation des procédés technologiques étudiés. Les observations faites au niveau des unités de production peuvent être complétées par des enquêtes réalisées auprès des consommateurs pour définir le contexte d'utilisation de l'aliment considéré et préciser l'attente des consommateurs. Le produit attendu de cette première étape doit être un cahier des charges décrivant les caractéristiques à modifier dans les aliments étudiés pour qu'ils puissent contribuer à améliorer ou à maintenir l'état nutritionnel des groupes de population auxquels ils sont destinés.

Au démarrage de l'étude, les bouillies de mil fermenté étaient identifiées comme un aliment bon marché, pratique parce qu'acheté sous une forme prête à être consommée et utilisé comme aliment de complément au lait maternel par les jeunes enfants. Par ailleurs, la fermentation lactique se produisant au cours de la préparation de ces bouillies constituait un atout supplémentaire en raison de son effet positif sur leur qualité sanitaire. Des enquêtes préliminaires ont permis de dénombrer plus de 150 ateliers de production dans la ville et d'établir un diagramme de fabrication sommaire. Des suivis de production plus approfondis et des prélèvements d'échantillons dans 24 ateliers sélectionnés au hasard ont permis, d'une part, d'acquérir une connaissance suffisamment précise de la transformation (proportions des ingrédients, durées des différentes étapes) pour pouvoir élaborer un procédé de fabrication standard à l'échelle du laboratoire et, d'autre part, de caractériser les qualités organoleptiques et la valeur nutritionnelle de ces bouillies et leur variabilité. Le profil sensoriel des bouillies de mil fermenté traditionnelles a été établi à l'aide d'un panel de dégustateurs entraînés. Les analyses réalisées ont révélé que ces aliments avaient une très faible densité énergétique, ainsi que des teneurs en protéines, lipides et minéraux trop faibles pour compléter de manière adéquate les apports du lait maternel chez les jeunes enfants [1]. Cependant, une enquête

menée auprès de 148 ménages consommateurs a montré qu'environ 45% des enfants de moins de 2 ans les consomment régulièrement [2]. Un cahier des charges a donc été établi en vue d'élaborer des modifications des procédés traditionnels permettant de conférer à ces bouillies la valeur nutritionnelle requise pour les aliments de complément destinés aux jeunes enfants.

4. MISE AU POINT DE PROCÉDES AMELIORES

La seconde étape consiste à **choisir et optimiser les procédés**, ou combinaisons de procédés, **permettant de préparer en conditions contrôlées** (*i.e. en halle de technologie ou laboratoire*), **des produits** répondant au cahier des charges défini lors de la première étape.

Les modifications testées ont consisté à incorporer au mil des matières premières riches en protéines et en lipides puis à modifier les procédés de fabrication afin de réunir les conditions propices à une hydrolyse partielle de l'amidon, pour pouvoir préparer une bouillie de consistance identique à celle des bouillies traditionnelles, mais plus concentrée. Les modifications retenues à l'issue de cette phase de recherche en laboratoire sont d'utiliser un mélange mil-arachide et d'ajouter au procédé traditionnel 3 nouvelles étapes consistant à précuire la pâte et lui incorporer du malt, puis un pied de cuve d'une fabrication précédente avant fermentation. Les bouillies améliorées ainsi produites ont un profil sensoriel très différent de celui des bouillies traditionnelles, mais des tests d'acceptabilité auprès d'un panel de dégustateurs naïfs ont permis de vérifier leur bonne acceptabilité.

5. ETUDE DE TRANSFERABILITE

La troisième étape consiste à étudier, toujours en conditions contrôlées, la **robustesse des procédés**, ou combinaisons de procédés proposés en définissant les intervalles à l'intérieur desquels leurs paramètres de réalisation (*durée, température, proportions d'ingrédients...*) peuvent varier sans que les produits transformés ne cessent de répondre au cahier des charges. Au cas où les premiers procédés proposés s'avéreraient insuffisamment robustes aux variations des paramètres de réalisation, un retour à la seconde étape peut s'avérer nécessaire. Les principales variables des procédés de fabrication des bouillies fermentées améliorées (taux de malt et d'inoculum et leurs températures d'incorporation, qualité de l'inoculum, etc.) ont été identifiées et les effets de leur variation autour de la valeur optimale déterminée au laboratoire sur le déroulement de la fermentation ou sur la densité énergétique finale des bouillies ont été caractérisés.

La quatrième étape correspond à la **traduction**, dans un langage compréhensible par les producteurs, **des procédés**, ou combinaison de procédés, **en modes de préparation** ne nécessitant que l'utilisation d'équipements disponibles au niveau des unités de production.

Pour la préparation des bouillies fermentées améliorées, les proportions des différents ingrédients, exprimées en unités de masses pour les fabrications au laboratoire, ont été converties en unités de volume, c'est à dire en nombre de plats, « *garibou gongo* » ou cuillères, ustensiles couramment disponibles dans les ménages ouagalais. Pour indiquer les durées des différentes étapes, ou les températures d'incorporation, nous avons tenté d'établir des repères (par rapport au déroulement de la journée ; ou tels que « *un moment après avoir retiré la bouillie du feu, mais lorsque la bouillie est encore fumante* »).

La cinquième étape consiste à **tester ces modes de préparation au niveau d'un nombre limité d'unités artisanales ou ménagères de production**. Après que les modes de préparation aient été expliqués en détail aux producteurs, il s'agit *(i)* d'observer précisément la manière dont ils les mettent en œuvre et de mesurer certains paramètres de réalisation, en particulier ceux susceptibles d'être les plus affectés par le changement d'échelle lors du passage en milieu réel, *(ii)* de prélever des échantillons pour vérifier la conformité de leurs caractéristiques au cahier des charges et *(iii)* d'interroger les producteurs sur leurs perceptions des procédés (*notamment en termes de pénibilité de réalisation*) et des produits finis (*notamment en termes d'adéquation aux attentes des consommateurs*). Au cours de cette étape, des retours en arrière peuvent être nécessaires, au niveau de la seconde étape si les procédés proposés sont mal acceptés par les producteurs, ou si les paramètres de leur réalisation sortent des intervalles pour lesquels leur robustesse a été contrôlée ou encore si, pour n'importe quelle autre raison, les caractéristiques des produits finis ne répondent pas au cahier des charges. Ces retours en arrière peuvent aussi ne concerner que la quatrième étape s'il ressort qu'il est préférable de modifier la manière d'expliquer les modes de préparation ou d'utiliser d'autres équipements disponibles dans les ménages que ceux initialement prévus. Un test du procédé modifié auprès de trois productrices de bouillies de mil fermenté traditionnelles a été réalisé : le produit amélioré, malgré les modifications importantes apportées, a été très apprécié des clients habituels de la productrice. Cependant, certaines difficultés liées au changement d'échelle de fabrication ont été mises en évidence : les quantités produites dans les ateliers étaient environ dix fois plus importantes qu'au laboratoire, ce qui a entraîné des modifications considérables des cinétiques de refroidissement après cuisson, et donc des températures auxquelles sont introduits et agissent le malt et l'inoculum. La conséquence était que la densité énergétique et la consistance des bouillies étaient variables, et souvent inférieures à la valeur cible du cahier des charges. Ce problème doit faire l'objet d'une étude complémentaire en conditions contrôlées.

La sixième étape consiste à **définir une stratégie** visant, d'une part, l'appropriation des modifications proposées par les producteurs habituels des formes de consommation considérées et, d'autre part, la promotion de la consommation des produits améliorés par les groupes de population auxquels ils sont destinés. A ce niveau doivent être précisées les modalités de formation des producteurs à l'utilisation des procédés améliorés ainsi que les modalités d'information des consommateurs, par des campagnes de marketing social ou commercial, visant à leur faire utiliser les produits améliorés. Dans la mesure où ces modalités de formation ou d'information sont destinées, à terme, à être mises en œuvre en direction d'un large public, il est essentiel de sélectionner celles présentant les meilleurs rapports coût/efficacité et pour cela de les tester et, éventuellement de les comparer lorsque l'utilisation de plusieurs d'entre elles paraît possible.

Concernant les bouillies fermentées améliorées, il est prévu de mettre en œuvre la stratégie retenue au niveau d'un secteur de Ouagadougou sélectionné pour sa forte consommation de bouillies fermentées et son grand nombre d'ateliers de production.

6. EVALUATION

Enfin, après avoir mis en œuvre à l'échelle pilote la stratégie définie précédemment, **la septième et dernière étape** consiste à évaluer l'intérêt de l'ensemble des activités menées depuis l'étape de mise au point des procédés et produits améliorés jusqu'à la mise en œuvre

de la stratégie visant à promouvoir leur utilisation. Cette évaluation peut consister à estimer les proportions d'acteurs ciblés (*producteurs, consommateurs*) qui adoptent les comportements souhaités, à suivre les ventes, à déterminer les caractéristiques d'échantillons prélevés de manière aléatoire, à mener des enquêtes auprès des producteurs et des consommateurs pour enregistrer leur perception des procédés et des produits et, éventuellement, à mesurer l'impact de la stratégie sur l'état nutritionnel des groupes ciblés.

Pour certains produits ayant des objectifs nutritionnels bien définis et dont la consommation régulière est susceptible d'améliorer significativement l'état nutritionnel des groupes ciblés, la sixième étape peut être précédée d'*études de niveaux d'ingérés* visant à estimer la moyenne et la variabilité des quantités de produits que ces groupes sont capables de consommer, ainsi que d'*études d'efficacité biologique* visant à mesurer, par rapport à un groupe témoin, les améliorations de l'état nutritionnel des groupes consommant régulièrement les produits considérés.

Dans le cadre de notre projet, une étude visant à comparer les ingérés à partir de bouillies fermentées traditionnelles et améliorées auprès d'enfants appartenant à différentes classes d'âge sera réalisée.

7. CONCLUSION

L'amélioration de la qualité nutritionnelle ou sanitaire d'un aliment traditionnel implique des modifications du procédé de fabrication ainsi que des qualités organoleptiques du produit considéré. La mise au point de ces modifications et leur transfert auprès de productrices ne possédant que des outils de production rudimentaires n'est pas sans embûche. Le suivi pas à pas de la démarche proposée ci-dessus doit permettre d'éviter certains écueils et d'assurer les meilleures chances de réussite à de tels projets.

Références bibliographiques

1. Tou EH, Guyot JP, Mouquet-Rivier C, Rochette I, Counil E, Traoré AS, Trèche S, 2006. Study through surveys and fermentation kinetics of the traditional processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) into "*bensaalga*", a fermented gruel from Burkina Faso. *International Journal of Microbiology*, 106, 52-60.
2. Mouquet C, Guyot JP, Trèche S, 2003. Attentes et préférences des consommateurs de bouillies de mil fermenté à Ouagadougou. *Poster présenté au 2^{ème} Atelier International «Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest: Le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes»*, Univ. Ouagadougou / Univ. Wageningen / IRD / FAO, Ouagadougou, 23-28 novembre 2003. <http://www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003/>.

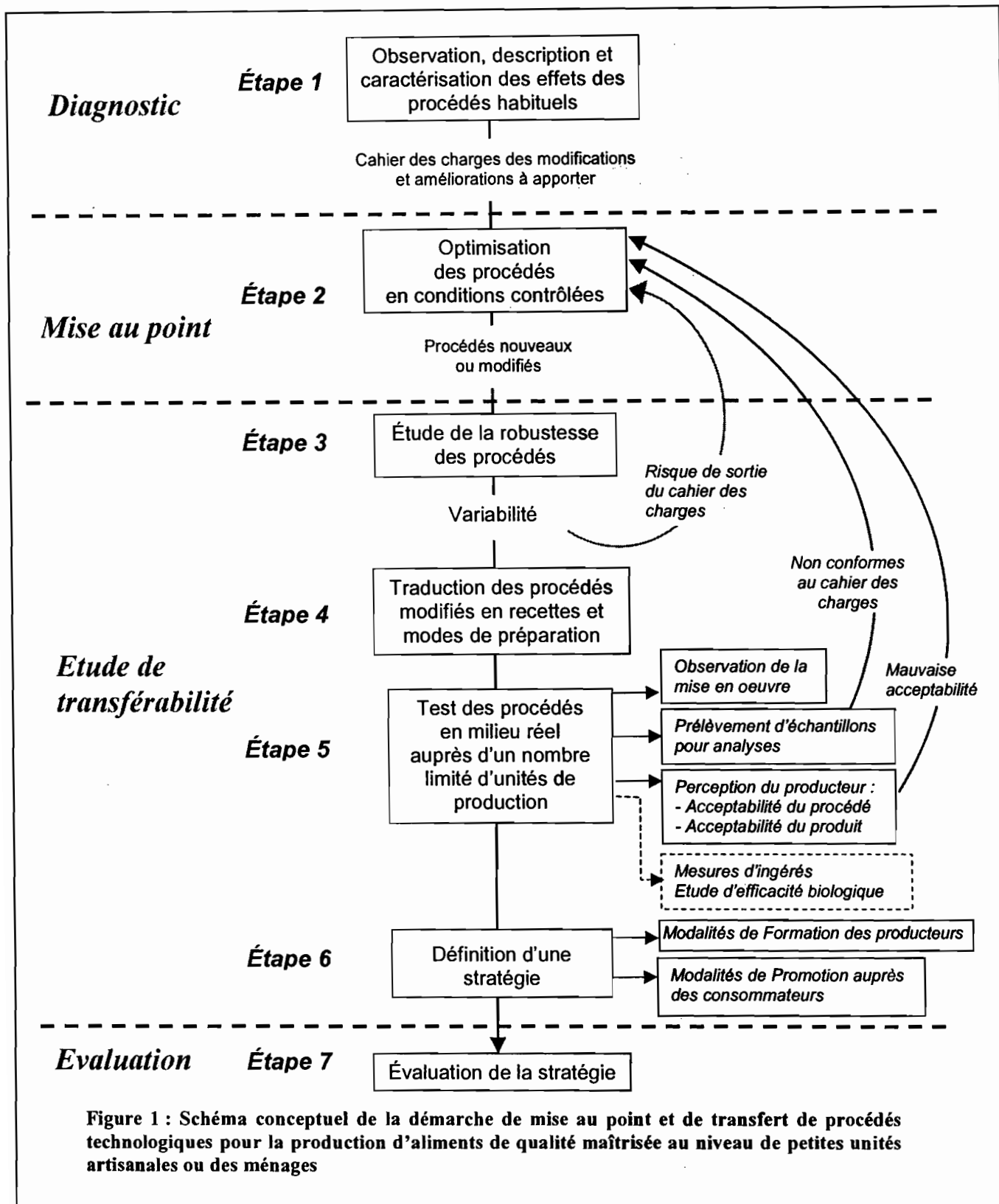


Figure 1 : Schéma conceptuel de la démarche de mise au point et de transfert de procédés technologiques pour la production d'aliments de qualité maîtrisée au niveau de petites unités artisanales ou des ménages