



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

**Tahirou TRAORE**

Maître ès Sciences

**ELABORATION ET EVALUATION D'UNE STRATEGIE D'AMELIORATION  
DE L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT DES JEUNES ENFANTS AU  
BURKINA FASO**

*Soutenue publiquement le 16 mai 2005*

Rapporteurs : Dr. Francis DELPEUCH, Pr. Mathurin C. NAGO, Dr. Serge TRECHE

Devant la commission d'examen :

**Président:** Pr. Mathurin C. NAGO, Professeur titulaire, Université d'Abomeh Calavi, Cotonou (Bénin)

**Membres:** Pr. Alfred S. TRAORE, Professeur titulaire, Université de Ouagadougou (Burkina Faso)  
Pr. Aboubakar S. OUATTARA, Maître de conférences, Université de Ouagadougou  
Dr. Serge TRECHE, Directeur de recherche, Centre IRD de Montpellier (France)  
Dr. Yves MARTIN-PREVEL, Chargé de recherche, Centre IRD de Ouagadougou

*Beaucoup de choses indispensables peuvent attendre,  
mais pas un enfant. C'est maintenant que ses os se forment,  
que son sang se fait, que son esprit se développe.  
Nous ne pouvons pas le renvoyer à demain.  
Il s'appelle aujourd'hui.*

*-Gabriela Mistral, poétesse chilienne lauréate du  
Prix Nobel. —Extrait de “A la découverte de l'UNICEF” 1997.*

## **DÉDICACE**

*À la mémoire de ma très chère et regrettée mère qui aurait sans doute trouvé dans ce travail l'aboutissement de ses sacrifices.*

*À mon père pour le support et la compréhension dont il a fait preuve tout au long de mes études...*

*À Abdoul-Dramane, devenu une source d'inspiration et de motivation...*

*À Séverine pour sa patience, son soutien et ses encouragements qui, à aucun moment, n'ont fait défaut.*

*À tous mes frères et sœurs qui ne cessent de m'encourager...  
Vous me verrez plus souvent à partir de maintenant...*

## **AVANT-PROPOS**

Ce travail a été réalisé à l'UR 106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés » de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), dans les centres de Montpellier (France) et de Ouagadougou (Burkina Faso) en collaboration avec le Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) du Département de Biochimie-Microbiologie de l'Université de Ouagadougou, sous la direction de :

- Dr. Serge TRECHE : Directeur de Recherche IRD, Responsable du programme « Alimentation complémentaire du jeune enfant » au sein de l'UR 106 de l'IRD;
- Pr. Alfred S. TRAORE : Professeur Titulaire, Directeur du CRSBAN (Université de Ouagadougou (Burkina Faso).

Le travail a été soutenu financièrement et matériellement par le département Soutien et Formation des communautés scientifiques du Sud (DSF) et l'UR 106 de l'IRD, auxquels nous exprimons ici notre profonde reconnaissance.

## REMERCIEMENTS

*Ce document est le fruit des efforts conjugués de nombreuses personnes. Avec un cœur plein de reconnaissances, nous prions ces personnes de bien vouloir accepter nos sincères et profonds remerciements.*

*Nous témoignons notre reconnaissance aux illustres rapporteurs et membres du jury qui nous font l'honneur de juger notre travail. Il s'agit de Pr Mathurin C. NAGO (rapporteur et président du jury), Pr Alfred S TRAORE (membre du jury), Pr Aboubacar S OUATTARA (membre du jury), Dr Serge TRECHE (rapporteur et membre du jury), Dr Yves MARTIN-PREVEL (membre du jury) et Dr Francis DELPEUCH (rapporteur).*

*Nos 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 nous a été offerte à travers la collaboration entre le CRSBAN et L'IRD pour réaliser nos travaux de recherche dans les meilleures conditions possibles. Par ailleurs, nous avons apprécié ses enseignements et sa disponibilité constante à nous assister et à nous orienter dans notre carrière scientifique débutante. Puisse-t-il trouver à travers ce modeste document, l'expression de toute notre reconnaissance.*

*A tous les enseignants du département de Biochimie-Microbiologie qui ont chacun à un certain moment contribué efficacement à notre formation et à toute l'équipe du CRSBAN dont les membres ont contribué chacun à sa façon à la réalisation de cette thèse. Nos sincères remerciements au Pr Aboubacar S OUATTARA et aux Dr Nicolas BARRO, Cheick A.T OUATTARA, P. NIKIEMA, M. DICKO, M. 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 nous accordé une allocation de recherche 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 remercié.*

*Nous tenons tout particulièrement à exprimer notre reconnaissance et notre profonde gratitude à M. Serge TRECHE, directeur de recherche IRD, co-directeur de cette thèse pour m'avoir confié le projet de thèse, initié aux exigences de rigueur spécifiques à la recherche, pour sa disponibilité, son soutien inconditionnel, son engouement et la grande qualité de l'encadrement dont il a su me faire bénéficier et qui nous a permis d'améliorer nos aptitudes professionnelles dans le domaine des Sciences des Aliments et Nutrition.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à M. Francis Delpeuch, directeur de l'UR 106 de l'IRD pour nous avoir accueilli au sein de son équipe.*

*Nous tenons à exprimer nos très vifs remerciements Mme Claire Mouquet-Rivier, chargée de recherche à l'IRD de Ouagadougou, pour sa participation si enrichissante à l'encadrement de cette thèse et pour ses conseils si précieux.*

*Nous devons de 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 et Chistian Picq (le chef) pour l'aide inestimable que vous m'avez apporté pour les différents dosages effectués. Un grand merci aussi à Jean-Pierre Guyot, Gérard Rocquelin, Sylvie Avallone, Pierre Traissac, Yves-Martin Prével et Yves Kameli pour leur sympathie, leur gentillesse et pour les échanges fructueux.*

*Nous adressons nos remerciements et notre reconnaissance à M. Alain Casenave et Jean-Pierre Guengant, respectivement, ancien et actuel représentant de l'IRD à Ouagadougou pour nous avoir accueilli au sein de leur institution et pour tout ce qu'ils ont fait pour nous. Merci à tout le personnel du centre pour leur gentillesse et leurs encouragements.*

*Nous devons nos remerciements à Marie-Catherine Vieu, Marion Lathelize et Bénédicte Genin qui étaient nos coéquipières durant certaines phases de cette étude et avec qui nous avons réalisé des échanges fructueux. Merci à Alain Bambara pour l'aide apportée dans le village de Ouarégou.*

*Au-delà des aspects scientifiques et académiques, le cadre de réalisation de la présente thèse aura été pour nous l'occasion de tisser de très bons rapports humains et des liens d'amitiés qui, nous l'espérons, se poursuivront longtemps. Nos bons souvenirs vont, en particulier, à nos collègues et amis thésards et stagiaires des Laboratoires de Nutrition des Centres IRD de Montpellier et de Ouagadougou: Hassanne, Mourad, Andréina, Nana, Sabrina, Hoan, Thuy, Christiane, Marcelline, Ayassou, Prosper, Mathilde, Sokhna Gaye, Zou, Agnès, Nicole, et tous les autres dont les noms n'ont pu être cités ici.*

*Nos sincères remerciements à toute l'équipe du CFAS, aux mères et à leurs enfants qui ont participé aux différentes études réalisées dans le cadre de la présente thèse pour leur disponibilité. Un merci spécial à toute la population du village de Ouarégou pour leur accueil et pour l'intérêt accordé à nos travaux. Nous espérons que les résultats serviront de catalyseurs à des actions qui contribueront à améliorer l'état nutritionnel des enfants Burkinabé.*

*Nous n'oubliions pas de dire merci à tous nos collègues du CRSBAN, Ali, Constance et tous les autres pour leur soutien moral et leurs encouragements. Nous disons merci à Aziz pour sa proximité et sa disponibilité.*

*Nos amis de tous les jours ne sauraient être privés de nos sincères remerciements. Il s'agit notamment de Koné Mamadou, Bâ Malick, Gaoussou, Bazié, André, Philippe, Florence, Gombané, Nina, Marius, Roland, et tous mes voisins qui, sans le savoir peut-être, nous ont été d'un apport considérable dans la réalisation de nos différents travaux. Soyez sincèrement remerciés. Un grand merci à Agnès, Pauline et Grégoire pour nous avoir aidé moralement à traverser des moments très difficiles. Merci à Awa pour son aide. C'est aussi l'occasion pour nous de remercier les amis et collègues de la Société de Nutrition du Burkina Faso pour leur gentillesse, leur amitié et leurs encouragements.*

*Nous ne saurions terminer ces lignes sans dire un grand merci à Bayili Adama, Bougma Karim et Soma Adama pour nous avoir donné de précieux coup de main au niveau de la saisie de certaines données.*

*Nous adressons enfin nos remerciements à tous ceux dont nous taisons volontairement ou involontairement les noms et qui ont discrètement mais efficacement, contribué à l'aboutissement de ce travail.*

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
<b>I. CADRE THEORIQUE THEORIQUE DE L'ALIMENTATION DU JEUNE ENFANT .....</b>	<b>5</b>
<b>I.1. Besoins énergétiques et nutritionnels du jeune enfant et recommandations pour leur couverture .....</b>	<b>5</b>
I.1.1. Besoins en énergie et en macronutriments.....	5
I.1.2. Apports recommandés en vitamines et minéraux.....	6
I.1.3.Consommation de lait maternel et son apport en énergie et en nutriments.....	6
I.1.4. L'âge d'introduction des aliments de complément.....	7
<b>I.2. Le contrôle de la prise alimentaire: <i>facteurs affectant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant</i> .....</b>	<b>7</b>
I.2.1. Les déterminants immédiats .....	8
I.2.2. Les facteurs sous-jacents.....	9
I.2.3. Les causes fondamentales.....	9
<b>I.3. Caractéristiques requises pour les aliments de complément .....</b>	<b>9</b>
I.3.1. Energie devant être apportée par les aliments de complément dans les PED .....	9
I.3.2. Nutriments devant être apportés par les aliments de complément dans les PED...	12
I.3.3. Biodisponibilité des nutriments.....	12
I.3.4. Aspects sanitaires des aliments de complément .....	12
I.3.5. Autres aspects des aliments de complément .....	12
<b>II. L'ALIMENTATION DE COMPLEMENT AU BURKINA FASO .....</b>	<b>13</b>
<b>II.1. Les pratiques alimentaires des nourrissons et des jeunes enfants .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2. Les apports en énergie et en nutriments à partir des bouillies .....</b>	<b>13</b>
<b>II.3. Caractéristiques générales des bouillies .....</b>	<b>13</b>
<b>II.4. Amélioration à apporter aux aliments de complément consommés sous forme de bouillies.....</b>	<b>14</b>
<b>III. LES PROCEDES PERMETTANT DE PREPARER DES BOUILLIES AYANT DES CARACTERISTIQUES APPROPRIEES .....</b>	<b>14</b>
<b>III.1. Formulation de farines infantiles équilibrées en nutriments à moindre coût ...</b>	<b>14</b>
<b>III.2. Procédés utilisables pour augmenter la densité énergétique des bouillies .....</b>	<b>14</b>
<b>III.2.1. Apport d'huile ou de sucre .....</b>	<b>15</b>
<b>III.2.2. Hydrolyse de l'amidon .....</b>	<b>15</b>
III.2.2.1. Hydrolyse thermomécanique. ....	15
III.2.2.2. Hydrolyse enzymatique .....	15
III.2.2.2.1. Utilisation de farine maltée .....	16
III.2.2.2.2. Utilisation d'amylase d'origine bactérienne .....	16
<b>III.3. Procédés utilisables pour améliorer la biodisponibilité des minéraux .....</b>	<b>17</b>
<b>III.3.1. Effet des traitements thermiques sur les facteurs antinutritionnels. ....</b>	<b>17</b>
<b>III.3.2. Voies enzymatiques d'élimination des phytates. ....</b>	<b>17</b>
III.3.2.1. Elimination des phytates par action des phytases endogènes. ....	17
III.3.2.2. Elimination des phytates par action des phytases exogènes .....	18

<b>III.4. Utilisation de l'analyse sensorielle pour améliorer les caractéristiques organoleptiques des aliments de complément .....</b>	<b>18</b>
<b>IV. LES STRATEGIES D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION DU JEUNE ENFANT .....</b>	<b>18</b>
<b>IV.1. Fabrication d'aliments de complément à moindre coût dans des industries ou dans de petites entreprises locales de production .....</b>	<b>19</b>
<b>IV.2. Transfert de technologies simples au niveau des ménages, permettant de préparer des aliments de complément de bonne valeur nutritionnelle .....</b>	<b>19</b>
<b>IV.3. Stratégies alternatives. ....</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>21</b>
<b>1. MATERIELS .....</b>	<b>22</b>
<b>2. PROTOCOLES DES ETUDES REALISEES .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Etudes des facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant .....</b>	<b>23</b>
2.1.1. Etude des effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée des bouillies sur les ingérés énergétiques des nourrissons burkinabè. ....	24
<i>2.1.1.1. Farines expérimentales.</i> .....	24
<i>2.1.1.2. Protocole expérimental.</i> .....	24
2.1.2. Etude de l'influence de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies et de la répartition des prises alimentaires autres que les bouillies sur les ingérés de bouillies de haute et de faible densités énergétiques.....	25
<i>2.1.2.1. Bouillies expérimentales</i> .....	25
<i>2.1.2.2. Protocole expérimental.</i> .....	25
<i>2.1.2.3. Nature des observations réalisées.</i> .....	26
<b>2.2. Mise au point de formules et de procédés améliorés pour la production de farines infantiles .....</b>	<b>26</b>
2.2.1. Définition de formules de farines infantiles équilibrées en nutriments.....	27
2.2.2. Utilisation de l'analyse sensorielle pour optimiser les qualités organoleptiques d'une farine infantile .....	27
<i>2.2.2.1. Description des comparaisons effectuées au cours des différentes séances</i> .....	27
<i>2.2.2.2. Description des tests utilisés</i> .....	27
2.2.3. Définition des modalités d'utilisation de trois sources amylasiques pour conférer aux bouillies une densité énergétique et une consistance appropriées. ....	28
2.2.4. Mise au point de sources enzymatiques locales susceptibles d'être incorporées dans les farines infantiles .....	28
<b>2.3. Evaluation de l'efficacité biologique d'une farine améliorée en zone rurale .....</b>	<b>29</b>
2.3.1. Caractérisation de la zone d'étude .....	29
2.3.2. Sujets. ....	30
2.3.3. Farine expérimentale et bouillies traditionnelles. ....	31
2.3.4. Recrutement et rôle des enquêtrices. ....	32
2.3.5. Collecte des données. ....	32
<i>2.3.5.1. Enquête sur les caractéristiques socio-économiques des ménages et suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires et de la morbidité chez les enfants</i> .....	32
<i>2.3.5.2. Mesures anthropométriques</i> .....	32

2.3.5.3. Collecte des échantillons de sang. ....	33
2.3.5.4. Evaluation des ingérés alimentaires des enfants .....	33
<b>3. METHODES D'ANALYSES PHYSIQUES ET BIOCHIMIQUES. ....</b>	<b>34</b>
3.1. Evaluation de la consistance des bouillies .....	34
3.2. Détermination de la composition globale. ....	34
3.3. Dosage des sucres solubles. ....	34
3.4. Détermination de l'activité alpha-amylasique. ....	34
3.5. Estimation de l'activité phytasique. ....	35
3.6. Dosage des phytates. ....	35
3.7. Détermination des teneurs en fer et en zinc. ....	35
3.8. Dosage des cyanures totaux. ....	35
3.9. Dosage du rétinol sérique. ....	36
3.10. Dosage de l'hémoglobine. ....	36
<b>4. METHODES D'ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES .....</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>38</b>
<b>CHAPITRE 3-1 : FACTEURS INFLUENCANT LES INGERES EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS CHEZ LE JEUNE ENFANT.....</b>	<b>39</b>
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. <i>International Journal of Food Sciences and Nutrition</i> , 52, 213-218.....	41
Traoré T. Vieu M-C., Traoré A.S., 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. <i>Appetite</i> , in press.....	48
<b>CHAPITRE 3-2 : MISE AU POINT DE FORMULES ET DE PROCEDES AMELIORES POUR LA PRODUCTION DE FARINES INFANTILES.....</b>	<b>57</b>
<b>CHAPITRE 3-2-1 : PROCEDES UTILISABLES POUR AMELIORER LES CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES ET ORGANOLEPTIQUES DES BOUILLIES.....</b>	<b>59</b>
Traoré T., Mouquet C., Traoré A.S., Trèche S. Voies d'amélioration des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des bouillies préparées à partir de farines infantiles produites localement au Burkina Faso. Article soumis à <i>African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development</i> .....	61
<b>CHAPITRE 3-2-2 : MISE AU POINT DE SOURCES ENZYMATIQUES A PARTIR DE PROCEDES TRADITIONNELS DE MALTAGE DES CEREALES.....</b>	<b>78</b>
Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Traoré A.S., Trèche S. (2004). Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). <i>Food Chemistry</i> , 88, 105-114.....	81

Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Rochette I., Traoré A.S., Trèche S. Influence of the technological know-how of producers on the biochemical characteristics of red sorghum malt from small scale production units in Ouagadougou (Burkina Faso). Article soumis à <i>International journal of Food Sciences and Nutrition</i> .....	92
Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Rochette I., Picq C., Traoré A.S., Trèche S. Effects de modifications du procédé de maltage traditionnellement utilisé au Burkina Faso sur les activités $\alpha$ -amylasique et phytasique et sur les teneurs en phytates, fer et zinc du sorgho rouge. Projet d'article.....	112
Quelques photos présentant les principales étapes du procédé traditionnel de maltage des céréales à Ouagadougou.....	131
<b>CHAPITRE 3-3 : EFFICACITE BIOLOGIQUE D'UNE FARINE AMELIOREE DESTINEE AU MILIEU RURAL.....</b>	<b>135</b>
Traoré T., Zagré N.M., Traoré A.S., Trèche S. (2003). Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et les statuts en fer et en vitamines A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : <i>Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)</i> . Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 539-552.....	137
Quelques photos présentant les différentes activités menées dans le village de Ouarégou ( <i>Province du Boulgou</i> ).....	150
<b>CHAPITRE 4 : DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES.....</b>	<b>154</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>160</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>172</b>
<b>ANNEXE 1 : FACTEURS INFLUENCANT LES INGERES EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS CHEZ LE JEUNE ENFANT.....</b>	<b>173</b>
<b>Annexe 1-1 : Etude des effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée des bouillies sur les ingérés énergétiques des nourrissons burkinabè.....</b>	<b>174</b>
Annexe 1-1-1 : Questionnaire d'éligibilité .....	175
Annexe 1-1-2 : Questionnaire de données générales.....	176
Annexe 1-1-3 : Séquence de distribution des bouillies.....	180
Annexe 1-1-4 : Fiche de suivi de la morbidité.....	181
Annexe 1-1-5 : Fiche de recueil des observations et des mesures d'ingérés pour la première bouillie.....	182
Annexe 1-1-6 : Fiche de recueil des observations et des mesures d'ingérés pour la deuxième bouillie.....	184
Annexe 1-1-7 : Fiche de recueil des mesures anthropométriques.....	186

**Annexe 1-2 : Etude de l'influence de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies et de la répartition des prises alimentaires autres que les bouillies sur les ingérés de bouillies de haute et de faible densités énergétiques.....187**

Annexe 1-2-1 : Questionnaire d'éligibilité.....	188
Annexe 1-2-2 : Questionnaire de données générales.....	189
Annexe 1-2-3 : Fiche de suivi de la morbidité.....	191
Annexe 1-2-4 : Fiche récapitulative des repas pris par les enfants dans la journée.....	192
Annexe 1-2-5 : Fiche de recueil des observations et des mesures d'ingérés pour les bouillies.....	193

**ANNEXE 2 : EVALUATION DE L'EFFICACITE BIOLOGIQUE D'UNE FARINE AMELIOREE EN ZONE RURALE.....194**

Annexe 2-1 : Questionnaire d'éligibilité.....	195
Annexe 2-2 : Questionnaire de données générales.....	196
Annexe 2-3 : Fiches de suivi hebdomadaire de la morbidité.....	199
Annexe 2-4 : Fiches de suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires.....	200
Annexe 2-5 : Fiche de recueil des mesures anthropométriques.....	201
Annexe 2-6 : Fiche récapitulative des repas pris par les enfants dans la journée.....	202
Annexe 2-7 : Fiche de recueil des observations et des mesures d'ingérés pour les bouillies.....	203
Annexe 2-8 : Fiche de recueil des observations et des mesures d'ingérés pour les aliments de complément autres que les bouillies.....	204

**LISTE DES PUBLICATIONS (*articles publiés, acceptés et soumis*) SE RAPPORTANT A LA PRESENTE THESE DE DOCTORAT.....206**

**ABSTRACT**

**RESUME**

## LISTE DES TABLEAUX

### **Chapitre 1 : Etude bibliographique**

Tableau 1-1	Besoins énergétiques des enfants de 0 à 2 ans	5
Tableau 1-2	Apports protéiques de sécurité pour les enfants de 6 à 24 mois	6
Tableau 1-3	Apports recommandés en quelques micronutriments chez les enfants de 6 à 24 mois	6
Tableau 1-4	Quantités moyennes de lait maternel ingérées dans les pays en développement pendant les deux premières années de la vie	7
Tableau 1-5	Densités énergétiques (en kcal/100g) minimales requises pour les aliments de complément (kcal/100g)	11
Tableau 1-6	Densités en protéines et en quelques micronutriments nécessaires dans les aliments de complément	12

### **Chapitre 2 : Matériels et méthodes**

Tableau 2-1	Composition en micronutriments des compléments minéraux et vitaminiques produits par les sociétés Nutriset (France) et Roche (Singapour)	22
Tableau 2-2	Caractéristiques de la BAN 800 MG	23
Tableau 2-3	Composition en ingrédients des farines expérimentales (g/100 g de farine)	24
Tableau 2-4	Composition en ingrédients et en nutriments des bouillies expérimentales et traditionnelles	31

### **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

#### *Chapitre 3-1 : Facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant*

Table 3-1-1	Flour composition (g/100 g)	43
Table 3-1-2	Experimental gruel characteristics	44
Table 3-1-3	Characteristics of children included in the study	44
Table 3-1-4	Mean amounts of gruel consumed	44
Table 3-1-5	Mean energy intakes from gruels	45

Table 3-1-6	Characteristics of the gruels distributed to the infants	52
Table 3-1-7	Principal characteristics of infants at the beginning of the study	52
Table 3-1-8	Breast-feeding frequency and duration within the 8 hour period of observation during the two periods of experimental gruel distribution	52
<i>Chapitre 3-2 : <u>Mise au point de formules et de procédés améliorés pour la production de farines infantiles</u></i>		
Tableau 3-2-1	Comparaison des compositions en ingrédients et en nutriments de la farine avant et après reformulation	68
Tableau 3-2-2	Préférences identifiées à l'issue des 8 séances d'évaluation sensorielle organisées	69
Tableau 3-2-3	Comparaison des avantages et inconvénients des trois sources amylasiques	72
Table 3-2-4	Mean nutrient contents (g/100 g DM) and variation observed during the preparation of malted flours, (in brackets: variation in relation to the previous stage)	86
Table 3-2-5	Effect of maturation on nutrient (g/100 g DM), phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents and on $\alpha$ -amylase activity (U/g DM) in red sorghum seeds	88
Table 3-2-6	Effect of degerming on nutrient (g/100 g DM), phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents and on $\alpha$ -amylase activity (U/g DM) in red sorghum ( $n = 5$ ), millet ( $n = 2$ ) and maize ( $n = 1$ ) seeds	89
Table 3-2-7	Variants observed in the 5 production units (PU) during germinated seed preparation	101
Table 3-2-8	Effect of the malting process on the nutrient content (g/100 g DM) of red sorghum seeds	103
Table 3-2-9	Effect of the malting process on phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents of red sorghum seeds	106
Tableau 3-2-10	Comparaison des variantes du procédé de maltage du sorgho rouge sélectionnées	116
Tableau 3-2-11	Evolution de l'activité $\alpha$ -amylasique (U/g MS) au cours du maltage du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé	120
Tableau 3-2-12	Evolution de l'activité phytasique et des teneurs en phytates au cours du maltage du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé utilisées	123

Tableau 3-2-13	Evolution des teneurs en fer et en zinc et des rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé de maltage utilisées	125
----------------	---	-----

*Chapitre 3-3 : Efficacité biologique d'une farine améliorée destinée au milieu rural*

Tableau 3-3-1	Composition en ingrédients et en nutriments des bouillies expérimentales et traditionnelles	141
Tableau 3-3-2	Caractéristiques des deux groupes d'enfants à l'âge de 24 semaines	143
Tableau 3-3-3	Evolution de la morbidité et de la fréquence et durée des tétées entre 6 et 10 mois	143
Tableau 3-3-4	Ingérés énergétiques journaliers à partir des bouillies et des autres aliments de complément (moyenne des valeurs à 7, 8, 9 et 10 mois)	144
Tableau 3-3-5	Evolution des caractéristiques anthropométriques entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines	145
Tableau 3-3-6	Evolution des concentrations en hémoglobine et de la prévalence de l'anémie entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines	146
Tableau 3-3-7	Evolution des concentrations sériques en rétinol et de la prévalence de rétinolémie faible entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines	147

## LISTE DES FIGURES

### **Chapitre 1 : Etude bibliographique**

Figure 1-1	Modèle explicatif de l'ingéré en énergie et en nutriments à partir des aliments de compléments (Trèche, 2002)	8
------------	---	---

### **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

#### *Chapitre 3-1 : Facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant*

Figure 3-1-1	Frequencies of total intakes (breast-feeding, water, other foods than experimental gruels) (number/8h)	53
--------------	--	----

Figure 3-1-2	Amounts of experimental gruels consumed (per meal and per 8h period)	53
--------------	--	----

Figure 3-1-3	Energy intakes from experimental gruels (per meal and per 8h period)	54
--------------	--	----

#### *Chapitre 3-2 : Mise au point de formules et de procédés améliorés pour la production de farines infantiles*

Figure 3-2-1	Comparaison des effets de l'incorporation de la BAN 800 MG (en mg/100 g de farine), du malt d'orge et du sorgho germé (en g/100 g de farine) sur la distance d'écoulement Bostwick (mm/30 s) de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie	70
--------------	---	----

Figure 3-2-2	Comparaison de la distance d'écoulement Bostwick (mm/30 s) de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie en fonction de l'origine du sorgho germé (moyenne ± erreur-type de 2 bouillies préparées après incorporation de farines de sorgho germé provenant de 10 ateliers de production différents)	71
--------------	--	----

Figure 3-2-3	Comparison of the Bostwick flow distance (mm/30 s) of gruels prepared at a concentration of 25 g DM/ 100 g of gruel using malted cereal flours from 27 different production units (PU) in Ouagadougou (1–20: PU of malted red sorghum; 21–23: PU of malted millet; 24–27: PU of malted maize).	84
--------------	--	----

Figure 3-2-4	General diagram of the traditional process of cereal malting observed in Ouagadougou	85
--------------	--	----

Figure 3-2-5	Changes in dry matter content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$ SD) for red sorghum (n = 5) and means for millet (n = 2)	85
--------------	--	----

Figure 3-2-6	Changes in $\alpha$ -amylase activity during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$ SD) for red sorghum (n = 5) and means for millet (n = 2)	87
Figure 3-2-7	Changes in phytate content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$ SD) for red sorghum (n = 5) and means for millet (n = 2)	87
Figure 3-2-8	Changes in total cyanide content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$ SD) for red sorghum (n = 5) and means for millet (n = 2)	88
Figure 3-2-9	General flow-sheet of the traditional processing of red sorghum seeds into malt flours observed in Ouagadougou	100
Figure 3-2-10	Effect of the malting process on $\alpha$ -amylase activity of red sorghum seeds	105
Figure 3-2-11	Evolution de la teneur en matière sèche (g/100 g) au cours du malteage du sorgho rouge en fonction des 3 variantes étudiées	119
Figure 3-2-12	Comparaison de la consistance de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie en fonction de la variante du procédé de malteage de sorgho rouge (moyenne $\pm$ écart-type de 6 bouillies préparées après incorporation de 8% de malt provenant de 3 productions différentes pour chaque variante, à raison de 2 bouillies par production)	121

## LISTE DES ABREVIATIONS

%	Pourcentage
$\mu\text{g}/\text{ER}$	Microgramme/d'Equivalent Rétinol
$\mu\text{l}$	Microlitre
$\mu\text{m}$	Micromètre
$^{\circ}\text{C}$	Degré Celsius
AC	Aliments de Complément
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AM / PU	Atelier de Maltage / Production Unit
ANOVA	ANAlysis Of VAriance
BA	Bouillie Améliorée
BT	Bouillie Traditionnelle
CDC	Centers for Disease Control
CFAS	Centre Féminin d'Aliments de Sevrage
cm	centimètre
CMV	Complément Minéral et Vitaminique
CRS	Concentration en Rétinol Sérique
CRSBAN	Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles
DEA	Diplôme d'Etude Approfondie
EDS	Enquête Démographique et de Santé
ET / SD / SE	Ecart-Type ou Erreur-Type / Standard Deviation / Standard Error
FAO	Food and Agriculture Organization
g	gramme
GI	Groupe d'Intervention
GLM	General Linear Model
GT	Groupe Témoin
h / hr	heure ou hour
IEJ	Ingérés Energétiques Journaliers
INSD	Institut National de la Statistique et de la Démographie
IRSS	Institut de Recherche en Sciences de la Santé
IP6	Myo-Inositol 6-Phosphates
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
J	Jour
kcal	kilocalorie
kg	kilogramme
kJ	kilojoule
M	Mole ou Molaire
mg	milligramme
min	minute
ml	millilitre
MS / DM	Matière Sèche / Dry Matter
N	Normal
NCHS	National Center for Health Statistics
nm	nanomètre
PED	Pays En Développement
Phy/Fe	Rapport molaire phytate / fer
Phy/Zn	Rapport molaire phytate / zinc
rpm	Rotations par minute
s	seconde
SVT / SDS	Sciences de la Vie et de la Terre / Sciences De la Santé
THB	Taux d'Hémoglobine
TI / TS	Taux d'Incorporation / Taux de Substitution
UFR	Unité de Formation et de Recherche
UNICEF	United Nations Children's Fund
UR	Unité de Recherche
USA	United States of America
WHO / OMS	World Health Organisation / Organisation Mondiale de la Santé

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

La malnutrition chez les enfants de moins de cinq ans constitue un problème majeur de santé publique dans le monde en général et dans les pays en développement (PED) en particulier. En effet, entre 1995 et 2002, le retard de croissance, l'émaciation et l'insuffisance pondérale ont affecté respectivement, 32, 10 et 27% des enfants de moins de cinq ans des PED (UNICEF, 2004). L'Afrique subsaharienne vient en deuxième position, après l'Asie du sud, avec 38, 8 et 29% d'enfants de moins de cinq ans ayant souffert respectivement de retard de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale au cours de la même période. Seulement 35% des nourrissons dans les 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 du point de vue nutritionnel et hygiénique (WHO/UNICEF, 2002).

Les conséquences de la malnutrition sont énormes. En effet, elle est responsable, directement ou indirectement, de 60% des 10,9 millions de décès annuels d'enfants de moins de cinq ans et 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.

D'après les recommandations internationales les plus récentes (WHO, 1998; WHO, 2002; WHO/UNICEF, 2002; Daelmans *et al.*, 2003), l'allaitement maternel doit être exclusif pendant les 6 premiers mois et se poursuivre jusqu'à l'âge de deux ans ou plus. Après l'âge de 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, des aliments de complément doivent être introduits. C'est également après l'âge de 6 mois que la croissance de la plupart des nourrissons des PED dévie du modèle de croissance satisfaisant à cause des infections répétées et de l'inadéquation des aliments de complément (UNICEF, 1998; WHO, 1998). La malnutrition se manifeste donc principalement pendant la période d'alimentation complémentaire, entre l'âge de 6 et 24 mois, au moment où l'enfant passe progressivement d'une alimentation basée sur le lait maternel à une alimentation diversifiée semi-liquide, puis solide. Bien que l'utilisation des aliments de complément soit nécessaire après l'âge de 6 mois pour compléter les apports du lait maternel, ces produits apparaissent comme étant directement ou indirectement en relation avec les formes de malnutrition observées. Il est généralement admis que les ingérés en énergie et en nutriments à partir des aliments de complément au lait maternel sont influencés par des facteurs liés à l'aliment (densité énergétique, teneurs en nutriments, caractéristiques organoleptiques, etc.), à l'enfant (besoins nutritionnels, état de santé, appétit, etc.) et à la personne prenant soin de l'enfant (fréquence des repas, temps consacré à l'alimentation de l'enfant, etc.) (Brown, 1997; Trèche, 2002).

Au Burkina Faso, l'état nutritionnel des enfants de moins de 5 ans s'est détérioré ces dernières années. En effet, entre 1995 et 2001, le retard de croissance et l'insuffisance pondérale ont augmenté, respectivement, de 29 à 37% et de 30 à 34% chez ces enfants (INSD et Macro International Inc, 1994; INSD et Macro International Inc, 2000). Les pratiques alimentaires du jeune enfant se caractérisent par un très faible taux (<3%) d'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois, une durée moyenne satisfaisante (25 mois) de l'allaitement maternel et un taux d'alimentation complétée en temps opportun (6-9 mois) relativement faible (42%) en raison d'une introduction souvent trop tardive des aliments de complément. Les premiers aliments généralement donnés aux enfants, en complément du lait maternel, sont des bouillies

préparées à partir de farines, de mélange de farines ou de produits fermentés, de consistance liquide et ayant une faible densité énergétique d'environ 40 kcal/100 g (Trèche, 2002). La capacité gastrique réduite des nourrissons (30-40 ml/kg/repas) et leur faible fréquence journalière de consommation (2 bouillies 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 des besoins nutritionnels.

Pour faire face à cette situation déplorable, les stratégies mises en œuvre vont de l'amélioration des aliments de complément à celle des soins de santé primaire. C'est dans ce sens que la production de farines infantiles, à partir de matières premières locales, a été encouragée au Burkina Faso. Plusieurs unités artisanales de production ont vu le jour dans différentes régions du pays. Cependant, les produits proposés comportent des limites et insuffisances dont les plus importantes sont leur prix encore élevé et leurs faibles densité énergétique et qualité organoleptique après transformation sous forme de bouillies. Par ailleurs, le faible pouvoir économique des populations ne leur permet pas d'avoir accès à des farines importées fabriquées industriellement. Aussi, favoriser 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 promouvoir leur utilisation selon des modalités adaptées, constituent des voies d'amélioration des situations nutritionnelles dans les pays en développement (Brown et Lutter, 2000; Huffman, 2000; Dewey, 2000; Trèche, 2002; Daelmans *et al.*, 2003; Lutter, 2003; Dewey et Brown, 2003).

C'est dans ce contexte que la présente thèse a été entreprise, dans le cadre 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. L'objectif général de la thèse est de proposer des améliorations aux niveaux de la production et de la promotion des aliments de complément en vue de contribuer à réduire les prévalences de malnutrition chez les nourrissons burkinabè. Les travaux ont démarré au cours de mon DEA et se sont poursuivis durant toute la thèse. Il s'est agi spécifiquement:

- d'étudier les facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez les nourrissons burkinabè,
- de mettre au point des procédés améliorés pour la production de farines infantiles bon marché mais possédant les qualités nutritionnelles, organoleptiques et hygiéniques requises pour être utilisées comme aliments de complément,
- de définir et d'évaluer une stratégie d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant en milieu rural visant à promouvoir l'utilisation d'une de ces farines infantiles selon des modalités appropriées.

L'ouvrage comporte une introduction et s'articule en quatre chapitres. Le premier chapitre, consacré à l'étude bibliographique, aborde successivement le cadre théorique de l'alimentation du jeune enfant, l'alimentation de complément dans les PED et au Burkina Faso, les procédés permettant de préparer des bouillies ayant des caractéristiques appropriées et les stratégies d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant. Les aspects méthodologiques sont traités dans le second chapitre tandis que le troisième est consacré aux résultats et discussion qui regroupent les articles (publiés ou soumis) issus des trois volets de nos travaux de recherche. Enfin, le quatrième chapitre propose une discussion et une conclusion générales de l'ensemble des résultats.

# **CHAPITRE 1**

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### I. CADRE THEORIQUE DE L'ALIMENTATION DU JEUNE ENFANT

#### I.1. Besoins énergétiques et nutritionnels du jeune enfant et recommandations pour leur couverture

##### *I.1.1. Besoins en énergie et en macronutriments*

En 1998, les besoins énergétiques du nourrisson et du jeune enfant reconnus internationalement (WHO, 1998) avaient été déterminés sur la base 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 sous forme de protéines et de lipides pour la croissance. 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.

Après la publication de cet état-de-l'art sur l'alimentation de complément du jeune enfant (WHO, 1998), de nouvelles informations sur les besoins énergétiques du jeune enfant sont apparues, notamment celles de Butte *et al.* (2000). De nouvelles recommandations ont été publiées (Dewey et Brown, 2003) à partir 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. Les différences s'expliquent par le fait que les estimations publiées dans WHO (1998) ont été faites en tenant compte de données d'enfants sous-alimentés (Dewey et Brown, 2003).

**Tableau 1:** Besoins énergétiques des enfants de 0 à 2 ans

Classe d'âge (mois)	WHO (1998)	Butte <i>et al.</i> (2000)	WHO (1998)	Butte <i>et al.</i> (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

Les protéines jouent un rôle de matériau de construction. Elles sont indispensables à la croissance et les besoins en sont plus importants pendant les premiers mois de la vie. Elles servent à renouveler continuellement tous les tissus. Le tableau 2 donne les apports protéiques recommandés pour les enfants de 6 à 24 mois estimés par Dewey *et al.* (1996) et aucune nouvelle recommandation n'a été proposée jusqu'à maintenant.

**Tableau 2:** Apports protéiques de sécurité pour les enfants de 6 à 24 mois

Classe d'âge (mois)	Dewey <i>et al.</i> (1996)		
	g protéines/jour	g protéines/kg/jour	g protéines/100 kcal
6-8	9,1	1,09	1,31
9-11	9,6	1,02	1,15
12-17		1,00	1,11
18-23	10,9	0,94	1,04

Les lipides sont importants pour le jeune enfant en tant que sources d'acides gras essentiels ayant d'importantes fonctions métaboliques. Les lipides sont une source d'énergie concentrée, fournissant l'apport énergétique élevé sous un faible volume d'aliment et favorisant l'absorption des vitamines liposolubles. Les besoins quotidiens en lipides ont été estimés entre 30 et 45% de l'énergie totale (WHO, 1998; Dewey et Brown, 2003).

### I.1.2. Apports recommandés en vitamines et minéraux

Les vitamines et les minéraux doivent être apportés à des doses convenables par l'alimentation. Ils sont nécessaires pour la croissance et le bon fonctionnement de l'organisme qui ne peut les synthétiser. Des estimations plus récentes des apports recommandés en micronutriments ont été publiées par l'Institut de Médecine des Etats-Unis (Institut of Medicine, 1997; Institut of Medicine, 1998; Institut of Medicine, 2000; Institut of Medicine, 2001) et par l'OMS et la FAO (FAO/WHO, 2002). Le tableau 3 compare les apports recommandés en quelques micronutriments, de grande importance pour le jeune enfant, issus d'estimations plus récentes (FAO/WHO, 2002) que celles de l'OMS et l'UNICEF (WHO, 1998) que nous avons utilisées au moment de l'élaboration de nos différents protocoles.

**Tableau 3:** Apports recommandés en quelques micronutriments chez les enfants de 6 à 24 mois

	Apports recommandés en quelques vitamines et minéraux					
	6-8 mois		9-11 mois		12-23 mois	
Micronutriments	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)	WHO (1998)	WHO (2002)
Vitamine A ( $\mu\text{g ER/j}$ )	350	400	350	400	400	400
Folates ( $\mu\text{g /j}$ )	32	80	32	80	50	160
Vitamine D ( $\mu\text{g/j}$ )	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
Calcium (mg/j)	525	400	525	400	350	500

### I.1.3. Consommation de lait maternel et son apport en énergie et en nutriments

Les quantités moyennes de lait maternel ingérées dans les pays en développement pendant les deux premières années de la vie sont présentées dans le tableau 4 (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, vitamine A, vitamine D, fer, zinc calcium sont estimées respectivement à 10,5 g/l, 39 g/l, 500  $\mu\text{g ER/l}$ , 0,55  $\mu\text{g/l}$ , 0,30 mg/l, 1,2 mg/l et 280 g/l.

**Tableau 4:** Quantités moyennes de lait maternel ingérées dans les pays en développement pendant les deux premières années de la vie

<b>Classe d'âge (mois)</b>	<b>Nombre d'étude (nombre d'enfant)</b>	<b>Quantité de lait maternel ingérée</b>		<b>Niveau de consommation*</b>		
		<b>g/jour</b>	<b>kcal/jour</b>	<b>Bas</b>	<b>Moyen</b>	<b>Haut</b>
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 écart-type

Source: WHO (1998)

#### **I.1.4. L'âge d'introduction des aliments de complément**

Jusqu'en 2001, l'âge de début d'introduction des aliments de complément n'était pas défini de manière précise. Alors que l'OMS préconisait la période allant de 4 à 6 mois, l'UNICEF recommandait d'introduire les aliments de complément vers l'âge de 6 mois (WHO, 1995; UNICEF, 1995). Une revue 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. Aucun avantage objectif de l'introduction des aliments de complément entre 4 et 6 mois n'a été démontré. 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 est suffisant pour couvrir les besoins en énergie et en nutriments du nourrisson. Après 6 mois, la croissance du nourrisson étant toujours, 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 pays en développement. Un enfant de cet âge consomme en moyenne 674 g de lait maternel par jour. La densité énergétique du lait maternel étant estimé à 67 kcal/100 g, l'ingéré énergétique de cet enfant est de 452 kcal/jour. Il y a donc un déficit de 230 kcal/jour lorsque l'on fait la comparaison avec les besoins énergétiques estimés par l'OMS et l'UNICEF (WHO, 1998) et 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 permettra de compenser ces déficits nutritionnels.

#### **I.2. Le contrôle de la prise alimentaire: facteurs affectant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant**

Le cadre conceptuel des déterminants de l'ingéré en énergie et en nutriments à partir des aliments de complément proposé par Trèche (2002) distingue 3 niveaux de facteurs: les facteurs immédiats, sous-jacents et les causes fondamentales (figure1).

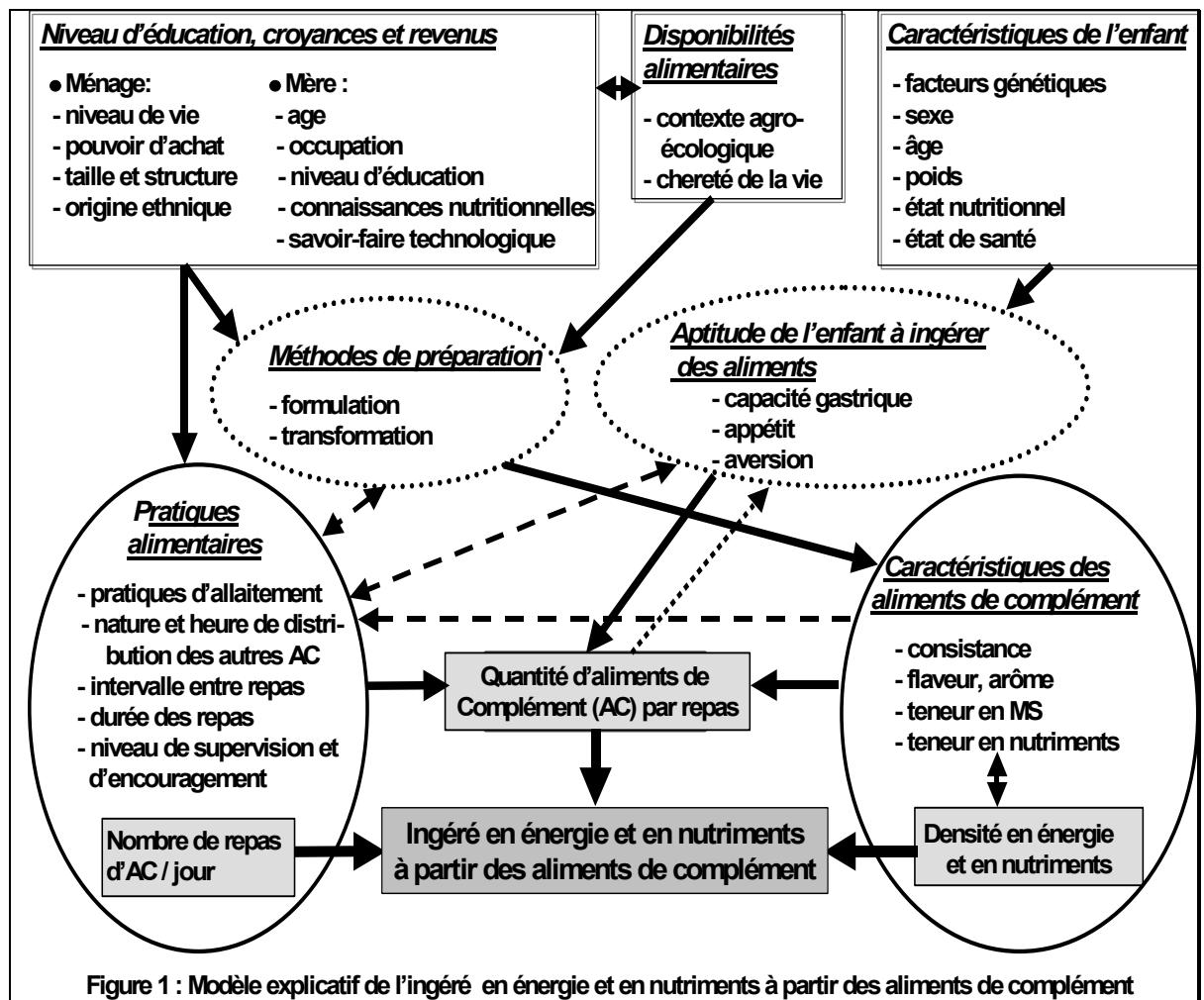


Figure 1 : Modèle explicatif de l'ingéré en énergie et en nutriments à partir des aliments de complément

Source: Trèche (2002)

### I.2.1. Les déterminants immédiats

Trois facteurs immédiats déterminent le niveau d'ingéré journalier en énergie et en nutriment à partir des aliments de complément:

- le nombre de repas par jour
- la quantité d'aliments de complément consommée par repas
- la densité en énergie et en nutriments de chaque repas.

Seuls les deux derniers facteurs dépendent en partie ou totalement des propriétés intrinsèques de la bouillie. L'ingéré énergétique total de l'enfant à partir des aliments de complément se calcule à partir de la formule suivante:

$$EI_d = \sum_{i=1}^n Ca_i \times ED_i$$

avec:

- |        |   |  |
|--------|---|--|
| $EI_d$ | = | Ingéré énergétique (kcal/j)                                  |
| $i$    | = | Rang de la bouillie  |
| $Ca_i$ | = | Quantité consommée (g) de la $i^{\text{ème}}$ bouillie       |
| $ED_i$ | = | Densité énergétique (kcal/g) de la $i^{\text{ème}}$ bouillie |

Dans la plupart des pays en développement, le nombre de repas donnés quotidiennement aux enfants ne dépasse généralement pas deux ou trois et ne saurait être augmenté du fait de la charge de travail élevée des femmes. La densité énergétique dépend principalement de la nature des aliments et des transformations utilisées pour les préparer. Les quantités d'aliments consommées par repas dépendent de plusieurs facteurs sous-jacents.

### **I.2.2. Les facteurs sous-jacents**

Parmi ces facteurs, on peut distinguer ceux liés aux aliments de complément proposés, ceux liés aux personnes prenant soin de l'enfant et ceux liés à l'enfant. Ces trois types de facteurs sous-jacents avaient également été distingués par Brown (1997).

Parmi les caractéristiques des aliments de complément, on peut identifier la consistance, les caractéristiques organoleptiques qui sont la saveur et l'arôme, la teneur en matière sèche et la composition en nutriments, qui déterminent directement la densité en énergie et en nutriments des bouillies, mais peuvent aussi influencer leur acceptabilité. Les facteurs liés aux personnes prenant soin de l'enfant peuvent être subdivisés en ceux qui déterminent les méthodes de préparation des aliments de complément et ceux correspondant aux pratiques alimentaires. En plus de la fréquence journalière de distribution des aliments, ces facteurs comprennent les pratiques d'allaitement, les intervalles entre les repas, la durée des repas et le niveau de supervision et d'encouragement développé pendant la consommation des repas. La troisième catégorie des facteurs sous-jacents correspond à l'aptitude de l'enfant à ingérer les aliments qui inclut principalement sa capacité gastrique et son appétit.

### **I.2.3. Les causes fondamentales**

Ces causes correspondent, d'une part, au niveau d'éducation, aux croyances et au milieu économique des personnes prenant soin de l'enfant et, d'autre part, aux disponibilités alimentaires et aux caractéristiques des enfants (sexe, variabilité génétique, état de santé etc.).

## **I.3. Caractéristiques requises pour les aliments de complément**

### **I.3.1. Energie devant être apportée par les 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:

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

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 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 5. 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).

Dans la suite du document, nous donnerons les besoins énergétiques et les recommandations pour leur couverture qui étaient reconnus au moment où nous rédigions nos différents protocoles (WHO, 1998) ainsi que les besoins et recommandations plus récents (Dewey et Brown, 2003).

**Tableau 5:** Densités énergétiques (en kcal/100g) minimales requises pour les aliments de complément (kcal/100g)

Classe d'âge	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 <sup>4</sup> (ml)	Densité énergétique minimale en fonction du nombre de repas par jour (kcal/100 g)
		WHO (1998)	Butte <i>et al.</i> (2000)	WHO (1998)	Dewey <i>et Brown</i> (2003)	1998 <sup>5</sup>	2003 <sup>6</sup>
Moyen <sup>1</sup>	+2 ET <sup>2</sup>	Moyen	+2 ET <sup>2</sup>	Faible <sup>3</sup> : 217	635	552	128
6-8 mois	682	852	615	Moyen: 413	439	356	111
9-11 mois	830	1037	686	Faible <sup>3</sup> : 157	880	701	249
12-23 mois	1092	1365	894	Moyen: 379	658	479	285

(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 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.3.2. Nutriments devant être apportés par les aliments de complément dans les PED

Le tableau 6 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 issues de nouvelles recommandations (FAO/WHO, 2002) sont relativement plus fortes par rapport aux estimations faites par l'OMS (WHO, 1998) que nous avons utilisées pour nos calculs au moment de l'élaboration de nos différents protocoles.

**Tableau 6:** Densités en protéines et en quelques micronutriments nécessaires dans les aliments de complément

	<b>Densités en protéines et en quelques vitamines et minéraux requises pour les aliments de complément</b>					
	<b>6-8 mois</b>		<b>9-11 mois</b>		<b>12-23 mois</b>	
<b>Nutriments (/100 kcal)</b>	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 ( $\mu\text{g}$ ER)	5	31	9	30	17	23
Folates ( $\mu\text{g}$ )	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 al.* (2003)

### I.3.3. Biodisponibilité des nutriments

La valeur nutritionnelle des aliments de complément dépend aussi de leur biodisponibilité en nutriments, c'est à dire leur aptitude à être réellement libérés au cours des processus digestifs, à être absorbés correctement puis 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.3.4. 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 (d'origine biologique ou chimique), sont susceptibles de contracter des toxi-infections qui les rendront malades et entraîneront souvent leur décès (Motarjemi *et al.*, 1995). Les aliments de complément doivent donc être salubres, c'est à dire, ne pas contenir de germes pathogènes, 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.3.5. Autres aspects des aliments de complément

Les aliments de complément doivent également répondre à des exigences d'acceptabilité organoleptique (saveur, arômes, couleur et texture, etc.) et culturelle (préparés à partir de matières premières locales, etc.), d'accessibilité, c'est à dire être de prix modéré et disponible en permanence dans de nombreux points de vente de manière à pouvoir être effectivement

consommés par le plus grand nombre d'enfants. Ils doivent par ailleurs être faciles à préparer par les mères.

## **II. L'ALIMENTATION DE COMPLÉMENT AU BURKINA FASO**

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

Une analyse comparée des pratiques alimentaires des nourrissons et des jeunes enfants des pays d'Afrique subsaharienne publiée par Macro International Inc (2000) fait ressortir qu'au Burkina Faso, plus de la moitié des mères (52%) ne donnent pas le sein le premier jour suivant la naissance de l'enfant. Seulement 5% des mères allaitent exclusivement leurs jeunes enfants jusqu'à l'âge de 6 mois et ce taux est parmi les plus bas d'Afrique subsaharienne. Dès le premier mois, près des deux tiers des enfants (65%) reçoivent une alimentation de complément (liquides autres que l'eau ou solides). En ce qui concerne la proportion d'enfants recevant des aliments de complément entre 6 et 10 mois, le Burkina Faso se caractérise par un des niveaux les plus faibles d'Afrique subsaharienne, devant le Mali (32%) et l'Erythrée (45%). En effet, seulement 50% des enfants de 6 à 10 mois reçoivent des aliments solides ou une combinaison d'aliments solides et de lait en plus du lait maternel. En revanche, la durée moyenne de l'allaitement maternel (27 mois) est satisfaisante comme dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne. 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, sorgho).

D'une manière générale, les pratiques alimentaires des nourrissons et des jeunes enfants n'ont pas subi de modifications majeures entre 1993 et 1999 (INSD et Macro International Inc, 1993; INSD et Macro International Inc, 2000) et ne correspondent pas à des pratiques alimentaires optimales comme recommandées par les institutions internationales (WHO, 1998; WHO/UNICEF, 2002).

### **II.2. Les apports en énergie et en nutriments à partir des bouillies**

Très peu d'études ont été réalisées au Burkina Faso pour estimer les apports en énergie et en nutriments à partir 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). 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 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.3. 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 tourteaux 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 distance d'écoulement Bostwick est d'environ 93 mm/30 s. 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). 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.4. Amélioration à apporter aux aliments de complément consommés sous forme de bouillies**

Les aliments de complément au lait maternel, donnés aux nourrissons et aux jeunes enfants, 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 durant la fabrication), l'équilibre en nutriments, la densité en énergie et en nutriments, la biodisponibilité des nutriments et les caractéristiques organoleptiques.

### **III. LES PROCEDES PERMETTANT DE PREPARER DES BOUILLIES AYANT DES CARACTERISTIQUES APPROPRIEES**

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

Elle nécessite d'abord l'identification des sources de protéines (soja, haricot, pois de terre, etc.), de lipides (arachide, sésame, soja, etc.) et de minéraux et vitamines (complément minéral et vitaminique, fruits, etc.) disponibles dans le contexte dans lequel on souhaite intervenir. Ensuite, la détermination de la composition chimique des sources de nutriments identifiées. 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 ont été les teneurs maximales ou minimales en nutriments exprimées sur la base des apports énergétiques correspondant à des recommandations en la matière. 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 essentiellement à base de céréales, donc riches en amidon. L'amidon est constitué de deux polymères, l'amylose et l'amylopectine, en proportions variables selon l'espèce botanique. Ils constituent la partie glucidique de l'amidon (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. Pendant le chauffage en milieu aqueux, l'amidon s'hydrate progressivement, gonfle et une partie de l'amylose passe en solution, 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). Lors de la cuisson, après la gélatinisation qui débute entre 52 et 75°C selon l'origine de l'amidon, la viscosité augmente. Si le traitement thermique est poursuivi jusqu'à 100°C, une diminution de viscosité par suite de l'éclatement du granule d'amidon et la solubilisation de l'amylose et l'amylopectine intervient, mais la gélification due au refroidissement entraîne à nouveau son augmentation.

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 améliore sa teneur en énergie. Cependant, cet apport exogène d'énergie équivaut à des "calories brutes" car il est non accompagné de protéines et de micronutriments, sauf des vitamines liposolubles et des acides gras essentiels dans le cas d'ajout d'huile (WHO, 1998). Il devient donc difficile par ce procédé d'équilibrer les apports en micronutriments.

### ***III.2.2. Hydrolyse de l'amidon***

#### **III.2.2.1. Hydrolyse thermomécanique**

La cuisson-extrusion est une technique 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).

#### **III.2.2.2. 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 (WHO, 1998).

Les  $\alpha$ -amylases sont des endoenzymes capables de rompre uniquement et au hasard les liaisons D-glucosidiques  $\alpha(1\text{-}4)$  des constituants de l'amidon endommagé ou gélatinisé. Leurs actions s'arrêtent au voisinage des liaisons interchaînes  $\alpha(1\text{-}6)$ . Elles libèrent des fragments allant d'une unité glucose à plusieurs dizaines qui correspondent alors à des  $\alpha$ -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  $\alpha$ -amylases animales: décoction de pancréas, salive humaine, lait maternel, etc.;
- les  $\alpha$ -amylases végétales qui sont naturellement présentes dans certains végétaux comme *Boscia senegalensis* (Dicko *et al.*, 1999) ou apparaissant au moment de la germination des graines (orge, sorgho, mil, etc.) ou des tubercules.

- Les  $\alpha$ -amylases bactériennes produites industriellement ou provenant du développement de souches non pathogènes sur le substrat lui-même.

### *III.2.2.2.1. Utilisation de farine maltée*

La germination des matières premières amylocées est un procédé de transformation traditionnellement utilisé dans de nombreux pays et qui a intéressé des équipes de chercheurs pour 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 densité énergétique améliorée 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 de chaque ménage. Elle a des avantages certains sur le plan nutritionnel et organoleptique. Toutefois la préparation de farine de céréales germées est relativement longue et rencontre des problèmes de nature culturelle. Au Burkina Faso, la technique de germination du sorgho est généralement réservée à la préparation du *dolo*, une bière traditionnelle de céréale. Le choix du sorgho germé comme source d'amylase pourrait répondre au souci de ne pas trop s'écartez des habitudes alimentaires et de profiter du savoir-faire technologique des populations.

### *III.2.2.2.2. Utilisation d'amylase d'origine bactérienne*

L'utilisation des  $\alpha$ -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 prémélange 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.

Les céréales, racines et tubercules sont fréquemment transformés en pâtes 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, 1996d). C'est une technique connue des sociétés traditionnelles et on rencontre plusieurs types d'aliments fermentés un peu partout en Afrique. La fermentation présente de nombreux avantages: réduction des risques de contamination microbienne; amélioration de la digestibilité des protéines; augmentation des teneurs en certaines vitamines; diminution des teneurs en phytates et en  $\alpha$ -galactosides, amélioration des qualités organoleptiques grâce aux acides organiques et autres métabolites galactosides (Nout et Rombouts, 1990; WHO, 1990; Besançon, 1999; WHO, 1998; Mensah et Tomkins, 2003). Toutefois, l'hydrolyse de l'amidon par les amylases bactériennes produites au cours de la fermentation n'est pas suffisante à elle seule pour permettre une augmentation suffisante de la densité énergétique des bouillies. La fermentation nécessite donc d'être combinée à d'autres procédés (Guyot *et al.*, 2003; Tou *et al.*, 2003) 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.*, 1998; 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). Les phytates sont considérés comme un facteur d'indisponibilisation de cations (fer, calcium, zinc, cuivre, manganèse, etc.). Les phytates interagissent 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 stratégies 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 par trempage, soit par 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, 1997), un trempage de 12 et 24 heures peut entraîner une réduction des teneurs en phytates de respectivement 11 et 18% des grains de sorgho. Selon d'autres, un trempage de 24 heures ne réduit que de 4% les phytates dans le 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, 1997; 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 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).

Il peut également s'agir d'apporter dans le milieu des phytases 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).

## **III.4. Utilisation de l'analyse sensorielle pour améliorer les caractéristiques organoleptiques des aliments de complément**

Quatre étapes successives sont à respecter dans la mise au point des produits alimentaires en général et des farines infantiles en particulier (Bruyeron, 1998): la réalisation d'une étude de marché, le choix des matières premières, la formulation du produit et l'amélioration de la qualité organoleptique du produit pour une meilleure acceptabilité. La dernière étape du processus apparaît comme déterminante car elle nécessite la conception de formules du produit en fonction des goûts du public-cible.

L'évaluation sensorielle peut être utilisée comme un outil pour améliorer les caractéristiques organoleptiques des farines infantiles et dans ce cas, peut être définie comme un ensemble de tests de dégustation organisés avec un groupe de mères et d'enfants (ou panel) répondant à un certain nombre de critères. L'issue de cette analyse sensorielle permettra de faire le choix entre plusieurs formules ou d'adapter une formule de farine répondant aux préférences des acheteurs et consommateurs.

## **IV. LES STRATEGIES D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION DU JEUNE ENFANT**

Il existe deux grandes voies d'amélioration de l'état nutritionnel des jeunes enfants: la supplémentation et les voies alimentaires. Ce sont les dernières que nous développerons dans cette partie.

Les deux stratégies communément utilisées pour améliorer l'alimentation de complément des jeunes enfants sont la fabrication et la promotion d'aliments de complément par des unités industrielles ou de petites unités locales et le transfert de technologies simples au niveau des ménages, 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 dans des contextes où des produits traditionnels fabriqués dans de petites unités de production sont fréquemment utilisés comme aliments de complément. En revanche, toutes ces stratégies doivent être accompagnées de campagnes d'éducation nutritionnelle qui visent 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 restant compatible avec les habitudes alimentaires des populations.

#### **IV.1. Fabrication d'aliments de complément à moindre coût dans des industries ou dans de petites entreprises locales de production**

Dans la plupart des cas, les aliments de complément fabriqués industriellement ou dans de petites unités locales de production sont des mélanges de plusieurs ingrédients dans des proportions appropriées pour assurer l'équilibre en énergie, en protéines et en 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 vitaminique et minéral. Ils peuvent être vendus à travers un circuit de distribution existant ou distribués à travers les institutions publiques (centre de santé, etc.) et dans le cadre de programmes d'urgence. En raison de la difficulté d'établir des circuits de distribution en 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 de difficultés d'approvisionnement ou de distribution, mais la mise en œuvre de petites unités de production au niveau local semble prometteuse si leurs responsables ont reçu des formations techniques et en gestion appropriées (Trèche, 2002).

Plusieurs études, réalisées dans différents contextes, ont mis en évidence l'efficacité de ces produits élaborés, avec incorporation ou non de compléments minéral et vitaminique, 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 de technologies simples au niveau des ménages, permettant de préparer des aliments de complément de bonne valeur nutritionnelle**

La deuxième approche consiste à diffuser l'information détaillée sur les recettes spécifiques pour les aliments complémentaires. Cette stratégie doit fournir des informations précises concernant les quantités de chaque ingrédient qui doivent être incorporées dans les aliments de complément et les techniques de préparation appropriées et donner une idée de ce qui doit être fait pour améliorer l'alimentation du jeune enfant aux personnes prenant soin de l'enfant. En revanche, cette approche peut 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 mise 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. 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. 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. Un autre avantage, dans les régions de consommation de riz, est la possibilité non seulement de les ajouter à la farine de riz, mais aussi, dans des préparations traditionnelles obtenues en écrasant partiellement les grains de riz bouillis pendant longtemps dans un excès d'eau en vue d'obtenir des « pseudo-bouillies » ayant une densité énergétique et une consistance acceptables. Ils peuvent également être vendus ou distribués dans les régions urbaines et rurales.

# **CHAPITRE 2**

## MATERIELS ET METHODES

## MATERIELS ET METHODES

### 1. MATERIELS

La nature et l'origine des farines infantiles et des matières premières utilisées dans le cadre de la présente thèse sont les suivantes:

- la farine infantile Kasona: il s'agit d'une farine à cuire produite par une coopérative féminine dénommée CFAS (Centre Féminin d'Aliments de sevrage) installée au secteur 30 de Ouagadougou. La farine est produite de manière artisanale à partir de matières premières produites et disponibles localement: mil (68%); soja (17%); arachide (5%); sucre (9%) et sel (1%);
- la farine instantanée Cérélac (Céréale infantile lactée de Nestlé, fabriquée en Côte d'Ivoire) est l'une des farines infantiles industrielles importées les plus connues et probablement la plus commercialisée dans la ville de Ouagadougou. Elle est de bonne qualité nutritionnelle et semble être appréciée par les populations des grands centres urbains. Le Cérélac contient de la farine de blé, du lait écrémé, du sucre, de l'huile de palme, de l'huile de maïs, de la vanilline ainsi que des compléments minéraux et vitaminiques.
- le sorgho rouge (*Sorghum bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum*), le maïs (*Zea mais*), le soja (*Glycine hyspida*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le sucre et le sel ont été achetés sur le marché local;
- la pulpe de pain de singe (*Adansonia digitata*) et la pulpe de néré (*Parkia biglobosa*) ont été achetées à des producteurs locaux;
- la farine de malt d'orge (*Hordeum vulgare*) a été obtenue auprès des brasseries Brakina ;
- des farines de céréales germées ont été prélevées dans des ateliers de maltage de sorgho rouge, de mil et de maïs, aux différentes étapes du procédé;
- un complément minéral et vitaminique (CMV Supplementary/GBG) produit par la société Nutriset (F76770 – Malaunay, France) dont la composition en micronutriments est donnée dans le tableau 7;
- un complément minéral et vitaminique produit par la société Roche (Singapour) dont la composition en micronutriments est donnée dans le tableau 7;
- du phosphate de calcium  $[Ca_3(PO_4)_2]$  produit par la société Prayon (Province de Liège, Belgique);
- du carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) produit par la société Cooper (France).

**Tableau 7:** Composition en micronutriments des compléments minéraux et vitaminiques produits par les sociétés Nutriset (France) et Roche (Singapour)

Minéraux	/ 100 g MS		Vitamines	/ 100 g MS	
	Nutriset	Roche		Nutriset	Roche
Magnésium (mg)	2800,0	3187,5	Vitamine A (mg éq. ret)	12,8	17,5
Potassium (mg)	29800,0	8321,4	Vitamine D (UI)	6000,0	59380,0
Fer (mg)	96,7	3468,8	Vitamine C (mg)	1300,0	10000,0
Zinc (mg)	256,7	543,8	Thiamine (mg)	24,0	15,0
Iode (mg)	4,0	0,3	Riboflavine (mg)	32,°	30,6
			Nicotinamide (mg)	208,3	437,5
			Acide pantothénique (mg)	160,0	56,3
			Vitamine B12 ( $\mu$ g)	320,0	18,8

Par ailleurs, des  $\alpha$ -amylases industrielles (BAN) produites par Novo Industries SA ont également été utilisées. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau 8.

**Tableau 8 :** Caractéristiques de la BAN 800 MG

- Nom:	BAN 800 MG ; Novo SA, Bagsvaerd, Danemark
- Nature et origine:	Endo-amylase bactérienne ( <i>Bacillus subtilis</i> )
- Forme:	Microgranulés
- Emballage:	fût de 40 Kg
- Durée de stockage:	6 mois à 25°C; plus d'un an à 5°C
- Prix approximatif:	50 000 Fcfa/kg rendu au Burkina Faso
- Innocuité:	Conforme aux spécifications recommandées par FAO/WHO / JEFCA et FCC pour les enzymes de qualité alimentaire
- Activité amylasique:	800 KNU(*) par gramme
- pH optimal:	6,0
- Température optimale:	72°C (de 42 à 85°C l'activité relative reste supérieure au 2/3 de l'activité optimale)
- Produits de dégradation:	Dextrines de différents degrés de polymérisation, oligosaccharides

(\*) KNU (Kilo-Unité Alpha-amylase Novo): quantité d'enzyme qui dégrade 5,26 g d'amidon soluble (Merck, Erg B6) par heure selon la méthode standard Novo.

## 2. PROTOCOLES DES ETUDES REALISEES

Les protocoles des différentes études réalisées sont détaillés dans chacun des articles ou projets d'articles qui y sont relatifs. Nous nous contenterons ici d'en rappeler les grandes lignes.

### 2.1. Etudes des facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant

Les niveaux d'ingérés énergétiques à partir des bouillies données en complément du lait maternel, sont influencés par des facteurs liés à l'aliment, à l'enfant et à la personne prenant soin de l'enfant (Brown, 1997; Trèche, 2002). Dans une première étude, nous nous sommes focalisés sur les facteurs liés à l'aliment et nous avons étudié les effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée sur les ingérés énergétiques des nourrissons de 6 à 10 mois. Au cours de la seconde étude, définie à partir des conclusions de la précédente, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux facteurs liés à l'enfant (accoutumance aux caractéristiques des bouillies) et à la personne prenant soin de l'enfant (nature et fréquence de distribution des aliments autres que les bouillies expérimentales).

### **2.1.1. Etude des effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée des bouillies sur les ingérés énergétiques des nourrissons burkinabè**

Cette étude est un essai expérimental au cours duquel 5 types de bouillies ont été proposés au cours de repas pris en conditions contrôlées, à des enfants de 6 à 10 mois consommant habituellement au moins 2 bouillies par jour en plus du lait maternel.

#### **2.1.1.1. Farines expérimentales**

La composition de quatre farines (tableau 9) à base d'ingrédients locaux a été définie à l'aide du logiciel Alicom en vue d'obtenir 4 bouillies expérimentales:

- une bouillie (B0) ayant les caractéristiques des bouillies habituellement consommées par les nourrissons ouagalais (teneur en matière sèche de 10g/100g, faible densité énergétique de 45 kcal/100g, consistance semi liquide);
- Trois bouillies de forte densité énergétique (environ 100 kcal/100g pour une teneur en matière sèche d'environ 25g/100g) et d'intensité sucrée croissante (faible B1, moyenne B2, forte B3). Pour conférer à ces trois bouillies une consistance semi-liquide comparable à celle de B0, un procédé technologique simple et peu coûteux a été utilisé: l'incorporation aux farines d'amylases industrielles (BAN 800 MG; Novo SA, Bagsvaerd, Danemark) qui hydrolysent partiellement l'amidon et qui réduisent ainsi la viscosité des bouillies.

Une bouillie (BC) a été préparée à partir d'une farine produite en Côte d'Ivoire et commercialisée à Ouagadougou (Cérélac, céréale infantile lactée, blé) à une densité énergétique et à une consistance comparables à celles des bouillies B1, B2, B3 en vue de servir de bouillie témoin.

Les quantités de sucre incorporé ont été définies de façon à ce que (i) la bouillie B1 ait une saveur sucrée comparable à celle de B0, (ii) B3 une saveur sucrée comparable à celle de BC et (iii) B2 une intensité sucrée intermédiaire obtenue en incorporant dans la farine la même proportion de sucre que dans la farine ayant servi à la préparation de la bouillie B0.

**Tableau 9:** Composition en ingrédients des farines expérimentales (g/100 g de farine)

Ingrédients	B0	B1	B2	B3
Mil	66,3	74,3	66,3	55,3
<b>Sucre</b>	<b>9,0</b>	<b>1,0</b>	<b>9,0</b>	<b>20,0</b>
Soja	19,0	19,0	19,0	19,0
Arachide	5,0	5,0	5,0	5,0
Sel	0,7	0,7	0,7	0,7
Amylases	<b>non</b>	oui	oui	oui

#### **2.1.1.2. Protocole expérimental**

L'étude a été réalisée dans un quartier périphérique (secteur 29) de Ouagadougou. Un recensement des enfants de 4 à 9 mois a été effectué à partir des données des SMI. Les ménages des enfants recensés ont été visités pour vérifier les critères d'éligibilité (cf. Annexe 1-1-1) et remplir un questionnaire de données générales (cf. Annexe 1-1-2). Parmi ceux qui ont été déclarés éligibles au début de chaque période, un tirage au sort a été effectué pour sélectionner les 24 enfants qui ont participé à l'étude.

Les enfants devaient être âgés de 6 à 9 mois et demi au début de l'étude, consommer habituellement au moins 2 bouillies par jour, être allaités au sein et avoir un z-score poids/âge supérieur à -2 écart-type. Chaque enfant recevait un même type de bouillie pendant 3 jours consécutifs à raison de 2 bouillies par jour aux heures habituelles de consommation des bouillies par les enfants. Cette période de 3 jours devait permettre de prendre en compte une éventuelle durée d'adaptation nécessaire à chaque changement de régime (Marquis *et al.*,

1993). Pour chaque enfant, la bouillie de faible densité énergétique (B0) et la bouillie Cérélac (BC) ont été données, respectivement, en début et en fin de période expérimentale. L'ordre de distribution des bouillies B1, B2 et B3, à l'intérieur de la période expérimentale, a été déterminée de façon à ce que chaque bouillie soit donnée au même nombre d'enfants en deuxième, troisième et quatrième position (cf. Annexe 1-1-3). Durant toute l'étude, les enquêtrices ont préparé elles-mêmes les 200 g de bouillie, de façon à ce que les conditions de préparation soient identiques. Les bouillies ont été distribuées aux enfants par les mères ou les personnes distribuant habituellement les bouillies, en s'assurant toutefois que rien ne leur était donné dans l'heure précédant la prise de la bouillie.

Les quantités consommées ont été mesurées à chaque repas de bouillie (144 par type de bouillie correspondant à 2 repas pendant 3 jours pour 24 enfants) par pesée avant et après consommation du bol de l'enfant en tenant compte des régurgitations éventuelles (cf. Annexes 1-1-4 à 1-1-7).

### ***2.1.2. Etude de l'influence de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies et de la répartition des prises alimentaires autres que les bouillies sur les ingérés de bouillies de haute et de faible densités énergétiques***

L'objectif de cette deuxième étude était, d'une part, de voir si une plus longue période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies permettait d'augmenter les ingérés à partir des bouillies et, d'autre part, si les autres prises alimentaires de la journée influaient sur ces ingérés. Nous avons donc mesuré après 1, 5 et 10 jours d'accoutumance à des bouillies de haute et de basse densités énergétiques, les ingérés de bouillie et des autres aliments de complément chez des enfants de 6 à 9 mois ainsi que la fréquence et la durée de leurs tétées.

#### **2.1.2.1. Bouillies expérimentales**

Deux types de bouillie, l'une de faible (B1) et l'autre de haute (B2) densités énergétiques, ont été distribués successivement pendant 2 périodes de 10 jours, à raison de 2 repas par jour. Les bouillies B1 ou B2 ont été préparées à partir d'une même farine (composée de mil, soja, arachide, sucre et sel), produite localement et dont la composition est donnée dans le tableau 4, à laquelle était ajoutée ou non une amylase produite industriellement (BAN 800 MG; Novo SA, Bagsvaerd, Danemark). Un complément minéral et vitaminique (CMV Supplementary/GBG) produit par la société Nutriset a également été incorporé dans la farine de façon à respecter au mieux les recommandations les plus récentes au moment de la réalisation de l'étude (WHO, 1998). Les bouillies B1 et B2 ont été préparées de manière à avoir des teneurs en matière sèche les plus proches possible de respectivement 10 et 25% lorsqu'elles étaient préparées avec une consistance correspondant à un écoulement Bostwick d'environ 120 mm/30s. L'incorporation de l'amylase BAN 800 MG dans la farine B2 a permis d'obtenir des bouillies de consistance semi-liquide comparable à celle de la bouillie B1.

#### **2.1.2.2. Protocole expérimental**

Trente enfants ont été recrutés de manière aléatoire parmi une soixantaine d'enfants de 6 à 9 mois recensés dans un quartier (Pissy) du secteur 18 de la ville de Ouagadougou. Les enfants devaient avoir entre 6 et 9 mois au moment de l'étude, ne pas présenter de handicap majeur, ne pas être sévèrement malnutris (Z-score poids par rapport à l'âge  $>-3$  écart-type), être allaités, consommer au moins 5 jours par semaine 2 bouillies par jour et avoir consommé au cours des 2 dernières semaines, moins de 2 fois des bouillies préparées à partir de farines infantiles locales (Kasona ou Misola) dont la composition est proche des bouillies expérimentales. Les parents des enfants recrutés ont donné leur consentement informé pour participer à l'étude.

Dans ce protocole, il y a eu 5 répétitions successives d'un même schéma. Dans chaque schéma, d'une durée de 4 semaines, 6 enfants ont été suivis pendant 2 périodes de 10 jours, chaque période correspondant à la consommation d'un type de bouillie (B1 ou B2). L'intervalle de temps entre les 2 périodes était de 4 jours au cours desquels la mère alimentait comme d'habitude son enfant.

Quinze enfants choisis de manière aléatoire ont reçu les bouillies de faible densité énergétique en première période et celles de haute densité énergétique en deuxième tandis que les 15 autres enfants les recevaient dans l'ordre inverse. Les ingérés à partir des 2 repas journaliers de bouillies ont été mesurés le 1<sup>er</sup>, 5<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> jours de consommation par 2 enquêtrices, préalablement formées au travail qui leur était imparti.

#### 2.1.2.3. Nature des observations réalisées

Au cours du recrutement des enfants, un questionnaire d'éligibilité (cf. Annexe 1-2-1) a été posé afin de savoir si l'enfant répondait aux critères d'inclusion de l'étude et si les parents acceptaient que leur enfant y participe.

Au début de l'étude, le poids des enfants a été déterminé à l'aide d'un pèse-personne de précision 100 g par la méthode de la double-pesée (différence entre poids de la mère et de l'enfant et du poids de la mère seule) ainsi que leur taille mesurée au millimètre près à l'aide d'une toise en position couchée.

Pour chaque enfant, un questionnaire de données générales (cf. Annexe 1-2-2)a été posé à la mère avant le début du suivi dans le but de caractériser l'histoire alimentaire, le suivi sanitaire et l'environnement socio-économique de l'enfant.

Des fiches de recueil des observations ont été utilisées pour enregistrer les informations relatives à chaque repas de bouillie. Sur cette fiche figuraient des observations sur l'état de santé (cf. Annexe 1-2-3)des enfants (épisodes diarrhéiques, infections respiratoires aiguës, fièvres et autres maladies), toutes les consommations alimentaires de l'enfant (nature de l'aliment, heures de début et de fin de consommation) durant les heures de présence de l'enquêtrice au domicile de l'enfant (cf. Annexe 1-2-4). Les quantités consommées ont été évaluées à partir de la durée de la tétée pour le lait maternel et par pesées pour les autres aliments. Pour les repas de bouillies expérimentales, des observations relatives aux modalités de distribution ont été faites et les ingérés ont été mesurés en pesant le bol avant et après consommation et en tenant compte des éventuelles régurgitations (cf. Annexe 1-2-5). A la fin de chaque repas de bouillies expérimentales, il a été demandé aux mères si la quantité consommée était plus faible, comparable ou plus élevée que les quantités généralement consommées par leur enfant. Au début de chaque journée d'observation, les enfants ont été pesés afin de pouvoir exprimer les ingérés par kg de poids corporel.

## **2.2. Mise au point de formules et de procédés améliorés pour la production de farines infantiles**

Depuis plusieurs années, la production locale de farines infantiles a été encouragée au Burkina Faso et plusieurs unités artisanales de production ont vu le jour dans différentes régions. Cependant, les farines proposées comportent des limites et insuffisances dont les plus importantes sont leur prix encore élevé, leur mauvais équilibre en nutriments ainsi que leur faible densité énergétique et leurs qualités organoleptiques médiocres après transformation en bouillie. Les travaux réalisés dans le cadre de la thèse ont eu pour objectifs de proposer et de tester des voies d'amélioration des farines infantiles aux niveaux de leur formulation et du choix des procédés technologiques à utiliser pour leur production locale, notamment en milieu rural.

### **2.2.1. Définition de formules de farines infantiles équilibrées en nutriments**

Les formules des farines infantiles étudiées ont été 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 ont été les teneurs maximales ou minimales en nutriments exprimées sur la base des apports énergétiques correspondant aux recommandations les plus récentes au moment de leur élaboration (WHO, 1998). Les produits alimentaires étaient caractérisés par leur composition en nutriments et leur prix. Pour chaque liste d'aliments disponibles, le logiciel a permis de calculer la combinaison d'aliments la plus économique répondant à l'ensemble des objectifs nutritionnels.

Ce logiciel a notamment été utilisé pour essayer d'optimiser la formule de la farine infantile Kasona produite au niveau du Centre Féminin d'Aliment de Sevrage (CFAS).

### **2.2.2. Utilisation de l'analyse sensorielle pour optimiser les qualités organoleptiques d'une farine infantile**

L'objectif de cette étude était de proposer et d'étudier l'effet sur l'acceptabilité organoleptique des modifications qu'il était envisagé d'apporter à la formule de la farine Kasona.

#### **2.2.2.1. Description des comparaisons effectuées au cours des différentes séances**

Huit séances (S1 à S8) d'évaluation sensorielle ont été organisées auprès d'un panel constitué de 12 à 18 mères d'enfants âgés de 6 à 12 mois. Au cours de chaque séance, une série de tests représentant une possibilité d'amélioration a été réalisée. Ces améliorations ont consisté en l'optimisation du taux d'incorporation d'ingrédients déjà présents dans la formule ou d'ingrédients nouveaux et en la sélection d'ingrédients d'aromatisation différents. L'effet de la substitution partielle du principal ingrédient (mil) par un autre (maïs) a également été étudié dans la perspective de parer à une évolution de la disponibilité et/ou du coût des matières premières. Par ailleurs, des amyloses industrielles (BAN 800 MG) ont été incorporées dans les farines dans des proportions permettant de leur conférer simultanément une densité énergétique (100 kcal/100g de bouillie) et une consistance appropriées. Les bouillies comparées au cours de chaque séance étaient de même consistance et de même couleur.

Les farines testées ont correspondu à (i) trois taux d'incorporation d'un ingrédient déjà présent dans la formule: le sucre: (S1: 1%, 9% et 20% / S2: 10%, 15% et 20%), l'arachide (S3: 1%, 5% et 9% / S4: 9%, 11% et 13%) et le sel (S5: 4%, 7% et 10%); (ii) trois taux d'incorporation d'un ingrédient nouveau, le lait en poudre (S6: 1%, 5% et 9%); (iii) l'incorporation de trois ingrédients d'aromatisation différents (S7: 5% de pain de singe, 10% de pulpe séchée de néré, 2,5% de pain de singe et 5% de pulpe séchée de néré) et (iv) trois taux de substitution (S8: 0%, 25% et 50%) du mil par du maïs .

#### **2.2.2.2. Description des tests utilisés**

Les tests utilisés ont été choisis parmi ceux couramment utilisés en évaluation sensorielle (Sauvageot, 1980) en supposant que, pour des contraintes logistiques lors de la préparation des bouillies et de fatigue sensorielle des dégustatrices, il n'était pas possible de comparer plus de trois bouillies au cours de chaque séance. Les tests retenus ont été des tests de différenciation 2 sur 5, des épreuves par paire (Norme NF V09-001, 1988) et des tests de classement par ordre de préférence (Norme NF V09-018, 1988) des bouillies.

### **2.2.3. Définition des modalités d'utilisation de trois sources amylasiques pour conférer aux bouillies une densité énergétique et une consistance appropriées**

L'objectif de cette étude était de proposer des procédés enzymatiques permettant de préparer, à partir des farines infantiles, des bouillies ayant à la fois une densité énergétique et une consistance adaptées aux besoins nutritionnels et aux habitudes alimentaires des jeunes enfants.

Les trois sources d'amylase sélectionnées ont été la BAN 800 MG (Novo S.A., Bagsvaerd, Danemark), une farine de malt d'orge provenant des brasseries Brakina et des farines de sorgho germé provenant de 10 ateliers traditionnels de production de bière de sorgho (*dolo*). Des quantités croissantes de ces 3 sources enzymatiques ont été ajoutées (de 4,5 à 6,3 mg d' $\alpha$ -amylase BAN /100 g de farine infantile) ou incorporées (de 1,7 à 5,7 g de malt d'orge et de 7,4 à 15,5 g de l'échantillon moyen de sorgho germé /100 g de farine infantile) dans les farines. Par ailleurs, pour estimer la variabilité de l'activité amyloytique des farines de sorgho germé, chacun des 10 échantillons de sorgho germé récoltés dans les ateliers traditionnels a été incorporé dans la farine infantile à un taux correspondant à celui ayant permis d'atteindre la valeur d'écoulement la plus proche de 120 mm/30 s avec l'échantillon moyen de sorgho germé.

Des bouillies ont été préparées à des concentrations les plus proches possibles de 25 g MS/100 g et leur distance d'écoulement Bostwick mesurée.

Des données relatives aux prix de vente ont été recueillies auprès du fournisseur pour la BAN 800 MG, de la brasserie Brakina pour le malt d'orge et des dolotières pour le sorgho germé. La comparaison des contraintes d'utilisation des trois sources d'amylase a porté sur leur disponibilité, leur facilité de mise en œuvre dans de petites unités de production de farine infantile, leur activité amyloytique, leur aptitude à la conservation, leur acceptabilité culturelle par les populations, leurs risques de toxicité et leur durée de préparation.

### **2.2.4. Mise au point de sources enzymatiques locales susceptibles d'être incorporées dans les farines infantiles**

Les travaux précédents ayant mis en évidence la grande variabilité du pouvoir amyloytique des farines de sorgho germé issues des ateliers traditionnels, une étude a été menée avec pour objectif général de caractériser les procédés traditionnels de maltage des céréales à Ouagadougou en vue de l'incorporation de farine de céréales germées dans des farines infantiles susceptibles d'être produites en milieu rural. Cette étude a été réalisée en deux phases.

L'objectif de la première phase a été d'identifier, d'une part, les variantes existant au niveau du procédé traditionnel utilisé et, d'autre part, certaines modifications biochimiques intervenant dans les graines au cours du maltage.

Pour ce faire, 191 ateliers de maltage (AM) de sorgho, 4 AM de mil et 3 AM de maïs ont été recensés dans les secteurs 17, 19, 29 et 30 de la ville de Ouagadougou. Concernant les AM de sorgho, des regroupements ont été faits sur la base de similitudes observées au niveau des schémas de production. Ces regroupements ont permis d'obtenir 20 schémas de production présentant des variantes à certaines étapes et, pour chaque schéma, un atelier a été tiré au sort. En revanche, tous les AM de mil et de maïs ont été retenus compte tenu de leur faible nombre. Les farines maltées provenant des 27 ateliers ont été incorporées dans une farine infantile locale au taux de 8% et des bouillies ont été préparées à des concentrations les plus proches possibles de 25 g de farine sèche pour 100 g de bouillie afin d'estimer leur consistance en mesurant leurs distances d'écoulement Bostwick (mm/30s). L'objectif était d'identifier les savoir-faire ou les variantes d'un même schéma général de fabrication susceptibles de

conduire à des farines ayant un effet fluidifiant maximal sur les bouillies. A partir des résultats obtenus, 8 ateliers transformant soit le sorgho rouge (5 AM), soit le mil (2 AM), soit le maïs (1 AM) ont été sélectionnés en fonction de l'efficacité des farines maltées à fluidifier les bouillies et de la description des procédés utilisés.

Ces 8 ateliers ont été suivis, chacun pendant 3 productions, dans le but d'étudier les différentes étapes de leur technique de maltage et d'établir un diagramme de production détaillé pour chaque atelier. Au cours de cette phase de suivi, des échantillons ont été prélevés à certaines étapes du procédé. Ces étapes ont été définies d'après les informations obtenues sur les procédés de fabrication lors de la phase de sélection.

Pour préciser l'influence de certaines variantes du procédé de maltage sur certaines caractéristiques biochimiques du sorgho rouge, nous nous sommes intéressés, au cours d'une seconde phase, à deux AM de sorgho, parmi les cinq précédents, présentant des différences importantes au niveau des procédés utilisés. Il avait été observé précédemment que l'une des productrices incorporait fréquemment mais pas systématiquement, des cendres de bois aux graines de sorgho après trempage, ce qui, selon la productrice, permet la préparation d'une bière traditionnelle plus alcoolisée et de meilleur goût. Nous lui avons demandé de fabriquer le malt selon ces deux variantes (addition ou non de cendres après trempage). La troisième variante étudiée, mise en œuvre par la deuxième productrice, consiste en l'introduction d'une étape de maturation avant séchage des graines germées. Pour éliminer la part de la variabilité liée à l'origine de la matière première utilisée, des grains de sorgho provenant d'un même lot acheté sur le marché ont été fournis aux deux AM mais les productrices ont été laissées libres de choisir, en fonction de leur savoir-faire les durées de trempage et de germination ainsi que leurs supports de germination. Pour chacune des trois variantes, trois productions ont été suivies, et des échantillons ont été prélevés après trempage, germination, maturation, séchage et égermage.

Les échantillons prélevés au cours des deux phases de l'étude ont été congelés, lyophilisés, broyés, tamisés (taille des particules < 500 µm) et stockés dans une chambre froide à 4°C avant réalisation des analyses biochimiques au Laboratoire de Nutrition de l'UR 106 du Centre IRD de Montpellier (France).

### **2.3. Evaluation de l'efficacité biologique d'une farine infantile en zone rurale**

Cette étude avait pour objectif de comparer, à partir de l'âge de 6 mois et pendant une période de 4 mois (*i*) le niveau d'ingéré, (*ii*) la croissance ainsi que l'évolution des concentrations (*iii*) en hémoglobine et (*iv*) en rétinol sérique, de deux groupes d'enfants consommant, respectivement, de manière régulière, des bouillies améliorées (Zone d'intervention) ou les aliments de complément tels qu'ils sont habituellement préparés et distribués au niveau des ménages (Zone témoin) dans la région du Boulgou.

#### **2.3.1. Caractérisation de la zone d'étude**

L'étude a été mise en place dans le village de Ouarégou situé dans la province du Boulgou, localisée au centre sud du pays. La province du Boulgou, composée de 13 départements répartis autour de la ville de Tenkodogo, est divisée en 4 districts sanitaires et le département de Garango relève de celui de Tenkodogo. Le département de Garango est divisé en 13 formations sanitaires dont celle de Ouarégou. Le choix du département a été motivé par le fait que (*i*) des données de base concernant l'état nutritionnel et les pratiques alimentaires du jeune enfant étaient disponibles (Noukpoape, 1997), (*ii*) qu'il existe des réseaux de femmes très dynamiques dans la région, (*iii*) que les partenaires de la santé avaient montré un intérêt pour

participer à des activités selon une approche communautaire, (*iv*) qu'il existe dans cette province une homogénéité sur le plan humain et culturel.

L'aire sanitaire de Ouarégou a une superficie de 33,37 km<sup>2</sup> et avait en 2001, selon les informations données par le centre de santé, une population totale de 13688 habitants répartie en 4 villages: Ouarégou (*8436 habitants*), Dissian (*2662 habitants*), Bangoula (*2327 habitants*) et Peulh (*273 habitants*). Le village de Ouarégou est le plus important du point de vue de la superficie et de l'effectif de la population. Il a une superficie de 21,22 km<sup>2</sup> et est constitué administrativement de 4 quartiers: Natenga, Topra, Koassagou et Tengsoba. Pour notre étude, l'aire sanitaire de Ouarégou a été divisée en deux zones: d'une part, la zone d'intervention constituée par les quartiers Natenga, Topra et Koassagou du village de Ouarégou, regroupant une population totale d'environ 7951 habitants; d'autre part, la zone témoin constituée par les villages de Dissian, de Bangoula et de Peulh et du quartier Tengsoba de Ouarégou, regroupant environ 5737 habitants. La mise en œuvre de l'étude a nécessité une explication approfondie des protocoles aux personnes ressources (chefs de villages, de quartiers etc.) et une vigilance permanente afin qu'il n'y ait pas d'interférences entre zone d'intervention et zone témoin. L'intervention a été étendue à la zone témoin, un an après le début de sa mise en œuvre dans la zone d'intervention, après une enquête effectuée dans les deux zones pour évaluer son impact sur l'état nutritionnel des enfants (résultats non repris dans le cadre de cette thèse).

### **2.3.2. Sujets**

Pour être éligibles, les enfants devaient être âgés de 6 mois ± 7 jours au moment du recrutement, être allaités par leurs mères, ne pas être sévèrement malnutris (Z-score poids/taille et Z-score taille/âge > - 3ET; NCHS), ne pas être atteints de handicaps sévères, ne pas être des jumeaux et appartenir à une famille ne prévoyant pas un déplacement ou un voyage de plus d'une semaine au cours des 4 mois de l'étude.

L'effectif de l'échantillon d'enfants a été calculé en tenant compte des différences que l'on souhaitait être capable de détecter au niveau des variables principales, de la variabilité de ces variables principales et de l'erreur que l'on a jugé raisonnable d'accepter compte tenu du phénomène étudié et de la puissance souhaitée (Buyer, 1996). Dans la présente étude, le calcul de l'effectif d'enfants a été fait à partir d'une variable principale qui est la croissance en taille. Nous avons, par la suite, recherché les différences que l'on pouvait mettre en évidence ainsi que les risques associés pour les autres variables (ingérés à partir des aliments de complément, concentrations en hémoglobine et en rétinol sérique) avec l'effectif d'enfants calculé pour la variable principale.

Pour mettre en évidence une amélioration de la croissance en taille de 1,2 cm en 4 mois entre le groupe d'enfants consommant les bouillies améliorées (GI) et le groupe d'enfants consommant les bouillies traditionnelles (GT) et en fixant les risques alpha et bêta à 5% (puissance statistique de 95%), 42 enfants par groupe étaient nécessaires, en estimant à 1,7 cm l'écart-type de la différence de taille chez les enfants entre 6 et 10 mois à partir de l'écart-type observé dans des études similaires antérieures menées au Congo (Moursi *et al.*, 2003).

Cet effectif de 42 enfants par groupe était par ailleurs suffisant pour mettre en évidence :

- une amélioration de la concentration en hémoglobine de 8,0 g/l en 4 mois entre le groupe GI et le groupe GT avec des risques alpha et bêta à 5% (puissance statistique de 95%) en estimant l'écart-type de la différence de concentration en hémoglobine chez les enfants entre 6 et 10 mois à 11 g/l (Berger *et al.*, 1997).
- une amélioration de la concentration en rétinol sérique de 0,15 µmol/l en 4 mois entre le groupe GI et le groupe GT avec un risque alpha de 5% et un risque bêta de 10% (puissance statistique de 90%) en estimant l'écart-type de la différence de concentration en rétinol sanguin à 0,21 µmol/l (Zagré, 2002).

- une amélioration de l'ingéré énergétique à partir des aliments de complément dans le groupe GI de 17,5% avec un risque alpha de 5% et un risque bêta de 15% (puissance statistique de 85%) en estimant l'écart-type de l'ingéré énergétique à partir des aliments de complément à 20 kcal/kg et par jour.

Pour tenir compte d'éventuelles pertes d'effectifs en cours d'étude, deux groupes de 45 enfants, ont été enrôlés sur une période de 7 semaines.

Une base de sondage a été constituée à partir des naissances déjà enregistrées au CSPS et d'un recensement complémentaire pour identifier les enfants nés à domicile et ne fréquentant pas le CSPS.

Le protocole a été soumis et approuvé par les autorités sanitaires locales et nationales et le consentement verbal des parents a été obtenu après qu'ils aient été informés des objectifs et du déroulement de l'étude dans leur langue vernaculaire.

### **2.3.3. Farine expérimentale et bouillies traditionnelles**

Les compositions en ingrédients et nutriments des bouillies améliorées et traditionnelles sont données dans le tableau 10.

**Tableau 10:** Composition en ingrédients et en nutriments des bouillies expérimentales et traditionnelles

	Bouillies expérimentales	Bouillies traditionnelles <sup>1</sup>
<b>Composition en ingrédients (g/100 g de matière brute)</b>		
Mil	49,0	- Bouillies fermentées
Soja	18,0	
Malt de sorgho	<b>8,7</b>	
Sucre	10,3	- Bouillies à base de :
Arachide	6,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ mil</li> <li>▪ maïs</li> <li>▪ sorgho</li> <li>▪ riz</li> </ul>
Pulpe de néré	<b>6,0</b>	
Sel iodé	0,67	
Carbonate de calcium	<b>0,67</b>	
Complément minéral et vitaminique	<b>0,41</b>	
<b>Composition en nutriments (/100 g de matière sèche)</b>		
Protéines (g)	16,8	6,6 ± 2,1
Lipides (g)	9,9	3,0 ± 0,8
Energie (kcal)	435	410 ± 4
Fer (mg)	25,5	7,2 ± 2,1
Zinc (mg)	6,1	1,8 ± 1,1
Calcium (mg)	396	185 ± 105
Phosphore (mg)	348	213 ± 37
Vitamine A (µg ER <sup>2</sup> )	193	1,4 ± 0,9

<sup>1</sup> Moyenne ± écart-type obtenue sur 7 types de bouillies différents.

<sup>2</sup> Equivalent rétinol.

La farine expérimentale a été formulée de façon à apporter les constituants nécessaires pour donner aux bouillies une consistance appropriée (incorporation de farine de sorgho germé) lorsqu'elles sont préparées à une densité énergétique d'au moins 100 kcal/100 g et pour en

améliorer l'acceptabilité (farine de *néré*) et l'équilibre en micronutriments (complément minéral et vitaminique). Les procédés de fabrication de la farine ont été transférés à 2 groupements féminins de la zone d'intervention de façon à pérenniser leur utilisation. Les bouillies traditionnelles généralement consommées par les enfants du groupe témoin étaient des bouillies de mil fermenté ou des bouillies à base de mil, de maïs, de sorgho ou de riz.

#### **2.3.4. Recrutement et rôle des enquêtrices**

Six enquêtrices ont été recrutées dans le cadre de cette étude, à raison de trois enquêtrices par zone. Chacune des enquêtrices a reçu une formation, comprenant des mises en situation réelle, relative au travail qui lui était impartie. Deux enquêtrices ont été chargées de l'enquête d'éligibilité et de l'enquête de données générales, de la distribution hebdomadaire de la farine infantile ainsi que du suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires et de la morbidité des enfants. A l'occasion de la première distribution de la farine, les mères ont été formées au mode de préparation des bouillies.

Les quatre autres enquêtrices ont réalisé dans les ménages recrutés, des mesures d'ingrédients et des observations relatives aux consommations alimentaires des jeunes enfants (lait maternel, bouillies, boissons, autres aliments, etc.).

#### **2.3.5. Collecte des données**

##### **2.3.5.1. Enquête sur les caractéristiques socio-économiques des ménages et suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires et de la morbidité chez les enfants**

Les pratiques alimentaires de 0 à 6 mois et l'environnement socio-économique de l'enfant ont également été décrits à l'aide d'un questionnaire de données générales (cf. Annexe 2-2) rempli le premier jour du suivi de l'enfant.

Des fiches de suivi hebdomadaire de la morbidité (cf. Annexe 2-3) et des pratiques alimentaires (cf. Annexe 2-4) ont été remplies, à partir de l'âge de 6 mois jusqu'à l'âge de 10 mois, par deux enquêtrices de manière à pouvoir suivre, d'une part, les épisodes diarrhéiques, les infections respiratoires aiguës, les fièvres et autres maladies tout le long de l'étude et, d'autre part, la nature des consommations alimentaires de la semaine.

##### **2.3.5.2. Mesures anthropométriques**

Les mesures anthropométriques (cf. Annexe 2-5) ont été prises chez chaque enfant aux âges de 6 et 10 mois. Les enfants ont été pesés à l'aide d'un pèse-personne (différence entre poids de la mère et de l'enfant et poids de la mère seule) et leur taille mesurée au millimètre près à l'aide d'un infantomètre (Holtain Limited, Crymych, United Kingdom; résolution: 0,1 cm) en position couchée. Les mesures ont été répétées jusqu'à l'obtention de trois valeurs présentant une différence d'au maximum 100 g pour le poids et d'au maximum 1 millimètre pour la taille. Les valeurs moyennes ont été retenues.

### 2.3.5.3. Collecte des échantillons de sang

Les statuts en fer et en vitamine A ont été évalués, respectivement, par la détermination de la concentration en hémoglobine et de la teneur en rétinol sérique. Il est admis que l'évaluation du statut en vitamine A par le rétinol sérique, plutôt que par des méthodes plus fiables comme l'estimation des réserves totales de l'organisme par les méthodes isotopiques, représente une faiblesse. En revanche, lorsque qu'il est utilisé pour comparer des groupes vivant dans les mêmes conditions ou un même groupe à deux périodes différentes, la comparaison est valide, les facteurs d'influence étant les mêmes. Par ailleurs, le rétinol sérique est adapté aux conditions des PED peu équipés et il est beaucoup moins cher (WHO, 1996).

Les prélèvements sanguins ont été effectués, simultanément aux mesures anthropométriques, chez chaque enfant aux âges de 6 et 10 mois, par l'infirmier principal du CSPS de Ouarégou. Environ 5 ml de sang ont été prélevés dans un vacutainer à partir d'une veine superficielle de la main chez tous les enfants. Environ 1 ml de chaque échantillon individuel de sang a été prélevé pour le dosage de l'hémoglobine. Le sérum (obtenu après avoir laissé reposé le sang au réfrigérateur pendant environ 2 heures) issu du reste de chaque échantillon a été récupéré dans des micro-tubes de 1,8 ml qui ont été étiquetés, recouverts de papier aluminium (afin de les protéger de la lumière) et transférés dans une glacière le même jour à Ouagadougou (Laboratoire de Nutrition du Centre IRD) où ils ont été conservés à -32°C jusqu'aux analyses de rétinolémie.

Des mesures de sécurité ont été prises pour le prélèvement, notamment le travail avec des gants et l'utilisation de matériel à usage unique.

### 2.3.5.4. Evaluation des ingérés alimentaires des enfants

Les observations et mesures relatives aux ingérés alimentaires ont été réalisées à domicile chez chaque enfant, pendant toute une journée à l'âge de 7, 8, 9 et 10, ce qui représente un total de 172 observations dans chaque groupe. Elles ont été réalisées par 4 enquêtrices qui arrivaient au domicile des enfants une heure avant la prise de la première bouillie et y restaient jusqu'au coucher de l'enfant (environ 12 heures). Chaque repas de lait maternel ou d'aliments de complément et chaque boisson ont été mentionnés sur une fiche récapitulative des repas de la journée (cf. annexe 2-6). Pour le lait maternel, les données relevées ont porté sur la fréquence et la durée des tétées. Les quantités consommées ont été évaluées pour les boissons, les repas de bouillie (cf. annexe 2-7) et d'autres aliments de complément (cf. annexe 2-8), en pesant avant et après consommation les récipients et en tenant compte des pertes éventuelles.

Pour chaque repas d'aliments de complément, deux prélèvements ont été effectués, conservés dans le congélateur du centre de santé, et transportés à l'hôpital de Garango pour détermination de la teneur en matière sèche. Selon le type d'aliments, un échantillon moyen a été constitué ou une liste précise des ingrédients et des proportions de ces ingrédients a été réalisée pour estimer leur teneur en macronutriments et leur contenu énergétique, respectivement, par analyse ou en consultant des tables de composition (Souci *et al.*, 1994; Nordeide *et al.*, 1996).

Au cours de chaque journée d'observation, les enfants ont été pesés en début de journée par les enquêtrices à l'aide d'un pèse-personne autant de fois que nécessaire pour obtenir 3 valeurs différant d'au maximum 200g, ce qui a permis d'exprimer les quantités consommées et les ingérés énergétiques par unité de poids corporel.

### 3. METHODES D'ANALYSES PHYSIQUES ET BIOCHIMIQUES

Toutes les déterminations ont été faites en double sauf quelques déterminations de l'activité  $\alpha$ -amylasique ainsi que le dosage de l'hémoglobine qui ont été faites en triple.

#### 3.1. Evaluation de la consistance des bouillies

La consistance des bouillies a été estimée par la mesure de l'écoulement Bostwick (Bookwalter *et al.*, 1968). 100 g de bouillie sont versés dans le premier compartiment d'un consistomètre de Bostwick (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, Virginia, USA). Lorsque la bouillie atteint  $45,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , 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.

#### 3.2. Détermination de la composition globale

La détermination de la teneur en matière sèche a été faite par dessiccation à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  jusqu'à poids constant. La teneur en protéines ( $\text{N} \times 6,25$ ) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl telle qu'elle est décrite dans 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) en utilisant de l'éther de pétrole comme solvant d'extraction). Les fibres totales (solubles et insolubles) ont été dosées par la méthode gravimétrique et enzymatique de Prosby *et al.* (1988). Les cendres totales ont été déterminées par minéralisation au four à  $530^{\circ}\text{C}$ . Les glucides totaux ont été calculés par différence ( $100 - \text{protéines} - \text{lipides} - \text{fibres} - \text{cendres}$ ). La valeur énergétique théorique de la farine a été calculée en prenant respectivement 4, 4 et 9 kcal/g comme coefficients de conversion des protéines, glucides et lipides.

#### 3.3. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles ont été extraits à partir d'une prise d'essai de 0,8 g de farine additionnée de 3 ml de solution d'éthanol à 80% qui est mise à agiter pendant 30 min dans un bain marie à  $90^{\circ}\text{C}$  puis centrifugée à 4000g pendant 10 min à  $4^{\circ}\text{C}$ . Le surnageant est récupéré et le même mode opératoire est appliqué sur le culot. Les deux surnageants cumulés sont évaporés à sec, pendant une nuit, à l'aide d'un évaporateur centrifuge Speed vac (JOUAN RC 10-10, Saint Herblain, France), puis stockés à  $4^{\circ}\text{C}$  avant le dosage des sucres par chromatographie ionique. Le culot obtenu après évaporation est repris dans 10 ml d'eau millipore puis filtré pour servir au dosage des sucres. Le glucose, le fructose et le saccharose ont été dosés par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil Dionex DX 500 (Sunnyvale, CA, USA) en utilisant une colonne échangeuse d'anions Carbo PAC PA1. La détection est faite par ampérométrie pulsée et l'éluant utilisé est de la soude 90 mM. Les résultats sont exprimés en g/100 g MS.

#### 3.4. Détermination de l'activité alpha-amylasique

L'activité alpha-amylasique a été déterminée en utilisant une méthode colorimétrique utilisant le kit Amylazyme mise au point par la société Megazyme (Wicklow, Irlande). Elle consiste en une hydrolyse à  $40^{\circ}\text{C}$  par l' $\alpha$ -amylase extraite des échantillons à doser (0,5 g) d'un substrat spécifique fourni par le kit (Azurine cross linked ou AZCL-amylose). Cette hydrolyse entraîne la production de fragments de substrats colorés. La vitesse de libération de ces fragments colorés, mesurée par absorbance à 590 nm, est proportionnelle à l'activité de l'enzyme. L'activité est exprimée en unités Céralpha par gramme de matière sèche (U/g MS; ICC Standard No. 303, Megazyme International, Irlande).

### 3.5. Estimation de l'activité phytasique

Les phytases ont été extraites selon les méthodes de Konietzy *et al.* (1995) et Bergmann *et al.* (2000). Après une incubation de l'extrait enzymatique avec une solution de phytate de sodium 2,5 mM en présence d'un tampon acétate (0,1 M, à pH 5,6), l'activité phytasique a été déterminée par spectrophotométrie à 405 nm en dosant le phosphore inorganique libéré selon une méthode colorimétrique décrite par Heinonen *et al.* (1981). Les résultats sont exprimés en mg d'H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> libéré/heure/100 g MS.

### 3.6. Dosage des phytates

L'extraction et le dosage des phytates (*myo*-inositol hexaphosphate, IP6) ont été réalisés selon Talamond *et al.* (1998). Les phytates sont extraits à partir d'une prise d'essai de 0,2 g de farine additionnée de 10 ml d'HCl 0,5 M qui est mise à agiter pendant 6 min dans un bain marie bouillant puis centrifugé à 5000g pendant 20 min à 4°C. Le surnageant est récupéré et amené à une concentration en HCl équivalente à 2 M en ajoutant 1,5 ml d'HCl 12 N. Les échantillons sont ensuite rassemblés et évaporés à sec à 40°C à l'aide d'un évaporateur centrifuge Speed vac (JOUAN RC 10-10, Saint Herblain, France), puis stockés à 4°C avant le dosage des phytates par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil Dionex DX 4500i (Sunnyvale, CA, USA). Dix minutes avant l'injection, le culot est repris dans 2 ml d'eau millipore à l'aide d'une seringue munie d'un filtre de porosité 0,2 µm (Acrodisc). Le filtrat est dilué au 1/50 et 50 µl sont passés sur une colonne échangeuse d'anions Omniac Pax-100 (25 cm x 4 mm I.D. Dionex) équipé d'une pré-colonne Omniac Pax-100 (8 µm) et d'un suppresseur d'anions (ASRS-I 4 mm). La détection est faite par conductivité. La séparation est réalisée grâce à un gradient d'élution composé de trois solvants qui sont la soude (0,2 M), l'isopropanol (1/1, v/v) et l'eau millipore. Les valeurs sont exprimées en g IP6/100 g MS.

### 3.7. Détermination des teneurs en fer et en zinc

Les teneurs en fer et en zinc ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (Varian SpectraAA 200, Victoria, Australie) après minéralisation par voie sèche (2 h à 530°C) de 2 à 4 g de farine et solubilisation des cendres dans 25 ml d'HCl 0,5 N. Les résultats sont exprimés en mg/100 g MS.

### 3.8. Dosage des cyanures totaux

Les cyanures totaux ont été dosés par une méthode colorimétrique à l'aide du kit Spectroquant (Merck 114800) selon Ikediobi *et al.* (1988) et Okoh *et al.* (1988). Approximativement 1 g de produit, additionné de 5 ml de tampon phosphate (0,1 M; pH 6,8) sont mélangés vigoureusement, homogénéisés à l'ultra-turrax à tige fine pendant 1 min et centrifugés à 12000 rpm à 4°C. Le surnageant est récupéré et le même mode opératoire est appliqué sur le culot encore 2 fois. Les surnageants sont alors soigneusement récupérés dans un tube bouché et conservé dans de la glace. 100 µl du surnageant additionné de 1 ml de NaOH 0,1 M sont incubés 30 min à température ambiante, puis 6,9 ml de tampon phosphate 50 mM pH 6 sont ajoutés. Sur 5 ml des extraits précédents, on ajoute 1µ-cuillère de réactif CN-1A (chlore), 1µ-cuillère de réactif CN-2A (acide diméthyl-1,3-barbiturique) et 3 gouttes de réactif CN-3A (pyridine). Après 5 min de repos, l'absorbance est lue à 585 nm contre les échantillons à blanc (mélange composé de 7 ml de tampon phosphate 50 mM pH 6,0 + 1 ml de NaOH 0,1 M). Les résultats sont exprimés en ppm (mg HCN/kg).

### **3.9. Dosage du rétinol sérique**

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de toxicologie et de chimie analytique de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Santé (UFR/SDS) de l'Université de Ouagadougou selon une méthode adaptée de celle de Sapin *et al.* (2000) et décrite par Zagré (2002). Le système HPLC utilisé est composé d'une pompe Altech, d'un détecteur Linear UVIS 200, d'un système d'injection et d'un intégrateur. Après extraction à l'hexane et évaporation sous azote inerte, la séparation a été réalisée dans une colonne phase reverse de type C18 Nucleosyl, et utilisant une phase mobile constituée de méthanol (95%), d'acetonitrile (3%) et d'eau bi-distillée (2%), à un débit de 2 ml/min. La détection a été réalisée à 325 nm, puis la double acquisition sur intégrateur et support informatique. La quantification a été faite par rapport à 15 picomoles d'acéate de rétinol, utilisé comme standard interne et préalablement utilisé pour déterminer le facteur de calibration.

### **3.10. Dosage de l'hémoglobine**

Le dosage de l'hémoglobine a été effectué en triple par la méthode colorimétrique à la cyanmethémoglobine (Sigma Diagnostic CSC Europe, n°525) dans laquelle l'hémoglobine totale, à pH alcalin, est convertie en cyanodérivé. L'absorbance du cyanodérivé est lire à 540 nm.

## **4. METHODES D'ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES**

Le logiciel Epi-Info (version 6.04d; CDC, Atlanta) a été utilisé pour la saisie des données et pour le calcul des indices anthropométriques. Les indices Poids/Taille, Taille/Age et Poids/Age des enfants ont été établis en score d'écart-type (ET) de la population de référence NCHS/CDC (WHO, 1986). Le seuil conventionnel de -2ET a été utilisé pour définir respectivement une émaciation, un retard de croissance et une insuffisance pondérale.

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide des logiciels Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc., Etats-Unis), StatView 5.0 et SAS 8.2 pour Windows (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

La normalité des données quantitatives a été étudiée en utilisant la combinaison de plusieurs tests de normalité: le test d'adéquation du Chi-carré, les tests de Shapiro-Wilks et de Kolmogorov-Smirnov. L'homogénéité des variances a été étudiée par le test de Bartlett. Selon les distributions observées, certaines données ont été transformées (transformation Log) en vue de l'utilisation de tests paramétriques et d'autres ont été conservées comme telles et ont été analysées à l'aide de tests non paramétriques.

Pour toutes les comparaisons effectuées sur les variables des différentes études, le seuil de signification statistique a été fixé à 0,05.

Le test de corrélation de Pearson a été utilisé avec les données issues de certaines études pour mettre en évidence les liens existants entre les variables quantitatives et éventuellement déterminer les variables d'ajustement. Lorsque des différences ont été observées entre deux groupes d'enfants, le modèle linéaire général (GLM) a été utilisé pour ajuster ces différences (cas de l'étude décrite en 2.3.). Le test t, le test t pour échantillons appariés, les tests de Mann Whitney, de Wilcoxon et de Friedman ont été utilisés pour comparer les données quantitatives. Lorsque des différences étaient observées en utilisant le test de Friedman, les variables ont été comparées deux à deux en utilisant le test de Wilcoxon. Le test du Chi-carré a été utilisé pour étudier l'existence de relations entre deux variables qualitatives.

Pour étudier les effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée sur les ingérés de bouillies (cf. 2.1.1.), nous avons utilisé le modèle linéaire général (GLM). La méthode statistique utilisée pour tester s'il y a un effet des caractéristiques des bouillies sur les ingérés est une analyse de variance (ANOVA). Dans un premier temps, les variables explicatives du modèle étaient l'enfant, le jour de consommation (3 niveaux, 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> jour), le rang du repas de bouillie (2 niveaux, 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> repas de bouillie) et le type de bouillies (5 niveaux). Les variables qui n'avaient pas d'effet significatif ont été éliminées et nous avons gardé dans le modèle final les variables enfant et type de bouillies. Le test de Student-Newman-Keuls a été utilisé pour comparer les quantités moyennes de bouillies consommées et les ingérés énergétiques moyens en fonction du type de bouillies.

Pour évaluer les effets de la durée de la période d'accoutumance sur les ingérés de bouillies de faible (B1) et de haute (B2) densités énergétiques (cf. 2.1.2.), les analyses ont été conduites en deux étapes. Dans une première étape, les variables suivantes ont successivement été considérées comme les variables dépendantes: teneur en matière sèche des bouillies, densité énergétique des bouillies, température de début de distribution des bouillies, fréquences et durées des tétées et fréquences et quantités d'eau consommées. Pour ces variables, une analyse de variance (ANOVA) pour mesures répétées ( $2 \times 3 \times 2$ ) a été conduite en utilisant la durée de la période d'accoutumance (3 niveaux, 1<sup>er</sup>, 5<sup>ème</sup> ou 10<sup>ème</sup> jour) comme facteur de répétition, incluant le type de bouillie (2 niveaux, B1 ou B2), l'ordre de la période de 10 jours (2 niveaux, B1/B2 ou B2/B1) comme facteurs de variation intra-sujet. Dans la deuxième étape d'analyse, les variables dépendantes considérées étaient successivement les ingérés par repas de bouillie (quantités consommées et ingérés énergétiques) et les ingérés totaux de bouillie durant les 8 heures d'observation (quantités consommées et ingérés énergétiques). L'ANOVA pour mesures répétées ( $2 \times 3 \times 2 \times 2$ ) a également été conduite incluant la durée de la période d'accoutumance (3 niveaux, 1<sup>er</sup>, 5<sup>ème</sup> ou 10<sup>ème</sup> jour) et le rang des repas de bouillie de la journée (2 niveaux, 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> repas de bouillie) comme facteurs de répétition, le type de bouillie (2 niveaux, B1 ou B2) et l'ordre de la période de 10 jours (2 niveaux, B1/B2 ou B2/B1) comme facteurs de variation intra-sujet. Dans chaque étape, les interactions entre les variables ont été étudiées. Lorsque ceci s'avérait approprié, le test de Tukey HSD a été utilisé pour les analyses *post hoc*.

L'exploitation statistique des résultats du test de différenciation 2 sur 5 et de l'épreuve par paire (cf. 2.2.2.) a été faite en se référant aux tables relatives à ces tests, publiées par l'AFNOR (Norme NF V09-001, 1988). L'analyse des données relatives aux tests de classement par ordre de préférence a consisté en une analyse de la variance (ANOVA) prenant en compte les trois répétitions effectuées auprès de chaque panéliste après transformation des rangs en notes (0,85 pour la bouillie classée en première position, 0 pour celle classée deuxième et -0,85 pour celle classée troisième).

Les niveaux de signification des différences de caractéristiques biochimiques entre les échantillons provenant des ateliers de maltage traditionnels ont été testés par analyse de variance (ANOVA) en utilisant le test des comparaisons multiples de Duncan pour séparer les moyennes (cf. 2.2.4).

# **CHAPITRE 3**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## **CHAPITRE 3.1**

**FACTEURS INFLUENCANT LES INGERES EN  
ENERGIE ET EN NUTRIMENTS CHEZ LE JEUNE  
ENFANT**

## **FACTEURS INFLUENCANT LES INGERES EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS CHEZ LE JEUNE ENFANT**

Trois principaux facteurs influent sur les ingérés énergétiques à partir des aliments de complément, donnés en complément du lait maternel (Brown, 1997; Trèche, 2002). Deux études réalisées à Ouagadougou ont eu pour objectif général d'étudier les facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant burkinabè. Elles ont permis d'évaluer les effets sur les niveaux d'ingérés énergétiques de certains facteurs liés à l'aliment (densité en énergie, caractéristiques organoleptiques) et à l'enfant (accoutumance aux caractéristiques des bouillies). Dans cette partie, nous présentons successivement deux articles publiés (*International Journal of Food Science and Nutrition et Appetite*).

---



## **Effets de la densité énergétique et de la saveur sucrée des bouillies sur les ingérés énergétiques de nourrissons Burkinabè vivant en milieu naturel**

Marie-Catherine Vieu, Tahirou Traoré, Serge Trèche

Laboratoire de Nutrition Tropicale, Centre IRD, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France

### **Résumé**

Vingt quatre enfants de 6 à 10 mois vivant en milieu naturel au secteur de Ouagadougou et allaités au sein ont reçu successivement cinq types de bouillies expérimentales dans le but d'étudier les effets de la densité énergétique (DE) et de l'intensité de la saveur sucrée sur leurs ingérés énergétiques (IE). Quatre types de bouillies (G0, G1, G9 et G20) ont été préparés à partir de quatre farines expérimentales à base des mêmes ingrédients locaux mais contenant des teneurs en sucre croissantes. Le cinquième type de bouillie a été préparé à partir d'une farine industrielle. G0 avait une DE moyenne de 45 kcal/100 g (189 kJ/100 g) tandis que les autres bouillies avaient une DE moyenne de 110 kcal/100 g (461 kJ/100 g). Bien que les teneurs en sucre des farines aient été de 1% pour G1, 9% pour G0 et G9 et 20% pour G20, compte tenu de la composition des farines et de la teneur en matière sèche des bouillies, la bouillie G1 avait la même saveur sucrée que la bouillie G0, G20 la même saveur sucrée que GC et G9 une intensité de saveur sucrée intermédiaire entre G1 et G20. Les résultats montrent que les quantités de bouillie G0 consommées ont été significativement plus élevées que celles des bouillies de haute DE (7,84 pour G0 vs 6,12 ; 5,63 ; 4,46 ; 4,72 g/(kg de poids corporel x repas), respectivement pour G20, G9, G1 et GC ; p<0,05). En revanche, les ingérés énergétiques à partir des bouillies de haute DE ont été significativement plus élevés que celle de la bouillie G0 (6,65 ; 6,10 ; 4,86 ; 4,83 kcal/kg/repas, respectivement pour G20, G9, G1 et GC vs 3,46 pour G0 ; p<0,001). Les ingérés énergétiques à partir de G9 et G20 étaient comparables, mais significativement plus élevés que ceux des bouillies GC et G1 (p<0,001). La consommation de bouillies à base d'ingrédients locaux, de haute DE et de teneur en sucre comprise entre 9 et 20%, permet d'augmenter d'au moins 76% les IE par rapport à ceux obtenus à partir d'une bouillie de composition comparable mais de faible DE. La consommation de 2 bouillies par jour, quelle que soit la farine utilisée pour leur préparation, n'a pas permis de couvrir plus de 15% des besoins énergétiques journaliers des enfants.

## Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions

Marie-Catherine Vieu, Tahirou Traoré and Serge Trèche

*Laboratoire de Nutrition Tropicale, Centre IRD, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France*

In free living conditions, 24 breastfed infants, aged 6 to 10 months, were given successively five experimental gruels to study the effect of energy density (ED) and sweetness (sweet taste) on energy intakes (EI). Four gruels (G0, G1, G9 and G20) were prepared with experimental flours which were composed of the same local ingredients and which contained different levels of sucrose. The fifth gruel (GC) was prepared with an industrial flour. G0 had an average ED of 45 kcal/100 g (189 kJ/100 g) and the other gruels an average ED of 110 kcal/100 g (461 kJ/100 g). Although the sugar contents of the flours were 1% for G1, 9% for G0 and G9 and 20% for G20, because of flour composition and gruel dry matter content, the gruel G1 had the same sweetness as G0, G20 the same sweetness as GC and G9 a sweetness between that of G1 and G20. The results show that the amounts of G0 consumed were significantly higher than those of high ED gruels (7.84 for G0 vs 6.12, 5.63, 4.46, 4.72 g/kg body weight/meal, respectively for G20, G9, G1 and GC,  $P < 0.05$ ). However, EI from high ED gruels were significantly ( $P < 0.001$ ) higher than those from G0 (6.65, 6.10, 4.86, 4.83 kcal/kg meal, respectively for G20, G9, G1 and GC vs 3.46 for G0). Energy intakes from G9 and G20 gruels were not significantly different but were significantly higher than those from GC and G1 ( $P < 0.001$ ). So, consumption of sweet gruels with high ED and composed of local ingredients increased, at least by 76%, the EI from gruels in comparison with those from low ED gruels, but the amounts consumed by the infants remained too low to cover more than 15% of their daily total energy needs.

### Introduction

In infants, from the age of 6 months, breast milk is no longer sufficient to meet their nutritional needs, therefore consumption of other foods is necessary to complement what breast milk provides (WHO, 1998). Considering infant physiological characteristics, complementary foods should have semi-liquid consistency (gruel) at the beginning of the weaning period.

Correspondence to: M.-C. Vieu

In Burkina Faso, protein-energy malnutrition, in particular growth retardation, which concerns 29% of preschool children, begins between 6 and 20 months, i.e. during the weaning period (Seroussi, 1994). In this country, mothers use local flours processed in small production units or in households and prepare gruels with a fluid consistency and an energy density close to 40 kcal/100 g (Trèche *et al.*, unpublished). Given

the very small gastric capacity of infants (30–40 ml/kg body weight/meal) (Sanchez-Grinan *et al.*, 1992) and the low gruel feeding frequency (two gruels a day), the consumption of gruels with an energy density of 40 kcal/100 g cannot provide the breast milk complements that are required to meet daily nutritional needs. Nutritional qualities, in particular energy density, are not adequate and have to be improved. Energy intakes from gruels are at a low level due to insufficient energy density and also because of mean quantities of consumed gruel which remain far lower than the theoretical infant gastric capacity (Trèche *et al.*, unpublished).

The aim of our work is to increase Burkinabe infant energy intakes from gruels without changing meal frequency. To do so, we investigate the main factors which influence intakes. Factors related to the food, to the child and to the caregivers are involved (Brown, 1997). In this study conducted from February to July 1999 in Ouagadougou, we focused on factors related to food and we studied the effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe 6- to 10-month-old infant energy intakes in free living conditions. We had two objectives. The first one was to show in this context the nutritional benefit, i.e. an increase of energy intakes, of an increase of gruel dry matter content associated with a decrease in viscosity due to enzymatic treatments. This nutritional benefit has already been shown but in particular contexts such as in hospital, with infants recovering from malnutrition (Mosha and Svanberg, 1990; Sanchez-Grinan *et al.*, 1992; Rahman *et al.*, 1994, 1995; Stephenson *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 1995; Darling *et al.*, 1995; Mensah *et al.*, 1995; Mitra *et al.*, 1995; Donnen *et al.*, 1996; Trèche, 1996; den Besten *et al.*, 1998; Bennett *et al.*, 1999). The second one was to see if it was possible to increase the average consumed quantities of high energy density gruels and consequently the energy intakes from these gruels by modifying their organoleptic characteristics such as sweetness.

## Materials and methods

### Gruels

Five experimental gruels were tested:

- one (G0) with the characteristics of the gruels usually consumed by infants, i.e. a low

energy density of 45 kcal/100 g, a dry matter content close to 10 g/100 g and a semi-liquid consistency. This gruel was prepared with local ingredients.

- four gruels with a high energy density due to a higher ratio (amount of flour/amount of water) than G0. Three of them were prepared with local ingredients and had a different level of sweetness (low G1, medium G9, high G20). The fourth one was prepared with an industrial flour ‘Cérélac’ processed in the Ivory Coast and sold in Ouagadougou (GC). This flour contains mainly wheat, milk, sucrose and palm oil.

All the gruels had the same semi-liquid consistency. To characterise the consistency we used the flow which is the distance run by 100 ml of gruel at 45°C for 30 s in a Botswick consistometer. The reference consistency was that of gruels usually consumed by infants, which has a flow of 120 mm/30 s. To obtain such a flow, adding  $\alpha$ -amylases was necessary in G1, G9 and G20. We used the industrial  $\alpha$ -amylases (BAN 800 MG) from Novo SA.

High energy density gruels had the same energy density as GC prepared with the dry matter content leading to the reference flow of 120 mm/30 s.

To compare sweetness, organoleptic tests were performed. The sweetest gruel (G20) had the same sweetness as GC. The less sweet gruel (G1) had the same sweetness as G0. G9 which was prepared with the same flour as G0, contained more flour, so more sugar, and was in consequence sweeter than G0.

The flours used to prepare G0, G1, G9 and G20 were composed of millet, soybean, peanut, sucrose and salt. Flour compositions were defined with a formulation software, namely Alicom, created by our laboratory. To have gruels with a different sweetness, we changed the ratio millet/sucrose and we kept the percentages of soybean, peanut and salt constant. Flour compositions are given in Table 1

### Infants

Twenty-four infants from an area ('secteur 30') of Ouagadougou were enrolled in the study. To be eligible, children had to be 6–10 months old, consume usually at least two gruels a day, have a weight-for-length Z score >−3 and no particular health problems. Parents had to give an

**Table 1.** Flour compositions (g/100 g)

	<i>Flour used to prepare G0 and G9</i>	<i>Flour used to prepare G1</i>	<i>Flour used to prepare G20</i>
Millet	66.3	74.3	55.3
Sucrose	9.0	1.0	20.0
Soybean	19.0	19.0	19.0
Peanut	5.0	5.0	5.0
Salt	0.7	0.7	0.7

informed consent for their child to participate in the study.

#### *Procedure*

Each child was given the five experimental gruels, each one for 3 days and twice a day at the usual feeding times. Each child was followed for 2.5 weeks. G0, which had the characteristics of the gruels usually consumed by children, was given first, GC was given at the end of the experimental period and G1, G9 and G20 in one of these combinations: G20–G9–G1 or G20–G1–G9 or G9–G20–G1 or G9–G1–G20 or G1–G20–G9 or G1–G9–G20. On Sunday, the intakes were not measured but the same gruel as the one given on Saturday was prepared by the mothers and given to the child.

The gruels were prepared at home by field workers in a standard way. The quantities of cold water necessary to prepare the gruel, were weighed ( $\pm 0.1$  g) and added to preweighed flour. The mixture was cooked on a portable gas ring. When the ebullition started, the gruel was cooked for 5 min. The infants were fed by their mother or by the person who usually feeds them. The field worker arrived 1 h before the feeding to be sure that the children did not have anything (milk, water, other foods) in the hour before the gruel intake measurements. Each day, questions were asked about morbidity (respiratory problems, diarrhoea, fever, others) and about what the children had eaten between the last experimental gruel intake and the arrival in the household of the field worker (what they had eaten, when, how often and how much). When the temperature of the gruel reached 45°C, two gruel samples were collected to measure the dry matter content and the gruel

was given to the child. The bowl before and after feeding and any possible vomit were weighed on a scale with a 0.1 g sensitivity.

Children were weighed at the end of the 2.5 week period and their weight at each experimental day was estimated with the average weight gains obtained from the reference anthropometric values defined by the WHO.

#### *Data analysis*

Data were analysed with the SAS system. Values were compared within individuals for each dietary treatment by using the General Linear Models (GLM) procedure which uses the method of least squares to fit general linear models. The statistical method used to test if there was an effect of gruel characteristics on intakes was an analysis of variance (ANOVA). In the first model, the variables of the model were the infant, the day (1, 2 or 3), the meal (1 or 2) and the gruel. Variables with no significant effects were eliminated and we kept in the final model the variables infant and gruel. Student–Newman–Keuls tests were performed to compare the means of gruel and energy intakes according to the type of gruel given.

## **Results and discussion**

#### *Gruels*

Table 2 gives the nutritional characteristics of the experimental gruels. Because of its low dry matter content, the gruel G0 had far lower lipid, protein and carbohydrate content than the high energy density gruels.

#### *Infants*

In the study area, all the children eligible to participate in the study were registered. Given their low number, all of them were enrolled in the study. A total of 11 male and 13 female infants participated (Table 3).

#### *Intakes*

We should have had 720 intake measurements, 144 per gruel and 30 per infant. Fourteen data were not able to be collected (three each for G1, GC, G0 and G20 and two for G9) so we had 706 intake measures.

In 25% of the 706 experimental meals (175 meals), infants were breastfed or drank water within an hour before the intake measures.  $\chi^2$  tests showed that according to the gruel, the

**Table 2.** Experimental gruel characteristics

	G0	G1	G9	G20	GC
Dry matter content <sup>1,2</sup>	10.3 ± 0.8	25.4 ± 1.0	25.1 ± 1.2	25.5 ± 1.4	24.1 ± 0.7
Lipid content <sup>1</sup>	1.1	2.8	2.6	2.5	2.0
Protein content <sup>1</sup>	1.7	4.5	4.2	4.0	3.8
Carbohydrate content <sup>1</sup>	6.9	16.4	16.9	17.8	17.3
Saccharose <sup>1</sup>	1.0	0.3	2.4	5.3	NS
Energy density (kcal/100g)	44.5 ± 3.2	109.4 ± 4.3	108.4 ± 6.8	108.6 ± 6.2	102.3 ± 3.2

<sup>1</sup> g per 100g of gruel.<sup>2</sup> mean ± SD of the values determinated with the 140 gruels given to the infants in the study.

NS not specified.

numbers of meals before which there were food consumptions within an hour were not significantly different. In 148/175 meals the last consumption was taken about 40–50 min before the measures, and in seven meals infants were breastfed or drank water within 5 min before the measures.

In 44.9% of experimental meals, children had health problems. They suffered mainly from respiratory problems and diarrhoea. For each gruel, Kruskal–Wallis tests showed no significant differences between the intakes on the days when infants had or had no health problems.

The statistical analysis showed that there was no significant difference between the intakes according to the day (1, 2 or 3) and the meals (first or second meal of the day).

The variance analysis and the Newman–Keuls tests revealed three groups: the first one composed by G0, the second one composed by G20 and G9, and the third one including G1 and GC. The amounts of gruel consumed from group 1 were significantly higher than those from groups 2 and 3, and the amounts of gruel consumed from group 2 were significantly higher than those from group 3 ( $P < 0.05$ ) (Table 4). Amounts of G0 gruel consumed (7.8 g/kg/meal) were higher than those of G1,

G9 and G20 (respectively, 4.5, 5.6, 6.1 g/kg/meal) and those of GC (4.7 g/kg/meal).

Energy intakes from group 2 gruels were significantly higher than those from groups 1 and 3, and energy intakes from group 3 were significantly higher than those from group 1 ( $P < 0.001$ ) (Table 5). Despite lower consumed quantities, consumption of the high energy density gruels G1, G9 and G20 increased the energy intakes respectively by 40, 76, 92% in comparison with the energy intakes from G0 (from 4.9 to 6.6 vs 3.5 kcal/kg/meal;  $P < 0.001$ ). With a flour containing 9% of sugar, the gruels prepared with a dry matter content of 25% (G9 gruels) led to an increase of 76% of the energy intakes in comparison with those from gruels prepared with a dry matter content of 10% (G0 gruels). One of the consequences of increasing the dry matter content of gruels was the increase in their sweetness. For this reason, we chose to test high energy density gruels with the same sweetness as G0 (G1). With G1 gruels, energy intakes were increased by 40% compared to those from G0 gruels. These results showed the

**Table 4.** Mean amounts of gruel consumed

	Mean (g/meal)	Mean (g/kg/meal)
G0	56.4 ± 27.2 <sup>a</sup>	7.8 ± 3.9 <sup>a</sup>
G1	32.3 ± 19.6 <sup>c</sup>	4.5 ± 2.8 <sup>c</sup>
G9	40.7 ± 31.2 <sup>b</sup>	5.6 ± 4.7 <sup>b</sup>
G20	44.7 ± 31.1 <sup>b</sup>	6.1 ± 4.3 <sup>b</sup>
GC	35.0 ± 34.4 <sup>c</sup>	4.7 ± 4.7 <sup>c</sup>

Different letters indicate significantly different means ( $P < 0.05$ ) (Newman–Keuls test).

**Table 3.** Characteristics of children included in the study

Age (months)	7.9 ± 1.0
Weight-for-age (Z score)	-1.0 ± 0.9
Length-for-age (Z score)	-0.7 ± 0.9
Weight-for-length (Z score)	-0.5 ± 1.1

**Table 5.** Mean energy intakes from gruels

	Mean (kcal/meal) (kJ/meal)	Mean (kcal/kg/meal) (kJ/kg/meal)
G0	24.9 ± 11.9 <sup>a</sup> (104.4 ± 49.7)	3.5 ± 1.7 <sup>a</sup> (14.5 ± 7.1)
G1	35.1 ± 21.3 <sup>c</sup> (147.1 ± 89.2)	4.9 ± 3.0 <sup>c</sup> (20.34 ± 12.7)
G9	44.2 ± 33.7 <sup>b</sup> (184.9 ± 140.9)	6.1 ± 5.1 <sup>b</sup> (25.53 ± 21.5)
G20	48.6 ± 33.9 <sup>b</sup> (203.4 ± 141.9)	6.6 ± 4.7 <sup>b</sup> (27.8 ± 19.8)
GC	35.7 ± 34.9 <sup>c</sup> (149.5 ± 145.9)	4.8 ± 4.8 <sup>c</sup> (20.2 ± 20.0)

Different letters indicate significantly different means ( $P < 0.001$ ) (Newman–Keuls test).

effect of energy density on energy intakes of Burkinabe infants in free living conditions: as was already shown in other contexts, increasing the energy density of gruels improves the energy intakes from gruel feedings (Trèche, 1996; WHO, 1998).

Energy intakes were significantly ( $P < 0.001$ ) higher with the sweetest gruels than with G1 (6.10 and 6.65 for G9 and G20 vs 4.86 kcal/kg/meal for G1). Energy intake improvement was all the greater as sugar content was high. However, differences were not significant between G9 and G20. Thus, a flour sugar content between 9 and 20% seems optimal. An infant preference for sweetness had already been shown in Maller and Turner (1973) studies in infants of less than 1 month. In 1983, Fomon *et al.* showed in female infants of less than 4 months that energy intakes from a formula were higher when the sweetest formula was given.

The average amounts of gruel consumed were far lower than the theoretical gastric capacity of infants which is estimated at 30 ml/kg/meal (Sanchez-Grinan *et al.*, 1992). The average amount of gruel consumed was different from one child to another as is expected, but these quantities were globally very small (overall average: 5.75 g/kg/meal). Reasons why the amounts of gruel consumed were so low in children without chronic diseases, fed at home, by their mother, with gruels prepared with local ingredients usually consumed by their mother, are unknown. Energy intakes from other foods

might explain this. The questionnaires about what they ate in the day showed that besides breast milk and experimental gruels, consumption of other foods was quite occasional. They showed also that breastfeeding and water-drinking frequencies were very high (respectively 11 and 8 times a day). Consequently, one hypothesis to explain the low intakes of gruel might be that usual breastfeeding frequency plays an important role in the control of gruel intake, and more generally that high feeding frequencies make infants used to consuming small quantities per meal. Flavour could explain also the low gruel intakes. In our protocol, we chose to compare the energy intakes from our experimental gruels prepared with local ingredients with those from an industrial gruel sold in Ouagadougou (GC) because we thought that the latter would be optimum and higher in quantity than the other ones. Finally, the amounts of GC consumed and the energy intakes from this gruel were below those from G9 and G20, probably because of food habits and taste preferences.

The consumption twice a day of gruels, whatever the flour used was, did not cover more than 15% of the daily energy needs of infants. In 6- to 10-month-old infants, the energy need defined by Butte (1996) is about 85 kcal/kg/day and studies conducted in different countries have shown that breastmilk covers about 60% of the daily energy needs of infants (WHO, 1998). Consequently, complementary foods should cover 40% of this requirement. In this study, two G20 feedings covered 14.8% of the daily energy needs and the contribution of complementary foods was close to this percentage because besides breast milk and experimental gruels, the infants included in this study had other foods occasionally.

## Conclusion

Consumption of high energy density (110 kcal/100 g or 461 kJ/100 g) gruels prepared with local ingredients led to a 76% increase of the energy intakes in comparison with those from low energy density gruels. At the same energy density (110 kcal/100 g or 461 kJ/100 g), the average consumed amounts of gruel prepared with flours whose sugar contents were respectively 9 and 20% were not significantly different but were signifi-

cantly higher than those from gruels prepared with 1% sugar flour.

However, the consumption of high energy density gruels prepared with 9 and 20% sugar flours remained very low (respectively 5.6 and 6.1 g/kg/meal) and their contribution to meet the daily energy needs was only at best 15%.

Modifications of flavour associated with an increase of energy density could lead to an increase of energy intakes by increasing the consumed quantities. However, the general low amount of gruel consumed, observed in this survey, suggests that other factors such as breastfeeding and water-drinking frequency are deeply involved in the control of intakes.

## References

- Bennett VA, Morales E, Gonzalez J, Peerson JM, De Romana GL & Brown KH (1999): Effects of dietary viscosity and energy density on total daily energy consumption by young Peruvian children. *Am. J. Clin. Nutr.* **70**(2), 285–291.
- Brown K (1997): Complementary feeding in developing countries: factors affecting energy intake. *Proc. Nutr. Soc.* **56**(1A), 139–148.
- Brown KH, Sanchez-Grinan M, Perez F, Peerson JM & Ganoza L (1995): Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *Am. J. Clin. Nutr.* **62**, 13–18.
- Butte NF (1996): Energy requirements of infants. *Eur. J. Clin. Nutr.* **50**(Suppl. 1), S24–S36.
- Darling JC, Kitundu JA, Kingamkono RR, Msengi AE, Nduma B, Sullivan KR & Tomkins AM (1995): Improved energy intakes using amylase digested weaning foods in Tanzanian children with acute diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **73**–81.
- Den Besten L, Glatthaar II & Ijsselmuiden CB (1998): Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *J. Trop. Pediatr.* **44**(1), 4–9.
- Donnen P, Dramaix M, Brasseur D, Bitwe Mihanda R, Fasili S & Trèche S (1996): High-energy-density gruels in the treatment of hospitalized children suffering from mainly protein malnutrition in Zaïre. *Food Nutr. Bull.* **17**, 145–153.
- Fomon SJ, Ziegler EE, Nelson SE & Edwards BB (1983): Sweetness of diet and food consumption by infants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **173**, 190–193.
- Maller O & Turner RE (1973): Taste in acceptance of sugars by human infants. *J. Comp. Physiol. Psychol.* **84**(3), 496–501.
- Mensah P, Ndiokwelu CI, Uwaegbute A, Ablorodey A, Van Boxtel AMGA, Brinkman C, Nout MJR & Ngoddy PO (1995): Feeding of lactic-acid fermented high nutrient density weaning formula in paediatric settings in Ghana and Nigeria: acceptance by mother and infant and performance during recovery from acute diarrhoea. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **46**(4), 353–362.
- Mitra AK, Rahman MM, Mahalanabis D, Patra FC & Wahed MA (1995): Evaluation of an energy-dense meal liquefied with amylase of germinated wheat in children with acute watery diarrhoea: a randomized controlled clinical trial. *Nutr. Res.* **15**(7), 939–951.
- Mosha AC & Svanberg U (1990): The acceptance and intake of bulk-reduced weaning foods: the Luganga village study. *Food Nutr. Bull.* **12**(1), 69–74.
- Rahman MM, Islam MA, Mahalanabis D, Biswas E, Majid N & Wahed MA (1994): Intake from an energy-dense porridge liquefied by amylase of germinated wheat: a controlled trial in severely malnourished children during convalescence from diarrhoea. *Eur. J. Clin. Nutr.* **48**, 46–53.
- Rahman MM, Mazumder RN, Ali M & Mahalanabis D (1995): Role of amylase-treated, energy-dense liquid diet in the nutritional management of acute shigellosis in children: a controlled clinical trial. *Acta Paediatr.* **84**(8), 867–872.
- Sanchez-Grinan MI, Peerson J & Brown KH (1992): Effect of dietary energy density on total *ad libitum* energy consumption by recovering malnourished children. *Eur. J. Clin. Nutr.* **46**, 197–204.
- Seroussi M (1994): Allaitement et nutrition. In *Enquête Démographique et de Santé Burkina Faso 1993*. ed. Institut National de la Statistique et de la Démographie, pp. 115–127. Calverton: Demographic and Health Surveys.
- Stephenson DM, Gardner JMM, Walker SP & Ashworth A (1994): Weaning-food viscosity and energy density: their effects on *ad libitum* consumption and energy intakes in Jamaican children. *Am. J. Clin. Nutr.* **60**(4), 465–469.
- Trèche S (1996): Influence de la densité énergétique et de la viscosité des bouillies sur l'ingéré énergétique des nourrissons. *Cahiers Santé* **6**, 237–243.
- WHO (1998): Complementary feeding of young children in developing countries – a review of current scientific knowledge. WHO/NUT/98.1. Geneva: World Health Organization.



## **Effets de la durée de la période d'accoutumance sur les ingérés énergétiques à partir de bouillies de faible et de haute densités énergétiques chez les nourrissons Burkinabè vivant en milieu naturel**

Traoré Tahirou<sup>a,b</sup>, Marie-Catherine Vieu<sup>a</sup>, Traoré S. Alfred<sup>b</sup>, Treche Serge<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Unité de Recherche 106 “Nutrition, Alimentation, Sociétés”, Institut de recherche pour le développement, BP 64501, F-34394, Montpellier Cedex 5, France

<sup>b</sup> CRSBAN, Département de Biochimie/Microbiologie, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131, Ouagadougou 03, Burkina Faso

### **Résumé**

L'objectif de la présente étude, réalisée à Ouagadougou (Burkina Faso), était de voir si la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques de bouillies de haute et de faible densités énergétiques affectait les quantités et les ingérés énergétiques à partir de ces bouillies lorsqu'elles sont consommées par des enfants de 6 à 9 mois. Trente enfants ont été recrutés de manière aléatoire à partir d'une liste des enfants éligibles de la zone d'étude et répartis de manière aléatoire dans deux groupes (S1 et S2). Chaque enfant a reçu successivement au cours de deux périodes de 10 jours consécutifs, deux types de bouillies expérimentales, chaque type de bouillie 2 fois par jour. Les 15 enfants du groupe S1 ont reçu les bouillies de faible DE (G1) en première période et celles de haute DE (G2) en deuxième période tandis que les 15 enfants du groupe S2 ont reçu les bouillies G2 en première période et les bouillies G1 en seconde. L'intervalle de temps entre les deux périodes de 10 jours était de 4 jours au cours desquels la mère alimentait comme d'habitude son enfant. Les ingérés de bouillies expérimentales et d'autres aliments de complément ont été mesurés aux 1<sup>er</sup>, 5<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> jours de chaque période. Quel que soit le type de bouillie, la période d'accoutumance de 10 jours n'a pas permis d'augmenter les quantités consommées et les ingérés énergétiques. Les quantités de bouillies G1 consommées au 5<sup>ème</sup> jour ont été significativement plus élevées que celles des bouillies G2 (9,0 vs 6,8 g/kg/repas; p=0,044). Les ingérés énergétiques à partir des bouillies G2 ont été significativement plus importants que ceux obtenus à partir des bouillies G1 au 1<sup>er</sup> (6,9 vs 4,3 kcal/kg/repas; p=0,0002), 5<sup>ème</sup> (6,9 vs 4,6 kcal/kg/repas; p=0,002) et 10<sup>ème</sup> (6,2 vs 3,7 kcal/kg/repas; p=0,0004) jours. Les fréquences de tétées ( $\approx$ 5,6), de consommation d'eau ( $\approx$ 3,7) et de prises d'aliments autres que les bouillies expérimentales ont été relativement élevées et n'ont pas varié en fonction de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies ou du type de bouillies. Quel que soit le type de bouillies, l'augmentation de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies n'a pas été accompagnée d'une augmentation des quantités consommées ou des ingérés énergétiques. L'étude confirme que la consommation de bouillies de haute DE entraîne une augmentation des ingérés énergétiques de 60% par rapport à ceux obtenus à partir des bouillies de faible DE.

**Mots clés :** Bouillies – Densité énergétique – Période d'accoutumance – Ingéré énergétique – Nourrisson



ELSEVIER

## Research Report

# 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

Tahirou Traoré<sup>a,b,\*</sup>, Marie-Catherine Vieu<sup>a</sup>, Traoré S. Alfred<sup>b</sup>, Trèche Serge<sup>a</sup><sup>a</sup>Research unit 106 'Nutrition, Alimentation, Sociétés', Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France<sup>b</sup>CRSBAN, Department of Biochemistry/Microbiology, University of Ouagadougou, 03 BP 7131 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Received 15 March 2005; accepted 11 July 2005

**Abstract**

The present study was carried out in Ouagadougou (Burkina Faso) with the aim of determining if the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) to low and high energy density gruels affected the amounts consumed or the energy intakes from gruels consumed by 6–9-month-old infants. Thirty infants were chosen randomly among the eligible children in the study area and randomly assigned to two groups (S1 and S2). Each infant was given successively for 10 consecutive days two experimental gruels, each type of gruel being fed twice a day. The 15 infants in group S1 received low energy density gruel (G1) in the first period and high energy density gruel (G2) in the second, and the 15 infants in group S2 received G2 in the first period and G1 in the second. The two periods of 10 days were separated by 4 days during which the infant received his or her usual foods. The intakes of experimental gruels and other complementary foods were measured on days 1, 5 and 10 of each period. Whatever the type of gruel, the 10-day period of habituation did not result in an increase in the amounts consumed or in the energy intakes from these gruels. The amounts of G1 consumed on day 5 were significantly higher than those of G2 (9.0 vs 6.8 g/kg/meal;  $p=0.044$ ). Energy intakes from G2 were significantly higher than those from G1 on days 1 (28.8 vs 18.0 kJ/kg/meal;  $p=0.0002$ ), 5 (28.8 vs 19.2 kJ/kg/meal;  $p=0.002$ ) and 10 (25.9 vs 15.5 kJ/kg/meal;  $p=0.0004$ ). Daily frequencies of breastfeeding ( $\approx 5.6$ ), water drinking ( $\approx 3.7$ ) and meals with foods other than experimental gruels were relatively high and did not vary with the duration of the habituation period or the type of gruels. Whatever the type of gruel, the increase in the duration of the habituation period did not increase the amount consumed or energy intakes. The study confirmed that consumption of high energy density gruels led to a 60% increase in energy intakes in comparison with the consumption of low energy density gruels.

© 2005 Published by Elsevier Ltd.

**Keywords:** Gruels; Energy density; Habituation period; Energy intake; Infant

**Introduction**

From about 6 months of age, exclusive breastfeeding cannot provide all the energy and the nutrients necessary to meet infants' nutritional needs. Consequently, consumption of other foods is necessary to complement breast milk (WHO, 1998; WHO/UNICEF, 2002). Infant energy intake is influenced by factors related to the food, to the child and to the caregivers (Brown, 1997).

Even though the consumption of complementary foods is necessary after 6 months, these products seem to be directly or indirectly linked with some forms of malnutrition [in Burkina Faso, the highest prevalence of malnutrition was observed in the age group 6–23 months, (INSD & Macro International Inc., 2000)]. In Burkina Faso, as in most West African countries, children receive as their first complementary foods gruels prepared with local cereal flours, sugar and water or with mixed flours that are processed locally in small production units, are of fluid consistency and have a low energy density of approximately 167 kJ/100 g (Trèche, 2002). Preliminary studies carried out in Burkina Faso (Trèche, 2002), showed that infant energy intakes from gruels were very low due both to insufficient energy density and the small

\* Corresponding author. Address: Centre IRD, 01 BP 182 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

E-mail addresses: ttahirou@ird.bf, t\_tahirou@yahoo.fr (T. Traoré).

amount of gruel consumed. These results led to further investigations to identify the main factors which influence energy intake in order to increase infant energy intakes from gruels without increasing the frequency of meals. To this end, we carried out in Ouagadougou (Burkina Faso) an initial study in 24 infants to evaluate the effects of energy density and sweetness of gruels on energy intakes (Vieu, Traoré, & Trèche, 2001). Each experimental gruel was given to the infants for 3 consecutive days and the intakes were measured daily. In contrast to intakes reported by Sanchez-Grinan, Peerson, and Brown (1992) in a hospital environment, in Burkinabè infants living in free conditions we observed that intakes did not vary significantly during the first 3 days of consumption of high or low energy density gruels, and that energy intakes from these gruels were far lower than the expected gastric capacity (30–40 ml/kg body weight/meal) (Sanchez-Grinan et al., 1992). On the other hand, the energy intakes from high energy density gruels were significantly higher than those obtained with low energy density gruels. To assess the importance of the period of habituation to gruel characteristics, we wanted to verify the results of Sullivan and Birch (1994) and Birch, Gunder, Grimm-Thomas, and Laing (1998) who showed in 4 to 7-month-old infants that repeated opportunities to taste and consume a new food led to an increase in intake.

Consequently, we carried out a second study in Ouagadougou in free living conditions. The aim was to see if a longer period of habituation—up to 10 days—to high and low energy density gruels would result in an increase in intake.

## Subjects and methods

### Infants

Thirty infants from sector 18 of Ouagadougou (Burkina Faso) were enrolled in the study. They were randomly selected among the 60 eligible children identified in sector 18. To be eligible, infants had to be 6 to 9-month-old at the beginning of the study, have no apparent handicap, have a weight-for-age Z score  $>-3$  [in Burkina Faso, 17% of 6–11-month-old infants have a weight-for-age Z-score between  $-3$  and  $-2$  (INSD & Macro International Inc., 2000)], be breastfed, and be a regular consumer of gruels (consuming 2 gruels/day at least 5 days/week). To be sure that the infants were not used to consuming this kind of gruel, during the two weeks preceding the study, enrolled infants had to have consumed less than two local infant flours (Kasona or Misola) whose compositions were close to our experimental gruels. Local health authorities and parents were informed about the study in their local language and gave their verbal consent.

### Gruels

Two experimental gruels were tested: one (G1) with a low energy density close to the energy density of gruels usually prepared by mothers. The mean dry matter content of G1 was about 10 g/100 g, which was equivalent to 188 kJ/100 g. The second gruel (G2), with a high energy density, had a dry matter content of about 25 g/100 g, which was equivalent to 460 kJ/100 g. With the latter energy density, in the hypothesis that the quantities of gruel consumed were close to 15 g/kg/meal, two feeds of gruel per day could cover around 40% of infant energy needs in 6 to 9-month-old infants based on an energy need of 322 kJ/kg/day (Butte et al., 2000).

The both types of gruels had a semi liquid consistency similar to the consistency of infant gruels usually consumed in Burkina Faso (Trèche, 2002). To characterise the consistency of gruels, we used the flow distance, i.e. the distance run for 30 s by 100 ml of gruel, at the usual temperature of consumption (45 °C), in a Bostwick consistometer (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, Virginia, USA). The experimental gruels had a flow distance at least of 120 mm/30 s. Considering the high dry matter content,  $\alpha$ -amylase had to be added to G2 to obtain the required flow distance; we used an industrial  $\alpha$ -amylase (BAN 800 MG) from Novo SA (Bagsvaerd, Denmark).

Flour composition was defined with formulation software (Alicom, UR106/IRD, Montpellier, France). G1 and G2 were prepared with the same mixed flours with amylases added to G2 (6.1 mg/100 g of flour) and without amylases in G1. The experimental flour (% raw matter) was composed of millet (55.5%), soybean (18%), peanut (9%), sucrose (15%), salt (0.7%) and a mineral and vitamin premix (1.2%) (CMV Supplementary/GBG) from Nutriset (F 76770—Malaunay, France) and  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (0.6%) from Prayon [(Mineral and vitamin premix and  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  were added according to WHO (1998)]. Peanut and sucrose contents were set, respectively, at 9 and 15% based on the results of previous studies (Vieu et al., 2001).

### Procedure

Each infant was given the two experimental gruels, each gruel being fed twice a day for a period of 10 days, at the first and second usual gruel feeding times. 15 infants received G1 in the first period and G2 in the second and 15 other infants received G2 in the first period and G1 in the second. The two periods of 10 days were separated by 4 days during which the infant received his or her usual foods.

Each mother was taught how to prepare 250 g of each experimental gruel: they had to add 284 g of water for G1 or 244 g of water for G2 (evaporation of water was estimated at 60 g) to 26.4 g of flour for G1 or 66 g of flour (containing  $\alpha$ -amylases BAN 800 MG) for G2, and to cook the mixture. When the boiling started, the gruel had to be cooked for

5 min. Every 5 days, 10 bags each containing the quantity of flour necessary to prepare one 250 ml gruel meal were given to the mothers. They also received a measuring bottle with a line indicating the appropriate quantity of water to add for the preparation of one gruel meal.

On day 1, 5 and 10 of each period, the intakes were measured at home by field workers. On each of these measurement days, the field workers arrived 1 h before the first gruel meal and stayed for 8 consecutive hours. The child was weighed and questions were asked about morbidity (respiratory problems, diarrhoea and fever). All foods consumed by the infant were weighed and breastfeeding times were measured. The temperature of the gruel was measured when the mother started to give the first spoonful, and a sample of gruel was collected in duplicate for measurement of the dry matter content. The bowl and any possible vomit were weighed on a field scale with 0.1 g sensitivity before and after feeding. At the end of each observed meal, mothers were asked if the quantity of gruel consumed appeared to her to be less, the same or more than the quantities of normal gruel usually consumed by her infant.

#### *Chemical analysis*

Dry matter (DM) contents were determined by oven drying at 105 °C to constant weight. Protein content was determined according to the AFNOR NF V03-050 standard method (nitrogen content determination by the Kjeldahl method) with a conversion factor of 6.25 (AFNOR, 1970). Lipid content was determined using a HT6 Soxtec system (Tecator, Höganäs, Sweden) following the instructions in Tecator N° 3144. Fibre contents were determined by the gravimetric and enzymatic method of Prosby, Asp, Schweizer, Devries, and Furda (1988). Ash contents were determined by calcination in a furnace at 530 °C. Available carbohydrates were obtained by difference (100—protein—lipid—fibre—ash). Energy content was calculated by using the coefficients 4 kcal/g DM (16.7 kJ/g DM) for protein and available carbohydrate and 9 kcal/g DM (37.6 kJ/g DM) for lipid.

#### *Data management and statistical analysis*

Epi Info 6.04d software (CDC, Atlanta) was used for data entry and for processing of anthropometric indices. Statistical analyses were performed using SAS software 8.2 for Windows (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Chi-square test and *t* test were used to compare the frequency and the duration of the infant's illnesses, during the period of consumption of the two types of gruels. In the first analytical step, dry matter content, energy density, temperature at the beginning of the consumption period, breast-feeding frequency and duration and frequency and amount of water consumed were considered successively as dependant variables. For these variables, a  $2 \times 3 \times 2$  repeated measures analysis of variance (ANOVA) was conducted using

duration of the habituation period (three levels, 1, 5 or 10 days) as a repeated factor, including type of gruel (two levels, G1 or G2) and order of the 10-day distribution period (two levels, G1/G2 or G2/G1) as within-subject factors. In the second step, the dependant variables were successively gruel intakes at each meal (amount consumed and energy intake) and total gruel intakes during the 8 h observation period (amount consumed and energy intake). A  $2 \times 3 \times 2 \times 2$  repeated measures ANOVAs was performed, including duration of the habituation period (three levels, 1, 5 or 10 days) and rank of the gruel meal (two levels, first or second meal of the day; this variable was not included in the case of total intakes) as the repeated factors, and type of gruel (two levels, G1 or G2) and order of the 10-day distribution period (two levels, G1/G2 or G2/G1) as within-subject factors. For each step, different interactions between variables were also analysed. When appropriate, the Tukey HSD test was used for post hoc analyses. In all comparisons, the level of statistical significance was set at 0.05.

## **Results**

Initially, we expected to have 360 experimental gruel-intake measurements, 180 per gruel and 120 for each of the 3 measurement days. However, it was not possible to collect 11 values for G1 (one on day 1 and five on days 5 and 10) and two for G2 (on day 5). Thus, we finally had 347 intake measurements. For total intakes of the experimental gruel during the 8 h period of observation, we should have had 180 values, 90 per gruel and 60 for each of the 3 measurement days. Four values for G1 (two on days 1 and 10) and one for G2 (on day 5) were missing. So, we had 175 total intake measurements.

#### *Characteristics of experimental gruels*

Energy content of experimental flour was 1777 kJ/100 g DM (dry matter) when considering protein (16.4 g/100 g DM), lipid (10.6) and carbohydrate (66.0) contents obtained after chemical analysis.

The characteristics of the experimental gruel are presented in Table 1. Dry matter content (from 23.8 to 25.0 vs from 12.1 to 12.2 g/100 g, respectively, for G2 and G1;  $p < 0.001$ ) and energy density (from 423 to 443 vs from 214 to 217 kJ/100 g, respectively, for G2 and G1;  $p < 0.001$ ) of G2 were double that of G1. On day 1, G1 was fed at a higher temperature compared to G2 (48.2 vs 45.6, respectively for G1 and G2;  $p < 0.01$ ). The characteristics of gruels were comparable between days 1 and 10.

#### *Characteristics of infants*

The main characteristics of the infants at the beginning of the study are presented in Table 2. Sixteen male and 14 female infants participated. Their median age was

Table 1

Characteristics of the gruels distributed to the infants

	Low energy density gruels (G1)	High energy density gruels (G2)
<i>Number of observations</i>		
Day 1	59	60
Day 5	55	58
Day 10	55	60
<i>Dry matter content (g/100 g)</i>		
Day 1	12.2 ± 1.6 <sup>a</sup>	25.0 ± 3.0 <sup>b</sup>
Day 5	12.2 ± 1.5 <sup>a</sup>	24.2 ± 2.7 <sup>b</sup>
Day 10	12.1 ± 1.4 <sup>a</sup>	23.8 ± 2.4 <sup>b</sup>
<i>Energy density (kJ/100 g)</i>		
Day 1	216 ± 30 <sup>a</sup>	443 ± 53 <sup>b</sup>
Day 5	217 ± 28 <sup>a</sup>	430 ± 49 <sup>b</sup>
Day 10	214 ± 24 <sup>a</sup>	423 ± 43 <sup>b</sup>
<i>Distribution temperature (°C)</i>		
Day 1	48.2 ± 7.1 <sup>a</sup>	45.6 ± 5.4 <sup>b</sup>
Day 5	48.2 ± 5.4 <sup>a</sup>	47.6 ± 8.2 <sup>a</sup>
Day 10	47.5 ± 5.8 <sup>a</sup>	46.7 ± 6.6 <sup>a</sup>

Values are means ± SD. Different letters in the same line indicate significantly different means (dry matter content and energy density:  $p < 0.001$ ; distribution temperature:  $p < 0.01$ ). The intended dry matter content of G1 was about 10 g/100 g which was equivalent to 188 kJ/100 g. The intended dry matter content of G2 was about 110 g/100 g which was equivalent to 460 kJ/100 g.

6.3 months and only four infants had a low birth weight. Their weight at the beginning of study was 7.2 ± 1.0 kg and their mean weight-for-age Z-score was −0.57 ± 1.31 with 13% having a weight-for-age Z-score less than −2. Their median age at the beginning of their usual gruel intake was 5.0 months and the gruel feeding frequency was 2.0.

### Morbidity

Presence and duration of the infants' illness (fever, diarrhoea and respiratory illness) were compared during

Table 2

Principal characteristics of infants at the beginning of the study

Gender <sup>a</sup>	
Male	16 (53%)
Female	14 (47%)
<i>Anthropometric characteristics (n=30)</i>	
Age (month)	
Median (interquartile range)	6.3 (1.1)
Minimum	5.9
Maximum	8.3
Birth weight <sup>b</sup> (kg)	2.9 ± 0.5
Birth weight <sup>a</sup> (2.5 kg)	4 (13%)
Weight at the beginning of the study <sup>b</sup>	7.2 ± 1.0
Weight for age <sup>b</sup> Z-score	−0.57 ± 1.31
<i>Breast milk and gruel intakes<sup>c</sup> (n=30)</i>	
Breast-feeding frequency in the daytime (number/day)	6.0 (3.0)
Breast-feeding frequency at night (number/night)	2.5 (1.0)
Gruel consumption frequency (number/day)	2.0 (1.0)
Age at the introduction of gruel (month)	5.0 (1.0)

<sup>a</sup> Number of infants (%).

<sup>b</sup> Values are means ± SD.

<sup>c</sup> Values are medians (interquartile ranges).

Table 3

Breast-feeding frequency and duration within the 8 hour period of observation during the two periods of experimental gruel distribution

	During G1 distribution period	During G2 distribution period
<i>Sample size</i>		
Day 1	29	29
Day 5	27	28
Day 10	27	29
<i>Frequency (number/8 h)</i>		
Day 1	6.0 (5.0)	5.0 (3.0)
Day 5	5.0 (3.0)	6.0 (4.5)
Day 10	6.0 (3.0)	5.0 (2.0)
<i>Duration (min/feed)</i>		
Day 1	4.1 (1.7)	4.1 (1.8)
Day 5	3.9 (1.5)	3.5 (1.8)
Day 10	4.4 (2.0)	4.4 (2.3)
<i>Total duration (min/8 h)</i>		
Day 1	23.4 (23.6)	22.7 (19.0)
Day 5	19.0 (21.2)	18.5 (20.1)
Day 10	24.1 (15.5)	20.7 (14.9)

Values are medians (interquartile ranges). No differences were found between G1 and G2 distribution periods ( $p > 0.05$ ) or as a function of the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) for each type of gruel ( $p > 0.05$ ). Sample size is the number of infants for whom measurements were possible.

the consumption of G1 and G2 and no significant difference was observed.

### Breast-feeding, water drinking and consumption of other complementary foods

#### Breast-feeding frequency and duration

Breast-feeding frequency and duration during the 8 h period of observation are presented in Table 3. There was no significant difference between breast-feeding frequency and duration as a function of the type of gruel (G1 or G2), the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days), or the order of the 10-day distribution period (G1/G2 or G2/G1). No interactions between variables were significant. These results showed that these factors did not modify breast-feeding practices (frequency and duration). Breast-feeding frequency (number/day) varied from 5.0 to 6.0 during the period of G1 and G2 intakes. The total duration of breast-feeding (min/day) varied from 19.0 to 24.1 during the period of G1 intake and from 18.5 to 22.7 during the period of G2 intake.

#### Water drinking and consumption of other complementary foods

The type of gruel (G1 or G2), the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days), and the order of the 10-day period of distribution (G1/G2 or G2/G1) had no significant effect on the frequency and amounts of water consumed, and no interaction was significant. The frequencies of water drinking during the 8 h period of observation did not exceed four and the amounts of water drunk varied from 115 to 137 g during the period of G1

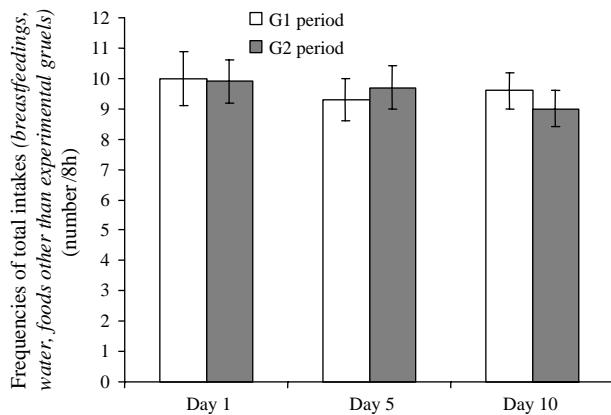


Fig. 1. Frequencies of total intakes (breast-feeding, water, other foods than experimental gruels) (number/8 h). Values are mean  $\pm$  SE. No differences were found between G1 and G2 distribution periods or the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) for each type of gruel.

consumption and from 109 to 144 g during the period of G2 consumption.

Because of the limited number of other complementary foods (fruits and fruit juices, starchy foods, meat-fish-egg) consumed during the 8 h period of observation, it was not possible to apply statistical tests. However, we observed that the frequency and amounts of other complementary food consumed were comparable during the consumption periods of low and high energy density gruels.

#### *Frequencies of total intakes during the 8 h period of observation*

Frequencies of total intakes (breast feeding, water, foods other than experimental gruels) are presented in Fig. 1. No significant effects were observed for type of gruel (G1 or G2), the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days), the order of the 10-day distribution period (G1/G2 or G2/G1) and no interaction was significant. Frequencies of total intakes (number/8 h) were not considered as confounding factors on intakes from experimental gruels and varied from 9.3 to 10.0 during the G1 distribution period and from 9.0 to 9.9 during the G2 distribution period.

Breast-feeding and water drinking frequencies represented respectively, 57 and 38% of the total number of frequencies of food consumption. These results showed that the mean number of meals was very high but that consumption of other foods than experimental gruels and breast milk was not frequent.

#### *Experimental gruel intakes*

Statistical analysis showed that for G1 and G2, the rank of gruel meals (first or second of the day) and the order of the 10-day distribution period (G1/G2 or G2/G1) had no significant effect on the intakes (amounts consumed and energy intakes).

Fig. 2 compares the amounts of experimental gruels consumed (g/kg body weight/meal and g/kg body weight/

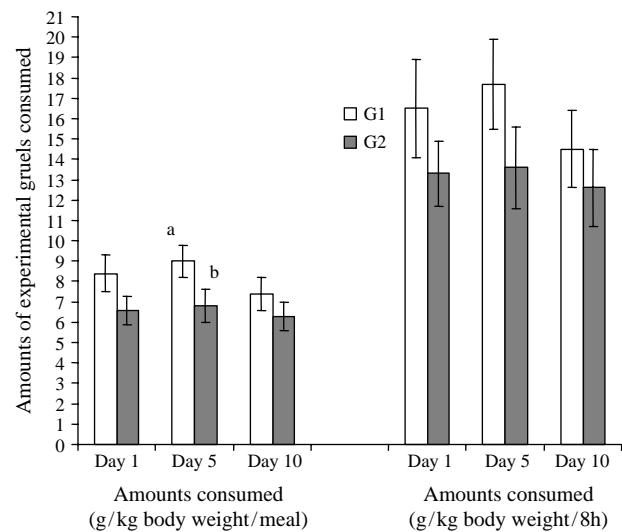


Fig. 2. Amounts of experimental gruels consumed (per meal and per 8 h period). Values are mean  $\pm$  SE. Only amounts of G1 and G2 consumed (per meal and per day) on day 5 were significantly different ( $p=0.044$ ). No differences were found as a function of the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) for each type of gruel.

8 h). For each of the two types of gruel, the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) had no significant effect either ( $p>0.05$ ) on the amount of gruel consumed per meal or on the amount of gruel consumed within the 8 h period of observation. Mean amounts of G1 and G2 consumed per meal were no different on day 1 ( $8.4 \pm 0.9$  vs  $6.6 \pm 0.7$  g/kg/meal, respectively;  $p=0.16$ ) and day 10 ( $7.4 \pm 0.8$  vs  $6.3 \pm 0.7$  g/kg/meal, respectively;  $p=0.57$ ) but on day 5, the amounts of G1 consumed per meal were significantly higher than those of G2 ( $9.0 \pm 0.8$  vs  $6.8 \pm 0.7$  g/kg/meal, respectively;  $p=0.044$ ). When considering the total amount of G1 and G2 consumed during the 8 h period of observation, no differences were noted on day 1 ( $16.5 \pm 2.4$  vs  $13.3 \pm 1.6$  g/kg/8 h, respectively;  $p=0.52$ ), day 5 ( $17.7 \pm 2.2$  vs  $13.6 \pm 2.0$  g/kg/8 h, respectively;  $p=0.32$ ) and day 10 ( $14.5 \pm 1.9$  vs  $12.6 \pm 1.9$  g/kg/8 h, respectively;  $p=0.93$ ).

Fig. 3 compares the energy intakes (kJ/kg body weight/meal and kJ/kg body weight/8 h) from experimental gruels. For each of the two types of gruel, the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) had no significant effect either ( $p>0.05$ ) on the mean energy intakes per meal or on total energy intakes within the 8 h period of observation. Mean energy intakes from high energy density gruels were significantly higher than those from low energy density gruels on days 1 ( $18.0 \pm 2.1$  vs  $28.8 \pm 2.5$  kJ/kg/meal, respectively;  $p=0.0002$ ), 5 ( $19.2 \pm 1.7$  vs  $28.8 \pm 2.9$  kJ/kg/meal, respectively;  $p=0.002$ ) and 10 ( $15.5 \pm 1.7$  vs  $25.9 \pm 2.9$  kJ/kg/meal, respectively;  $p=0.0004$ ). In the same way, when comparing total energy intakes from G1 and G2 within the 8 h period of observation, significant differences were found on day 1 ( $35.1 \pm 5.0$  vs  $57.7 \pm 6.7$  kJ/kg/8 h, respectively;  $p=0.003$ ), day 5 ( $38.0 \pm 5.0$  vs

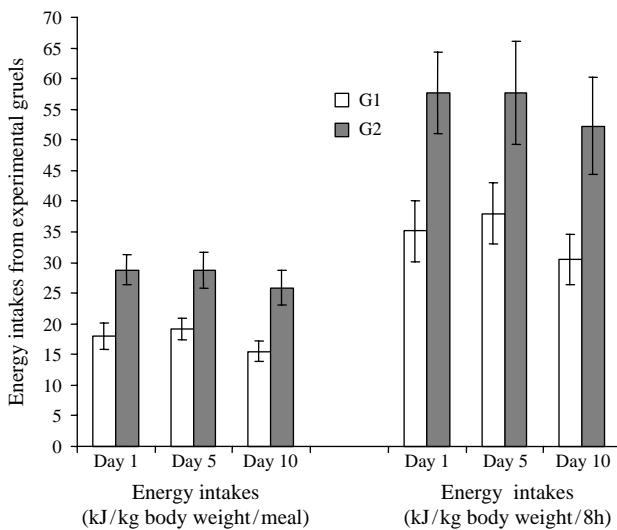


Fig. 3. Energy intakes from experimental gruels (per meal and per 8 h period). Values are mean  $\pm$  SE. After a habituation period of the same duration, G1 and G2 mean energy intakes were significantly different. No differences in energy intakes were found as a function of the duration of the habituation period (1, 5 or 10 days) for each type of gruel.

$57.7 \pm 8.4$  kJ/kg/8 h, respectively;  $p=0.016$ ) and day 10 ( $30.5 \pm 4.2$  vs  $52.3 \pm 7.9$  kJ/kg/8 h, respectively;  $p=0.006$ ).

## Discussion

### Effect of the duration of the habituation period

For both low and high energy density gruels, the amounts of gruel consumed (g/kg/meal and g/kg/8 h) and energy intakes (kJ/kg/meal and kcal/kg/8 h) from gruels were not significantly different after 1, 5 and 10 days of habituation period even if intakes decreased slightly between days 5 and 10. Thus a 10-day habituation period was insufficient to evidence a possible negative effect of monotony of the diet as previously mentioned by Brown (1997).

Sanchez-Grinan et al. (1992) also experienced difficulty observing significant differences between energy intakes from high energy density gruels over a long period of exposure to gruel characteristics. Their study showed that daily energy intakes from a low energy density diet increased during the first 3 days of consumption and then remained at the same level from the 3rd day. On the other hand, no significant difference with respect to the duration of the period of exposure to gruel characteristics was observed with high energy density diet.

Our results differed from those of Sullivan and Birch (1994) and Birch et al. (1998) who showed that 4 to 7-month-old infants increased their acceptance (reflected both in changes in intake and behavioural response) of a novel food after repeated dietary exposure (1 meal per day for 10 days) to that food.

### Effect of energy density

When considering all the data obtained on days 1, 5 and 10, it appears that amounts consumed of low energy density gruel were significantly higher (respectively, 8.3 vs 6.6 g/kg/meal, for G1 and G2;  $p<0.001$ , main effect type of gruel) than those of high energy density gruels. But, despite the lower amounts consumed per meal, consumption of the high energy density gruels significantly increased the energy intakes by 60% in comparison with low energy density gruels (28.0 vs 17.6 kJ/kg/meal, respectively, for G2 and G1;  $p<0.001$ , main effect type of gruel). Previous results obtained in Burkina Faso led to the same conclusions (Vieu et al., 2001). Similar effects of energy density on energy intakes have already been shown by several authors (Bennet et al., 1999; Moursi, Mbemba, & Trèche, 2003; Dewey & Brown, 2003).

With respect to breast-feeding frequencies, observations on infant diet showed that in our survey, besides experimental gruels, breast milk was the infant's basic food. The type of gruel consumed had no significant effect on the total duration of breastfeeding within the 8 h period of observation. Moursi et al. (2003) also observed that amylase-containing gruels did not displace breast milk more than the same foods without amylase. In the hypothesis that there is a correlation between the duration of breastfeeding and the amount of milk intake, we suppose that consumption of high energy density gruels does not lead to a decrease in energy intakes from breast milk during the 8 h period of observation. If this result could have been confirmed after 24 h, consumption of high energy density gruel could be assumed to improve the total daily energy intake. However, many studies already observed a phenomenon of energy compensation in infants who balanced energy intakes from the different meals consumed in the day and arrived at constant daily total energy intakes (Garcia, Kaiser, & Dewey, 1990; Birch & Fisher, 1997; Pearcey & De Castro, 1997; Dewey & Brown, 2003).

### Amounts of gruel and other complementary foods consumed

Globally, amounts of experimental gruels consumed (8.3 and 6.6 g/kg/meal, respectively, for G1 and G2) were far lower than the theoretical gastric capacity of infants which is estimated at 30 ml/kg/meal (Sanchez-Grinan et al., 1992). For 73% of low energy density gruel meals and for 76% of high energy density gruel meals, mothers said that the amounts of gruels consumed were no different from the amounts usually consumed by the infant. Consequently, we can consider that the observed quantities were representative of the infant's habits. Observations of infant diets during the study showed that, whatever the type of gruel consumed, the amounts of other complementary foods consumed (starchy foods, meat-fish-egg, fruits and fruit juice) were quite low. A previous survey has shown that breast milk intake per 24 h in 5-month-old infants living in

Ouagadougou was rather high ( $776 \pm 262$  g/day) with a high number ( $13.6 \pm 2.7$ ) of breast feeds per day (Thiombiano-Coulibaly, Rocquelin, Eymard-Duvernay, Zougmoré, & Traoré, 2004). Even if the total duration of breast feeding in our study (around 25 min/8 h) was considerably lower than the total duration of breast feeding (124 min/24 h) observed in 5-month-old infants by Thiombiano-Coulibaly et al. (2004), we can nevertheless consider that breast milk intake is relatively high, which limits intakes from complementary foods.

#### *Contribution of gruels to energy requirements*

According to a recent recommendations concerning complementary feeding of young children in developing countries (Butte et al., 2000), in 6 to 9-month-old infants, energy requirements are 322 kJ/kg body weight/day. Mean breast milk intakes of infants in developing countries covers about 67% of the total energy requirements and complementary foods cover about 33% (Dewey & Brown, 2003). In our survey, two G2 feedings per day covered about 18% of the total energy requirements. Taking into account, the low frequency and the amount of other complementary foods consumed, we can consider that the contribution of complementary foods was certainly close to this percentage.

Taking into account energy intakes based on mean breast milk intakes (776 g/day) of 5-month-old infants in urban Burkina Faso (Thiombiano-Coulibaly et al., 2004) and a breast milk energy density of about 2.8 kJ/g (WHO, 1998), we can estimate that at 5 months, breast milk covers about 92% of the total energy requirements (2374 kJ/day) (WHO, 2002). If breast milk intakes after 6 months continue to be high, this may partly explain the low energy intakes from gruels and other complementary foods.

#### **Conclusion**

Our results showed that the duration of the period of habituation did not lead to an increase in intakes (amounts consumed and energy intakes) from low and high energy density gruel.

Otherwise, the amounts of low energy density gruels consumed were significantly greater than those of high energy density gruel. On the other hand, energy intakes from high energy density gruels were 60% higher than those from low energy density gruels. Whatever their energy density, the amounts of gruels consumed remained very low and far lower than the infant's gastric capacity. The consequence was that even with high energy density gruels, gruel feedings did not cover more than 18% of infant total energy requirements.

Increasing gruel energy density associated with changes in flavour might be the best way to improve the level of the daily energy intake from gruels. However, observations on infant eating habits revealed that the total number of meals

and the frequency of breast-feeding were very high and could partly explain the low level of gruel and other food intakes.

Further research is needed to assess the effect of the consumption of other foods on the intake of high and low energy density gruels.

#### **Acknowledgements**

We would like to thank the mothers and infants who participated in this study. We thank Dr Claire Mouquet-Rivier for her comments on the manuscript and Séverine Hervé for the verification of data. IRD funded the study.

#### **References**

- AFNOR, NF V 03-050 (1970). Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl.
- Bennet, V. A., Morales, E., Gonzales, J., Peerson, J. M., de Romana, G. L., & Brown, K. H. (1999). Effect of dietary viscosity and energy density on total daily energy consumption by young Peruvian Children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(2), 285–291.
- Birch, L. F., & Fisher, J. O. (1997). Food intake regulation in children. Fat and sugar substitutes and intake. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 819, 194–220 [Review] [23 refs].
- Birch, L. L., Gunder, L., Grimm-Thomas, K., & Laing, D. G. (1998). Infants' consumption of a new food enhances acceptance of similar foods. *Appetite*, 30(3), 283–295.
- Brown, K. H. (1997). Complementary feeding in developing countries: Factors affecting energy intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, 56(1A), 139–148.
- 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.
- 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.
- Garcia, S. E., Kaiser, L. L., & Dewey, K. G. (1990). The relationship of eating frequency and caloric density to energy intake among rural Mexican preschool children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44, 381–387.
- INSD & Macro International Inc. (2000). *Enquête de Démographie et de Santé—Burkina Faso 98/99* pp. 121–134.
- Moursi, M., Mbemba, M., & 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.
- Pearcey, S. M., & De Castro, J. M. (1997). Food intake and meal patterns of one year old infants. *Appetite*, 29(2), 201–212.
- Proskey, 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.
- Sanchez-Grinan, M. I., Person, J., & Brown, K. H. (1992). Effect of dietary energy density on total ad libitum energy consumption by recovering malnourished children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 197–204.

- Sullivan, S. A., & Birch, L. L. (1994). Infant dietary experience and acceptance of solid foods. *Pediatrics*, 93(2), 271–277.
- Thiombiano-Coulibaly, N., Rocquelin, G., Eymard-Duvernay, S., Zougmoré, O. N., & Traoré, S. A. (2004). Effects of early extra fluid and food intake on breast milk consumption and infant nutritional status at 5 months of age in an urban and rural area of Burkina Faso. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58, 80–89.
- Trèche, S. (2002). Complementary foods in developing countries: Importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In P. Kolsteren, & T. Hoerée (Eds.), *Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives* (pp. 132–148). Antwerpen: ITG Press.
- Vieu, M. C., Traoré, T., & Trèche, S. (2001). Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabè infant energy intakes in free living conditions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52, 213–218.
- WHO (1998). *Complementary feeding of young children in developing countries: A review of current scientific knowledge*. UNICEF/ University of California-Davis/ WHO/ ORSTOM. Geneva: WHO/NUT/98.1.
- 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.

## **CHAPITRE 3-2**

MISE AU POINT DE FORMULES ET DE  
PROCEDES AMELIORES POUR LA  
PRODUCTION DE FARINES INFANTILES

## **MISE AU POINT DE FORMULES ET DE PROCEDES AMELIORES POUR LA PRODUCTION DE FARINES INFANTILES**

Les travaux précédents ayant montré l'intérêt nutritionnel de l'augmentation de la densité en énergie et en nutriments ainsi que de l'amélioration des caractéristiques organoleptiques des bouillies, il nous est apparu nécessaire de mettre au point des procédés permettant d'améliorer les caractéristiques intrinsèques de bouillies préparées à partir de matières premières produites ou disponibles localement. Les travaux réalisés dans ce volet de la thèse avaient pour objectifs de proposer et de tester des voies d'amélioration des farines infantiles aux niveaux de leur formulation et du choix des procédés utilisables localement pour leur production, notamment en milieu rural. Les travaux sont regroupés en deux parties relatives, d'une part, à la définition et à la mise au point de procédés pour améliorer les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des bouillies et, d'autre part, à la mise au point de sources enzymatiques en vue d'une incorporation dans des farines infantiles susceptibles d'être produites en milieu rural.

---

## **Chapitre 3-2-1**

Procédés utilisables pour améliorer les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des bouillies

## **Procédés utilisables pour améliorer les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des bouillies**

Parmi les principales causes de la malnutrition du jeune enfant dans les PED figurent la faible densité en énergie et en nutriments et le peu d'appétibilité des bouillies qui sont utilisées comme premier aliment de complément au lait maternel (WHO, 1998). Une des voies d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant est donc d'améliorer l'aliment lui-même. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à certaines propriétés intrinsèques des bouillies, en particulier leur densité énergétique et leurs caractéristiques organoleptiques. Les résultats de cette étude sont présentés dans un article soumis à *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*.

---



## **Voies d'amélioration des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des bouillies préparées à partir de farines infantiles produites localement au Burkina Faso**

**Traoré Tahirou<sup>1,2\*</sup>, Mouquet Claire<sup>1</sup>, Traoré Alfred S<sup>2</sup> et Trèche Serge<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Unité de Recherche 106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés », Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France.

<sup>2</sup> CRSBAN, Département de Biochimie/Microbiologie, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

\*Auteur correspondant:[ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf); [t\\_tahirou@yahoo.fr](mailto:t_tahirou@yahoo.fr)

### **RESUME**

Cette étude a été réalisée en vue de proposer et de tester des voies d'amélioration d'une farine infantile, à base d'ingrédients locaux, aux niveaux de sa composition et des procédés technologiques utilisables localement pour sa préparation. Huit séances de dégustation réunissant de 12 à 18 mères et leurs enfants (6-23 mois) ont été effectuées. L'objectif de chaque séance était de comparer 3 bouillies différentes préparées à partir de farines correspondant soit à 3 taux d'incorporation (TI) d'un ingrédient déjà présent dans la formule (sucre, arachide et sel), soit à 3 TI d'un ingrédient nouveau (lait en poudre), soit à l'incorporation d'ingrédients d'aromatisation différents (pain de singe et pulpe de néré; PS et PN) soit à 3 taux de substitution du mil par du maïs. Par ailleurs, la définition et la comparaison des modalités d'utilisation de trois sources possibles d'amylases (amylases industrielles, malt d'orge et sorgho germé) et leurs effets sur les caractéristiques rhéologiques de bouillies préparées à une densité énergétique d'au moins 100 kcal/100 g ont été étudiées. Des quantités croissantes des différentes sources enzymatiques ont été incorporées dans la farine infantile et des mesures de la distance d'écoulement ont été réalisées après transformation sous forme de bouillies. Les résultats obtenus au cours des 8 séances d'évaluation sensorielle montrent que, jusqu'à un TI de 20%, les bouillies sont d'autant plus appréciées qu'elles contiennent plus de sucre, que le TI optimal pour l'arachide est de 9%, que

des variations du TI du sel entre 0,4 et 1,0% n'influent pas sur l'acceptabilité des bouillies, qu'un TI de 5% du lait en poudre est préférable à des TI de 1 et 9%, que l'incorporation du mélange “5%PS+2,5%PN” est davantage appréciée que les autres incorporations d'ingrédients d'aromatisation étudiées et que 50% de mil peuvent être substitués par du maïs sans diminution significative de l'acceptabilité des bouillies, un taux de substitution de 25% paraissant même l'améliorer.

Par ailleurs, cette étude a montré que l'utilisation des amylases industrielles et du malt d'orge reste réservée à des ateliers de production de farine infantile ayant un minimum d'équipements et de maîtrise technique. D'autres investigations sont nécessaires pour définir un mode standardisé de production de farine de céréale germée dans la perspective de leur utilisation dans de petites unités communautaires de production de farines infantiles en milieu rural.

**Mots-clés:** Farine infantile – Caractéristiques organoleptiques – Sources amylasiques – Densité énergétique – Burkina Faso.

## INTRODUCTION

A partir d'environ 6 mois après la naissance, l'apport en énergie et en nutriments du lait maternel est insuffisant pour couvrir les besoins nutritionnels des enfants, et ce déficit doit être comblé par d'autres aliments [1]. Ces deux types d'alimentation (lait maternel et aliments de complément) doivent se poursuivre jusqu'à 2 ans environ [1]. C'est entre l'âge de 6 et 24 mois, correspondant normalement à la période d'alimentation complémentaire, que s'installe généralement la malnutrition chez le jeune enfant. Bien que leur utilisation soit nécessaire à partir de l'âge de 6 mois, les aliments de complément apparaissent comme étant directement ou indirectement en relation avec les formes de malnutrition observées. L'ingéré énergétique et en nutriments est influencé par des facteurs liés à l'aliment, à l'enfant et à la personne qui s'occupe de l'enfant [2]. Il est généralement reconnu que la densité énergétique insuffisante des aliments de complément est un facteur étiologique de la malnutrition chez le jeune enfant [1]. Plusieurs auteurs ont souligné l'importance de l'augmentation de la densité énergétique pour améliorer l'ingéré énergétique chez les jeunes enfants dans les pays en développement [3-9]. Il est également reconnu que les caractéristiques organoleptiques des aliments de complément influencent les quantités consommées par le jeune enfant car leur acceptabilité dépend en grande partie de l'adéquation de ces caractéristiques aux préférences sensorielles et culturelles des consommateurs [1]. Parmi ces facteurs, la saveur de l'aliment influence fortement son ingéré énergétique. En effet, c'est vers l'âge de 6 mois que la différenciation des goûts et la fonction de mastication apparaissent [10] chez le nourrisson. Plusieurs auteurs ont montré l'importance de facteurs organoleptiques spécifiques pour augmenter l'ingéré énergétique chez le jeune enfant [8, 11].

Au Burkina Faso, comme dans la plupart des pays en développement, les enfants reçoivent comme premier aliment de complément des bouillies préparées à partir de farines ou de mélange de farines, de consistance fluide et ayant une densité énergétique d'environ 40 kcal/100g de bouillie [12]. La capacité gastrique réduite des nourrissons (30-40 ml par repas et par kg de poids corporel) [13] et leur faible fréquence journalière de consommation (le plus souvent 2 bouillies par jour) font que la consommation de telles bouillies ne peut généralement pas apporter les compléments au lait maternel nécessaires à la couverture des besoins énergétiques. Dans le même temps, le faible pouvoir d'achat des populations ne leur permet pas d'avoir accès à des farines importées fabriquées industriellement. Aussi, favoriser l'accès des nourrissons à des farines infantiles à base d'ingrédients locaux de bonnes qualités nutritionnelles et organoleptiques constitue donc une des voies d'amélioration des situations

nutritionnelles dans les pays en développement [1]. La production locale de farines infantiles a été encouragée au Burkina Faso et plusieurs unités artisanales de production ont vu le jour dans différentes régions du pays. Cependant les produits proposés comportent des limites et des insuffisances dont les plus importantes sont leur prix élevé, leurs densités énergétique et en nutriments insuffisantes ainsi que leur faible qualité organoleptique après transformation sous forme de bouillies.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude qui avait pour objectif de proposer et de tester des voies d'amélioration d'une farine infantile aux niveaux de sa composition et des procédés technologiques utilisables localement pour sa production. Il s'est agit (*i*) de proposer et d'étudier l'effet sur l'acceptabilité organoleptique de modifications apportées à la formule d'une farine infantile locale et (*ii*) de proposer des procédés enzymatiques permettant de préparer, à partir de cette farine, des bouillies ayant à la fois une densité énergétique et une consistance adaptées aux besoins nutritionnels et aux habitudes alimentaires des jeunes enfants.

## MATERIELS ET METHODES

### Matières premières

La farine infantile locale étudiée, composée de mil (68%), de soja (17%), d'arachide (5%), de sucre (9%) et de sel (1%), est une farine à cuire produite de manière artisanale par une coopérative féminine. Cette farine a été reformulée de façon à s'assurer qu'elle ait une composition appropriée en macronutriments, en acides aminés et en acides gras essentiels. La reformulation a été réalisée à l'aide du logiciel Alicom (mis au point, mais non encore diffusé, par l'IRD) qui tient compte de la composition en nutriments et du prix des aliments localement disponibles et d'objectifs nutritionnels préalablement fixés.

Le mil, le maïs, le soja, l'arachide, le sucre, le sel, le lait en poudre, la pulpe de gousses de pain de singe et la pulpe de néré ont été achetés dans le commerce à Ouagadougou. Les graines de sorgho rouge germées provenaient de 10 ateliers différents de fabrication de bière traditionnelle (dolo) sélectionnés au hasard dans le secteur 30 de Ouagadougou [14] : un échantillon moyen de farine de sorgho germé a été constitué à partir des échantillons prélevés dans ces 10 ateliers. Le malt d'orge importé provenait des brasseries Brakina. Les  $\alpha$ -amylases

industrielles (BAN 800 MG) sont produites et commercialisées par Novozymes (Bagsvaerd, Denmark).

Tout au long de l'étude, les bouillies ont été préparées selon la méthode décrite par Vieu et al. [8] dans des conditions les plus proches possibles de celles rencontrées dans les ménages, à des concentrations les plus proches possibles de 25 g MS/100 g de bouillie (soit environ 100 kcal/100 g de bouillie).

### **Comparaisons effectuées et tests utilisés au cours des séances d'évaluation sensorielle**

Les farines testées ont été formulées à l'aide du logiciel Alicom de manière à leur donner une composition en nutriments correspondant aux recommandations les plus récentes au moment de leur élaboration [1]. Par ailleurs, des amylases industrielles (BAN 800 MG) ont été incorporées dans des proportions permettant de leur conférer simultanément une densité énergétique (100 kcal/100g de bouillie) et une consistance appropriées. Les bouillies comparées au cours de chaque séance étaient de même consistance et de même couleur. Les farines testées ont correspondu à :

- trois taux d'incorporation (TI) d'un ingrédient déjà présent dans la formule de base : le sucre (1<sup>er</sup> test, S1 : 1, 9 et 20% - 2<sup>nd</sup> test, S2 : 10, 15 et 20%) ; l'arachide (1<sup>er</sup> test, S3 : 1, 5 et 9% - 2<sup>nd</sup> test, S4 : 9, 11 et 13%) ; le sel (S5 : 4, 7 et 10%) ;
- trois TI d'un ingrédient nouveau, le lait en poudre (S6 : 1, 5 et 9%) ;
- l'incorporation de 3 ingrédients d'aromatisation différents (S7 : 5% de pain de singe, 10% de pulpe de néré et 2,5% de pain de singe + 5% de pulpe séchée de néré) ;
- trois taux de substitution partielle du mil par du maïs (S8 : 0, 25 et 50%).

Les farines ayant été formulées de façon à maintenir les teneurs en protéines et lipides supérieures à des valeurs minimales fixées (3,0 g de protéines digestibles et 2,1 g de lipides pour 100 kcal), les variations du taux d'incorporation des ingrédients étudiés entraînaient des variations plus ou moins importantes des taux d'incorporation des autres ingrédients. Ce sont donc les effets de l'ensemble des modifications apportées à la formule qui ont été comparés au cours de chaque séance.

Les tests utilisés ont été choisis parmi ceux couramment utilisés en évaluation sensorielle [15] en supposant que, pour des contraintes logistiques lors de la préparation des bouillies et de fatigue sensorielle des dégustatrices, il n'était pas possible de comparer plus de trois bouillies

au cours de chaque séance. Il s'agissait de tests de différenciation 2 sur 5, d'épreuves par paire [16] et de tests de classement par ordre de préférence [17] des bouillies.

Huit séances (S1 à S8) ont été organisées dans les locaux de l'unité de production de la farine infantile auprès de jurys constitués, selon les séances, de 12 à 18 mères ayant un enfant âgé de 6 à 24 mois. A chaque séance, une série de tests représentant l'étude d'une possibilité d'amélioration a été réalisée. La validité des résultats est limitée aux conditions de réalisation de l'étude (nature des autres ingrédients de la formule initiale, teneurs minimales en nutriments fixés).

### **Modalités d'utilisation de trois sources enzymatiques**

#### Modes d'incorporation des sources $\alpha$ -amylasiques dans la farine infantile

Des quantités croissantes de sources enzymatiques, déterminées de manière empirique, ont été ajoutées dans les farines (de 4,5 à 6,3 mg d' $\alpha$ -amylase BAN /100 de farine infantile) ou incorporées dans les formules des farines (de 1,7 à 5,7 g de malt d'orge et de 7,4 à 15,5 g de l'échantillon moyen de sorgho germé /100 g de farine infantile).

Par ailleurs, pour estimer la variabilité de leur activité amylolytique, chacun des 10 échantillons de sorgho germé a été incorporé dans la farine infantile à un taux correspondant à celui ayant permis d'atteindre la valeur d'écoulement la plus proche de 120 mm/30 s avec l'échantillon moyen de sorgho germé.

L'incorporation du malt d'orge, de l'échantillon moyen de sorgho germé et de chacun des 10 échantillons de sorgho rouge dans la farine a été réalisée en substituant, sur la base de la matière sèche, une partie du mil par ces sources enzymatiques.

#### Collecte des données relatives aux coûts et contraintes d'utilisation des sources enzymatiques

Des données relatives aux prix de vente ont été recueillies auprès du fournisseur pour la BAN 800 MG, auprès de la brasserie Brakina pour le malt d'orge et chez les dolotières pour le sorgho germé. La comparaison des contraintes d'utilisation des trois sources d'amylase a porté sur leur disponibilité, leur facilité de mise en œuvre dans de petites unités de production de farine infantile, leur activité amylolytique, leur aptitude à la conservation, leur acceptabilité culturelle par les populations, leurs risques de toxicité et leur durée de préparation.

## **Analyses physico-chimiques**

### Composition globale

La détermination de la teneur en matière sèche a été faite par dessiccation à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant. La teneur en protéines ( $N \times 6,25$ ) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl (18). La détermination des teneurs en lipides a été réalisée par la méthode d'extraction au Soxtec Tecator (adaptation de la méthode au Soxhlet ; avec l'éther de pétrole comme solvant d'extraction). Les fibres totales (solubles et insolubles) ont été dosées par la méthode gravimétrique et enzymatique de Prosky et al. (19). Les cendres totales ont été déterminées par minéralisation au four à 530°C.

### Mesure de la distance d'écoulement

100 g de bouillie (mesurés par pesée) sont versés le compartiment prévu à cet effet dans un consistomètre de Bostwick pour réaliser la mesure de la distance d'écoulement. La mesure est faite dès que la bouillie dans le consistomètre atteint 45°C en déterminant la distance parcourue par le front de la bouillie en 30s.

### **Analyse statistique des données**

L'exploitation statistique des résultats du test de différenciation 2 sur 5 et de l'épreuve par paire a été faite à l'aide de tables de signification de l'AFNOR [16]. L'analyse des données relatives aux tests de classement par ordre de préférence a consisté en une analyse de la variance (ANOVA) prenant en compte les trois répétitions effectuées auprès de chaque panéliste après transformation des rangs en notes (0,85 pour la bouillie classée en première position, 0 pour celle classée deuxième et -0,85 pour celle classée troisième).

## **RESULTATS**

### **Composition de la farine infantile après reformulation**

Les compositions en ingrédients et en nutriments de la farine reformulée sont présentées dans le tableau 1. Les teneurs en macro-nutriments sont acceptables au regard des valeurs minimales recommandées [1] au moment de l'élaboration de la farine infantile.

**Tableau 1 :** Comparaison des compositions en ingrédients et en nutriments de la farine avant et après reformulation.

	Ancienne formule	Nouvelle formule
<b>Ingrediénts (g/100 g)</b>		
Mil	68,0	66,3
Sucre	9,0	9,0
Soja	17,0	19,0
Arachide	5,0	5,0
Sel	1,0	0,7
<b>Nutriments (/100 g de matière sèche)</b>		
Cendres (g)		2,5
Fibres (g)		2,8
Lipides totaux (g)	9,4	10,5
Protéines totales (g)	11,4	16,9
Glucides totaux (g)		60,7
Contenu énergétique (kcal)	427,0	432,0

### **Amélioration des caractéristiques organoleptiques**

Les résultats des 8 séances d'évaluation sensorielle organisées en vue de contribuer à l'amélioration des caractéristiques organoleptiques de la farine infantile localement produite sont présentés dans le tableau 2 :

- Un TI du sucre de 20% a été préféré par les dégustatrices à l'issue de chacun des deux tests ;
- Les deux séances organisées en vue d'identifier le TI optimum de l'arachide ont montré que ce sont les bouillies préparées avec un TI de 9%, plus élevé que le TI dans la farine infantile de base (5%), qui ont été les plus appréciées ;
- Des variations du TI du sel entre 0,4 et 1,0% sont sans effet sur l'appréciation des bouillies par les consommateurs ;
- L'introduction de lait en poudre comme source de protéines ne semble pas présenter d'intérêt organoleptique. En effet, il est ressorti que les bouillies préparées à partir de farines ayant un TI de 5% étaient davantage appréciées que celles avec un TI de 9% mais que les consommateurs ne différenciaient pas de manière significative les bouillies préparées à partir de farines ayant un TI de 1% et de 5% ;
- L'incorporation de pulpe de néré et/ou de pain de singe, seuls ou en combinaison, modifie l'acceptabilité de la formule. La combinaison 5% de pulpe de néré et 2,5% de pain de singe a été la plus appréciée par les panélistes.
- Enfin, 50% du mil peut être substitué par du maïs sans diminution significative de l'acceptabilité des bouillies et un taux de substitution de 25% paraît même l'améliorer.

**Tableau 2 :** Préférences identifiées à l'issue des 8 séances d'évaluation sensorielle organisées.

<b>Objectifs</b>		<b>Caractéristiques des tests</b>			<b>Résultats</b>
<b>Général</b>	<b>Spécifique</b>	<b>Ingrédients considérés</b>	<b>Séances</b>	<b>TI<sup>2</sup> testés</b>	<b>Préférences identifiées</b>
		Sucre (TI actuel = 9%)	S1	1; 9; 20%	TI = 9% et TI = 20%
			S2	10; 15; 20%	TI = 20%
		Arachide (TI actuel = 5%)	S3	1; 5; 9%	TI = 9%
			S4	9; 11; 13%	TI = 9%
Améliorer l'acceptabilité organoleptique		Sel (TI actuel = 0,7%)	S5	4; 7; 10%	Aucune
		Optimisation du taux d'incorporation d'un ingrédient nouveau	Lait en poudre	S6	1; 5; 9% TI = 5% > TI = 9% Aucune entre 5% et 1%
		Optimisation du taux d'incorporation d'un ingrédient nouveau			
		Sélection d'ingrédients d'aromatisation	Pulpe de Néré (PN) et/ou de pain de singe (PS)	PN 10% PS 5% PN 5% + PS 2,5%	PN 5% + PS 2,5%
Parer à l'évolution de la disponibilité et/ou du coût des matières premières	Effet de la substitution partielle du principal ingrédient par un autre	Substitution partielle du mil par du maïs	S8	0%; 25%; 50%	TS <sup>2</sup> = 25% Aucune entre 0% et 50%

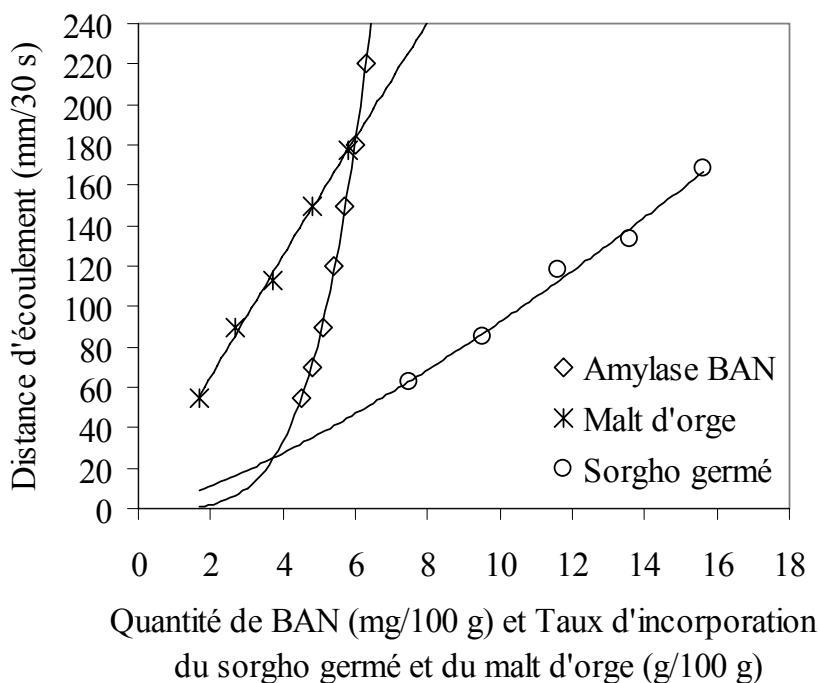
<sup>1</sup>Taux d'incorporation.

<sup>2</sup>Taux de substitution

## Comparaison des modalités d'utilisation des trois sources d'α-amylase

### Aptitude des sources α-amylasiques à fluidifier des bouillies à forte concentration en matière sèche

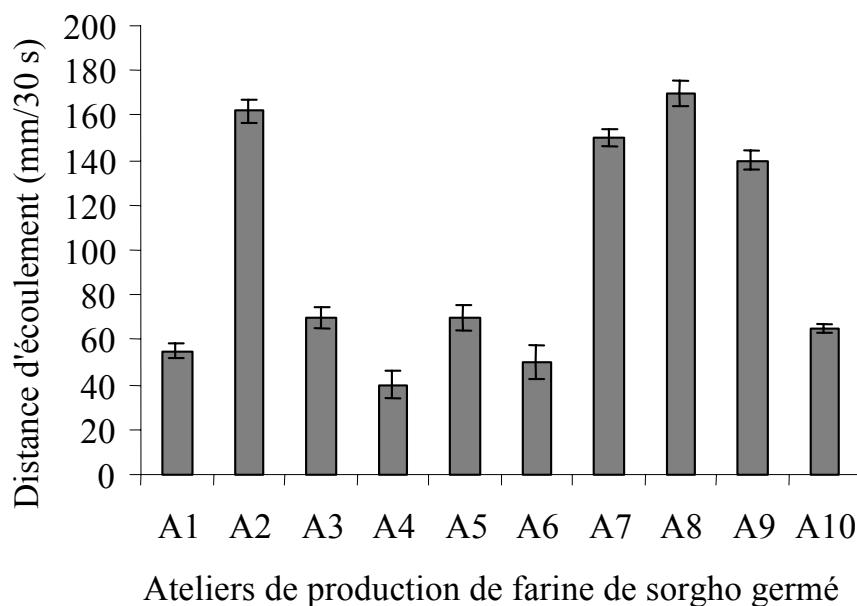
L'évolution de l'écoulement de bouillies préparées à la concentration de 25g de matière sèche pour 100g en fonction de la quantité d'amylases incorporées (figure 1) a permis de calculer les TI de chaque source amylasique permettant d'obtenir des bouillies de consistance appropriée. De très faibles quantités d'amylases BAN (5,4 mg/100 g de farine) ont été suffisantes pour conférer aux bouillies une consistance adaptée aux habitudes alimentaires des jeunes enfants burkinabè (120 mm/30 s) [8]. L'incorporation de farine de malt d'orge au taux de 3,8% a permis d'obtenir des bouillies de même consistance. En revanche, il faut incorporer l'échantillon moyen de farine de sorgho germé au taux de 11,7% pour obtenir des bouillies de même consistance.



**Figure 1 :** Comparaison des effets de l'incorporation de la BAN 800 MG (en mg/100 g de farine), du malt d'orge et du sorgho germé (en g/100 g de farine) sur la distance d'écoulement Bostwick (mm/30 s) de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie.

### Variabilité du pouvoir amyloytique des farines de sorgho germé

La comparaison de la distance d'écoulement des bouillies préparées après incorporation au taux de 11,7% des farines de sorgho rouge germé provenant des 10 ateliers de maltage est présentée dans la figure 2. Une importante variabilité ( $CV=52\%$ ) du pouvoir amyloytique d'un atelier de maltage à l'autre a été observée. Certains échantillons ont une forte aptitude à fluidifier des bouillies à forte concentration en matière sèche (ateliers A2, A7, A8 et A9) et d'autres une faible activité amyloytique (ateliers A1, A3, A4, A5, A6, et A10) se traduisant par une faible réduction de la viscosité des bouillies.



**Figure 2 :** Comparaison de la distance d'écoulement Bostwick (mm/30 s) de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie en fonction de l'origine du sorgho germé (moyenne  $\pm$  erreur-type de 2 bouillies préparées après incorporation de farines de sorgho germé provenant de 10 ateliers de production différents)

### Avantages et inconvénients des différentes sources $\alpha$ -amylasiques

Les avantages et inconvénients liés à l'utilisation des trois sources  $\alpha$ -amylasiques sont présentés dans le tableau 3. L'utilisation de la BAN 800 MG dans de petites unités de production entraînerait un surcoût de production de seulement environ 2 Fcfa par kg de farine infantile mais nécessiterait de résoudre les difficultés d'approvisionnement, de conservation (dans un réfrigérateur) et de mélange à la farine infantile.

**Tableau 3 :** Comparaison des avantages et inconvénients des trois sources amylasiques.

Sources $\alpha$ -amylasiques	Avantages	Inconvénients
<i>BAN 800 MG</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très faibles quantités à incorporer dans la farine</li> <li>- très faible coût (2 Fcfa/kg de farine)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difficultés d'approvisionnement</li> <li>- contrainte de stockage (basse T°C)</li> <li>- complexité du mélange à la farine</li> </ul>
<i>Farine de malt d'orge</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faibles quantités à incorporer dans la farine</li> <li>- prix constant et abordable (27 Fcfa/kg de farine)</li> <li>- facilité de mise en œuvre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difficultés d'approvisionnement</li> <li>- conservation</li> </ul>
<i>Farine de sorgho germé</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- disponible localement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- activité amylolytique variable</li> <li>- temps de préparation long</li> <li>- risques de toxicité</li> <li>- problèmes d'acceptabilité culturelle</li> </ul>

Le malt d'orge est également importé et augmenterait le prix de revient des farines infantiles de 27 Fcfa par kg de farine. En revanche, son utilisation présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre à partir des équipements existants dans les petites unités urbaines de production de farines infantiles.

L'utilisation de farine de sorgho germé entraînerait une augmentation moyenne de 37 Fcfa par kg de farine infantile et rencontrerait des problèmes d'acceptabilité culturelle auprès de certaines populations dans la mesure où elle intervient dans la préparation d'une boisson traditionnelle alcoolisée (le *dolo*). Par ailleurs, certains auteurs ont signalé la présence de cyanures dans les pousses et les racines des graines en germination [20-22]. Enfin, la germination des graines de sorgho est une technique relativement longue pouvant s'étaler sur plusieurs jours.

## **DISCUSSION**

### **Caractéristiques organoleptiques**

Le TI de sucre (20%) dans les farines infantiles préféré par les dégustatrices n'est pas à recommander car il risque d'accoutumer les jeunes enfants à une saveur sucrée très intense. L'incorporation de l'arachide comme source de protéine est appréciée à un taux de 9%. Toutefois, il est possible que cette préférence soit largement due à une diminution du taux d'incorporation du soja dans la formule. La combinaison 5,0% de pulpe de néré et 2,5% de pain de singe présente un intérêt organoleptique certain. La pulpe de néré, riche en sucre et disponible à moindre coût, pourrait substituer une partie du sucre dans la formule et contribuer ainsi à réduire le coût des farines infantiles. Cependant, les tests réalisés ne permettent pas de conclure sur leur TI optimum dans les farines. La substitution de 50% du mil par du maïs ne diminue pas l'acceptabilité des bouillies. Cette substitution pourrait répondre rapidement à des problèmes de disponibilité du mil dus à une montée des prix ou à une rupture de l'approvisionnement.

### **Utilisation des sources amylasiques**

De très faibles quantités d'amylases BAN et de farine de malt d'orge sont suffisantes pour conférer aux bouillies une consistance adaptée aux habitudes alimentaires des jeunes enfants. Par ailleurs, leur utilisation dans de petites unités de fabrication de farines entraînerait des surcoûts de production relativement faibles. Toutefois, la perspective de leur utilisation nécessiterait de résoudre les difficultés d'approvisionnement, de conservation et de mélange à la farine infantile (élaboration d'un pré-mélange et une grande rigueur dans la pesée et l'incorporation à la farine). L'utilisation de ces deux sources amylasiques reste donc réservée à des ateliers ayant un minimum d'équipements et de maîtrise technique. Le TI de sorgho rouge germé qu'il serait nécessaire d'utiliser pour qu'il permette la préparation de bouillies ayant à la fois une consistance et une densité énergétique appropriées est relativement très élevé et pourrait être à l'origine de modifications indésirables des caractéristiques organoleptiques des bouillies susceptibles d'influencer le niveau d'ingéré des enfants. Son incorporation augmenterait le prix de revient des farines infantiles. La variabilité du pouvoir amylolytique entre les échantillons provenant des 10 ateliers transformant le

sorgho rouge est probablement due, d'une part, à la nature et à l'origine de la matière première utilisée et, d'autre part, aux variantes technologiques observées dans la préparation des farines maltées. Cette variabilité du pouvoir amylolytique d'un atelier de maltage à l'autre nécessiterait, pour obtenir des bouillies ayant des caractéristiques constantes, de faire varier le taux d'incorporation des farines de sorgho germé dans les farines infantiles en fonction de leur origine. Compte tenu de leurs caractéristiques actuelles, les farines de céréales germées issues des ateliers de production traditionnelle de *dolo* semblent donc difficilement utilisables pour être incorporées dans des farines infantiles. D'autres investigations sont donc nécessaires pour définir un mode standardisé de production de farine de sorgho germé dans la perspective de leur utilisation dans de petites unités communautaires de production de farines infantiles en milieu rural.

## CONCLUSION

Les tests d'évaluation sensorielle effectués auprès de jurys représentatifs de mères d'enfants susceptibles d'utiliser la farine infantile locale ont permis d'optimiser les TI d'incorporation de certaines matières premières (arachide) et de révéler l'intérêt de l'introduction d'ingrédients produits localement (pain de singe et néré). Ils ont enfin permis d'établir la possibilité d'utiliser un substitut (maïs) de l'ingrédient principal pour parer à une éventuelle évolution de la disponibilité et/ou du coût des matières premières.

Le malt d'orge et les  $\alpha$ -amylases BAN sont deux sources enzymatiques susceptibles d'être utilisées pour réduire la viscosité des bouillies préparées à une densité énergétique d'environ 100 kcal/100 g de bouillie dans de petites unités urbaines de fabrication de farines infantiles ayant un minimum d'équipement. La variabilité de l'activité amylolytique des farines de sorgho germé ainsi que la durée de leur préparation et d'éventuels risques de toxicité nécessitent que leurs modes de production soient mieux connus et améliorés pour qu'elles puissent, d'une part, constituer une alternative intéressante à l'utilisation de sources d'amylases importées et, d'autre part, être utilisées dans de petites unités communautaires (en milieu rural) de production de farines infantiles ou au niveau des ménages les plus défavorisés. Cette approche

permettrait de bénéficier du savoir-faire technologique des populations et de valoriser les céréales locales. Il semble donc possible de proposer des procédés ou des modifications de formules pour mettre au point au niveau de petites unités urbaines et communautaires des farines infantiles pouvant être préparées sous forme de bouillies ayant les caractéristiques requises, mais les conditions de transfert de ces améliorations nécessitent d'être davantage étudiées.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **WHO**. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. WHO/NUT/98.1, 1998; p. 228.
2. **Brown KH** Complementary feeding in developing countries: factors affecting energy intake. *Proc. Nutr. Soc.* 1997; **56**: 139-148.
3. **Mosha AC and Svanberg U** The acceptance and intake of bulk-reduced weaning food: the Luganga village study. *Food Nutr. Bull.* 1990; **12**: 69-74.
4. **Brown KH, Sanchez-Grinan M, Perez F, Peerson, JM, Ganoza L and Stern JS** Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995; **62**(1): 13-18.
5. **Darling JC, Kitundu JA, Kingamkono RR, Msengi AE, Mduma B and Sullivan KR** Improved energy intakes using amylase-digested weaning foods in Tanzanian children with acute diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 1995; **21**(1): 73-81.
6. **Mitra AK, Rahman MM, Mahalanabis D, Patra FC and Wahed MA** Evaluation of an energy-dense meal liquiefied with amylase of germinated wheat in children with acute watery diarrhoea: a randomized controlled clinical trial. *Nutr. Res.* 1995; **15**(7): 939-951.
7. **Den Besten L, Glatthaar II and Ijsselmuiden CB** Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *J. Trop. Pediatr.* 1998; **44**(1): 4-9.

8. **Vieu MC, Traoré T and 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**: 213-218.
9. **Moursi M, Mbemba M and Trèche S** Does the consumption of amylase-containing gruels impact on energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr.* 2003; **6**(3): 249-257.
10. **Schmitz J and Mc Neisch AS** Development of structure and function of the gastro intestinal tract : Relevance of weaning. In: A. Ballabriga, J. Rey, Eds. Weaning : why, what, and when. Nestlé Nutrition Series, 10 Raven Press, New York, 1987: 1-43.
11. **Fomon SJ, Ziegler EE, Nelson SE and Edwards BB** Sweetness of diet and food consumption by infants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1983; **173**: 190-193.
12. **Trèche S** Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoerée T, Perez-Cueto eds: *Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives*. Antwerpen: ITG Press, 2002: 132-148.
13. **Sanchez-Grinan MI, Person J and Brown KH** Effect of dietary energy density on total *ad libitum* energy consumption by recovering malnourished children. *Eur. J Clin. Nutr.* 1992; **46**: 197-204.
14. **Traoré T, Mouquet C, Icard-Vernière C, Traoré AS and Trèche S** Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chem.* 2004; **88**: 105-114.
15. **Sauvageot F** Techniques d'analyse sensorielle. In: Linden G, coordonnateur. Techniques d'analyse et de contrôle dans industries agroalimentaires, tome 2; Paris, APRIA-Lavoisier, 1980: 325-390.
16. **Norme NF V09-001** In: Recueil de normes françaises. Contrôle de la qualité des produits alimentaires, Analyse sensorielle, AFNOR, 1988.
17. **Norme NF V09-018** In: Recueil de normes françaises. Contrôle de la qualité des produits alimentaires, Analyse sensorielle, AFNOR, 1988.

18. **AFNOR, NF V 03-050.** Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl, 1970.
19. **Proskey L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW, Furda I** Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Anal. Chem.* 1988; **71**(5):1017-1023.
20. **Ikediobi CO and Olugboji O** Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) sprouts. *Food Chem.* 1988; **27**: 167-175.
21. **Aniche GN** Studies on the effects of germination and drying conditions on the cyanide content of sorghum sprouts. *J. Food Technol.* 1990; **27**(4): 202-204.
22. **Uvere PO, Adenuga OD and Mordi C** The effect of germination and kilning on the cyanogenic potential, amylase and alcohol levels of sorghum malts used for burukutu production. *J. Sci. Food Agric.* 2000; **80**: 352-358.

## **Chapitre 3-2-2**

Mise au point de sources enzymatiques à partir des procédés  
traditionnels de maltage des céréales

## Mise au point de sources enzymatiques à partir des procédés traditionnels de maltage des céréales

### **Introduction**

L’opportunité que représente l’existence au Burkina Faso d’ateliers de production de bière à base de sorgho (*dolo*) dans lesquels des céréales sont transformées en malt nous a conduit à étudier les possibilités d’utiliser ces malts comme sources d’amylasèses à incorporer dans les farines infantiles, pour permettre leur préparation sous forme de bouillies ayant à la fois une consistance et une densité énergétique appropriées.

Dans un premier temps, un recensement réalisé dans 4 des 30 secteurs de la ville de Ouagadougou a permis d’identifier 191 ateliers de maltage de sorgho, 4 de mil et 3 de maïs. En ce qui concerne les ateliers de maltage de sorgho, des regroupements, réalisés sur la base de similitudes observées au niveau des schémas de production, ont permis de distinguer 20 schémas de production présentant des variantes à certaines étapes. Pour chaque schéma, un atelier a été tiré au sort. Dans un second temps, des farines maltées provenant des 27 ateliers (20 de sorgho et ceux de mil et de maïs) ont été incorporées en conditions standardisées dans une farine infantile locale pour comparer leur pouvoir fluidifiant lors de la préparation de bouillies de haute densité énergétique. Cette comparaison avait pour objectif d’identifier les schémas de fabrication permettant d’obtenir des farines maltées ayant un effet fluidifiant maximal sur les bouillies. A partir des résultats obtenus, 8 ateliers transformant soit le sorgho rouge (5), soit le mil (2), soit le maïs (1) ont été sélectionnés.

Ces 8 ateliers ont été suivis, chacun sur la durée totale de 3 productions, dans le but d’étudier les différentes étapes du maltage et d’établir un diagramme de production détaillé pour chaque atelier. Au cours de cette phase de suivi, des échantillons ont été prélevés dans les grains bruts et à l’issue de chacune des étapes (trempage, germination, séchage et dégermation) de la transformation préalablement identifiées à partir des informations obtenues lors de la phase de recensement des ateliers.

Un premier article publié (*Food Chemistry*) fait état de l’évolution des teneurs en nutriments, phytates et cyanures ainsi que de l’activité amylasique au cours des différentes étapes à partir d’analyses réalisées sur des échantillons prélevés au cours de l’une des 3 transformations observées dans chacun des 8 ateliers.

Afin de tenir compte de la variabilité intra-atelier dans la comparaison des effets des différents schémas de production, un second article soumis (*International Journal of Food Sciences and Nutrition*) compare les évolutions entre grains bruts et farines maltées prélevés à l’occasion de 3 transformations dans chacun des ateliers aux niveaux de la composition globale et glucidique, des teneurs en phytates et composés cyanés et de l’activité amylasique dans les 5 ateliers de production de malt de sorgho. Dans la mesure où les productrices étaient libres du choix de leur matière première qui fait partie de leur savoir-faire, les différences entre les caractéristiques physico-chimiques des farines maltées obtenues ne reflètent pas seulement des différences au niveau des effets des procédés utilisés, mais aussi des différences possibles au niveau des matières premières. Les variabilités intra et inter-ateliers mises en évidence sont néanmoins de bons indicateurs de la variabilité des caractéristiques des farines que l’on peut se procurer au niveau de ses productrices selon que l’on s’adresse successivement au même atelier ou à des ateliers différents.

Pour compléter ces premiers résultats et préciser l'effet des procédés en s'affranchissant de la variabilité due à l'origine différente des matières premières, trois transformations supplémentaires ont été suivies dans trois des ateliers de maltage de sorgho présentant des variantes particulièrement intéressantes au niveau des schémas de production. Des grains provenant d'un même lot ont été fournis aux 3 préparatrices et utilisés au cours de 3 transformations indépendantes au cours desquelles des prélèvements ont été réalisés dans les grains bruts et à l'issue de chacune des principales étapes identifiées dans ces ateliers (trempage, germination, maturation, séchage, dégermation). A partir de ces prélèvements, des comparaisons entre ateliers ont pu être faites non seulement aux niveaux de l'activité  $\alpha$ -amylasique des farines maltées et de leur aptitude à fluidifier les bouillies mais aussi aux niveaux des évolutions observées sur les composés déterminant les quantités biodisponibles des principaux minéraux (teneurs en Fer, Zinc et phytates). Les résultats de cette étude sont donnés dans un article soumis (*Cahiers Agriculture*).

---



## **Evolution de la composition en nutriments, des teneurs en phytates et en cyanures et de l'activité $\alpha$ -amylasique au cours du maltage des céréales dans de petites unités de production à Ouagadougou (Burkina Faso)**

T. Traore <sup>a,b</sup>, C. Mouquet <sup>a</sup>, C. Icard-Verniere <sup>a</sup>, A.S. Traore <sup>b</sup>, S. Treche <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Unité de Recherche “Nutrition, Alimentation, Sociétés”, Institut de recherche pour le développement, BP 64501, F-34394 Montpellier Cedex 5, France

<sup>b</sup> CRSBAN, Département de Biochimie/Microbiologie, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131, Ouagadougou 03, Burkina Faso

### **Résumé**

Les différents procédés traditionnels de maltage des céréales utilisés par les productrices traditionnelles de *dolo* de Ouagadougou (Burkina Faso) ont été caractérisés et certaines modifications biochimiques intervenant dans les grains au cours du maltage ont été étudiées en vue d'examiner la possibilité d'utiliser les farines de céréales maltées pour réduire la viscosité des bouillies préparées à partir de farines infantiles. Cinq ateliers de maltage (AM) de sorgho rouge, deux AM de mil et un AM de maïs ont été sélectionnés en fonction de l'efficacité des farines de céréales maltées à fluidifier des bouillies de haute densité énergétique. Chacun des huit ateliers a été suivi au cours d'une transformation dans le but de décrire les différentes étapes du procédé de maltage et d'établir un diagramme général de production détaillé. Des échantillons ont été prélevés après le trempage, la germination, la maturation, le séchage et l'égermäge ainsi que sur le produit final. Les teneurs en nutriments, phytates et cyanures ainsi que l'activité  $\alpha$ -amylasique des échantillons ont été déterminées. Pour les trois types de céréales, le maltage a entraîné une augmentation des teneurs en protéines et une diminution des teneurs en lipides et en cendres. Une augmentation considérable des teneurs en saccharose, glucose et fructose a été observée au cours du procédé, en particulier au cours de l'étape de germination. La réduction des teneurs en phytates au cours du maltage a été plus importante dans le mil que dans le sorgho rouge et le maïs. L'activité  $\alpha$ -amylasique augmente au cours du maltage dans les trois types de céréales, mais plus dans le sorgho rouge que dans le mil et le maïs. Les teneurs en cyanures augmentent considérablement au cours de la transformation, particulièrement dans le sorgho rouge. Les teneurs en saccharose diminuent au cours de la maturation tandis que celles du glucose et du fructose augmentent. L'égermäge manuel réduit les teneurs en fibres et cendres pour les trois types de céréales. Il n'a pas d'effet sur les teneurs en phytates, mais réduit les teneurs en cyanures permettant ainsi d'atteindre un niveau acceptable pour l'alimentation. Toutefois, l'égermäge entraîne une réduction de l'activité  $\alpha$ -amylasique. Il pourrait être envisagé d'éliminer l'étape de maturation dans la mesure où elle n'introduit pas de modifications souhaitables des caractéristiques et d'égermer systématiquement les grains germés après séchage. Les farines de sorgho rouge et de mil germés possèdent des caractéristiques (activité  $\alpha$ -amylasique et teneurs en nutriments) intéressantes pour être incorporées dans les farines infantiles en vue d'une amélioration de la densité en énergie et en nutriments des bouillies.

**Mots clés :** Maltage – Céréale –  $\alpha$ -amylase – Phytates – Cyanures



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Food Chemistry 88 (2004) 105–114

Food  
Chemistry

[www.elsevier.com/locate/foodchem](http://www.elsevier.com/locate/foodchem)

## Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso)

T. Traoré <sup>a,b,\*</sup>, C. Mouquet <sup>a</sup>, C. Icard-Vernière <sup>a</sup>, A.S. Traoré <sup>b</sup>, S. Trèche <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Research unit "Nutrition, Alimentation, Sociétés", Institut de recherche pour le développement, BP 64501, F-34394, Montpellier Cedex 5, France

<sup>b</sup> CRSBAN, Department of Biochemistry/Microbiology, University of Ouagadougou, 03 BP 7131, Ouagadougou 03, Burkina Faso

Received 4 July 2003; received in revised form 8 January 2004; accepted 22 January 2004

### Abstract

The different traditional processes used in cereal malting were characterised and some biochemical modifications occurring in seeds during malting were studied to examine the possibility of using malted cereal flours to reduce the viscosity of gruels prepared from infant flours. Five production units (PU) of malted red sorghum seeds, two PU of malted millet seeds and one PU of malted maize seeds were selected as a function of the ability of the malt flours to fluidify high energy density gruels. Each of the 8 PU were monitored throughout the malt production process in order to describe rigorously the different steps in their malting process and to establish a detailed general production diagram. Samples were collected after soaking, germination, maturation, drying, and degerming and at the final product. They were analysed for nutrient, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity. For the 3 types of cereals, malting increased protein content while it decreased lipid and ash contents. A significant increase was observed in sucrose, glucose and fructose contents during malting, in particular during the germination step. The decrease in phytate content during malting was more obvious in millet seeds than in red sorghum and maize seeds.  $\alpha$ -amylase activity increased during malting in all 3 types of cereals but more in red sorghum seeds than in millet and maize seeds. Cyanide content considerably increased during malting, particularly in red sorghum seeds. Sucrose content decreased during maturation while glucose and fructose contents increased. Traditional manual degerming reduced fibre and ash contents in all 3 types of cereals. Degerming had little effect on phytate content but reduced cyanide content to an acceptable level for human consumption even if it did not allow the complete elimination of cyanide. Unfortunately, degerming was accompanied by a decrease in  $\alpha$ -amylase activity. The maturation step should be eliminated from the malting process (biochemical characteristics were not much affected as a result) and degerming of the seeds has to be systematically conducted after sun drying to achieve a significant reduction in cyanide content. Flours from malted red sorghum or millet seeds presented useful characteristics ( $\alpha$ -amylase activity and nutrient contents) for incorporation in infant flours to improve the energy and nutrient density of gruels.

© 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Keywords:** Malting; Cereal;  $\alpha$ -Amylase; Phytate; Cyanide

### 1. Introduction

Malting of cereals is a processing procedure traditionally used in many African countries for the manufacture of alcoholic drinks (Dewar, Taylor, & Berjak, 1997; Taylor & Dewar, 2001). Malting consists in the germination and drying of cereal seeds, the prime ob-

jective being to promote the development of hydrolytic enzymes that are not active in raw seeds (Dewar et al., 1997). The main enzymes produced during germination that intervene in the hydrolysis of starch are  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylases (Palmer, 1989). The  $\alpha$ -amylases are liquefying enzymes. In Burkina Faso, traditional malting of cereals consists of several stages: steeping of seeds (in water), germination, maturation (during which the seeds are piled and protected from light), and finally sun drying. In addition to the use of malted cereal flours in the manufacture of beer, a further use is their

\* Corresponding author. Present address: Centre IRD, 01 BP 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso. Fax: +226-31-03-85.

E-mail address: [ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf) (T. Traoré).

incorporation in infant flours to increase the energy density of the gruels which is facilitated by the action of alpha-amylase (Malleshi, Daodu, & Chandrasekhar, 1989; Onyeka & Dibia, 2002; Wahed, Mahalanabis, Begum, Rahman, & Islam, 1994).

It is generally recognised that the insufficient energy density of complementary foods is an etiological factor of protein energy malnutrition in young children (WHO, 1998). In Burkina Faso, gruels are prepared with flours manufactured in the household or locally in small production units. They have a fluid consistency and an energy density of approximately 40 kcal/100 g (Trèche, unpublished data). The limited gastric capacity of infants was about 30–40 ml/kg body weight, (Sanchez-Grinan, Person, & Brown, 1992) and the low daily frequency of consumption (generally 2 gruels per day) means that the foods that are used to complement mother's milk do not in fact meet the infant's energy requirements. In this context, the use of enzymatic treatments that reduce the viscosity of highly concentrated gruels and give them a semi-fluid consistency can have positive effects on the young children's energy intake (Brown et al., 1995; Darling et al., 1995; Den Besten, Glatthaar, & Ijsselmuiden, 1998; Moursi, Mbemba, & Trèche, 2003; Vieu, Traoré, & Trèche, 2001).

Several sources of amylase (animal, bacterial or plant  $\alpha$ -amylase) can be used to simultaneously confer the suitable energy density and consistency to the gruels (Trèche, 1999). In Burkina Faso, the most suitable solution seems to be the use of malted cereal flours, as this does not differ markedly from existing food habits and also benefits from the technological know-how of the population. The malting of cereal seeds also has the advantage of reducing the phytate content (Mahgoub & Elhag, 1998; Svanberg, Lorri, & Sandberg, 1993), which should improve the bioavailability of some essential minerals (iron, calcium, zinc, phosphorus, etc.) for the young children. However, the variability of the amylolytic activity of the germinated cereal flours as well as the length of time needed for preparation and possible risks of toxicity related to the presence of cyanides in the roots and the shoots of germinating seeds (Ahmed, Mahgoub, & Babiker, 1996; Aniche, 1990; Ikediobi & Olugboji, 1988; Okoh, Ikediobi, & Olugboji, 1988; Panasiuk & Bills, 1984; Shayo, Nnko, Gidamis, & Dillon, 1998; Uvere, Adenuga, & Mordi, 2000) require better knowledge of their modes of production in the malting production units.

The objective of this study was to characterise the traditional processes of cereal malting in Ouagadougou to determine the best conditions for producing malted cereal flours intended for incorporation in infant flours. This work consisted firstly, in characterizing the different traditional processes used for cereal malting, and

secondly, in highlighting the different biochemical modifications that occur in seeds during malting.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Cereal seeds

Seeds of red sorghum (*Sorghum bicolor*), millet (*Pennisetum glaucum*), and maize (*Zea mays*) were purchased by the producers from their usual suppliers in Ouagadougou. The cereals used came from the 1999–2000 crop.

### 2.2. Selection of the malting production units and sampling

198 production units (PU) were listed in 4 sectors out of a total of 30 sectors in Ouagadougou. There is a high concentration of malting production units which are famous for the quality of their traditional beer in these 4 sectors: 191 PU of malted sorghum, 3 PU of malted millet and 4 PU of malted maize. The PU of malted sorghum were gathered into 20 groups characterized by a single flow-sheet. A production unit from each group was selected by drawing lots. All malted millet and maize PU were retained due to their low number. In order to select the PU that produced flours with high amylolytic activity, the malt samples from the 27 PU were incorporated in a local infant flour at the rate of 8% and gruels were prepared at concentrations close to 25 g of dry matter per 100 g of gruel. The flow distance (mm/30 s) of the gruels was measured using a Bostwick consistometer according to the method used by Vieu et al. (2001). From the results (Fig. 1), 8 PU that process either red sorghum (5 PU), or millet (2 PU), or maize (1 PU) were selected as a function of the ability of the malt flours to fluidify high-energy density gruels. Each of the 8 PU were monitored throughout the malt production process in order to describe rigorously the various stages of their malting technique and to establish a detailed flow-sheet for each. During monitoring, samples were taken at the main stages of the process. Samples taken in the selected PU were freeze-dried except for one sample of the end product. The freeze-dried samples were ground (particle size <500  $\mu\text{m}$ ) and stored at 4 °C until analyses.

### 2.3. Biochemical analyses

#### 2.3.1. Proximate composition

Dry matter contents (DM) were determined by oven drying at 105 °C to constant weight. Protein contents ( $N \times 6.25$ ) were determined by the method of Kjeldahl (Standard NF.V03-050, 1970). Lipid contents were determined by the method of extraction with Soxtec (adaptation of the method with Soxhlet) (extraction solvent

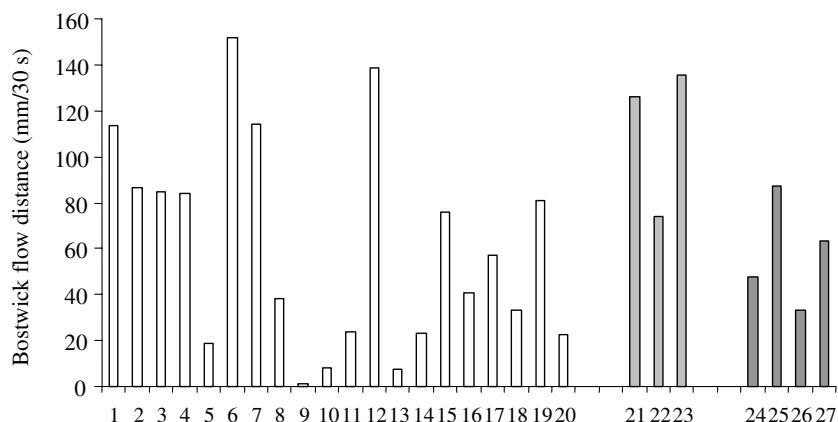


Fig. 1. Comparison of the Bostwick flow distance (mm/30 s) of gruels prepared at a concentration of 25 g DM/100 g of gruel using malted cereal flours from 27 different production units (PU) in Ouagadougou (1–20: PU of malted red sorghum; 21–23: PU of malted millet; 24–27: PU of malted maize).

used was ether oil). Dietary fibre contents were determined by the gravimetric and enzymatic method of Prosky, Asp, Schweizer, Devries, and Furda (1988). Ash content was determined by incineration in a furnace at 530 °C.

### 2.3.2. Soluble sugars

Soluble sugars were extracted from a sample of malt flour mixed with ethanol solution (80% v/v) that had been 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 and sucrose 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 g/100 g DM.

### 2.3.3. $\alpha$ -Amylase activity

$\alpha$ -Amylase activity was determined using a colorimetric method developed by Megazyme (Wicklow, Ireland). It consists of hydrolysis with the  $\alpha$ -amylase of sample extracts of a specific substrate (Azurine cross linked or AZCL-amyllose).  $\alpha$ -amylase activity is expressed in Ceralpha units per gram of dry matter (U/g DM; ICC Standard No. 303, Megazyme International, Ireland).

### 2.3.4. Phytate

Phytate contents were determined according to the method described by Talamond, Gallon, and Trèche

(1998). After the extraction of phytates in acid solution (HCl 0.5 M), inositol-6-phosphate (IP6) content was determined by ionic chromatography using a Dionex DX 4500i apparatus equipped with an Omnipac pax-100 column. Detection was by conductivity. The values are expressed in g IP6/100 g DM.

### 2.3.5. Total cyanide

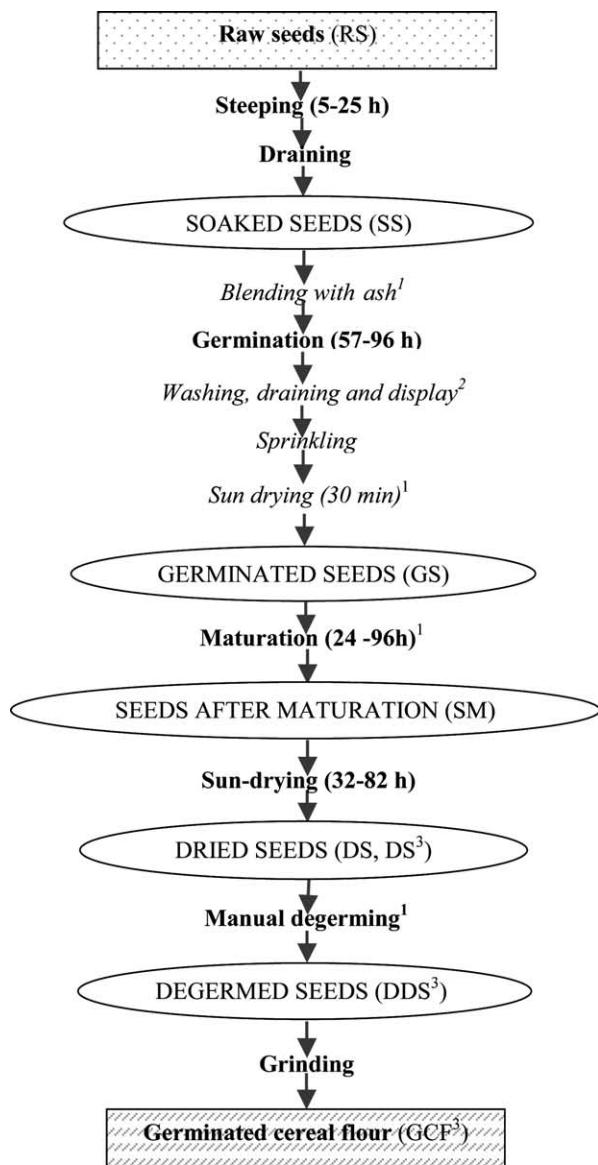
Total cyanide contents were determined using a colorimetric method according to Ikediobi and Olugboji (1988) and Okoh et al. (1988). After extraction in phosphate buffer (0.1 M) of free cyanide in the malt samples and hydrolysis of bound cyanide by sodium hydroxide solution (0.1 M), total cyanide content was determined by spectrophotometry using a Spectroquant kit (Merck 114800). The results are expressed in ppm (mg HCN/kg).

All measurements were carried out in duplicate except those of  $\alpha$ -amylase activity which were carried out in triplicate.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Description of the traditional malting process

The general production process of the germinated cereal flours and the stages at which the samples were taken are presented in Fig. 2. After a steeping phase (5–25 h), the seeds are germinated for 57–96 h in canaries, on a cemented floor or on plastic bags. After germination, three PU are passed through a maturation step, where the seeds are piled in heaps and protected from the light with a cover or inside the house. The products are next sun dried for 32–82 h. The dried seeds are then deginned (in some of the PU) and crushed to produce malt flour, the end product.



<sup>1</sup>Optional operation

<sup>2</sup>Number of repetitions as a function of the production unit

<sup>3</sup>Samples not freeze-dried

Fig. 2. General diagram of the traditional process of cereal malting observed in Ouagadougou.

### 3.2. Biochemical changes at different steps of the malting process

#### 3.2.1. Dry matter content

The average dry matter contents at each stage in the manufacture of malt flours are presented in Fig. 3. We observed a considerable decrease in dry matter content at the end of the steeping stage in red sorghum, millet and maize seeds (32%, 33% and 34%, respectively). The metabolic processes of germination start during the steeping of the seeds (Taylor & Dewar, 2001) and adequate hydration of seeds is needed for the enzymatic modifications of the substrate in the endosperm during

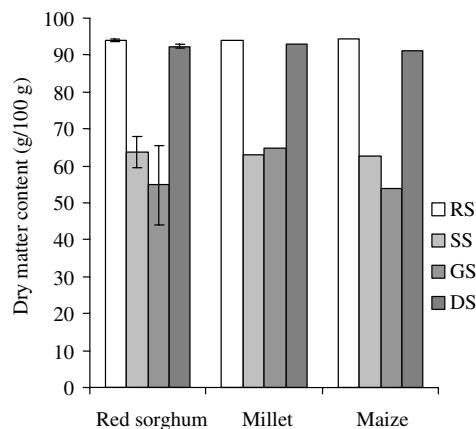


Fig. 3. Changes in dry matter content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$  SD) for red sorghum ( $n = 5$ ) and means for millet ( $n = 2$ ).

germination (Agu & Palmer, 1998). Steeping is thus a very important stage in the malting process. Our results are comparable with those reported by some authors who carried out experimental tests of malting in laboratory conditions (Agu & Palmer, 1996; Helland, Wicklund, & Narvhus, 2002; Uvere et al., 2000). In red sorghum and maize, we observed a decrease in the dry matter content of germinated seeds of 14% compared to soaked seeds. This shows that the decrease in dry matter content continues during germination as long as the seeds are periodically watered or washed so as to be maintained under the moist conditions that are appreciated by dolo makers. Helland et al. (2002) and Uvere et al. (2000) also noted an increase in water content during germination of sorghum and maize.

#### 3.2.2. Nutrient contents

Table 1 shows the changes in proximate composition and soluble sugar content during the processing of the 3 types of cereal into malt. In general, malting slightly increased protein content (11%, 7% and 2%, respectively for red sorghum, millet and maize). The increase in protein content was biggest in red sorghum. Shayo et al. (1998) also observed, in 2 varieties of millet from Tanzania, an increase in protein content of 5% after 48 h of germination at 30 °C. This increase in protein content is attributed to a passive variation due to a decrease in the carbohydrate compounds used for respiration (Opoku, Ohenehen, & Ejiofor, 1981). The modifications in lipid content were significant (26%, 23% and 16% for red sorghum, millet and maize, respectively) as observed by other authors. While steeping led to a slight increase in lipid content in the 3 types of cereals, germination is the stage in which the decrease in lipid content is greatest (27%, 20% and 23% for red sorghum, millet and maize, respectively). Similar observations were made by El-maki, Babiker, and El Tinay (1999), who noticed that

Table 1

Mean nutrient contents (g/100 g DM) and variation observed during the preparation of malted flours, (in brackets: variation in relation to the previous stage)

	Raw seeds	Steeped seeds	Germinated seeds	Dried seeds	% of total variation
<b>Global composition</b>					
<i>Protein (N × 6.25)</i>					
Red sorghum (n = 5)	8.4 ± 0.3	9.0 ± 0.4 (+6%)	9.5 ± 0.8 (+6%)	9.3 ± 0.5 (-2%)	+11
Millet (n = 2)	9.7	10.0 (+3%)	10.6 (+6%)	10.4 (-2%)	+7
Maize (n = 1)	7.7	7.7 (-1%)	7.9 (+3%)	7.9 (-1%)	+2
<i>Lipid</i>					
Red sorghum (n = 5)	3.4 ± 0.2	3.5 ± 0.3 (+4%)	2.6 ± 0.3 (-27%)	2.5 ± 0.3 (-2%)	-26
Millet (n = 2)	5.2	5.5 (+6%)	4.4 (-20%)	4.0 (-9%)	-23
Maize (n = 1)	4.2	4.5 (+9%)	3.5 (-23%)	3.5 (0%)	-16
<i>Fibre</i>					
Red sorghum (n = 5)	6.0 ± 0.4	5.7 ± 0.6 (-5%)	6.1 ± 0.4 (+8%)	6.2 ± 0.5 (+1%)	+3
Millet (n = 2)	3.6	3.1 (-12%)	3.0 (-4%)	3.7 (+23%)	+4
Maize (n = 1)	3.9	3.5 (-9%)	3.4 (-4%)	3.6 (+7%)	-7
<i>Ash</i>					
Red sorghum (n = 5)	3.37 ± 0.27	2.41 ± 0.58 (-28%)	2.13 ± 0.46 (-12%)	1.97 ± 0.40 (-8%)	-41
Millet (n = 2)	1.31	1.13 (-14%)	1.95 (+73%)	1.54 (-21%)	+17
Maize (n = 1)	1.24	1.23 (-1%)	1.40 (+14%)	1.38 (-1%)	+11
<b>Soluble sugars</b>					
<i>Sucrose</i>					
Red sorghum (n = 5)	0.64 ± 0.05	0.39 ± 0.21 (-39%)	1.37 ± 0.68 (+251%)	2.45 ± 1.14 (+79%)	+283
Millet (n = 2)	1.26	0.44 (-65%)	2.29 (+420%)	3.88 (+69%)	+208
Maize (n = 1)	1.34	0.44 (-67%)	3.57 (+711%)	3.32 (-7%)	+148
<i>Glucose</i>					
Red sorghum (n = 5)	0.09 ± 0.02	0.17 ± 0.15 (+89%)	3.20 ± 1.88 (+1782%)	3.94 ± 2.81 (+23%)	+4478
Millet (n = 2)	0.06	0.04 (-33%)	1.64 (+4000%)	1.79 (+9%)	+2883
Maize (n = 1)	0.08	0.06 (-25%)	2.38 (+3867%)	1.79 (-25%)	+2138
<i>Fructose</i>					
Red sorghum (n = 5)	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.03 (+17%)	0.73 ± 0.41 (+940%)	0.85 ± 0.44 (+16%)	+1517
Millet (n = 2)	0.05	0.03 (-40%)	0.87 (+2800%)	0.52 (-40%)	+940
Maize (n = 1)	0.06	0.05 (-17%)	0.42 (+740%)	0.29 (-31%)	+383

Values are means ± SD for red sorghum and means for millet.

steeping and germination of 2 varieties of sorghum from Sudan were followed by a significant decrease in lipid content. This decrease could be explained by the fact that lipids are used to produce the necessary energy for the biochemical and physiological modifications that occur in the seed during germination (Elmaki et al., 1999). Fibre content did not show any marked variation during the malting process. The malting process considerably reduced ash content in red sorghum. Steeping was the stage in which the biggest decrease (28%) occurred. On the other hand, ash content increased in germinated millet and maize (73% and 14%, respectively), but during the drying of germinated millet, there was a decrease of 21% in ash content. In the case of sorghum, the observed ash contents are comparable with those reported by Elmaki et al. (1999).

Sucrose contents in raw maize seeds (1.34 g/100 g DM) and raw millet seeds (1.26 g/100 g DM) were higher than in raw red sorghum seeds (0.64 g/100 g DM). During steeping, there was a decrease in sucrose content

in all 3 types of cereals. The stages of germination and drying led to a very significant increase in sucrose content (283%, 208% and 148%, in red sorghum, millet and maize, respectively). Glucose contents in the 3 types of cereals were comparable and very low. Germination was the determining process in the production of glucose whose content respectively reached 3.20, 1.64 and 2.38 g/100 g DM in red sorghum, millet and maize. The seeds of red sorghum, millet and maize had comparable fructose contents that were very low but increased during germination. Glucose and fructose contents increased considerably throughout the process. The production of glucose and fructose during malting was higher than that of sucrose. Nirmala, Subba Rao, and Muralikrishna (2000) also observed a significant increase in glucose, fructose and sucrose contents during the germination of millet. The increase in glucose and fructose contents was much bigger than that of sucrose after 96 h of germination. This increase could be due to the action of an invertase that hydrolyses sucrose into glucose and fructose.

### 3.2.3. Alpha-amylase activity

Changes in  $\alpha$ -amylase activity during the malting process of red sorghum, millet and maize is presented in Fig. 4. The raw seeds and the steeped seeds of the 3 types of cereals did not present any measurable  $\alpha$ -amylase activity using the megazyme kit.

The strongest activity was observed in red sorghum and millet (respectively 56 and 42 U/g DM) at the end of germination. Optimum  $\alpha$ -amylase activity at the end of the drying of maize was 26 U/g DM. The observed  $\alpha$ -amylase activity at the end of the germination of red sorghum (average duration 74 h) is comparable with that obtained by Agu and Palmer (1997) with some of the varieties of red sorghum after 96 h of germination at 20 °C and after 72 h of germination at 30 °C. Uvere et al. (2000) observed maximum  $\alpha$ -amylase activity after 72 h of germination at 30 °C in some varieties of red sorghum from Nigeria. The results obtained for maize after germination (21 U/g DM) are comparable with those obtained (19 U/g) by Helland et al. (2002), although the duration of germination was very different (66 and 168 h respectively). The drying stage caused a decrease in  $\alpha$ -amylase activity of 16% in red sorghum and millet, but in maize an increase of 26% after drying was observed. There is marked variability of  $\alpha$ -amylase activity from one PU to another using the same type of raw material. This is shown by the high standard deviations obtained for the PU using red sorghum. The clear variability between different PU of malted red sorghum seeds may be due either to the know-how of dolo (traditional beer) makers or to the quality of the raw material (variety and origin of the seeds, storage conditions). Red sorghum presented the highest  $\alpha$ -amylase activity compared to millet and maize. Thus, germinated red sorghum appears to be potentially more useful as a source of  $\alpha$ -amylase for the formulation of infant flours than germinated millet and maize.

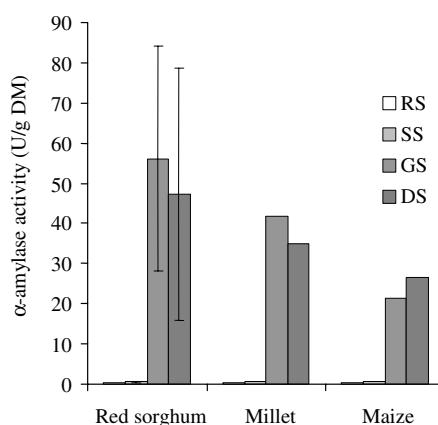


Fig. 4. Changes in  $\alpha$ -amylase activity during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$  SD) for red sorghum ( $n = 5$ ) and means for millet ( $n = 2$ ).

### 3.2.4. Phytate content

Changes in phytate content during the cereal malting process are presented in Fig. 5. The seeds of red sorghum had the highest phytate content (0.83 g IP6/100 g DM), followed by maize (0.71 g IP6/100 g DM) and millet (0.53 g IP6/100 g DM). Steeping in the traditional conditions, i.e., 14 h for sorghum, 8 h for millet and 25 h for maize did not reduce phytate content. These results differ from those of Mahgoub and Elhag (1998) who observed that steeping for 12 and 24 h reduced the phytate content by 8–14% and 16–21% in 4 varieties of sorghum, respectively. Svanberg et al. (1993) observed that steeping maize for 24–48 h reduced phytate content by approximately 59%. This reduction in phytate content during steeping could be due to the solubilisation of phytic acid salts (Mahgoub & Elhag, 1998) and its use as primary source of energy during germination step. This leads us to think that there was no diffusion of phytate during steeping or that the duration of steeping was not sufficient to involve in the diffusion of phytate into the steeping water. The germination stage had a substantial effect on the reduction in phytate content. This reduction is due to the action of endogenous phytases that degrade the phytate into inorganic phosphorus and inositol and its intermediate forms. Germination made it possible to reduce phytate content by 53%, 67% and 27% in red sorghum, millet and maize after 74, 62 and 66 h respectively. The degradation of phytate was greater in millet than in red sorghum and maize. The observed decrease in phytate content in the case of red sorghum is low compared with that reported by Mahgoub and Elhag (1998) (86% after 96 h of germination). This difference is probably due to the fact that the average duration of germination observed (74 h) was shorter in our study. Inversely, the decrease in the phytate content of millet after 62 h of germination (67%), is greater than that observed by Makokha, Oniang'o, Njoroge,

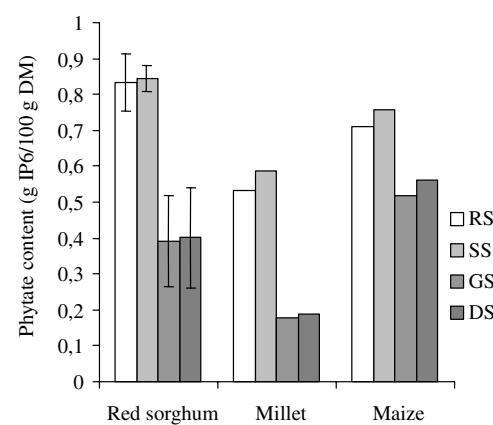


Fig. 5. Changes in phytate content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$  SD) for red sorghum ( $n = 5$ ) and means for millet ( $n = 2$ ).

and Kamar (2002), which was only 45% after 96 h of germination.

### 3.2.5. Total cyanide content

Changes in total cyanide content during the malting process are presented in Fig. 6. Total cyanide contents of raw seeds were low (38, 46 and 34 ppm respectively in red sorghum, millet and maize). The cyanide content of raw seeds of millet in our study is comparable with that observed by Shayo et al. (1998). The raw seeds of red sorghum had a cyanide content slightly higher than that obtained by Panasiuk and Bills (1984), Ikediobi and Olugboji (1988), Aniche (1990) and Ahmed et al. (1996). The steeping of seeds led to an increase in cyanide content (73, 85 and 84 ppm, respectively in red sorghum, millet and maize). During germination, the cyanide content increased considerably to reach maximum values of 324, 168 and 108 ppm at the end of the germination stage in red sorghum, millet and maize, respectively. These results are much lower than those

reported by Ahmed et al. (1996) in sorghum and by Shayo et al. (1998) in millet after 72 h of germination. The sun-drying stage allowed a reduction of respectively 38% and 67% in cyanide content in millet and maize. However, in the case of red sorghum, the cyanide content increased during drying by up to 21%. Dada and Dendy (1988) and Panasiuk and Bills (1984) observed that drying of germinated sorghum at 50 °C did not reduce cyanide content. This suggests that cyanide exists in seeds in the form of non-volatile cyanogenic glycosides. These cyanogenic glycosides are degraded by endogenous autolytic enzymes, the  $\alpha$ -glucosidase and the hydroxynitrile lyase, which become more active at 55 °C (Aniche, 1990). In the germinated millet and maize, the amount of cyanide content per 100 g of dry matter remained considerably lower than the average fatal dose of cyanide for humans, i.e., 50–60 mg for an adult (Panasiuk & Bills, 1984). However, the concentration of cyanide in germinated seeds of red sorghum is higher than the maximum cyanide content recommended in lima beans (200 ppm) in several countries (Panasiuk & Bills, 1984).

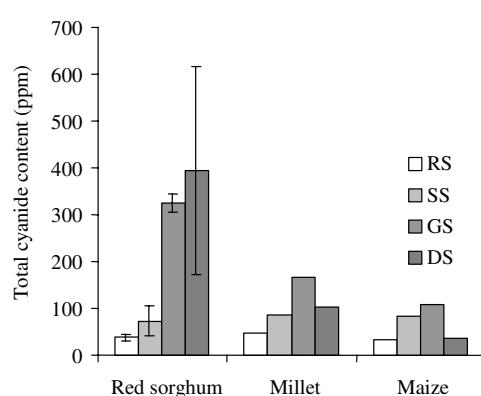


Fig. 6. Changes in total cyanide content during the preparation of malted cereal flours (RS: raw seeds; SS: soaked seeds; GS: germinated seeds; DS: dried seeds). Values are means ( $\pm$  SD) for red sorghum ( $n = 5$ ) and means for millet ( $n = 2$ ).

### 3.3. Effect of some specific sub-processes

#### 3.3.1. Maturation

A maturation step was applied by only 3 PU of malted red sorghum. According to the producers, this stage allows various biochemical reactions to take place plus the development of mould, and in this way enhances the flavour of the traditional beer. Table 2 shows the effect of the maturation step on the nutrient content of red sorghum. Protein, lipid and dietary fibre contents were not modified, but ash content decreased by 17%. As far as soluble sugar contents are concerned, the maturation step reduced the sucrose content by 30% and increased glucose and fructose contents respectively by 89% and 85%. This marked increase in glucose and

Table 2

Effect of maturation on nutrient (g/100 g DM), phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents and on  $\alpha$ -amylase activity (U/g DM) in red sorghum seeds

	Germinated seeds	Seeds after maturation	% of variation
Global composition			
Protein ( $N \times 6.25$ )	10.0 $\pm$ 0.5	10.1 $\pm$ 0.3	+1
Lipid	2.7 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.2	-7
Fibre	5.9 $\pm$ 0.4	6.0 $\pm$ 0.5	+2
Ash	2.05 $\pm$ 0.51	1.71 $\pm$ 0.18	-17
Soluble sugars			
Sucrose	1.24 $\pm$ 0.34	0.87 $\pm$ 0.38	-30
Glucose	4.16 $\pm$ 1.52	7.85 $\pm$ 1.82	+89
Fructose	0.82 $\pm$ 0.22	1.52 $\pm$ 0.21	+85
Phytate	0.33 $\pm$ 0.07	0.30 $\pm$ 0.1	-9
Total cyanide	320 $\pm$ 20	340 $\pm$ 80	+6
$\alpha$ -Amylase activity	41.2 $\pm$ 5.4	43.2 $\pm$ 21.4	+5

Values are means  $\pm$  SD;  $n = 3$ .

Table 3

Effect of degerming on nutrient (g/100 g DM), phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents and on  $\alpha$ -amylase activity (U/g DM) in red sorghum ( $n = 5$ ), millet ( $n = 2$ ) and maize ( $n = 1$ ) seeds

	Dried seeds	Degermed seeds	% of variation
<i>Global Composition</i>			
<i>Protein (N × 6.25)</i>			
Red sorghum	9.6 ± 0.5	8.7 ± 0.4	-10
Millet	10.7	9.7	-9
Maize	7.8	7.0	-11
<i>Lipid</i>			
Red sorghum	2.5 ± 0.3	2.5 ± 0.3	-2
Millet	3.8	4.3	+11
Maize	3.5	3.5	+2
<i>Fibre</i>			
Red sorghum	6.4 ± 0.5	5.5 ± 0.2	-14
Millet	3.6	3.2	-10
Maize	3.6	3.2	-13
<i>Ash</i>			
Red sorghum	1.92 ± 0.32	1.61 ± 0.41	-16
Millet	1.62	1.19	-27
Maize	1.38	1.10	-20
<i>Soluble sugars</i>			
<i>Sucrose</i>			
Red sorghum	2.53 ± 1.15	2.11 ± 0.94	-17
Millet	4.04	3.84	-5
Maize	3.75	3.67	-2
<i>Glucose</i>			
Red sorghum	4.24 ± 2.94	3.93 ± 2.51	-7
Millet	1.86	1.74	-7
Maize	2.15	2.29	+6
<i>Fructose</i>			
Red sorghum	0.92 ± 0.47	0.59 ± 0.24	-36
Millet	0.56	0.34	-39
Maize	0.37	0.23	-3
<i>Phytate</i>			
Red sorghum	0.43 ± 0.12	0.39 ± 0.14	-12
Millet	0.20	0.25	+23
Maize	0.52	0.53	+3
<i>Total cyanide</i>			
Red Sorghum	375 ± 210	96.4 ± 24.2	-74
Millet	95.2	27.1	-72
Maize	34.5	16.7	-52
<i><math>\alpha</math>-Amylase activity</i>			
Red Sorghum	58.0 ± 37.6	43.4 ± 33.5	-25
Millet	37.6	27.0	-28
Maize	13.7	11.6	-15

Values are means ± SD for red sorghum and means for millet.

fructose contents is probably due to sucrose and starch hydrolysis during maturation and leads to the development of the sweet taste of malt which is much desired by producers. Maturation had no effect on phytate and total cyanide contents or on  $\alpha$ -amylase activity (Table 2).

### 3.3.2. Degerming

After drying, roots and shoots are separated from the seeds by rubbing the seeds between the hands, and then

removed by winnowing. The effect of the elimination of the roots and the shoots of germinated cereal seeds on nutrient composition and other components is presented in Table 3. Degerming reduced protein content by about 10%, but lipid content was not much affected. It reduced dietary fibre contents in red sorghum, millet and maize respectively by 14%, 10% and 13%. The degerning of germinated seeds resulted in quite a significant loss in total minerals, ash content reduced by 16–27%. Degerming had no effect on sucrose and glucose contents.

Fructose reduced in degemermed red sorghum and millet by 36–39%.

Degerming had little effect on phytate content but allowed a considerable reduction in cyanide content (74%, 72% and 52%, respectively in red sorghum, millet and maize). Indeed cyanides are concentrated in the roots and the shoots of seeds in germination as previously observed by Ikediobi and Olugboji (1988) and Dada and Dendy (1988). However, the reduction values we obtained are lower than those reported by these authors. Dada and Dendy (1988) showed that the removal of the roots and the shoots reduced cyanide content by more than 90% while, according to Ikediobi and Olugboji (1988), there is no difference between the cyanide content of raw seeds and that of degemermed seeds. Traditional manual degemerding did not allow the complete elimination of cyanide, but it lowered cyanide contents (96, 27 and 16 ppm, respectively in red sorghum, millet and maize) to a level which does not present any danger for human consumption. Thus, it is easy to detoxify germinated cereal seeds by the mechanical removal of the roots and shoots (Ikediobi & Olugboji, 1988). However, for red sorghum, the traditional technique of degemerding will have to be improved to reach a final cyanide content closer to the initial cyanide content of raw seeds. Unfortunately, the reduction in cyanide content by degemerding is accompanied by a decrease in  $\alpha$ -amylasic activity of 25%, 28% and 15% respectively in red sorghum, millet and maize. This leads us to think that a great part of  $\alpha$ -amylase is located in the shoots of germinating seeds.

#### 4. Conclusion

This study showed that there are several alternatives to the traditional processes of cereal malting in Ouagadougou and that red sorghum is the main cereal processed. The malting of cereal induced, on the one hand, a reduction in ash and lipid contents and, on the other hand, a considerable increase in sugar contents which confers the sweet taste to the malt flours. The traditional process of cereal malting was effective in reducing phytate content and increasing  $\alpha$ -amylase activity. It also induced a significant increase in cyanide content which, fortunately, can be eliminated by the manual degemerding of germinated seeds. However, it is not necessary to include the maturation step (biochemical characteristics were not much affected by maturation) in the malting process, but necessary to systematically carry out degemerding of the seeds after sun drying. Malt flours of red sorghum and millet (obtained without a maturation step and after degemerding of the seeds) presented interesting characteristics that could be incorporated in infant flours produced in small production units or in the household to improve energy and nutrient densities of

gruels intended for infants and young children. However, it is advisable to optimise the traditional process of malting with a view to maximizing effectiveness for the production of amylase.

#### Acknowledgements

The authors wish to express their thanks to Christian Picq and Isabelle Rochette for their help in the determination of global composition and phytate and soluble sugar contents.

#### References

- AFNOR, NF V 03-050 (1970). Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl.
- Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1996). Enzymatic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures. *Journal of the Institute of Brewing*, 102, 415–418.
- Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1997). Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. *Process Biochemistry*, 32(2), 147–158.
- Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1998). A reassessment of sorghum for larger-beer brewing. *Bioressource Technology*, 66, 253–261.
- Ahmed, S. B., Mahgoub, S. A., & Babiker, B. E. (1996). Changes in tannin and cyanides contents and diastic activity during germination and the effect of traditional processing on cyanide content of sorghum cultivars. *Food Chemistry*, 56(2), 159–162.
- Aniche, G. N. (1990). Studies on the effects of germination and drying conditions on the cyanide content of sorghum sprouts. *Journal of Food Technology*, 27(4), 202–204.
- 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.
- Dada, L. O., & Dendy, D. A. V. (1988). La teneur en cyanures des céréales germées et l'effet des techniques de conditionnement. In D. Alnwick, S. Moses, O. G. Schmidt (Eds.), *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique Orientale et Australe: Une technologie à la portée des ménages, compte rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenya, 12–16 octobre 1987, IDRC-265 f, Ottawa* (pp. 407–414).
- 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.
- Den Besten, L., Glatthaar, I. I., & IJsselmuiden, C. B. (1998). Adding  $\alpha$ -amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *Journal of Tropical Pediatrics*, 44(1), 4–9.
- Dewar, J., Taylor, J. R. N., & Berjak, P. (1997). Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *Journal of cereal Science*, 26, 129–136.
- Elmaki, H. B., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (1999). Changes in chemical composition, grain malting, starch and tannin contents and protein digestibility during germination of sorghum cultivars. *Food chemistry*, 64, 331–336.
- Helland, M. H., Wicklund, T., & Narvhus, J. A. (2002). Effect of germination time on  $\alpha$ -amylase production and viscosity of maize porridge. *Food Research International*, 35, 315–321.

- Ikediobi, C. O., & Olugboji, O. (1988). Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) sprouts. *Food Chemistry*, 27, 167–175.
- 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.
- Makokha, A. O., Oniang'o, R. K., Njoroge, S. M., & Kamar, O. K. (2002). Effect of traditional fermentation and malting on phytic acid and mineral availability from sorghum (*Sorghum bicolor*) and finger millet (*Eleusine coracana*) grain varieties grown in Kenya. *Food and Nutrition Bulletin*, 23(3), 241–245.
- 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.
- Moursi, M., Mbemba, M., & 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.
- Nirmala, M., Subba Rao, M. V. S. S. T., & Muralikrishna, G. (2000). Carbohydrates and their degrading enzymes from native and malted finger millet (Ragi, *Eleusine coracana*, Indaf-15). *Food Chemistry*, 69, 175–180.
- Okoh, P. N., Ikediobi, C. O., & Olugboji, O. (1988). The fate in the rat of ingested dhurrin present in sprouted sorghum grain. *Food Chemistry*, 29, 299–307.
- Onyeka, U., & Dibia, I. (2002). Malted weaning food made from maize, soybean, groundnut and banana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 513–516.
- Opoku, A. R., Ohenehen, S. O., & Ejiofor, N. (1981). Nutrient composition of millet (*Pennisetum thyphoides*) grains and malts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29, 1247–1248.
- Palmer, G. H. (1989). Cereals in malting and brewing. In Palmer (Ed.), *Cereal science and technology*. London: Aberdeen University Press.
- Panasiuk, O., & Bills, D. D. (1984). Cyanide content of sorghum sprouts. *Journal of Food Science*, 49, 791–793.
- 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 Analytical Chemistry*, 71(5), 1017–1023.
- Sanchez-Grinan, M. I., Person, J., & Brown, K. H. (1992). Effect of dietary energy density on total ad libitum energy consumption by recovering malnourished children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 197–204.
- Shayo, N. B., Nnko, S. A. M., Gidamis, A. B., & Dillon, V. M. (1998). Assessment of cyanogenic glucoside (cyanide) residues in Mbegé: An opaque traditional Tanzanian beer. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 333–338.
- Svanberg, U., Lorri, W., & Sandberg, A. S. (1993). Lactic fermentation of non-tannin and high tannin cereals: Effects on in vitro estimation of iron availability and phytate hydrolysis. *Journal of Food Science*, 58, 408–412.
- 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.
- Taylor, J. R. N., & Dewar, J. (2001). Development in sorghum food technologies. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43, 217–264.
- Trèche, S. (Unpublished data). UR 106 Nutrition, Alimentation, Sociétés, IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France.
- Trèche, S. (1999). Techniques for increasing 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.
- Uvere, P. O., Adenuga, O. D., & Mordi, C. (2000). The effect of germination and kilning on the cyanogenic potential, amylase and alcohol levels of sorghum malts used for burukutu production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 352–358.
- 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.
- Wahed, M. A., Mahalanabis, D., Begum, M., Rahman, M., & Islam, M. S. (1994). Energy-dense weaning foods liquefied by germinated-wheat amylase: Effect on viscosity, osmolality, macronutrients, and bacterial growth. *Food and Nutrition Bulletin*, 15(3), 257–261.
- WHO (1998). *Complementary feeding of young children in developing countries: A review of current scientific knowledge*. UNICEF/University of California-Davis/WHO/ORSTOM, Geneva: WHO/NUT/98.1.



## **Influence du savoir-faire technologique des productrices sur les caractéristiques biochimiques du malt de sorgho rouge issus de petites unités de production à Ouagadougou (Burkina Faso)**

Traoré Tahirou<sup>1,2</sup>, Mouquet Claire<sup>1,2</sup>, Icard-Vernière Christèle<sup>1</sup>, Rochette Isabelle<sup>1</sup>, Traoré Alfred S.<sup>2</sup>, Trèche Serge<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unité de Recherche 106 “Nutrition, Alimentation, Sociétés”, Institut de recherche pour le développement, BP 64501, F-34394, Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup> CRSBAN, Département de Biochimie/Microbiologie, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131, Ouagadougou 03, Burkina Faso

### **Résumé**

Certaines variantes du procédé traditionnel de maltage du sorgho rouge ont été caractérisées et certaines modifications biochimiques intervenant dans les grains au cours du maltage ont été étudiées en vue d'examiner la possibilité d'utiliser les farines de sorgho rouge malté pour réduire la viscosité des bouillies préparées à partir des farines infantiles. Cinq ateliers de maltage (AM) de sorgho rouge ont été sélectionnés en fonction de l'efficacité des farines maltées à fluidifier des bouillies de haute densité énergétique. Chacun des cinq AM a été suivi sur la durée totale de trois productions dans le but d'établir un diagramme de production détaillé et d'évaluer la variabilité du procédé de maltage au sein d'un même AM et d'un AM à l'autre. Des grains bruts, des grains germés et séchés et des grains égermés ont été prélevés en vue de déterminer leurs teneurs en nutriments, phytates et cyanures ainsi que leur activité  $\alpha$ -amylasique. Le maltage traditionnel entraîne une augmentation des teneurs en protéines et une réduction des teneurs en lipides et en cendres. Une augmentation significative des teneurs en saccharose, glucose et fructose ainsi que de l'activité  $\alpha$ -amylasique ainsi qu'une diminution significative des teneurs en phytates ont été observées. Les teneurs en cyanures augmentent significativement au cours du maltage mais le dégermage final réduit considérablement ces teneurs et permet d'atteindre un niveau acceptable pour l'alimentation humaine. Des différences significatives d'un AM à l'autre ont été observées aux niveaux des teneurs en saccharose, glucose, fructose, phytates et cyanures ainsi que de l'activité  $\alpha$ -amylasique. Cette variabilité entre AM peut être due à la nature et à l'origine des grains bruts de sorgho rouge ou aux variantes technologiques utilisées pour la production des farines maltées. Les farines de sorgho rouge germé possèdent des caractéristiques intéressantes pour être incorporées dans les farines infantiles en vue d'une amélioration de la densité en énergie et en nutriments des bouillies. D'autres investigations s'avèrent nécessaires pour mettre au point un mode standardisé de production de farines de sorgho rouge malté afin d'optimiser la production des  $\alpha$ -amylases et de minimiser la variabilité des caractéristiques biochimiques des farines maltées.

**Mots clés :** Maltage traditionnel – Sorgho rouge – Nutriments -  $\alpha$ -amylase – Phytates – Cyanures

## **Influence of the technological know-how of producers on the biochemical characteristics of red sorghum malt from small scale production units in Ouagadougou (Burkina Faso)**

**Traoré Tahirou<sup>1,2\*</sup>, Mouquet Claire<sup>1,2</sup>, Icard-Vernière Christèle<sup>1</sup>, Rochette Isabelle<sup>1</sup>, Traoré Alfred S.<sup>2</sup> and Trèche Serge<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Research unit 106 "Nutrition, Alimentation, Sociétés", Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France.

<sup>2</sup> CRSBAN, Department of Biochemistry/Microbiology, University of Ouagadougou, 03 BP 7131 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

\*Corresponding author : [ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf); [t\\_tahirou@yahoo.fr](mailto:t_tahirou@yahoo.fr)

**Abbreviated running title:** Biochemical characteristics of germinated red sorghum seeds

### **ABSTRACT**

In order to characterize the variability of the process and some biochemical characteristics of the products, the whole process of red sorghum malt production was monitored three times in five production units (PU) selected upon their ability to produce malt flours having a high capacity to fluidify high energy density gruels. Raw seeds, germinated seeds and degermed seeds were taken and analysed for macro-nutrient, soluble sugar, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity. The 5 PUs applied the three main following operations: steeping, germination and sun-drying. The main know-how differences between producers lied in the duration and in the type of equipment used for steeping and germination steps. In addition, three PUs applied a maturation step before sun-drying and one PU added wood ashes to steeped seeds before germination. After processing, no significant difference was detected in the proximate composition of red sorghum malts between the 5 PUs. For all PUs, traditional malting increased protein content, decreased lipid and ash contents while fibre content was not affected. Significant increases in sucrose, glucose and fructose contents, and also in  $\alpha$ -

amylase activity were observed but in variable proportions from one PU to another. Phytate content decreased significantly during malting in all PUs. Cyanide content increased in all PUs but more or less drastically according to the PU. In all cases, final degerming lowered cyanide content to an acceptable level for human consumption. The between-PU variability may be due either to the nature and origin of the raw seeds or to the technological know-how differences during the preparation of malt flours. Further investigations are needed to optimise and standardise the traditional processing of malting with a view to maximizing  $\alpha$ -amylase and phytase activities of the malt and minimizing the variability of their biochemical characteristics.

**Keywords:** Traditional malting; red sorghum; nutrients;  $\alpha$ -amylase; phytate; cyanide.

## INTRODUCTION

When cooking cereal flours in water, large amounts of water are absorbed, leading to an increase in dietary bulk and to a reduction in the energy density of the food. Several authors have pointed out that the use of enzymatic treatments that give a semi-fluid consistency to high energy density gruels can have positive effects on infant energy intakes (Brown, Sanchez-Grinan, Perez, Peerson, Ganoza & Stern, 1995; Darling, Kitundu, Kingamkono, Msengi, Mduma & Sullivan, 1995; Den Besten, Glatthaar & IJsselmuiden, 1998; Vieu, Traoré & Trèche, 2001; Moursi, Mbemba & Trèche, 2003) and growth (Moursi et al., 2003). Several sources of amylase (industrial amylase, malt flour, etc.) can be used to simultaneously confer the suitable energy density and consistency to the gruels (Trèche, 1999). Many studies have shown the ability of malt flours to fluidify gruels with high starch content thanks to alpha-amylase action (Malleshi, Daodu & Chandrasekhar, 1989; Wahed, Mahalanabis, Begum, Rahman & Islam, 1994; Onyeka & Dibia, 2002). The malting of cereal seeds also has the advantage of reducing the phytate content (Svanberg, Lorri & Sandberg, 1993; Mahgoub & Elhag, 1998; Traoré, Mouquet, Icard-Vernière, Traoré & Trèche, 2004), which should improve the bioavailability of some essential minerals (iron, calcium, zinc, phosphorus, etc.), often deficient in the young child food (Sandberg & Svanberg, 1991; Duhan, Khetarpaul, & Bishnoi, 2002). Malting of cereals is a process traditionally used in many African countries for the manufacture of local beer (Dewar, Taylor & Berjak, 1997; Taylor & Dewar, 2001). In Burkina Faso and particularly in rural areas, the most suitable solution to improve energy and nutrient densities of gruels seems to be the incorporation of red sorghum malt in infant flours manufactured in small production units or in the home, as this does not differ markedly from existing food habits and also benefits from the technological know-how of the population. In a previous study (Traoré et al., 2004), the traditional processes used in cereal malting were characterised and some biochemical modifications occurring in seeds during malting were studied. However, differences in technological know-how in the traditional process as well as intra- and inter-production unit variability of biochemical characteristics of malts have not been studied.

The main objective of this study was to characterise the know-how of 5 producers of red sorghum malt in Ouagadougou and its influence on biochemical characteristics of malt flours in order to determine the best conditions for producing red sorghum malt flours intended for incorporation in infant flours.

## MATERIALS AND METHODS

### Raw seeds

Red sorghum seeds (*Sorghum bicolor*) were purchased by the producers from their usual suppliers in Ouagadougou (Burkina Faso).

### Selection of the malting production units and sampling

Five production units (PU) that produced red sorghum malt flours with the highest ability to fluidify high energy density gruels (average Bostwick flow distance between 87 and 152 mm/30s) were selected amongst PUs identified during previous studies carried out in Ouagadougou (Burkina Faso) (Traoré et al., 2004). In each of the 5 PUs, the whole malt production process was monitored in triplicate, in order to accurately describe the different stages and the variability of their malting technique. During each monitoring, samples of raw seeds, germinated seeds and degermed seeds were taken and freezed. All samples were then freeze-dried, ground until they passed through a 500 µm sieve and stored at 4°C until analyses.

### Biochemical analyses

#### Proximate composition

Dry matter (DM) contents were determined by oven drying at 105°C to constant weight. Protein contents ( $N \times 6.25$ ) were determined by the method of Kjeldahl (Standard NF.V03-050 1970). Lipid contents were determined by the method of extraction with Soxtec (adaptation of the method with Soxhlet) (extraction solvent used was ether oil). Fibre contents were determined by the gravimetric and enzymatic method of Prosby et al (1988). Ash contents were determined by calcination in a furnace at 530°C.

#### Soluble sugars

Soluble sugars were extracted from a sample of malt flour added with ethanol solution (80% v/v) that had been agitated for 30 min in a thermostat bath at 90°C and then centrifuged at 4500 g 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 for one night 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 ultra pure water and filtered to be used for the quantification of sugars. Glucose, fructose and sucrose 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 g/100 g DM.

#### Alpha-amylase activity

$\alpha$ -amylase activity was determined using the colorimetric method “amylazyme” developed by Megazyme (Wicklow, Ireland). It consists of hydrolysis at 40°C with the  $\alpha$ -amylase of sample extracts of a specific substrate (Azurine cross linked or AZCL-amylose).  $\alpha$ -amylase activity is expressed in Ceralpha units per gram of dry matter (U/g DM; ICC Standard No. 303, Megazyme International, Ireland).

#### Phytate

Phytate contents were determined according to the method described by Talamond et al (1998). After the extraction of phytates in acid solution (0.5 HCl), inositol-6-phosphate (IP6) content was determined by ionic chromatography using a Dionex DX 4500i apparatus equipped with an Omnipac pax-100 column. Detection was by conductivity. The values are expressed in g IP6/100 g DM.

#### Total cyanide

Total cyanide content was determined using a colorimetric method according to Ikediobi et al (1988) and Okoh et al (1988). After extraction in phosphate buffer (0.1 M) of free cyanide in the malt samples and hydrolysis of bound cyanide by sodium hydroxide solution (0.1 M), total cyanide content was determined by spectrophotometry using a Spectroquant kit (Merck 114800). The results are expressed in ppm (mg HCN/kg).

All measurements were carried out in duplicate except those of  $\alpha$ -amylase activity, which were carried out in triplicate.

## **Statistical analysis**

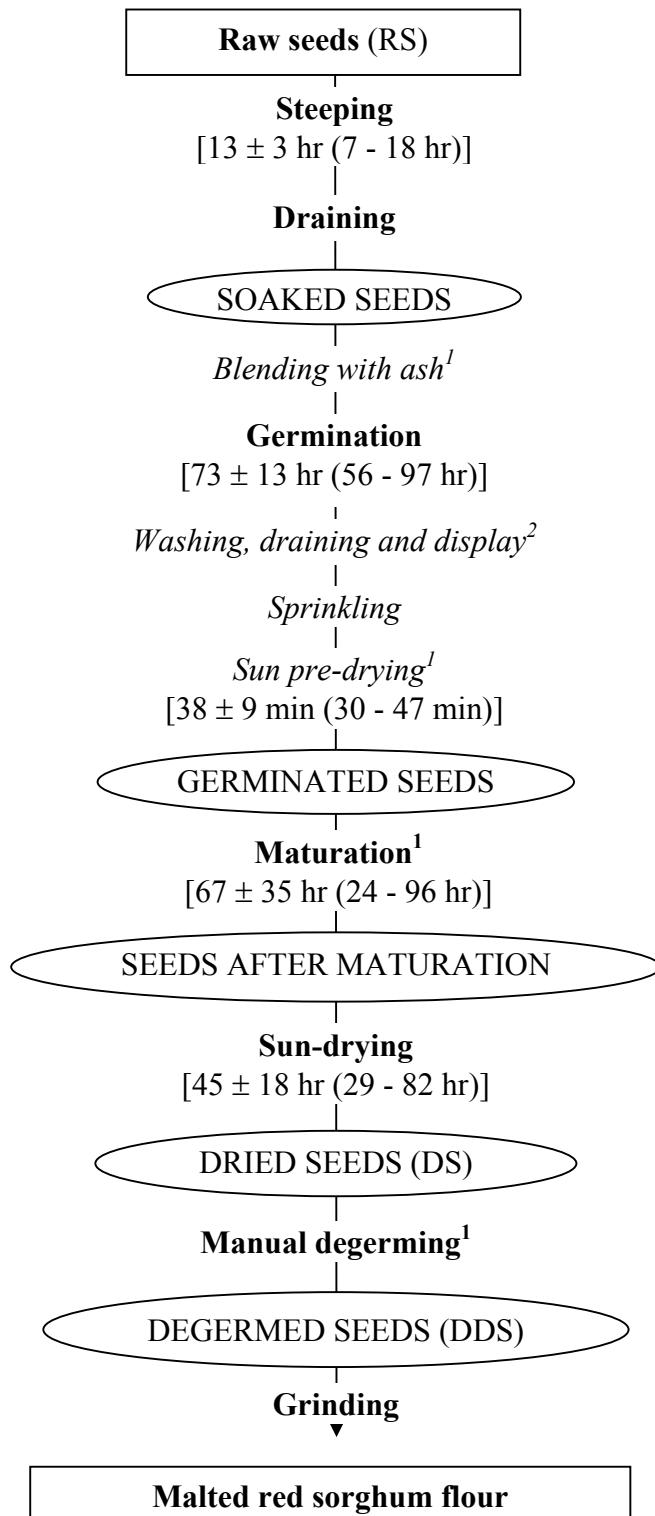
Statistical analyses were performed using Statgraphics Plus software (release 5.1, Manugistics, Inc., USA). The differences in biochemical characteristics between raw seeds and between germinated seeds obtained from the 5 PUs were studied by analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test was used to separate means of the 5 PU. Paired t tests were used to compare means of biochemical characteristics of raw seeds and germinated seeds within each PU and taking into account samples from the PUs. Analysis of variance was also used to study the effect of the presence or not of the maturation step on the biochemical characteristics of germinated seeds. In all comparisons, the level of statistical significance was set at 0.05.

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Description of the traditional process of red sorghum malting**

The general flow-sheet of the production of germinated red sorghum flours and the stages at which the samples were taken are presented in figure 1. In all PUs, the malting process comprised the following stages (min-max duration): steeping (from 7 to 18 hr), germination (56-97 hr) and sun-drying (29-82 hr). Some stages such maturation (24-96 hr), sun pre-drying (30-47 min) and degerning were optional and not observed in all PUs. Different variants observed in the 5 PUs during the preparation of germinated seeds are described in table 1. Seeds were steeped in water for  $10 \pm 4$  to  $17 \pm 1$  hr using canaries (3 PUs) or plastic bowls (2 PUs). In only one PU, seeds were blended with ash after steeping. In some of the PUs, steeped seeds were spread on the surface of canaries or on a cemented floor for germination. In the other PUs, steeped seeds were either spread on the surface of bowls and on the cemented floor so as to facilitate air exchange. During the germination step, seeds underwent a series of washing and draining and/or sprinkling whose frequency differed from one PU to another. The mean duration of germination varied with the PU (from  $57 \pm 1$  to  $97 \pm 1$  hr). In one PU, a short step of sun pre-drying ( $38 \pm 9$  min) was observed after germination. The maturation step, which was observed in 3 PUs, consisted of piling up germinated seeds on the cemented floor and covering them with bags or plastic sheets, or wrapping them in jute bags which were sheltered from the light. The duration of the maturation steps, when used, was 25 to 96 hr. Germinated seeds or seeds after maturation were sun dried on the cemented floor or

on a mat for  $33 \pm 1$  to  $73 \pm 8$  hr, and finally degermed. The degerming step was observed in 3 PUs and the 2 further producers applied it order to respect the needs of the study. The total duration of the malting process differed significantly from one PU to another and varied from 5 to 11 days. In all PUs and during the 3 observation periods, each malt producer used exactly the same equipment.



<sup>1</sup> Optional operation.

<sup>2</sup> Number of repetitions as a function of the production unit.

Duration values are means  $\pm$  SD and (min-max) of 15 observations (3 observations in each PU).

**Figure 1:** General flow-sheet of the traditional processing of red sorghum seeds into malt flours observed in Ouagadougou

**Table 1:** Variants observed in the 5 production units (PU) during germinated seed preparation

		Malting production units				
		PU1	PU2	PU3	PU4	PU5
Steeping	Equipment Duration <sup>1</sup> (hr)	Canaries 14 ± 1 <sup>ac</sup> (14 - 15)	Bowl 11 <sup>ab</sup> (9 - 15)	Canaries 15 <sup>ac</sup> (14 - 15)	Canaries 17 ± 1 <sup>c</sup> (15 - 18)	Bowl 10 ± 4 <sup>b</sup> (7.0 - 14)
Draining		yes	yes	yes	yes	yes
Blending with ash			yes			yes
Germination	Equipment	Bowl				
	Cemented area	Cemented area	yes	yes	yes	yes
Number of Washing / draining		2	1	4	3	1
Number of sprinkling			1			1
	Duration <sup>1</sup> (hr)	97 ± 1 <sup>a</sup> (96 - 97)	68 ± 4 <sup>b</sup> (65 - 72)	72 <sup>c</sup> (71 - 72)	72 ± 1 <sup>c</sup> (71 - 73)	57 ± 1 <sup>d</sup> (56 - 59)
Sun pre-drying	Duration <sup>1</sup> (min)	38 ± 9 (30 - 47)				
Maturation	Equipment Duration <sup>1</sup> (hr)	Bags	C <sup>f</sup>	Bags		
		80 ± 28 <sup>a</sup> (48 - 96)	96 <sup>a</sup> (95 - 96)	96 <sup>a</sup> (95 - 96)	25 ± 1 <sup>b</sup> (24 - 26)	
Sun drying	Duration <sup>1</sup> (hr)	49 ± 14 <sup>a</sup> (33 - 58)	36 ± 9 <sup>ab</sup> (29 - 46)	33 ± 1 <sup>b</sup> (32 - 34)	33 ± 1 <sup>b</sup> (31 - 34)	73 ± 8 <sup>c</sup> (66 - 82)
Degerning		yes	yes	yes		
Total duration of the malting process (days)		11	5	9	6	5.5

<sup>1</sup>Duration values are means ± SD and (min-max) of 3 observations for each PU. Different letters in the same line indicate significantly different means (ANOVA and Duncan's multiple range test). Steeping:  $p=0.02$ ; Germination:  $p<10^{-4}$ ; Maturation:  $p=0.004$ ; Sun drying:  $p<10^{-3}$ .

<sup>2</sup>Cemented floor covered by a plastic sheet.

## **Changes in some biochemical characteristics of the seeds during malting**

### Nutrient contents

#### *Proximate composition*

The effect of the traditional malting process on proximate composition and soluble sugar content of red sorghum is presented in table 2. Protein (8.2-8.8 g/100 g DM), lipid (3.0-3.6 g/100 g DM), fibre (5.5-6.6 g/100 g DM) and ash (2.9-3.7 g/100 g DM) contents in red sorghum raw seeds varied significantly from one PU to another. This variability may be due either to the variety used or to the conditions of cultivation and storage of the seeds. After processing, no significant difference in protein (9.0-10.5 g/100 g DM), lipid (2.1-2.5 g/100 g DM), fibre (5.7-6.4 g/100 g DM) and ash (2.0-2.5 g/100 g DM) contents of germinated seeds was observed between the 5 PUs. Malting increased average protein content (+17%), but, when comparing values PU by PU, this increase was significant only in 2 PUs. This increase in protein content is mainly attributed to a passive variation due to a decrease in the carbohydrate compounds used for respiration (Opoku et al 1981). Lipid content decreased significantly (an average of -30% and from -28 to -36% depending on the PU). Similar observations were made by Elmaki et al (1999), who noted that malting of 2 varieties of sorghum from Sudan was followed by a significant decrease in their lipid content. This decrease may be explained by the fact that lipids are used to produce the necessary energy for the biochemical and physiological modifications that occur in the seed during germination (Elmaki et al 1999). There was no marked variation in fibre content during the malting process. Ash content decreased significantly (an average of -36% and from -24 to -47% depending on the PU) after malting but, when comparing values PU by PU and this decrease was significant in only 3 PUs out of 5. The observed ash contents are comparable with those reported by Elmaki et al (1999). This reduction in ash content may be explained by a loss of minerals during steeping.

**Table 2:** Effect of the malting process on the nutrient content (g/100 g DM) of red sorghum seeds

	Malting production units						All PUs
	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5	P-value <sup>1</sup>	
<b>Proximate composition</b>							
<b>Protein</b>							
Raw seeds	8.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	8.3 ± 0.1 <sup>ab</sup>	8.5 ± 0.2 <sup>ab</sup>	8.2 ± 0.1 <sup>ab</sup>	8.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	<10 <sup>-4</sup>	8.4 ± 0.2
Dried seeds	10.5 ± 0.9	9.9 ± 0.8	9.9 ± 0.6	9.8 ± 0.9	9.0 ± 0.1	0.21	9.8 ± 0.8
Variation (%)	+27	+19	+17	+20	+1		+17
P-value <sup>2</sup>	0.05	0.07	0.01	0.08	0.08		<10 <sup>-4</sup>
<b>Lipid</b>							
Raw seeds	3.5 ± 0.1 <sup>ad</sup>	3.2 ± 0.2 <sup>bc</sup>	3.0 ± 0.1 <sup>b</sup>	3.3 ± 0.1 <sup>ac</sup>	3.6 ± 0.1 <sup>d</sup>	<0.001	3.3 ± 0.2
Dried seeds	2.3 ± 0.4	2.1 ± 0.3	2.2 ± 0.3	2.5 ± 0.5	2.4 ± 0.2	0.74	2.3 ± 0.3
Variation (%)	-36	-36	-29	-28	-34		-30
P-value <sup>2</sup>	0.005	0.003	0.01	0.036	0.009		<10 <sup>-5</sup>
<b>Fibre</b>							
Raw seeds	6.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.1 <sup>b</sup>	6.0 ± 0.1 <sup>b</sup>	5.5 ± 0.1 <sup>c</sup>	5.7 ± 0.1 <sup>d</sup>	<10 <sup>-4</sup>	6.0 ± 0.4
Dried seeds	6.4 ± 0.5	5.7 ± 0.5	6.4 ± 0.4	6.0 ± 0.6	5.9 ± 0.4	0.39	6.1 ± 0.5
Variation (%)	-5	-4	+7	+7	+1		+2
P-value <sup>2</sup>	0.36	0.46	0.22	0.26	0.58		0.42
<b>Ash</b>							
Raw seeds	3.3 ± 0.1 <sup>ade</sup>	3.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.1 <sup>c</sup>	3.2 ± 0.1 <sup>d</sup>	3.4 ± 0.1 <sup>e</sup>	<10 <sup>-4</sup>	3.3 ± 0.3
Dried seeds	2.0 ± 0.4	2.0 ± 0.6	2.2 ± 0.4	2.5 ± 0.4	2.0 ± 0.7	0.70	2.1 ± 0.5
Variation (%)	-42	-47	-25	-24	-43		-36
P-value <sup>2</sup>	0.007	0.03	0.03	0.09	0.07		<10 <sup>-5</sup>
<b>Soluble sugar</b>							
<b>Sucrose</b>							
Raw seeds	0.69 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.052	0.64 ± 0.10
Dried seeds	1.43 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.13 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.04 <sup>c</sup>	3.13 ± 0.05 <sup>d</sup>	2.86 ± 0.07 <sup>e</sup>	<10 <sup>-4</sup>	2.54 ± 1.15
Variation (%)	+107	+577	+80	+422	+333		+297
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-5</sup>	<10 <sup>-5</sup>		<10 <sup>-4</sup>
<b>Glucose</b>							
Raw seeds	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.00	0.07 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.17	0.09 ± 0.02
Dried seeds	4.94 ± 0.23 <sup>a</sup>	2.37 ± 0.21 <sup>b</sup>	4.08 ± 0.06 <sup>c</sup>	9.01 ± 0.67 <sup>d</sup>	0.83 ± 0.05 <sup>e</sup>	<10 <sup>-4</sup>	4.24 ± 2.88
Variation (%)	+4390	+2270	+5728	+8910	+938		+4459
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-3</sup>		<10 <sup>-5</sup>
<b>Fructose</b>							
Raw seeds	0.08 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.004	0.06 ± 0.02
Dried seeds	1.50 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.03 <sup>c</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.92 ± 0.46
Variation (%)	+1775	+925	+1720	+2260	+260		+1433
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-5</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-5</sup>	0.002		<10 <sup>-5</sup>

Values are means ± SD.

<sup>1</sup>Between PUs. Different letters in the same line indicate significantly different means (ANOVA and Duncan's multiple range test).

<sup>2</sup>Between raw seeds and dried seeds within each PU and for all PUs.

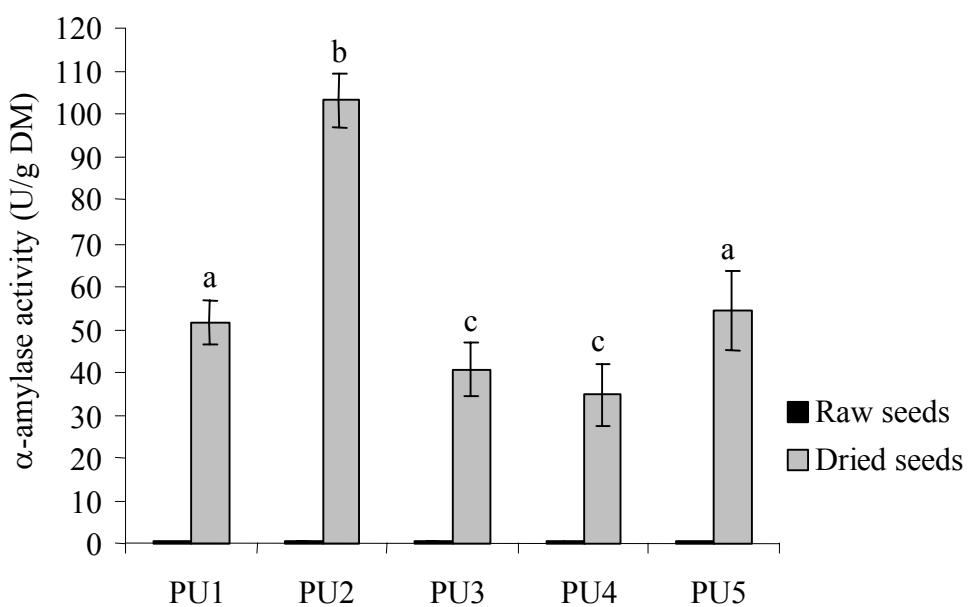
### *Soluble sugar content*

The effect of the traditional malting process on the soluble sugar content of red sorghum is presented in table 2. Sucrose (0.60-0.69 g/100 g DM) and glucose (0.07-0.11 g/100 g DM) contents in the raw seeds from the 5 PU were comparable, in contrast to fructose content which presented a significant difference. Sucrose (1.17-4.13 g/100 g DM), glucose (0.83-9.01 g/100 g DM) and fructose (0.18-1.50 g/100 g DM) contents in the germinated seeds differed significantly from one PU to another. The malting process led to very high increases in sucrose (from 80 to 577%), glucose (from 938 to 8910%) and fructose (from 260 to 2260%) contents in all PUs. The average increase in sucrose (297%), glucose (4459%) and fructose (1433%) contents were significant. The relative increase in glucose and fructose contents was higher than that of sucrose. Nirmala et al (2000) also observed a significant increase in glucose, fructose and sucrose contents during the germination of millet and the increase in glucose and fructose contents was much higher than that of sucrose after 96 hr of germination. This increase may be due to the action of an invertase that hydrolyses sucrose into glucose and fructose. The particularly high increase in glucose content may be explained by partial starch hydrolysis due to  $\beta$ -amylase activity. Malt flour from PU5 presented low glucose and fructose contents which is probably due to the fact that the duration of germination was shorter (56-59 hr) in this PU. The increase in soluble sugar content was higher in the 3 PUs (PU1, PU3 and PU4) where a maturation step was applied than in the two others. According to the producers, this stage also allows the development of mould and in this way enhances the flavour of the traditional beer.

### Alpha-amylase activity

Figure 2 shows the effect of the traditional malting process on  $\alpha$ -amylase activity. The raw seeds of red sorghum from the 5 PUs did not present any measurable  $\alpha$ -amylase activity using the megazyme kit. Malting led to a very marked increase in  $\alpha$ -amylase activity.  $\alpha$ -amylase activity observed at the end of germination was comparable with that obtained by Agu and Palmer (1997) with some varieties of red sorghum after 96 hr of germination at 20 °C and after 72 hr of germination at 30 °C. Uvere et al (2000) observed maximum  $\alpha$ -amylase activity after 72 hr of germination at 30°C in some varieties of red sorghum from Nigeria. The  $\alpha$ -amylase activity observed in the germinated seeds differed significantly between PUs. The differences observed between PUs may be due either to the know-how of *Dolo* (traditional beer) makers or to the quality of the raw material (variety and origin of the seeds, storage

conditions). Indeed, in the 3 PUs which applied a maturation step in the malting process,  $\alpha$ -amylase activity was lower than that obtained in the two other PUs. The analysis of variance indicated that the use of maturation step significantly decreased  $\alpha$ -amylase activity of malt ( $p=0.003$ ). When comparing values within each PU, significant inter-production variability in  $\alpha$ -amylase activity was observed in 4 PUs out of 5. To obtain gruels with constant characteristics, the significant differences in  $\alpha$ -amylase activity between the malts from different PUs or from different batches from the same PU would require adjustment of the incorporation rate of malted red sorghum flours in the infant flours depending on their origin and the production unit.



**Figure 2:** Effect of the malting process on  $\alpha$ -amylase activity of red sorghum seeds.

*Different letters indicate significantly different means ( $p < 10^{-4}$ ) (ANOVA and Duncan's multiple range test)*

#### Phytate content

The effect of the traditional malting process on phytate content is presented in table 3. A significant difference was observed when comparing the average phytate content of the 15 samples of raw seeds ( $0.82 \pm 0.09$  g IP6/100 g DM) and of corresponding germinated seeds ( $0.44 \pm 0.11$  g IP6/100 g DM). A significant difference in phytate content was also observed in each PU when comparing the 3 samples of raw seeds (0.72-0.94 g/100 g DM) and of corresponding germinated seeds (0.36-0.59 g/100 g DM). Traditional malting allowed a very significant reduction in phytate content (from -31 to -62%) in all PUs. This reduction in phytate content may be due to the solubilisation of phytic acid salts (Mahgoub and Elhag

1998) during steeping and its use as primary source of energy during the germination step, and to the action of endogenous phytases that degrade the phytate into inorganic phosphorus and inositol and its intermediate forms during germination. The decrease in phytate content was higher ( $p=0.0001$ ) in the PUs that used a maturation step in their malting process (-55%) in comparison with those that did not include this step (-32%). The observed decrease in phytate content in this study is low compared with that reported by Mahgoub and Elhag (1998) (86% after 96 hr of germination).

**Table 3:** Effect of the malting process on phytate (g IP6/100 g DM) and total cyanide (ppm) contents of red sorghum seeds

	Malting production units					$P-value^1$	All PUs
	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5		
<b>Phytate</b>							
Raw seeds	0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.85 ± 0.02 <sup>c</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.82 ± 0.09
Dried seeds	0.39 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.59 ± .03 <sup>c</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0.44 ± 0.11
Variation (%)	-48	-33	-62	-55	-31		-47
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-6</sup>		<10 <sup>-8</sup>
<b>Total cyanide</b>							
Raw seeds	36.6 ± 9.1 <sup>ab</sup>	34.0 ± 10.9 <sup>ab</sup>	37.7 ± 5.1 <sup>ab</sup>	30.7 ± 6.3 <sup>a</sup>	44.4 ± 15.5 <sup>b</sup>	0.19	36.4 ± 10.4
Dried seeds	157 ± 25 <sup>a</sup>	442 ± 245 <sup>b</sup>	196±42 <sup>ac</sup>	356 ± 20 <sup>b</sup>	312 ± 36 <sup>bc</sup>	<10 <sup>-3</sup>	295 ± 153
Variation (%)	+326	+1105	+424	+1076	+643		+710
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-5</sup>	<10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-6</sup>		<10 <sup>-8</sup>
DDS	99 ± 17 <sup>ac</sup>	98 ± 21 <sup>abc</sup>	87 ± 30 <sup>ab</sup>	74 ± 13 <sup>b</sup>	114 ± 19 <sup>c</sup>	0.021	94 ± 23
Variation (%) <sup>*</sup>	-37	-78	-56	-79	-64		-68
P-value <sup>2</sup>	<10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-3</sup>	<10 <sup>-6</sup>	<10 <sup>-6</sup>		<10 <sup>-6</sup>

DDS: degerned dried seeds.

Values are means ± SD.

<sup>1</sup>Between PUs. Different letters in the same line indicate significantly different means (ANOVA and Duncan's multiple range test).

<sup>2</sup>Between raw seeds and dried seeds or raw seeds and degerned dried seeds within each PU and for all PUs.

\*% of variation in relation to dried seeds.

### Total cyanide content

The effect of the traditional malting process on total cyanide content is presented in table 3. A significant difference was observed when comparing the average total cyanide content of the 15 samples of raw seeds (36.4 ± 10.4 ppm) and of corresponding germinated seeds (295 ± 153 ppm). A significant difference in total cyanide content was also observed in each PU when comparing the 3 samples of raw seeds (31-44 ppm) and of corresponding germinated seeds (157-442 ppm). Total cyanide contents of the samples of red sorghum raw seeds from the 5 PUs were comparable and slightly higher than those obtained by Panasiuk and Bills (1984),

Ikediobi and Olugboji (1988), Aniche (1990) and Ahmed et al. (1996). Traditional malting processes significantly increased the cyanide content (from 326 to 1105%) in all PUs. These results are much lower than those reported by Ahmed et al (1996) in sorghum after 72 hr of germination. The quantities of cyanide likely to be ingested from 100 g of germinated red sorghum seeds remained considerably lower than the average fatal dose of cyanide for humans, i.e. 50-60 mg for an adult (Panasiuk and Bills 1984).

A significant difference was observed between the average total cyanide content of the 15 samples of germinated seeds and of corresponding degemermed germinated seeds ( $94 \pm 23$  ppm) and a difference was also observed in each PU when comparing the 3 samples of germinated seeds and of corresponding degemermed germinated seeds (74-114 ppm). Degerming allowed a significant reduction in cyanide content (from -37 to -79%) in all PUs. Indeed cyanide is concentrated in the roots and the shoots of seeds in germination as previously observed by Ikediobi et al (1988) and Dada and Dendy (1988). However, the reduction values we obtained are lower than those reported by these authors. Dada and Dendy (1988) showed that the removal of the roots and the shoots reduced cyanide content by more than 90% while, according to Ikediobi et al (1988), there is no difference between the cyanide content of raw seeds and that of degemermed seeds. In our study, traditional manual degemerding did not allow the complete elimination of cyanide, and cyanide content remained higher than in raw seeds, but was reduced to a level (74-114 ppm) that does not present any danger for human consumption. However, the traditional technique of degemerding will have to be improved to reach a final cyanide content closer to the initial cyanide content of raw seeds.

## CONCLUSION

The main differences in technological know-how between PUs of red sorghum malt flours in Ouagadougou lie in the type of equipment used, the duration of the different steps, the addition of wood ashes before germination and the implementation of a maturation step. Significant differences were observed in proximate composition and phytate content of red sorghum seeds sampled in the 5 PUs, which may be due to the quality and variety of the raw seeds. The traditional malting process induced a significant reduction in lipid and ash

contents, but a significant increase in protein, sucrose, glucose and fructose contents, which confer a sweet taste to the malt flours. Malting was effective in reducing phytate content and increasing  $\alpha$ -amylase activity. A significant increase in cyanide content was also observed, however, fortunately, this increase can be adequately eliminated by the manual degerning of germinated seeds. Significant differences between PUs were observed for soluble sugar, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity in germinated seeds. Differences observed in biochemical characteristics of malt flours do not only reflect differences in processes but also in raw materials. Nevertheless, as producers were free in the choice of their raw material, it can be considered that this choice is part of their technological know-how. In spite of an appreciable intra-PUs variability, the inter-PUs variability results in significant differences of biochemical characteristics between malt flours produced in different PUs. Further investigations are necessary to establish a standardized method of malt flour production in order to minimize the variability of the biochemical characteristics of flours and to optimise  $\alpha$ -amylase production and phytate reduction.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors wish to express their thanks to Christian Picq for technical assistance with proximate analysis.

## **REFERENCES**

- AFNOR, NF V 03-050. 1970. Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl.
- Agu, R. C., and Palmer, G. H. 1997. Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. Proc. Biochem. 32:147-158.

- Ahmed, S. B., Mahgoub, S. A., and Babiker, B. E. 1996. Changes in tannin and cyanides contents and diastic activity during germination and the effect of traditional processing on cyanide content of sorghum cultivars. *Food Chem.* 56:159-162.
- Aniche, G. N. 1990. Studies on the effects of germination and drying conditions on the cyanide content of sorghum sprouts. *J. Food Technol.* 27(4):202-204.
- Brown, K. H., Sanchez-Grinan, M., Perez, F., Peerson, J. M., Ganoza, L., and Stern, J. S. 1995. Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *Am. J. Clin. Nutr.* 62(1):13-18.
- Dada, L. O., and Dendy, D. A. V. 1988. La teneur en cyanures des céréales germées et l'effet des techniques de conditionnement. In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., ed : Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique Orientale et Australe : Une technologie à la portée des ménages, compte rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenyan, 12-16 octobre 1987, IDRC-265 f, Ottawa : 407-414.
- Darling, J. C., Kitundu, J. A., Kingamkono, R. R., Msengi, A. E., Mduma, B., and Sullivan, K. R. 1995. Improved energy intakes using amylase-digested weaning foods in Tanzanian children with acute diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 21(1):73-81.
- Den Besten, L., Glatthaar, I. I., and Ijsselmuiden, C. B. 1998. Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *J. Trop. Pediatr.* 44(1):4-9.
- Dewar, J., Taylor, J. R. N., and Berjak, P. 1997. Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *J. Cereal Sci.* 26:129-136.
- Elmaki, H. B., Babiker, E. E., and El Tinay, A. H. 1999. Changes in chemical composition, grain malting, starch and tannin contents and protein digestibility during germination of sorghum cultivars. *Food chem.* 64:331-336.
- Ikediobi, C. O., and Olugboji, O. 1988. Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) sprouts. *Food Chem.* 27:167-175.
- Mahgoub, S. E. O., and Elhag, S. A. 1998. Effect of milling, soaking, malting, heat-treatment and fermentation on phytate level of four Sudanese sorghum cultivars. *Food Chem.* 61:77-80.
- Malleshi, N. G., Daodu, M. A., and Chandrasekhar, A. 1989. Development of weaning food formulations based on malting and roller drying of sorghum and cowpea. *Int. J. Food Sci. Technol.* 24:511-519.

- Moursi, M., Mbemba, M., and Trèche, S. 2003. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr.* 6(3):249-257.
- Nirmala, M., Subba Rao, M. V. S. S. T., and Muralikrishna, G. 2000. Carbohydrates and their degrading enzymes from native and malted finger millet (Ragi, *Eleusine coracana*, Indaf-15). *Food Chem.* 69:175-180.
- Okoh, P. N., Ikediobi, C. O. and Olugboji, O. 1988. The fate in the rat of ingested dhurrin present in sprouted sorghum grain. *Food Chem.* 29:299-307.
- Onyeka, U., & Dibia, I. 2002. Malted weaning food made from maize, soybean, groundnut and banana. *J. Sci. Food Agric.* 82:513-516.
- Opuku, A. R., Ohenehen, S. O., and Ejiofor, N. 1981. Nutrient composition of millet (*Pennisetum thypoides*) grains and malts. *J. Agric. Food Chem.* 29:1247-1248.
- Panasiuk, O., and Bills D. D. 1984. Cyanide content of sorghum sprouts. *J. Food Sci.* 49:791-793.
- Prosky, L, Asp, N. G., Schweizer, T. F., Devries, J. W., and Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Anal. Chem.* 71(5):1017-1023.
- Sanchez-Grinan, M. I, Person, J., and Brown, K. H. 1992. Effect of dietary energy density on total *ad libitum* energy consumption by recovering malnourished children. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 :197-204.
- Shayo, N. B., Nnko, S. A. M., Gidamis, A. B., and Dillon, V. M. 1998. Assessment of cyanogenic glucoside (cyanide) residues in Mbege: an opaque traditional Tanzanian beer. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 49:333-338.
- Svanberg, U., Lorri, W., and Sandberg, A. S. 1993. Lactic fermentation of non-tannin and high tannin cereals: effects on *in vitro* estimation of iron availability and phytate hydrolysis. *J. Food Sci.* 58:408-412.
- Talamond, P., Gallon, G., and Trèche, S. 1998. Rapid and sensitive liquid chromatographic method using a conductivity detector for the determination of phytic acid in food. *J. Chromatogr. A.* 805:143-147.
- Taylor, J. R. N., and Dewar, J. 2001. Development in sorghum food technologies. *Adv. Food Nutr. Res.* 43:217-264.
- Traoré, T., Mouquet, C., Icard-Vernière, C., Traoré, A. S., and Trèche, S. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chem.* 88(1):105-114.

- Trèche, S. 2002. Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoerée T, Perez-Cueto eds: Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives. Antwerpen: ITG Press: 132-148.
- Uvere, P. O., Adenuga, O. D., and Mordi, C. 2000. The effect of germination and kilning on the cyanogenic potential, amylase and alcohol levels of sorghum malts used for burukutu production. *J. Sci. Food Agric.* 80:352-358.
- Vieu, MC., Traoré, T., and Trèche, S. 2001. Effects of energy density and sweetness of gruels on Burkinabe infant energy intakes in free living conditions. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 52:213-218.
- Wahed, M. A., Mahalanabis, D., Begum, M., Rahman, M., and Islam, M. S. 1994. Energy-dense weaning foods liquefied by germinated-wheat amylase: Effect on viscosity, osmolality, macronutrients, and bacterial growth. *Food Nutr. Bull.* 15(3):257-261.
- WHO, 1998. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva: WHO/NUT/98.1.



## **Effets de modifications du procédé de maltage traditionnellement utilisé au Burkina Faso sur les activités $\alpha$ -amylasique et phytasique et sur les teneurs en phytates, fer et zinc du sorgho rouge**

**Traoré Tahirou<sup>1,2\*</sup>, Mouquet Claire<sup>1,2</sup>, Icard-Vernière Christèle<sup>3</sup>, Rochette Isabelle<sup>3</sup>,  
Picq Christian<sup>3</sup>, Traoré S Alfred<sup>1</sup>, Trèche Serge<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Centre IRD, 01 BP 182 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

<sup>2</sup> CRSBAN, Département de Biochimie/Microbiologie, Université de Ouagadougou, 03 BP 7131 Ouagadougou 03, Burkina Faso

<sup>3</sup> Unité de Recherche 106 "Nutrition, Alimentation, Sociétés", Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France

\*Auteur correspondant : [ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf); [t\\_tahirou@yahoo.fr](mailto:t_tahirou@yahoo.fr)

### **RESUME**

L'objectif de cette étude était de comparer les effets de trois variantes du procédé de maltage traditionnellement utilisé à Ouagadougou (Burkina Faso) sur les caractéristiques biochimiques du sorgho rouge en vue d'identifier celle permettant l'obtention de farines maltées ayant des caractéristiques intéressantes pour être incorporées dans des farines infantiles. Pour ce faire, deux ateliers de maltage (AM) de sorgho rouge de la ville de Ouagadougou ont été sélectionnés sur la base des différences de savoir-faire observées parmi cinq AM. Les deux AM ont utilisé la même matière première mais des durées de trempage et de germination ainsi que des supports de germination différents. Deux variantes ont été observées dans le premier atelier selon que la productrice mélangeait (VA1) ou non (VA2) des cendres aux grains après trempage. Le second atelier met en œuvre une troisième variante (VB) consistant en l'introduction d'une étape de maturation avant séchage des grains germés. Pour chacune des trois variantes, trois productions de malt ont été suivies, et des échantillons ont été prélevés après chaque étape-clé du procédé : trempage, germination, maturation, séchage et dégermage.

L'addition de cendres aux grains trempés n'a pas d'effet sur l'activité  $\alpha$ -amylasique. Probablement en raison de durées de trempage et de germination et de l'utilisation d'un support de germination (canari) particulièrement bien adaptées, le malt issu de la variante VB a des activités  $\alpha$ -amylasiques significativement plus élevées que ceux obtenus par les deux autres variantes (VA1 et VA2), même si une réduction de l'activité  $\alpha$ -amylasique est observée en fin de maturation. Quelle que soit la variante utilisée, le maltage entraîne une augmentation significative de l'activité phytasique des grains de sorgho rouge (de 140 à 221%), mais aucune différence significative n'a été observée en fonction de la variante utilisée. La réduction des teneurs en phytates est plus importante (57%) pour la variante VB incluant l'étape de maturation que pour les deux autres (moins de 45%). Le mélange de cendres aux grains (VA1) entraîne une augmentation des teneurs en fer de 327%, tandis qu'une réduction significative des teneurs en fer (de 46 à 50%) est observée pour VA2 et VB. La variante VA2, correspondant au procédé le plus couramment utilisé pour le maltage du sorgho rouge s'accompagne d'une réduction importante des rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn, favorable à une meilleure biodisponibilité de ces deux minéraux.

## **INTRODUCTION**

L'intérêt nutritionnel de l'augmentation de la densité en énergie et en nutriments des bouillies consommées par les jeunes enfants en complément du lait maternel, dans les pays en développement, a été démontré par plusieurs auteurs (Brown et al., 1995; Darling et al., 1995; Den Besten et al., 1998; Vieu et al., 2001; Moursi et al., 2003 ; Traoré et al., 2004b). Au Burkina Faso, l'utilisation de farines de céréales maltées comme source  $\alpha$ -amylasique, pour conférer simultanément aux bouillies une densité énergétique et une consistance appropriées, semble être une solution adaptée (Traoré et al., 2004a). De précédents travaux ont permis de montrer, que les farines de sorgho rouge malté possèdent des caractéristiques nutritionnelles et enzymatiques intéressantes pour être incorporées dans les farines infantiles produites localement, mais que ces caractéristiques varient de manière très importantes d'un atelier de fabrication à l'autre (Traoré et al., 2004a). De nouvelles investigations se sont donc avérées nécessaires pour mettre au point un procédé standardisé de production de farines maltées, dans le but d'obtenir des produits ayant des propriétés optimisées. Par ailleurs, plusieurs auteurs ont montré que l'activité phytasique augmente au cours du maltage (Eskin et Wiebe, 1983 ; Gibson et Ferguson, 1998) entraînant une réduction des teneurs en phytates (Honke et al., 1998 ; Mahgoub et Elhag, 1998 ; Makokha et al., 2002), ce qui améliorerait la biodisponibilité en certains minéraux (fer, zinc, etc.) souvent déficients dans l'alimentation du jeune enfant (Sandberg et Svanberg, 1991 ; Duhan et al., 2002).

L'objectif de cette étude est de comparer les effets de trois variantes du procédé de maltage traditionnellement utilisé à Ouagadougou sur les caractéristiques biochimiques du sorgho rouge en vue d'identifier celle permettant l'obtention d'une farine maltée ayant les caractéristiques les plus intéressantes pour être incorporée dans des farines infantiles.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Matériel végétal**

Les grains de sorgho rouge (*Sorghum bicolor*) ont été achetés à Ouagadougou, chez le fournisseur habituel d'une des productrices de malt.

## **Sélection des ateliers de maltage de sorgho rouge et description des variantes étudiées**

Nos travaux antérieurs, réalisés dans huit ateliers de maltage (AM) de Ouagadougou transformant soit le sorgho rouge (5 AM), soit le mil (2 AM), soit le maïs (1 AM) ont mis en évidence une grande variabilité des caractéristiques enzymatiques et biochimiques des malts traditionnels, mais la variabilité de la matière première utilisée ne permettait pas de tirer des conclusions sur les effets des différentes variantes du procédé de maltage utilisées (Traoré et al., 2004a). Pour préciser l'influence de ces variantes sur certaines caractéristiques biochimiques du sorgho rouge, nous nous sommes intéressés à deux AM de sorgho, parmi les cinq précédents, présentant des différences importantes de savoir-faire au niveau du procédé. Il avait été observé précédemment que l'une des productrices (AM-A) incorporait fréquemment mais pas systématiquement, des cendres aux grains de sorgho après trempage, ce qui, selon la productrice, permet la préparation d'une bière traditionnelle plus alcoolisée et de meilleur goût. Nous lui avons demandé de fabriquer le malt selon ces deux variantes : VA1 (avec addition de cendres de bois, après trempage) et VA2 (sans addition de cendres). La troisième variante étudiée (VB) est mise en oeuvre par la deuxième productrice (AM-B) et se caractérise principalement par l'introduction d'une étape de maturation avant séchage des grains germés.

La description des variantes du procédé traditionnel du maltage du sorgho rouge étudiées est présentée dans le tableau 1. Les grains de sorgho rouge sont mises à tremper dans l'eau contenue dans des bassines pendant 11 heures (VA1 et VA2) ou dans des canaris en terre cuite (VB) pendant 17 heures. Les grains trempés sont mélangés (VA1) ou non (VA2 et VB) à des cendres de bois et sont étalés sur une aire cimentée (VA1 et VA2) ou sur les parois de canaris (VB) pour la germination. Durant la germination, d'une durée légèrement plus longue pour VB que pour VA1 et VA2 (73 vs 67 h), les grains subissent une série de lavage/égouttage/étalage (1 fois pour VA1 et VA2 ; 3 fois pour VB) et/ou d'arrosage (1 fois pour VA1 et VA2). La maturation observée uniquement pour la variante VB, consiste à empiler les grains germés dans des sacs en toile de jute qui sont entreposés à l'abri de la lumière pendant 25 heures. Les grains germés sans (VA1 et VA2) ou après maturation (VB) sont mises à sécher au soleil sur une aire cimentée, respectivement pendant 33 et 31 heures. Le dégermage manuel des grains se fait ensuite par frottement des grains les uns contre les autres et vannage. La production du malt de sorgho rouge dure 4,6 jours pour VA1 et VA2 et 6,1 jours pour VB.

Pour chacune des trois variantes (VA1, VA2 et VB), trois productions ont été suivies, et des échantillons ont été prélevés après trempage, germination, maturation, séchage et dégermage. Les échantillons prélevés ont été congelés, lyophilisés, broyés, tamisés (taille des particules < 500 µm) et stockés dans une chambre froide à 4°C avant analyses.

**Tableau 1 :** Comparaison des variantes du procédé de maltage du sorgho rouge sélectionnées

		Ateliers de maltage du sorgho rouge		
		AM-A		AM-B
		VA1	VA2	VB
<i>Trempage</i>	Support Durée <sup>1</sup> (h)	Bassine $12 \pm 1^a$ (9 - 15)		Canaris $17 \pm 1^b$ (16 - 19)
<i>Egouttage</i>			oui	oui
<i>Mélange à de la cendre</i>			oui	non
<i>Germination</i>	Support	Aire Cimentée Canaris	oui	oui
	Nombre de lavage / égouttage		1	3
	Nombre d'arrosage		1	
	Durée <sup>1</sup> (h)		$67 \pm 3^a$ (65 - 72)	$73 \pm 2^b$ (72 - 74)
<i>Maturation</i>	Support Durée <sup>1</sup> (h)			Sacs en jute $25 \pm 1^b$ (24 - 26)
<i>Séchage au soleil</i>	Durée <sup>1</sup> (h)	$33 \pm 9$ (28 - 43)		$31 \pm 2$ (31 - 34)
<i>Dégermage</i>			oui	oui
<i>Durée totale du procédé de maltage (jours)</i>			5	6

<sup>1</sup>Moyenne ± écart-type (min-max) de 3 observations

Sur chaque ligne, les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes

AM : atelier de maltage ; V : variante

## Analyses physiques et biochimiques

Toutes les analyses ont été réalisées en double.

### Détermination de la teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée par dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant (24 heures).

### Détermination de l'activité α-amylasique

L'activité α-amylasique a été déterminée par la méthode colorimétrique mise au point par Megazyme (Wicklow, Irlande). Elle consiste en une hydrolyse d'un substrat spécifique fourni

par un kit (AZCL-amylase) par l' $\alpha$ -amylase extraite des échantillons à doser. L'activité  $\alpha$ -amylasique est exprimée en unités Ceralpha par gramme de matière sèche (U/g MS ; ICC Standard No. 303, Megazyme International, Ireland).

#### Evaluation de la consistance des bouillies

Les farines maltées provenant des ateliers ont été incorporées au taux de 8%, en substitution du mil, dans une farine infantile fabriquée localement, à partir de mil (66,3%), de soja (19,0%), d'arachide (5,0%), de sucre (9,0%) et de sel (0,7%), et des bouillies ont été préparées selon la méthode décrite par Vieu et al. (2001) dans des conditions les plus semblables possible de celles rencontrées dans les ménages, à des concentrations les plus proches possible de 25 g MS/100 g de bouillie (soit environ 100 kcal/100 g de bouillie). La consistance des bouillies a été estimée par la mesure de l'écoulement Bostwick (Bookwalter et al., 1968). 100 g de bouillie sont versés dans le premier compartiment d'un consistomètre de Bostwick (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, Virginia, USA). Lorsque la bouillie atteint  $45,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , la gâchette de l'appareil est actionnée pour libérer la bouillie qui s'écoule alors dans le second compartiment. La valeur retenue correspond à la distance parcourue par le front de la bouillie en 30 s et s'exprime en mm/30 s.

#### Détermination de la teneur en phytates

L'extraction et le dosage des phytates ont été réalisés selon Talamond et al. (1998). Après une extraction des phytates en milieu acide (HCl 0,5 M), le dosage de l'inositol-6-phosphate (IP6) est réalisé par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil Dionex DX 4500i équipé d'une colonne Omnipac pax-100. La détection est faite par conductivité. Les valeurs sont exprimées en g IP6/100 g MS.

#### Estimation de l'activité phytasique

Les phytases ont été extraites selon les méthodes de Konietzy et al. (1995) et Bergmann et al. (2000). Après une incubation de l'extrait enzymatique dans une solution de phytate de sodium 2,5 mM en présence d'un tampon acétate (0,1 M, à pH 5,6), l'activité phytasique a été déterminée par spectrophotométrie à 405 nm en dosant le phosphore inorganique libéré selon la méthode colorimétrique décrite par Heinonen et al. (1981). Les résultats sont exprimés en mg d'H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> libéré/heure/100 g MS.

### Détermination des teneurs en fer et en zinc

Les teneurs en fer et en zinc ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (Varian SpectrAA 200, Victoria, Australia) après minéralisation par voie sèche (2 h à 530°C) de 2 à 4 g de farine et solubilisation des cendres dans 25 ml d'HCl 0,5 N. Les résultats sont exprimés en mg/100 g MS.

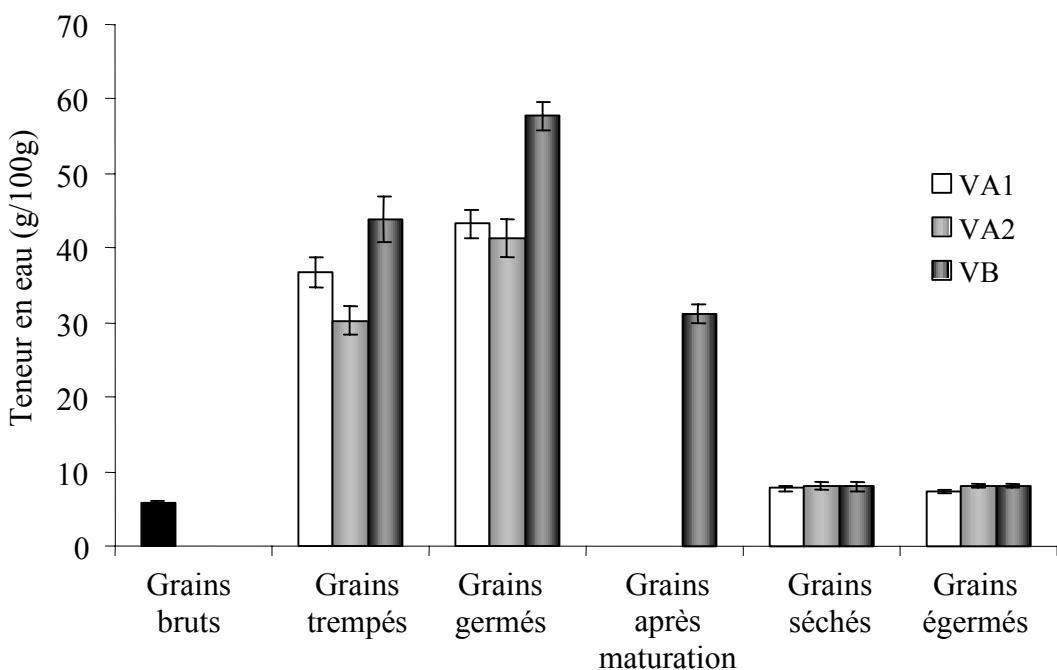
### **Analyses statistiques**

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc., USA). Les résultats sont présentés en moyenne  $\pm$  écart-type, pourcentage de variation par rapport à l'étape précédente (entre parenthèses) et pourcentage de variation totale. Les niveaux de signification des différences de caractéristiques biochimiques observées entre les échantillons issus des 3 variantes du procédé de maltage et pour les 3 productions d'une même variante, ont été évalués par analyse de variance (ANOVA) en utilisant le test des comparaisons multiples de Duncan pour comparer les moyennes. Pour toutes les comparaisons, le seuil de signification statistique a été fixé à 0,05.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **Evolution des teneurs en eau**

La figure 1 montre l'évolution des teneurs en eau au cours du maltage des grains de sorgho rouge. Quelle que soit la variante, les teneurs en eau augmentent considérablement au cours du trempage des grains, mais significativement plus pour VB ( $p < 0,05$ ) qui a une durée de trempage plus longue. Le trempage est une étape très importante du procédé de maltage, en ce sens qu'une hydratation adéquate des grains est importante pour les modifications enzymatiques des substrats contenus dans l'endosperme durant la germination (Agu et Palmer, 1998 ; Taylor et Dewar, 2001). L'hydratation des grains se poursuit durant la phase de germination, et ce particulièrement pour la variante VB. Les différences apparues au cours du trempage entre VB et VA1 ou V12 se maintiennent, voire s'accentuent, ce qui peut être dû soit à une durée de la germination légèrement plus longue pour VB, soit au fait que pour VB la germination se déroule dans des canaris qui permettent de maintenir des conditions de températures et d'humidité favorables et constantes.



**Figure 1 :** Evolution de la teneur en matière sèche (g/100 g) au cours du maltage du sorgho rouge pour les 3 variétés étudiées (moyennes  $\pm$  écart-type des valeurs obtenues au cours de 3 productions différentes par variété étudiée).

### Evolution de l'activité $\alpha$ -amylasique

L'évolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique au cours du maltage des grains de sorgho rouge est présentée dans le tableau 2. Les grains bruts et trempés ne présentent pas d'activité  $\alpha$ -amylasique détectable par le kit Megazyme. En revanche, une augmentation très importante de l'activité  $\alpha$ -amylasique est observée en fin de germination, ce qui confirme nos résultats antérieurs (Traoré et al., 2004a) et ceux d'autres auteurs (Agur et Palmer, 1997 ; Uvere et al., 2000). Après l'étape de germination, on observe dans tous les cas une diminution importante de l'activité  $\alpha$ -amylasique, que ce soit pendant la maturation (-21% pour VB) ou pendant le séchage (-48% et -31% pour VA1 et VA2) et (-7 et -10% pour VA1 et VA2). A l'exception de l'étape de séchage, aucune différence significative d'activité  $\alpha$ -amylasique n'a été observée entre VA1 et VA2 ce qui permet de conclure que l'incorporation de cendres aux grains trempés dans les conditions adoptées par la productrice n'a pas eu d'effet sur l'activité  $\alpha$ -amylasique. Taylor (1997) a rapporté qu'un trempage alcalin (pH variant entre 8,9 et 10,1) avant la germination améliore l'activité amylasique du malt en permettant une hydratation plus rapide des grains et, par

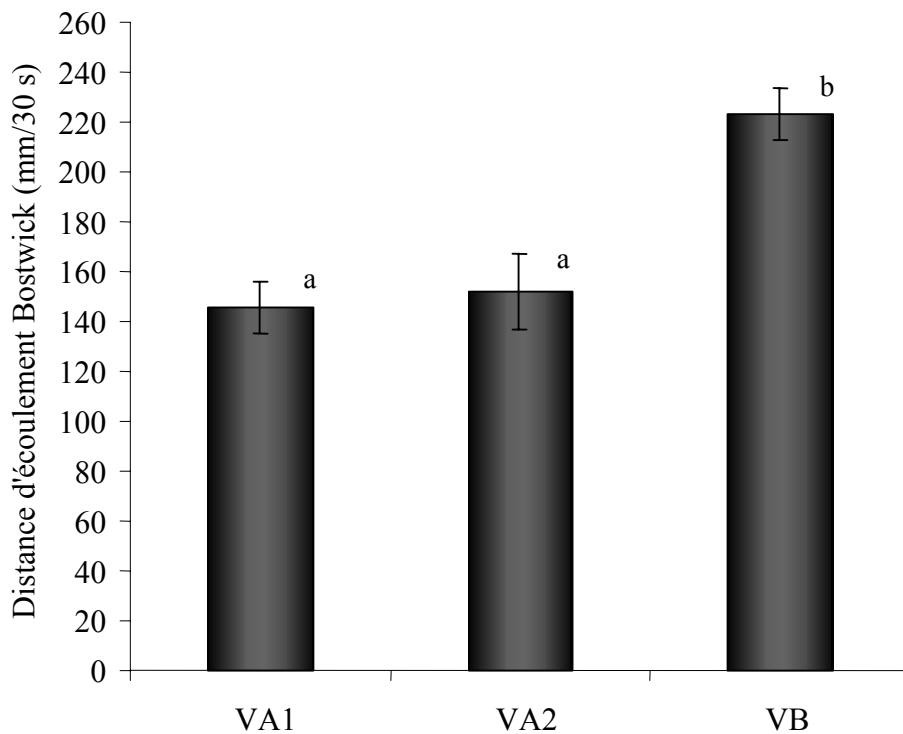
conséquent, augmente leurs activités métaboliques. Comme l'ajout de cendres peut entraîner une certaine alcalinisation, nous avons mesuré le pH de suspensions de farines de grains germés et les valeurs trouvées (5,9 et 6,4 pour VA1 et VA2) sont largement inférieures à celles obtenues par Taylor (1997). Les quantités de cendres mélangées aux grains n'ont probablement pas été suffisantes pour créer les conditions alcalines favorables à une amélioration de l'activité  $\alpha$ -amylasique des échantillons obtenus par VA1.

Avec la même matière première, VB a permis d'obtenir des activités  $\alpha$ -amylasiques significativement plus élevées que celles obtenues avec VA1 et VA2 probablement en raison de plus longues durées de trempage et de germination et des conditions plus favorables d'humidité et de température résultant de l'utilisation de canaris comme support de germination. Les durées des étapes de trempage et de germination ainsi que la nature des supports de germination utilisés semblent donc être les facteurs déterminants du développement de l'activité  $\alpha$ -amylasique des grains de sorgho rouge. La diminution de l'activité amylasique au cours de l'étape de maturation conduit à s'interroger sur son utilité mais il est important de remarquer que le séchage des graines après maturation (VB) s'accompagne d'un perte d'activité amylasique beaucoup plus faible que le séchage direct des grains germés (VA1 et VA2). Il est donc probable que cette diminution ne soit qu'une anticipation de celle qui se produit pendant le séchage.

**Tableau 2 :** Evolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique ( $U/g\ MS$ ) au cours du maltage du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé

	Grains bruts	Grains trempés	Grains germés	Grains après maturation	Grains séchés	Grains dégermés	NdS
<b>VA1</b>	Nd	Nd	$177 \pm 12^{a1}$		$93 \pm 17^{b1}$ (-48%)	$87 \pm 23^{b1}$ (-7%)	$<10^{-4}$
<b>VA2</b>	Nd	Nd	$168 \pm 39^{a1}$		$116 \pm 18^{b2}$ (-31%)	$105 \pm 17^{b1}$ (-10%)	$<10^{-4}$
<b>VB</b>	Nd	Nd	$275 \pm 32^{a2}$	$218 \pm 20^b$ (-21%)	$215 \pm 14^{b3}$ (-1%)	$213 \pm 16^{b2}$ (-1%)	$<10^{-4}$
<b>NdS</b>	---	---	$<10^{-4}$	---	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	

Les résultats sont donnés en moyenne  $\pm$  écart-type (% de variation par rapport à l'étape précédente)  
Nd : non détectable – NdS : Niveau de signification – Sur chaque ligne, les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes – Dans chaque colonne, les moyennes non suivies d'un même chiffre sont significativement différentes



**Figure 2 :** Comparaison de la consistance de bouillies préparées à la concentration de 25 g de matière sèche de farine/100 g de bouillie en fonction de la variante du procédé de maltage de sorgho rouge (moyenne  $\pm$  écart-type de 6 bouillies préparées après incorporation de 8% de malt provenant de 3 productions différentes pour chaque variante, à raison de 2 bouillies par production).

*Les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes.*

La consistance des bouillies préparées après incorporation dans une farine infantile locale de 8% de farines de sorgho rouge malté provenant des 3 variantes est présentée sur la figure 2. Ces résultats confirment ceux obtenus pour l'activité amylasique, à savoir que le malt issu de VB a une plus forte aptitude à fluidifier des bouillies à forte concentration en matière sèche que les malts issus de VA1 et VA2. Cette aptitude à fluidifier les bouillies est la principale caractéristique recherchée en vue d'une incorporation de farines maltées dans les farines infantiles dans la mesure où elle permet de préparer, à consistance égale, des bouillies ayant des densités en énergie et en nutriments plus élevées.

## **Evolution de l'activité phytasique et des teneurs en phytates**

Le tableau 3 compare l'évolution de l'activité phytasique et des teneurs en phytates des 3 variantes du procédé traditionnel au cours du maltage du sorgho rouge.

L'activité phytasique des grains bruts est un peu plus élevée que celle rapportée (67 U) par Gibson et Ferguson (1998). L'activité phytasique augmente au cours du trempage des grains (de 14 à 51% selon la variante considérée), puis augmente de façon plus importante encore au cours de la germination (de 150 à 238%). Comme pour l'activité  $\alpha$ -amylasique, on observe après germination une diminution de l'activité phytasique au cours des étapes de maturation (-33% pour VB) ou de séchage (-14 et -34%, pour VA1 et VA2). D'une manière générale, le maltage entraîne une augmentation significative de l'activité phytasique des grains de sorgho rouge plus importante pour VA2 (+221%) que pour VB (+182%) et VA1 (+140). Les augmentations de l'activité phytasique observées au cours du maltage sont comparables à celle (+203%) rapportée par Gibson et Ferguson (1998).

Les teneurs en phytates sont comparables à celles obtenues au cours de nos travaux antérieurs (Traoré et al., 2004a). Le trempage n'a pas d'impact sur les teneurs en phytates. En revanche, la germination s'accompagne d'une réduction des teneurs en phytates, significativement plus marquée avec VB (-52%) qu'avec les autres variantes, probablement en raison d'une plus longue durée de germination réalisée dans des conditions d'humidité et de température favorables à l'activation des phytases. Par ailleurs, la maturation (VB) et le séchage des grains dans les conditions VA1 sont responsables d'importantes réductions des teneurs en phytates (respectivement, -28 et -42%). Sur l'ensemble du procédé de maltage, la diminution des teneurs en phytates observée est significativement plus importante pour VB (-57%) que pour VA1 et VA2 (-42 et -43%).

On constate qu'au cours de la germination la dégradation des phytates est d'autant plus forte que l'augmentation de l'activité phytasique est plus élevée.

Outre son rôle dans la dégradation des phytates des farines de grains germés, l'activité phytasique apparue au cours de la germination pourrait contribuer à réduire les teneurs en phytates des bouillies préparées à partir de farines infantiles lorsque des farines de grains germés y sont incorporées (Gibson et Ferguson, 1998). Amoa et Muller (1975) ont ainsi observé que l'addition de 10% de farine de maïs germé dans une pâte de maïs permettait de réduire de 56% les teneurs en phytates du Kenkey au Ghana.

**Tableau 3 : Evolution de l'activité phytasique et des teneurs en phytates au cours du maltage du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé utilisées**

	Grains bruts	Grains trempés	Grains germés	Grains après maturation	Grains séchés	Grains dégermés	NdS	Variation totale (%)
<b>Activité phytasique (mg d'H2PO4 libéré/heure/100 g MS)</b>								
<b>VA1</b>	158 ± 15 <sup>b1</sup> (+51%)	395 ± 14 <sup>c</sup> (+150%)			262 ± 8 <sup>d1</sup> (-34%)	252 ± 12 <sup>d1</sup> (-4%)	<10 <sup>-4</sup>	+140
<b>VA2</b>	105 ± 14 <sup>a</sup>	144 ± 10 <sup>a1</sup> (+37%)	415 ± 15 <sup>b</sup> (+188%)		357 ± 88 <sup>bc2</sup> (-14%)	337 ± 67 <sup>c2</sup> (-6%)	<10 <sup>-4</sup>	+221
<b>VB</b>				405 ± 71 <sup>b</sup> (+238%)	272 ± 96 <sup>c</sup> (-33%)	293 ± 56 <sup>c12</sup> (+8%)	<10 <sup>-4</sup>	+182
<b>NdS</b>	---	<10 <sup>-3</sup>	0,74	---	0,044	0,032		
<b>Teneur en phytates (g/100 g MS)</b>								
<b>VA1</b>	0,88 ± 0,09 <sup>a</sup> (+2%)	0,83 ± 0,03 <sup>al</sup> (-6%)			0,48 ± 0,08 <sup>b</sup> (-42%)	0,50 ± 0,10 <sup>b</sup> (+4%)	<10 <sup>-4</sup>	-42
<b>VA2</b>	0,86 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,87 ± 0,03 <sup>a</sup> (+1%)	0,53 ± 0,04 <sup>b2</sup> (-39%)		0,42 ± 0,19 <sup>b</sup> (-13%)	0,49 ± 0,15 <sup>b</sup> (+17%)	<10 <sup>-4</sup>	-43
<b>VB</b>				0,40 ± 0,06 <sup>b3</sup> (-52%)	0,29 ± 0,03 <sup>c</sup> (-28%)	0,34 ± 0,03 <sup>c</sup> (+17%)	0,37 ± 0,05 <sup>bc</sup> (+9%)	-57
<b>NdS</b>	---	0,41	<10 <sup>-4</sup>	---	0,19	0,089		

Les résultats sont donnés en moyenne ± écart-type (% de variation par rapport à l'étape précédente).

NdS : Niveau de signification – Sur chaque ligne, les moyennes non suivies d'une même lettre sont significativement différentes – Dans chaque colonne, les moyennes non suivies d'un même chiffre sont significativement différentes

## **Evolution des teneurs en fer et en zinc et des rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn**

Les teneurs en fer et en zinc des grains bruts et dégermés de sorgho rouge sont présentées dans le tableau 4.

Les teneurs en fer des grains bruts de sorgho rouge (15,3 mg/100 g MS) sont beaucoup plus élevées que celles rapportées par Maha Lakshmi et Sumathi (1997) et par Lestienne et al. (2005) qui sont, respectivement de 2,9 et de 3,7 mg/100 g MS. Ces fortes valeurs sont probablement dues à une contamination post-récolte des grains bruts. VA2 et VB entraînent une réduction significative des teneurs en fer du sorgho rouge (de -46 à -50%). Plusieurs auteurs ont également rapporté une diminution des teneurs en fer au cours du trempage (Saharan et al., 2001 ; Lestienne et al., 2005) qui est attribuée à une diffusion de la fraction soluble de cet élément minéral dans l'eau de trempage. En revanche, VA1 s'accompagne d'une augmentation des teneurs en fer de 327% consécutive à l'addition de cendres de bois aux grains trempés avant la germination.

Les teneurs en zinc des grains bruts de sorgho rouge (2,51 mg/100 g MS) sont comparables à celles rapportées par Maha Lakshmi et Sumathi (1997) et par Lestienne et al. (2005) qui sont, respectivement de 2,6 et 1,6 mg/100 g MS. Comme pour le fer, le maltage a tendance à s'accompagner d'une réduction des teneurs en zinc, mais cette diminution n'est pas significative. Le zinc diffuse moins dans l'eau de trempage que le fer ce qui peut s'expliquer par le fait que le fer et le zinc ne sont pas localisés aux mêmes endroits dans la graine et qu'ils ne sont pas toujours liés aux mêmes molécules. L'ajout de cendres aux grains trempés avant germination se traduit par une faible (11%) augmentation (non significative) de la teneur en zinc et n'améliore pas la teneur en zinc par rapport à VA1 et à VB. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les cendres contiendraient peu de zinc ou que la diffusion du zinc contenu dans les cendres à l'intérieur des grains serait très faible.

Les rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn des grains bruts et égermés de sorgho rouge sont présentés dans le tableau 4. Le rapport molaire Phy/Fe des grains bruts, parfois considéré comme un indicateur de la biodisponibilité du fer (Saha et al., 1994 ; Lestienne et al., 2005), est, d'une manière générale, beaucoup plus faible (4,7 vs 18,5) que celui obtenu par Lestienne et al. (2005) en raison des fortes teneurs en fer présentes dans les grains bruts. Une diminution importante du ratio Phy/Fe est observée pour la variante VA1, en raison de la forte augmentation de la teneur en fer due à l'addition de cendres. Pour les deux autres variantes, le ratio Phy/Fe ne change pas de manière significative au cours du maltage, car la perte de fer au cours du procédé est compensée par la diminution de la teneur en phytates. Les valeurs

obtenues dans les grains égermés (de 0,7 à 4,1) sont bien inférieures à 14, valeur au delà de laquelle Saha et al. (1994) considèrent que l'absorption du fer est fortement diminuée.

Le rapport molaire Phy/Zn des grains bruts (33,2) est plus élevé que celui calculé par Adeyeye et al. (2000) qui était de 6,0 et plus faible que celui (62,8) obtenu par Lestienne et al. (2005). Globalement, le maltage entraîne une réduction des rapports molaires Phy/Zn (16,2 à 21,6 dans les grains égermés selon la variante considérée) qui se rapprochent, tout en lui restant supérieurs, de l'intervalle (10-15) en deçà duquel l'absorption du zinc serait améliorée (Davies et Olpin, 1979). La variante dans laquelle les cendres sont mélangées aux grains trempés avant la germination (VA1) permet de diminuer davantage le rapport molaire Phy/Zn que VA2, mais donne une valeur comparable à celle obtenue avec VB.

**Tableau 4 :** Evolution des teneurs en fer et en zinc et des rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn du sorgho rouge en fonction des variantes du procédé de maltage utilisées

	Grains bruts	Grains dégermés	NdS	Variation (%)
<b>Fer (mg/100 g MS)</b>				
VA1		65,3 ± 33,9 <sup>1</sup>	0,063	+327%
VA2	15,3 ± 0,3	8,3 ± 1,4 <sup>2</sup>	0,001	-46%
VB		7,6 ± 2,1 <sup>2</sup>	0,003	-50%
NdS	---	0,02		
<b>Zinc (mg/100 g MS)</b>				
VA1		2,79 ± 0,54	0,44	+11%
VA2	2,51 ± 0,14	2,21 ± 0,13	0,05	-12%
VB		2,24 ± 0,18	0,11	-11%
NdS	---	0,14		
<b>Rapport molaire Phy/Fe</b>				
VA1		0,7		
VA2	4,7	4,9		
VB		4,1		
<b>Rapport molaire Phy/Zn</b>				
VA1		17,7		
VA2	33,2	21,6		
VB		16,2		

Les résultats sont donnés en moyenne ± écart-type

NdS : Niveau de signification – Dans chaque colonne, les moyennes non suivies d'un même chiffre sont significativement différentes.

## **CONCLUSION**

L'évolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique des grains de sorgho rouge au cours du maltage traditionnel est apparue comme fortement influencée par les durées de trempage et de germination. L'utilisation de canaris à la place d'une aire cimentée comme support de germination permet d'obtenir une activité amylasique plus élevée. En revanche l'incorporation de cendres aux grains après le trempage n'a pas permis de l'augmenter significativement.

Quelle que soit la variante du procédé traditionnel utilisée, l'activité phytasique des grains augmente considérablement au cours du maltage. Cette augmentation se traduit par une réduction des teneurs en phytates qui reste, toutefois, trop faible pour espérer une amélioration de la biodisponibilité des minéraux.

Les farines de sorgho rouge malté, produites avec la variante VB, présentent des caractéristiques nutritionnelles et enzymatiques plus intéressantes que celles issues de VA1 et VA2 en vue d'une incorporation dans les farines infantiles. Cependant, on peut s'interroger sur l'utilité réelle de l'étape de maturation au cours de laquelle on observe une diminution des activités  $\alpha$ -amylasique et phytasique apparues au cours de la germination.

Pour optimiser, en vue de leur incorporation dans des farines infantiles, les caractéristiques biochimiques de farines de grains de sorgho rouge germés issus d'ateliers de production traditionnels, d'autres investigations accordant une attention particulière aux conditions de trempage et de germination s'avèrent nécessaires.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Adeyeye E. I., Arogundade L. A., Akintayo E. T., Aisida O. A. and Alao P. A., 2000. Calcium, zinc and phytate interrelationships in some foods of major consumption in Nigeria. *Food Chemistry*, 71? 435-441.
- Agu R. C. and Palmer G. H., 1998. A reassessment of sorghum for larger-beer brewing. *Bioresource Technology*, 66, 253-61.
- Agu R. C., and Palmer G. H., 1997. Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. *Process Biochemistry*, 32(2), 147-58.

- Amoa B. and Muller H. G., 1975. Studies on Kenkey with particular reference to calcium and phytic acid. *Cereal Chemistry*, 53, 365-375.
- Bergman E. L., Autio K. and Sandberg A. S., 2000. Optimal conditions for phytate degradation, estimation of phytase activity, and localization of phytate in barley (Cv. Blenheim). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4647-4655.
- Bookwalter G. N., Peplinski A. J. and 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.
- Brown K.H., Sanchez-Grinan M., Perez F., Peerson J.M., Ganoza L. and 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.
- Darling J. C., Kitundu J. A., Kingamkono R. R., Msengi A. E., Mduma B. and Sullivan K. R., 1995. Improved energy intakes using amylase-digested weaning foods in Tanzanian children with acute diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, 21(1), 73-81.
- Davies N. T. and Olpin S. E., 1979. Studies on the phytate: Zinc molar contents in diets as a determinant of Zn availability to young rats. *British Journal of Nutrition*, 43(3), 590-603.
- Den Besten L., Glatthaar I. I. and Ijsselmuiden C. B., 1998. Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomized controlled trial. *Journal of Tropical Pediatrics*, 44(1), 4-9.
- Duhan A., Khetarpaul N. and Bishnoi S., 2002. Content of phytic acid and HCl-extractability of calcium, phosphorus and iron as affected by various domestic processing and cooking methods. *Food Chemistry*, 78(1), 9-14.
- Eskin N. A. M. and Wiebe S., 1983. Changes in phytase activity and phytate during germination of two fababean cultivars. *Journal of Food Science*, 48, 270-271.
- Gibson R. S. and Ferguson E. L., 1998. Nutrition intervention strategies to combat zinc deficiency in developing countries. *Nutrition Research Reviews*, 11, 115-131.
- Heinonen J. K. and Lahti R. J., 1981. A new and convenient colorimetric determination of inorganic orthophosphate and its application to the assay of inorganic pyrophosphatase. *Analytical Biochemistry*, 113, 313-317.
- Honke J., Kozlowska H., Vidal-Valverde J. F. and Gorecki R., 1998. Changes in quantities of inositol phosphates during maturation and germination of legume seeds. *Zeitschrift fur lebensmittel – Untersuchung und – Forschung A*, 206, 279-283.

- Konietzy U., Greiner R. and Jany K. D., 1995. Purification and characterization of a phytase from spelt. *Journal of Food Biochemistry*, 18, 165-183.
- 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.
- Maha Lakshmi R. and Sumathi S., 1997. Binding of iron, calcium and zinc by fibre of sorghum and ragi. *Food Chemistry*, 60(2), 213-217.
- Mahgoub S. E. O., and 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.
- Makokha A. O., Oniang'o R. K., Njoroge S. M., and Kamar, O. K., 2002. Effect of traditional fermentation and malting on phytic acid and mineral availability from sorghum (*Sorghum bicolor*) and finger millet (*Eleusine coracana*) grain varieties grown in Kenya. *Food and Nutrition Bulletin*, 23(3), 241-5.
- Moursi M, Mbemba M. and 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.
- Saha P. R., Weaver C. M. and Mason A. C., 1994. Mineral bioavailability in rats from intrinsically labelled whole wheat flour of various phytate levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 2531-2535.
- Saharan K., Khetarpaul N. and Bishnoi S., 2001. HCl-extractability of minerals from ricebean and Fababean: influence of domestic processing methods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(4), 323-325.
- Sandberg A. S. and 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.
- Talamond P., Gallon G., and 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, 143-7.
- Taylor J. R. N. and Dewar J., 2001. Development in sorghum food technologies. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43, 217-64.
- Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Traoré AS. and Trèche S., 2004a. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chemistry*, 88(1), 105-114.

Traoré T., Zagré N., Traoré AS., Trèche S., 2004b. Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et le statut en fer et en vitamine A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 539-552.

Uvere P. O., Adenuga O. D. and Mordi C., 2000. The effect of germination and kilning on the cyanogenic potential, amylase and alcohol levels of sorghum malts used for burukutu production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 352-358.

Vieu MC., Traoré T. and 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.



### ***Conclusion***

Les résultats de ces travaux ont montré que, d'une manière générale, les farines de sorgho rouge et de mil germés possèdent des caractéristiques biochimiques intéressantes pour être incorporées dans des farines infantiles. Cependant, compte tenu de l'importante variabilité de ces caractéristiques d'un atelier de maltage à l'autre qui résulte, d'une part, de l'origine botanique et de l'histoire culturelle et technologique de la matière première utilisée et, d'autre part, des variantes observées au niveau du procédé traditionnel de maltage, l'incorporation de farines maltées provenant d'ateliers différents dans des farines infantiles nécessiterait de faire varier fréquemment son taux d'incorporation pour obtenir des bouillies de consistance appropriée. En revanche, il a pu être observé que les farines de sorgho rouge malté, produites avec l'une des variantes, appliquant des durées de trempage et de germination plus longues et utilisant un support de germination susceptible de créer des conditions d'humidité et de température plus favorables, présentent des caractéristiques nutritionnelles et enzymatiques intéressantes. L'incorporation de ces farines maltées dans des farines infantiles produites à moindre coût en milieu rural où les populations ont un faible pouvoir d'achat est donc envisageable pour améliorer la densité en énergie et en nutriments des bouillies.

---

Quelques photos présentant les principales étapes du procédé traditionnel de maltage des céréales à Ouagadougou

## PRINCIPALES ETAPES DU MALTAGE



Atelier de maltage de sorgho rouge mettant en évidence le matériel utilisé.



Etape de **trempage** des grains de céréale.



Etape de **germination** des grains en canari.



Etape de **maturation** des grains de sorgho germés



Etape de séchage au soleil.



Grains de sorgho rouge séchés.

## **CHAPITRE 3-3**

EFFICACITE BIOLOGIQUE D'UNE FARINE  
AMELIOREE DESTINEE AU MILIEU RURAL

## **EFFICACITE BIOLOGIQUE D'UNE FARINE AMELIOREE DESTINEE AU MILIEU RURAL**

Les études précédentes ayant permis de préciser et de définir, pour certains contextes particuliers, les modalités de production et d'utilisation d'aliments de complément au lait maternel, il apparaissait donc comme particulièrement intéressant d'évaluer en milieu réel une stratégie visant à promouvoir non seulement l'utilisation de ces aliments mais prenant également en compte les recommandations les plus récentes concernant la conduite de l'alimentation de complément du jeune enfant. Cette stratégie s'adresse à des zones rurales où la production par des groupements féminins d'une farine infantile accessible à la plupart des ménages peut être envisagée. L'étude réalisée a consisté à vérifier au cours d'un essai expérimental l'efficacité des bouillies améliorées mises au point à augmenter les ingérés énergétiques et à promouvoir la croissance et un meilleur statut en micronutriments chez les enfants de 6 à 10 mois. Il s'est agi précisément de comparer, pendant une période de 4 mois à partir de l'âge de 6 mois, le niveau d'ingéré énergétique, la croissance et l'évolution des concentrations en hémoglobine et en rétinol sérique, de deux groupes d'enfants consommant de manière régulière respectivement les bouillies améliorées mises au point et les aliments de complément tels qu'ils sont habituellement préparés et distribués au niveau des ménages.

---



## **Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et les statuts en fer et en vitamine A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes**

**Traoré<sup>1,3\*</sup> Tahirou, Zagré<sup>2</sup> Noël M, Traoré<sup>1</sup> Alfred S, Trèche<sup>3</sup> Serge**

<sup>1</sup> CRSBAN/UFR-SVT/Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>2</sup> IRSS/CNRST, 09 BP 471 Ouagadougou 09, Burkina Faso.

<sup>3</sup> UR 106 «Nutrition, Alimentation, Sociétés», IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France.

\*Auteur correspondant: [ttahirou@ird.bf](mailto:ttahirou@ird.bf)

### **- Résumé -**

Deux groupes de 42 enfants ayant des caractéristiques anthropométriques et biologiques ainsi qu'une morbidité comparable et consommant de manière régulière à partir de l'âge de 6 mois, soit des bouillies améliorées, soit des bouillies traditionnelles ont été suivis pendant 4 mois de façon à comparer leur niveau d'ingéré, leur croissance et l'évolution de leurs concentrations en hémoglobine et en rétinol sérique. La farine servant à la préparation des bouillies améliorées était composée de mil (49,0%), de soja (18,0%), de sorgho germé (8,7%), de sucre (10,3%), d'arachide (6,2%), de pulpe de néré (6,0 %), de sel iodé (0,67%), de CaCO<sub>3</sub> (0,67%) et d'un complément minéral et vitaminique (0,41%). Les ingérés de bouillies, des autres aliments de complément, de boissons ainsi que la fréquence et la durée des tétées ont été mesurés à domicile chez chaque enfant à l'âge de 7, 8, 9 et 10 mois. Un suivi hebdomadaire de la morbidité et des pratiques alimentaires a été effectué. Des prélèvements sanguins et des mesures anthropométriques ont été effectués à 6 et 10 mois.

La consommation des bouillies améliorées de haute densité en énergie (106 kcal/100g) et en nutriments a permis une augmentation très significative des ingérés énergétiques à partir des bouillies (11,4 vs 2,9 kcal/kg/jour;  $p<10^{-5}$ ) par rapport à ceux obtenus à partir des bouillies traditionnelles (39 kcal/100g). Toutefois, les quantités de bouillie consommées par les deux groupes restent bien inférieures à la capacité gastrique théorique des nourrissons. La consommation des bouillies améliorées par les enfants de 6 à 10 mois a permis une amélioration significative, d'une part, de la croissance en taille (1,5 vs 1,1 cm/mois;  $p<10^{-3}$ ) et, d'autre part, de la concentration en hémoglobine ( $+8,2 \pm 18,9$  vs  $-5,7 \pm 21,5$  g/l;  $p<0,01$ ). Une augmentation de la teneur moyenne en rétinol sérique a été observée entre 6 et 10 mois, mais la différence n'est pas significative entre les deux groupes.

**Mots-clés:** Bouillies – Densité énergétique – Croissance – Fer – Vitamine A.

**- Abstract -**

**Effect of the consumption of fortified gruels of high-energy density on intakes, growth and iron and vitamin A status of infants between 6 and 10 months in rural sahelian zones**

**Introduction:** In Burkina Faso, stunting and wasting affect, respectively, 37 and 13% of young children under 5 years. It is between 6 and 24 months of age, corresponding to the complementary feeding period, that the prevalence of protein energy malnutrition rises. In order to contribute to the improvement of this worrying nutritional situation, a study was carried out from December 2001 to May 2002 in the village of Ouarégou (*Province of Boulgou, Burkina Faso*). Its objective was to verify the effectiveness of improved gruels, by incorporation of malted flour and micronutrients, to increase energy intake and promote growth and better micronutrients status in infants of 6 to 10 months of age.

**Methods:** Two groups of 42 children, having comparable anthropometrical and biological characteristics as well as morbidity, and consuming regularly from 6 months of age, for the first, improved gruels, and for the second, traditional gruels usually prepared in the households, have been followed during 4 months in order to compare energy intake, growth and changes in haemoglobin and serum retinol concentrations. Flour used for improved gruels preparation was composed of millet (49.0%), soybean (18.0%), malted sorghum (8.7%), sugar (10.3%), peanut (6.2%), pulp of *néré* (6.0 %), iodized salt (0.67%), CaCO<sub>3</sub> (0.67%) and mineral and vitamin complement (0.41). Morbidity and feeding practices were followed up weekly. Intakes of gruel, other complementary foods and drinks as well as frequency and duration of feedings were measured at home for each infant when they reached the ages of 7, 8, 9 and 10 months. For each infant, blood samples and anthropometrical measures were taken at 6 and 10 months.

**Results:** The consumption of improved gruels of high energy (106 kcal/100g) and nutrient densities permitted a significant increase of energy intake from gruels (11.4 vs 2.9 kcal/kg/day;  $p<10^{-5}$ ) compared with that obtained from traditional gruels of low energy (39 kcal/100g) and nutrient densities. However, the quantities of gruel consumed by the two groups remain much lower than infant theoretical gastric capacity. The consumption of improved gruels by infants from 6 to 10 months allowed a significant increase of growth in size (1.4 vs 1.1 cm/month;  $p<10^{-3}$ ) and haemoglobin concentration (+8.2 ± 18.9 vs -5.7 ± 21.5 g/l;  $p<0,01$ ). An increase of serum retinol concentration was observed between 6 and 10 months, but the difference between the two groups was not significant.

**Conclusion:** The consumption of gruels with high energy and nutrient densities permitted a significant improvement of energy intake compared to traditional gruels. Otherwise, it proved effective to improve growth and iron status of young children between 6 and 10 months of age.

**Key words:** Gruels – Energy density – Growth – Iron – Vitamin A.

---

## INTRODUCTION

Dans les pays en développement, la croissance des enfants nourris exclusivement au lait maternel pendant les 6 premiers mois de leur vie est similaire à celle de leurs homologues des pays développés<sup>1,2</sup>. Après cette période, la croissance de la plupart de ces enfants dévie du modèle de croissance satisfaisant à cause des infections répétées et de l'inadéquation des aliments de complément<sup>2</sup>. La faible densité énergétique et nutritionnelle des aliments de complément joue un rôle important sur les ingérés alimentaires et la croissance des jeunes enfants<sup>2</sup>. Les aliments de complément de faible valeur nutritionnelle pourraient se substituer au lait maternel et, par conséquent, avoir un effet néfaste sur le statut nutritionnel du jeune enfant<sup>2</sup>.

Au Burkina Faso, le retard de croissance et l'émaciation touchent environ, respectivement, 37% et 13% des enfants de moins de 5 ans<sup>3</sup>. Comme dans la plupart des pays en développement, les enfants reçoivent comme premier aliment de complément des bouillies préparées à partir de farines ou de mélange de farines, de consistance fluide et de qualité nutritionnelle très médiocre en raison d'une faible densité énergétique et d'un mauvais équilibre en micronutriments. La capacité gastrique réduite des nourrissons (30-40 ml/kg/repas)<sup>4</sup> et leur faible fréquence journalière de consommation (2 bouillies par jour) font que la consommation de telles bouillies ne peut généralement pas apporter les compléments au lait maternel nécessaires à la couverture des besoins nutritionnels. Dans ce contexte, l'incorporation de sources d'amylases dans les farines infantiles en vue de réduire la viscosité de bouillies à forte concentration en matière sèche et de leur conférer une consistance semi-liquide, peut avoir des répercussions positives sur les ingérés énergétiques<sup>5,6</sup> et sur la croissance des jeunes enfants<sup>7</sup>. Par ailleurs, une fortification de ces farines en vitamines et minéraux constitue une voie alimentaire possible de lutte contre les carences en micronutriments<sup>8</sup>. Un enrichissement bien conduit peut représenter une contribution importante aux apports journaliers comme c'est le cas aux USA et conduire à des effets à moyen et long terme<sup>9</sup>. Un impact positif de l'enrichissement d'aliments sur le statut en micronutriments a été rapporté par plusieurs auteurs<sup>10,11</sup>.

L'objectif de cette étude était de vérifier, en situation réelle, l'efficacité de bouillies améliorées, par incorporation de farine maltée et de micronutriments, pour augmenter les ingérés énergétiques et promouvoir la croissance et un bon statut en micronutriments chez les enfants de 6 à 10 mois dans un village de la province du Boulgou située au Sud-Est du Burkina Faso.

## SUJETS ET METHODES

### Description de l'étude

La présente étude est un essai comparatif contrôlé au cours duquel deux groupes d'enfants ont été enrôlés pendant une période de 7 semaines et assignés à consommer pendant 4 mois, soit des bouillies améliorées au moins 2 fois par jour (groupe d'intervention), soit des bouillies préparées et distribuées dans les conditions habituelles des ménages (groupe témoin). Six enquêtrices, à raison de 3 enquêtrices par zone, ont été recrutées et formées au travail qui leur était imparti. Deux enquêtrices (1 par zone) étaient chargées de l'enquête d'éligibilité et de l'enquête de données générales, de la distribution hebdomadaire de la farine infantile ainsi que du suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires et de la morbidité chez les enfants. Quatre enquêtrices (2 enquêtrices par zone) étaient chargées de réaliser dans les

ménages recrutés, des mesures d'ingrédients et des observations relatives aux consommations alimentaires des jeunes enfants.

L'étude a été approuvée par le Ministère de la santé et le Centre national de recherche scientifique et technologique du Burkina Faso. Un consentement informé a été obtenu de tous les parents. A la fin de l'étude, la même stratégie d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant a été mise en place dans la zone témoin.

### **Calcul des effectifs et recrutement des sujets**

Les effectifs ont été calculés en vue de mettre en évidence une amélioration (*i*) de l'ingéré énergétique journalier à partir des aliments de complément de 17,5% ( $\alpha=5\%$  et  $\beta=15\%$ ), (*ii*) de la croissance en taille de 1,2 cm en 4 mois ( $\alpha=\beta=5\%$ ), (*iii*) de la concentration en hémoglobine de 8,0 g/l en 4 mois ( $\alpha=\beta=5\%$ ) et (*iv*) de la concentration en rétinol sérique de 0,15  $\mu$ mol/l en 4 mois ( $\alpha=5\%$  et  $\beta=10\%$ ) entre le groupe d'enfants consommant les bouillies améliorées et le groupe d'enfants consommant les bouillies traditionnelles. A partir des résultats de ces calculs, deux groupes de 42 enfants étaient nécessaires.

Au moment du recrutement, les enfants devaient être âgés de 6 mois  $\pm$  7 jours, être allaités par leurs mères, ne pas être sévèrement malnutris (Z-scores poids-taille et Taille-âge  $> -3$ ), ne pas être atteints de handicaps sévères, ne pas être des jumeaux, et appartenir à une famille ne prévoyant pas un déplacement ou un voyage de plus d'une semaine. Les prévisions étant d'environ 7 naissances par semaine dans chaque zone, 2 groupes de 43 enfants ont été progressivement enrôlés sur une période de 7 semaines.

### **Farine expérimentale et bouillies traditionnelles**

Les compositions en ingrédients et nutriments des bouillies améliorées et traditionnelles sont données dans le tableau 1. La farine expérimentale a été formulée de façon à apporter les constituants nécessaires pour donner aux bouillies une consistance appropriée (farine de sorgho germé) lorsqu'elles sont préparées à une densité énergétique d'au moins 100 kcal/100 g et pour en améliorer l'acceptabilité (farine de néré) et l'équilibre en micronutriments (complément minéral et vitaminique). Les procédés de fabrication de la farine ont été transférés à 2 groupements féminins de la zone d'intervention de façon à pérenniser leur utilisation. Par ailleurs, les mères du groupe d'intervention ont été formées au mode de préparation des bouillies améliorées à l'occasion de la première distribution de la farine infantile. Les bouillies traditionnelles généralement consommées par les enfants du groupe témoin étaient des bouillies de mil fermenté ou des bouillies à base de mil, de maïs, de sorgho ou de riz. La consistance des bouillies a été caractérisée à 45°C en mesurant leur distance d'écoulement (en mm/30s) à l'aide d'un consistomètre de Bostwick.

### **Collecte des données**

#### **Caractéristiques socio-économiques des ménages et suivi hebdomadaire des pratiques alimentaires et de la morbidité chez les enfants**

Les pratiques alimentaires de 0 à 6 mois des enfants et les caractéristiques socio-économiques des ménages ont été décrites à l'aide d'un questionnaire de données générales. Les fiches de suivi hebdomadaire de la morbidité et des pratiques alimentaires ont été remplies, à partir de l'âge de 6 mois jusqu'à l'âge de 10 mois, par deux enquêtrices de manière à pouvoir suivre, d'une part, les épisodes diarrhéiques, les infections respiratoires aiguës, les fièvres et autres maladies tout le long de l'étude et, d'autre part, la nature des consommations alimentaires de la semaine.

**Tableau 1:** Composition en ingrédients et en nutriments des bouillies expérimentales et traditionnelles.

	Bouillies expérimentales	Bouillies traditionnelles <sup>1</sup>
<b>Composition en ingrédients (g/100 g de matière brute)</b>		
Mil	49,0	
Soja	18,0	
Malt de sorgho	8,7	
Sucre	10,3	
Arachide	6,2	
Pulpe de néré	6,0	
Sel iodé	0,67	
Carbonate de calcium	0,67	
Complément minéral et vitaminique	0,41	
<b>Composition en nutriments (/100 g de matière sèche)</b>		
Protéines (g)	16,8	6,6 ± 2,1
Lipides (g)	9,9	3,0 ± 0,8
Energie (kcal)	435	410 ± 4
Fer (mg)	25,5	7,2 ± 2,1
Zinc (mg)	6,1	1,8 ± 1,1
Calcium (mg)	396	185 ± 105
Phosphore (mg)	348	213 ± 37
Vitamine A ( $\mu$ g ER <sup>2</sup> )	193	1,4 ± 0,9

<sup>1</sup> Moyenne ± écart-type obtenue sur 7 bouillies différentes. - <sup>2</sup> Equivalent rétinol.

### Mesures anthropométriques

Les mesures anthropométriques ont été prises chez chaque enfant à l'âge de 6 et 10 mois. Les enfants ont été pesés à l'aide d'un pèse-personne selon la méthode de la double pesée et leur taille mesurée en position couchée à l'aide d'un infantomètre (Holttain limited, Crymych, Royaume-Uni) avec une précision de 0,1 cm. Les indices anthropométriques taille-âge et poids-taille ont été exprimés en Z-scores de la population de référence (NCHS/OMS) à l'aide du logiciel Epi-Info 6.04d (CDC, Atlanta).

### Prélèvements sanguins et dosage des concentrations en hémoglobine et en rétinol sérique

Les prélèvements sanguins ont été effectués simultanément aux mesures anthropométriques à l'âge de 6 et 10 mois. Le dosage de l'hémoglobine a été effectué en triple par la méthode colorimétrique à la cyanmethémoglobine (Sigma Diagnostic CSC Europe, n°525). La détermination de la concentration en rétinol sérique a été faite en double par la chromatographie liquide à haute performance selon une méthode adaptée de celle de Sapin et al.<sup>12</sup>.

### Evaluation des ingérés alimentaires des enfants

Les observations et mesures relatives aux ingérés alimentaires ont été réalisées à domicile chez chaque enfant à l'âge de 7, 8, 9 et 10, ce qui représente un total de 172 observations dans chaque groupe. Elles ont été effectuées par 4 enquêtrices qui

arrivaient au domicile des enfants une heure avant la prise de la première bouillie et y restaient jusqu'au coucher des enfants. Chaque repas de lait maternel ou d'aliments de complément et chaque boisson ont été mentionnés sur une fiche récapitulative des repas de la journée. Pour le lait maternel, les données relevées ont porté sur la fréquence et la durée des tétées. Les quantités consommées ont été évaluées pour les boissons, les repas de bouillie et d'autres aliments de complément, en pesant avant et après consommation les récipients et en tenant compte des pertes éventuelles. Pour chaque repas d'aliments de complément, deux prélèvements ont été effectués pour la détermination en double de la teneur en matière sèche par dessiccation à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Selon le type d'aliments, un échantillon moyen a été constitué ou une liste précise des ingrédients et des proportions de ces ingrédients a été réalisée pour estimer leur teneur en nutriments et leur contenu énergétique soit, par analyse chimique, soit en consultant des tables de composition<sup>13,14</sup>. Au cours de chaque journée d'observation, les enfants ont été pesés en début de journée afin d'exprimer les ingérés par kg de poids corporel.

### **Analyse statistique des données**

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics, Inc., Etats-Unis). La normalité des données quantitatives a été étudiée en utilisant la combinaison de plusieurs tests de normalité (tests d'adéquation du Chi2, de Shapiro-Wilks et de Kolmogorov-Smirnov). Les données qui ne sont pas distribuées suivant la loi normale sont présentées en médiane, 25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles. Le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour mettre en évidence les liens existants entre les variables quantitatives et déterminer les variables d'ajustement. Le test t, le test t pour échantillons appariés, les tests de Mann Whitney et de Wilcoxon ont été utilisés pour comparer les données quantitatives. Le test du Chi2 a été utilisé pour étudier l'existence de relations entre deux variables qualitatives. Le modèle linéaire général (GLM) a été utilisé pour ajuster les différences entre les 2 groupes. Pour toutes les comparaisons, le seuil de signification statistique a été fixé à 0,05.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **Caractéristiques des enfants à l'âge de 6 mois**

Les principales caractéristiques des enfants (tableau 2) ont été comparées à l'âge de 6 mois et aucune différence n'a été observée entre les 2 groupes à l'exception du poids qui était significativement plus élevé dans le groupe d'intervention. La forte prévalence de l'anémie et les taux de rétinolémie faible (<0,70µmol/l) montrent que les carences en fer et en vitamine A chez les enfants dès l'âge de 6 mois sont des problèmes sérieux de santé publique dans le village de Ouarégou.

### **Episodes morbides et consommation de lait maternel**

Entre 6 et 10 mois, les pourcentages de jours avec infections respiratoires aiguës et maladies de la peau ont été significativement ( $p=0,002$  et  $p=0,001$ , respectivement) plus élevés dans le groupe témoin que dans le groupe d'intervention (tableau 3). Le pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës a été retenu comme facteur de confusion potentiel pouvant influer négativement sur la croissance des enfants. La fréquence des tétées a été significativement ( $p=0,001$ ) moins élevée dans le groupe témoin (tableau 3). La consommation des bouillies améliorées au moins 2 fois par jour n'entraînerait donc pas une réduction de la fréquence des tétées et a même tendance à l'augmenter. Toutefois, aucune différence n'a été observée entre les 2 groupes en ce qui concerne la durée totale des tétées

**Tableau 2:** Caractéristiques des deux groupes d'enfants à l'âge de 24 semaines.

	Groupe d'intervention	Groupe témoin	Niveau de signification
<b>Genre<sup>1</sup></b>			
Garçons	n=43 58,1 (25)	n=43 44,2 (19)	0,28
Filles	41,9 (18)	55,8 (24)	
<b>Anthropométrie</b>			
Age <sup>2</sup> (mois)	n=43 5,95 (5,82 – 6,08)	n=43 5,91 (5,82 – 6,01)	0,42
Poids <sup>3</sup> (kg)	7,00 ± 0,93	6,60 ± 0,58	0,02
Taille <sup>3</sup> (cm)	64,27 ± 2,24	63,49 ± 1,89	0,08
Taille pour âge <sup>3</sup> (z-score)	-1,01 ± 0,76	-1,18 ± 0,68	0,28
Poids pour taille <sup>3</sup> (z-score)	0,19 ± 0,76	0,01 ± 0,64	0,28
<b>Anémie</b>			
Taux d'hémoglobine <sup>2</sup> (g/l)	n=42 100,1 (79,2 – 109,5)	n=43 99,4 (81,9 – 106,5)	0,84
Prévalence d'anémie <sup>1</sup>			
< 110 g/l	76,2 (32)	86,0 (37)	0,25
≥ 110 g/l	23,8 (10)	14,0 (6)	
<b>Statut en vitamine A</b>			
Rétinol sérique <sup>2</sup> (μmol/l)	n=42 0,59 (0,48 – 0,75)	n=42 0,52 (0,39 – 0,66)	0,20
Rétinolémie <sup>1</sup>			
< 0,70 μmol/l	71,4 (30)	76,2 (32)	0,62
≥ 0,70 μmol/l	28,6 (12)	23,8 (10)	
<b>Morbidité au cours de la semaine précédent l'étude<sup>2</sup></b>			
Diarrhée	n=43 0,0 (0,0 – 0,0)	n=43 0,0 (0,0 – 0,0)	0,29
Infections respiratoires aiguës	0,0 (0,0 – 42,9)	0,0 (0,0 – 57,1)	0,13
Fièvre	0,0 (0,0 – 14,3)	0,0 (0,0 – 28,6)	0,07
Anorexie	0,0 (0,0 – 42,9)	0,0 (0,0 – 57,1)	0,13
Toutes maladies confondues	0,0 (0,0 – 14,3)	10,7 (0,0 – 25,0)	0,07

<sup>1</sup>% (effectif) - <sup>2</sup>Médiane (25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles) - <sup>3</sup>Moyenne ± écart-type.

**Tableau 3:** Evolution de la morbidité et de la fréquence et durée des tétées entre 6 et 10 mois.

	Groupe d'intervention (n=43)	Groupe témoin (n=43)	Niveau de signification
<b>Morbidité (% de jours malade)<sup>a</sup></b>			
Diarrhée	2,7 (1,8 – 3,6)	2,7 (0,0 – 5,4)	0,92
Fièvre	8,9 (5,4 – 13,3)	8,9 (7,1 – 13,4)	0,69
Infections respiratoires aiguës	18,8 (10,7 – 25,0)	25,0 (18,8 – 29,5)	0,002
Maladies de la peau	0,0 (0,0 – 0,0)	0,0 (0,0 – 2,7)	0,001
Vomissements	3,6 (1,0 – 6,3)	4,5 (0,9 – 7,1)	0,39
Anorexie	2,7 (0,9 – 5,4)	3,6 (1,8 – 6,3)	0,43
<b>Fréquence et durées de tétées<sup>a</sup></b>			
Fréquence (nombre/jour)	14,0 (10,5 – 15,5)	10,8 (9,8 – 12,5)	0,001
Durée par tétée (min/tétée)	4,0 (3,3 – 4,4)	4,4 (3,7 – 5,0)	0,09
Durée totale (min/jour)	54,4 (37,3 – 62,7)	45,2 (34,8 – 55,9)	0,14

n: nombre d'enfants - <sup>a</sup>médiane (25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles).

## Principales caractéristiques des bouillies

Les bouillies améliorées et traditionnelles ont été distribuées à des températures ( $43,6 \pm 7,3$  vs  $41,7 \pm 7,6^\circ\text{C}$ ) et à des consistances ( $109 \pm 7$  vs  $125 \pm 5$  mm/30 s) comparables. Par ailleurs, la densité énergétique moyenne des bouillies améliorées était de 2,7 fois plus élevée que celle des bouillies traditionnelles ( $106,1 \pm 11,2$  vs  $38,6 \pm 11,8$  kcal/100 g;  $p<10^{-10}$ ).

## Evaluation des ingérés énergétiques entre 6 et 10 mois

Aucune différence n'a été observée entre les ingérés de bouillies ramenés au kg de poids corporel (ingérés par repas et ingérés journaliers) mesurés à l'âge de 7, 8, 9 et 10 mois dans chacun des 2 groupes. Les résultats présentés pour les ingérés journaliers correspondent donc aux valeurs moyennes des 4 périodes. Les quantités médianes de bouillies traditionnelles consommées par repas ont été significativement plus élevées que celles des bouillies améliorées (5,9 vs 3,6 g/kg/repas;  $p<0,01$ ). En revanche, la consommation des bouillies améliorées, de haute densité en énergie et en nutriments, a permis d'augmenter de 63% les ingérés énergétiques à partir des bouillies (3,9 vs 2,4 kcal/kg/repas;  $p<0,01$ ) par rapport à ceux obtenus avec les bouillies traditionnelles. Toutefois, les quantités de bouillies consommées dans les 2 groupes restent bien inférieures à la capacité gastrique théorique des nourrissons. L'ingéré énergétique journalier (IEJ) à partir des bouillies améliorées a été significativement plus élevé que celui à partir des bouillies traditionnelles (tableau 4). Aucune différence n'a été observée entre les 2 groupes au niveau des IEJ à partir des autres aliments de complément. Les bouillies améliorées représentaient plus de 80% des IEJ totaux. *A contrario*, dans le groupe témoin, ce sont les autres aliments de complément qui fournissaient l'essentiel de l'énergie ingérée dans la journée autre que celle provenant du lait maternel. Toutefois, les quantités de bouillie consommée étant faibles, la contribution des bouillies améliorées et traditionnelles à la couverture des besoins énergétiques journaliers (77 kcal/kg/jour chez les enfants de 6 à 10 mois<sup>15</sup>) reste faible (14% vs 4%, respectivement pour les bouillies améliorées et les bouillies traditionnelles). Les consommations alimentaires (à l'exception du lait maternel) observées pendant 12 h n'ont permis de couvrir que seulement 16 et 9% des besoins énergétiques journaliers, respectivement, dans le groupe d'intervention et dans le groupe témoin.

**Tableau 4:** Ingérés énergétiques journaliers à partir des bouillies et des autres aliments de complément (moyenne des valeurs à 7, 8, 9 et 10 mois).

	Groupe d'intervention	Groupe témoin	Niveau de signification
A partir des bouillies (kcal/kg/jour)	$n=43$ 8,8 (4,7 – 15,4)	$n=29$ 2,5 (1,3 – 3,9)	< 0,00001
A partir des autres aliments de complément (kcal/kg/jour)	$n=16$ 4,8 (2,0 – 8,3)	$n=28$ 7,5 (4,2 – 10,8)	0,09
Totaux (kcal/kg/jour)	$n=43$ 10,5 (6,4 – 16,8)	$n=36$ 5,6 (2,9 – 9,2)	0,003

Médiane (25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles) - n: nombre d'enfants.

## Variation des caractéristiques anthropométriques entre 6 et 10 mois

L'évolution des caractéristiques anthropométriques entre 6 et 10 mois est présentée dans le tableau 5. Des corrélations significatives ont été observées entre la taille finale

et les facteurs de confusion potentiels (poids initial:  $r = +0,67$ ,  $p < 10^{-5}$ ; taille initiale:  $r = +0,86$ ,  $p < 10^{-5}$ ; pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës:  $r = -0,21$ ;  $p = 0,049$ ). Des associations ont également été observées entre le poids final et le poids initial ( $r = +0,82$ ;  $p < 10^{-5}$ ), la taille initiale ( $r = +0,74$ ;  $p < 10^{-5}$ ) et le pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës ( $r = -0,20$ ;  $p = 0,05$ ). Le gain de poids a été significativement plus élevé dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin. Cette différence entre les 2 groupes disparaît après ajustement sur les facteurs de confusion potentiels (poids initial, taille initiale et pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës). Cette conclusion est similaire à celle de Moursi et al<sup>7</sup>, qui n'avaient également observé aucune différence de poids entre 2 groupes d'enfants congolais, l'un consommant des bouillies de haute densité énergétique, et l'autre des bouillies de faible densité énergétique. En revanche, la croissance moyenne en taille des enfants du groupe d'intervention a été significativement plus importante que celle des enfants du groupe témoin ( $+0,45$ ;  $p < 10^{-4}$ ). L'ajustement sur les facteurs de confusion ne modifie pas ces résultats. Par ailleurs, la baisse significative des valeurs des z-scores taille-âge et poids-taille observée dans le groupe témoin témoigne d'une dégradation entre 6 et 10 mois de l'état nutritionnel des enfants ne bénéficiant pas de bouillies améliorées.

**Tableau 5:** Evolution des caractéristiques anthropométriques entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines.

	Groupe d'intervention (n=43)	Groupe témoin (n=43)	Différence (IC 95%) <sup>1</sup>	Niveau de signification
<b>Poids (kg)</b>				
T0 <sup>2</sup>	$7,00 \pm 0,93$	$6,60 \pm 0,58$	$+0,39 (0,06 - 0,73)$	0,02
T4 <sup>2</sup>	$7,84 \pm 1,06$	$7,20 \pm 0,78$	$+0,63 (0,23 - 1,04)$	$< 0,001$
T0-T4 <sup>2</sup>	$+0,84 \pm 0,63$	$+0,60 \pm 0,47$	$+0,24 (0,00 - 0,48)$	0,049
T4 ajusté <sup>3</sup>	$7,75 \pm 0,14$	$7,27 \pm 0,10$	$+0,46 (0,12 - 0,80)$	0,009
T0-T4 ajusté <sup>3</sup>	$+0,75 \pm 0,03$	$+0,68 \pm 0,03$	$+0,07 (-0,02 - 0,16)$	0,14
<b>Taille (cm)</b>				
T0 <sup>2</sup>	$64,27 \pm 2,24$	$63,49 \pm 1,89$	$+0,78 (-0,11 - 1,67)$	0,08
T4 <sup>2</sup>	$70,07 \pm 2,20$	$68,03 \pm 2,38$	$+2,03 (1,05 - 3,02)$	$< 0,0001$
T0-T4 <sup>2</sup>	$+5,80 \pm 1,12$	$+4,54 \pm 1,13$	$+1,25 (0,77 - 1,73)$	$< 0,000001$
T4 ajusté <sup>3</sup>	$69,58 \pm 0,36$	$68,52 \pm 0,29$	$1,06 (0,14 - 1,97)$	0,024
T0-T4 ajusté <sup>3</sup>	$+5,31 \pm 0,06$	$+5,03 \pm 0,05$	$+0,27 (0,11 - 0,43)$	0,0009
<b>Taille pour âge (z score)</b>				
T0 <sup>2</sup>	$-1,01 \pm 0,76^a$	$-1,18 \pm 0,68^a$	$+0,17 (-0,14 - 0,48)$	0,28
T4 <sup>2</sup>	$-0,89 \pm 0,70^a$	$-1,51 \pm 0,91^b$	$+0,62 (0,27 - 0,97)$	$< 0,001$
T4 ajusté <sup>3</sup>	$-1,06 \pm 0,12$	$-1,33 \pm 0,10$	$+0,27 (-0,04 - 0,58)$	0,086
<b>Poids pour taille (z score)</b>				
T0 <sup>2</sup>	$0,19 \pm 0,76^a$	$0,01 \pm 0,64^a$	$+0,18 (-0,12 - 0,49)$	0,23
T4 <sup>2</sup>	$-0,86 \pm 0,91^b$	$-0,88 \pm 0,91^b$	$+0,03 (-0,37 - 0,42)$	0,90
T4 ajusté <sup>3</sup>	$-0,79 \pm 0,09$	$-0,99 \pm 0,06$	$+0,20 (-0,02 - 0,41)$	0,068

n: nombre d'enfants - <sup>1</sup>Intervalle de confiance à 95% - <sup>2</sup>Moyenne  $\pm$  écart-type. - <sup>3</sup>Variable ajustée sur la taille et le poids à 24 semaines et sur le pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës: moyenne  $\pm$  erreur-type.

Des lettres différentes dans une même colonne indiquent que les différences sont significatives (Taille-âge:  $p < 10^{-5}$ ; Poids-taille:  $p < 10^{-7}$ ; test t pour échantillons appariés).

### Variation de la concentration en hémoglobine entre 6 et 10 mois

Le tableau 6 présente l'évolution des concentrations en hémoglobine ainsi que de la prévalence de l'anémie à 6 et 10 mois. A 10 mois, la concentration en hémoglobine était significativement plus élevée dans le groupe d'intervention que le groupe témoin ( $p<0,0001$ ). Entre 6 et 10 mois, la concentration en hémoglobine a significativement augmenté dans le groupe d'intervention ( $p=0,016$ ) tandis qu'elle a significativement baissé dans le groupe témoin ( $p=0,04$ ). Aucune corrélation n'a été observée entre les concentrations finale et initiale en hémoglobine. L'augmentation de la concentration en hémoglobine dans le groupe d'intervention indique donc que l'une des causes de l'anémie chez les nourrissons de cette étude est d'origine nutritionnelle notamment par carence en fer. Par ailleurs, la prévalence d'anémie a significativement davantage augmenté dans le groupe témoin après 4 mois, que dans le groupe d'intervention au niveau duquel il n'y a pas eu de variation ( $p<0,001$ ). Mais, les faibles quantités de bouillies améliorées consommées n'ont pas permis d'atteindre des niveaux d'apports en fer suffisants pour réduire la prévalence de l'anémie dans le groupe d'intervention. Par ailleurs, Chez les enfants anémiques à 6 mois du groupe d'intervention, la concentration en hémoglobine a significativement davantage augmenté que chez les non-anémiques ( $p<0,0001$ ). Au niveau du groupe témoin, la concentration en hémoglobine a, au contraire, significativement plus baissé chez les enfants non-anémiques que chez les anémiques ( $p=0,003$ ). Cependant, la variation de la concentration en hémoglobine est comparable chez les enfants non-anémiques des 2 groupes.

**Tableau 6:** Evolution des concentrations en hémoglobine et de la prévalence de l'anémie entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines.

	Groupe d'intervention	Groupe témoin	Niveau de signification
<b>Taux d'hémoglobine (g/l)</b>			
T0 <sup>1</sup>	<i>n</i> =42 100,1 (79,2 – 109,5) <sup>a</sup>	<i>n</i> =43 99,4 (81,9 – 106,5) <sup>a'</sup>	0,84
T4 <sup>1</sup>	101,7 (95,4 – 109,4) <sup>b</sup>	93,3 (75,8 – 98,2) <sup>b'</sup>	< 0,0001
T0-T4 <sup>2</sup>	+8,22 ± 18,94	-5,74 ± 21,50	< 0,001
<b>Prévalence de l'anémie<sup>3</sup></b>			
T0			
THB<110 g/l (anémique)	76 (32)	86 (37)	0,25
THB≥110 g/l	24 (10)	14 (6)	
T4			
THB<110 g/l (anémique)	76 (32)	100 (43)	< 0,001*
THB≥110 g/l	24 (10)		
<b>Variation du THB selon le statut initial (g/l)<sup>2</sup></b>			
T0-T4 (anémique)	<i>n</i> =32 +14,19 ± 16,77 <sup>a</sup>	<i>n</i> =37 -3,89 ± 22,61 <sup>a</sup>	0,0004
T0-T4	<i>n</i> =10 -10,88 ± 11,54 <sup>b</sup>	<i>n</i> =6 -17,10 ± 4,74 <sup>b</sup>	0,23

*n*: nombre d'enfants - THB: taux d'hémoglobine - <sup>1</sup>médiane (25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles) - <sup>2</sup>Moyenne ± écart-type % (effectif).

\*Test exact de Fisher.

Des lettres différentes dans une même colonne indiquent que les différences sont significatives ( $p < 0,05$ : test de Wilcoxon;  $p < 0,01$ : test *t*).

### Variation de la concentration en rétinol sérique entre 6 et 10 mois

La concentration sérique en rétinol a considérablement augmenté dans les 2 groupes entre 6 et 10 mois (tableau 7). Toutefois, la différence observée entre les 2 groupes n'est pas significative. Des résultats similaires avaient été observés par Ake et al<sup>16</sup> au cours d'une étude comparant 2 régimes administrés, avec ou sans supplémentation en vitamine A, à des enfants malnutris. Ces auteurs signalent en revanche, un retour plus rapide aux teneurs sériques normales chez les enfants traités. L'augmentation moyenne de la concentration sérique en rétinol n'était pas différente entre les deux groupes mais, elle était toutefois légèrement plus élevée dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin ( $+0,50 \pm 0,73$  vs  $+0,46 \pm 0,49 \mu\text{mol/l}$ ). Par ailleurs, aucune corrélation n'a été notée entre la concentration finale en rétinol sérique et, d'une part, les facteurs de confusion potentiels (pourcentage de jours avec infections respiratoires aiguës et concentration initiale en rétinol sérique), et d'autre part, le facteur médiateur potentiel (apports en vitamine A). Le faible niveau d'ingéré des bouillies améliorées n'a pas permis d'atteindre des niveaux d'apports en VA suffisants pour avoir un impact sur le statut en vitamine A des enfants. La prévalence de rétinolémie faible (<0,70  $\mu\text{mol}$ ) a considérablement et significativement diminué entre 6 et 10 mois, mais la différence n'est pas significative entre les 2 groupes. La proportion d'enfants ayant une rétinolémie < 0,70  $\mu\text{mol/l}$  a significativement baissé entre 6 et 10 mois dans les 2 groupes. Chez les enfants des 2 groupes accusant une rétinolémie faible, la concentration sérique en rétinol a significativement augmenté par rapport aux enfants ayant une rétinolémie normale. En revanche, l'augmentation moyenne de la teneur sérique chez ces enfants est légèrement plus élevée dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin ( $0,67 \pm 0,77$  vs  $0,59 \pm 0,35 \mu\text{mol/l}$ ).

**Tableau 7:** Evolution des concentrations sériques en rétinol et de la prévalence de rétinolémie faible entre 24 (T0) et 40 (T4) semaines.

	Groupe d'intervention	Groupe témoin	Niveau de signification
<b>Rétinol sérique<sup>1</sup> (<math>\mu\text{mol/l}</math>)</b>			
T0	n=42 0,59 (0,48 – 0,75) <sup>a</sup>	n=42 0,52 (0,39 – 0,66) <sup>a</sup>	0,20
T4	n=40 0,91 (0,72 – 1,30) <sup>b</sup>	n=39 1,03 (0,86 – 1,29) <sup>b</sup>	0,33
T0-T4	n=40 +0,33 (0,09 – 0,73)	n=38 +0,43 (0,25 – 0,80)	0,38
<b>Rétinolémie<sup>2</sup></b>			
T0 < 0,70 $\mu\text{mol/l}$ (faible)	71 (30)	76 (32)	0,62
≥ 0,70 $\mu\text{mol/l}$ (normale)	29 (12)	24 (10)	
T4 < 0,70 $\mu\text{mol/l}$ (faible)	17 (7)	13 (5)	0,56
≥ 0,70 $\mu\text{mol/l}$ (normale)	83 (33)	87 (34)	
<b>Variation de la CRS selon la rétinolémie initiale<sup>1</sup> (<math>\mu\text{mol/l}</math>)</b>			
T0-T4 (faible)	n=28 +0,54 (0,20 – 0,90) <sup>a</sup>	n=28 +0,63 (0,36 – 0,87) <sup>a</sup>	0,63
T0-T4 (normale)	n=12 +0,09 (0,00 – 0,33) <sup>b</sup>	n=10 +0,19 (-0,10 – 0,35) <sup>b</sup>	0,84

n: nombre d'enfants - CRS: concentration en rétinol sérique - <sup>1</sup>médiane (25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> centiles)  
<sup>2</sup>% (effectif).

Des lettres différentes dans une même colonne indiquent que les différences sont significatives ( $p < 0,00001$ : tests de Wilcoxon et de Mann Whitney).

## **CONCLUSION**

La consommation de bouillies de haute densité en énergie et enrichies en micronutriments préparées par incorporation de farine de sorgho germé et de complément minéral et vitaminique a permis une amélioration très significative des ingérés énergétiques par rapport aux bouillies traditionnelles. Par ailleurs, elle s'est révélée efficace pour améliorer, d'une part, la croissance en taille et, d'autre part, le statut en fer des jeunes enfants. Cependant, les niveaux d'ingérés des bouillies n'ont pas permis d'atteindre des niveaux d'apports en vitamine A suffisants pour avoir un impact sur le statut en vitamine A. Compte tenu du faible niveau de consommation des bouillies et de la faible fréquence de consommation d'autres aliments de complément, il serait envisageable d'augmenter la densité du complément minéral et vitaminique dans les farines infantiles et la fréquence de consommation des bouillies (au moins 3 fois/jour). La mise en œuvre de ces solutions permettrait d'espérer (*i*) atteindre des niveaux de couverture des besoins énergétiques journaliers acceptables, (*ii*) une réduction significative de la prévalence de l'anémie et, (*iii*) avoir un impact positif sur le statut en vitamine A des enfants. La mise au point de farines infantiles fortifiées en micronutriments par les technologues alimentaires, produites localement et disponibles à faible coût, combiné à une campagne d'éducation nutritionnelle des mères élaborée et mise en œuvre par les nutritionnistes, devrait contribuer à l'amélioration de l'état nutritionnel et à la prévention des carences en micronutriments chez les jeunes enfants Burkinabè.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Dewey KG, Peerson MJ, Heinig MJ, et al. Growth patterns of breast-fed infants in affluent (United States) and poor (Peru) communities: implications for timing of complementary feeding. *Am J Clin Nutr* 1992;56:1012-8.
2. WHO. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva: WHO/NUT/98.1, 1998.
3. EDS. Enquête Démographique et de Santé du Burkina Faso 1999. Maryland, USA: Macro International Inc., 2000.
4. Sanchez-Grinan MI, Person J, Brown KH. Effect of dietary energy density on total *ad libitum* energy consumption by recovering malnourished children. *Eur J Clin Nutr* 1992;46:197-204.
5. Den Besten L, Glatthaar II, IJsselmuiden CB. Adding alpha-amylase to weaning food to increase dietary intake in children. A randomised controlled trial. *J Trop Pediatr* 1998;44:4-9.
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. Moursi M, Mbemba M, Trèche S. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr* 2003;6(3):249-57.
8. Berger J, Dillon JC. Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement. *Cah Santé* 2002;12(3):22-30.

9. Berner LA, Clydesdale FM, Douglass JS. Fortification contributed greatly to vitamin and mineral intakes in the United States, 1989-1991. *J Nutr* 2001;131:2177-83.
10. Walker T, Olivares M, Hertrampf E. Field trials food fortification with iron: the experience of Chile. In: Lonnerdal D, ed. Iron metabolism in infants. Boca Raton: CRC Press, 1990:127-55.
11. Solon FS, Klemm RDW, Sanchez L, et al. Efficacy of a vitamin A-fortified wheat-flour bun on the vitamin A status of Filipino schoolchildren. *Am J Clin Nutr* 2000;72:738-44.
12. Sapin V, Alexandre MC, Chaïb S, et al. Effect of vitamin A status at the end of term pregnancy on the saturation of retinol binding protein with retinol. *Am J Clin Nutr* 2000;71:537-43.
13. Nordeide MB, Hatloy A, Folling M, et al. Nutrient composition and nutritional importance of green leaves and wild food resources in an agricultural district, Koutiala, South Mali. *Int J Food Sci Nutr* 1996;47:455-68.
14. Souci SW, Fachman W, Kraut H. Food composition and nutrition tables. 5<sup>th</sup> ed. Stuttgart: Medpharm Scientific Publisher, CRC Press, 1994.
15. Dewey KG, Brown KH. Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs. *Food Nutr Bull* 2003;24(1):5-28.
16. Ake M, Poby AG, Malan KA, et al. Effets de la supplémentation en vitamine A sur les marqueurs de la nutrition dans la prise en charge de la malnutrition de l'enfant. *Ann Biol Clin* 2001;59(4):417-21.

**Remerciements:** Aux mères et aux enfants de l'étude et à toute la population du village de Ouarégou.

Quelques photos présentant les différentes  
activités menées dans le village de  
Ouarégou (*Province du Boulgou*)

## PHOTOS ETUDE OUAREGOU



Production de la farine infantile de bonne valeur nutritionnelle par un groupement féminin du village de Ouarégou.



Farine infantile permettant de préparer des bouillies de haute densité en énergie et en nutriments produite dans le village de Ouarégou.



Séance de formation des mères au mode de préparation des bouillies améliorées.



Conditions de travail d'une enquêtrice chargée de mesurer les consommations alimentaires des enfants en restant au domicile pendant 12 heures de temps.



Séance d'éducation nutritionnelle dans le village de Ouarégou.

# **CHAPITRE 4**

## **DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES**

## DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES

Au terme de la présentation des résultats, une synthèse et une discussion des principaux résultats s'imposent afin de tirer une conclusion générale et les pistes de recherche qui se dégagent de l'ensemble de nos travaux.

L'étude des effets de la densité énergétique et de l'intensité de la saveur sucrée des bouillies sur les ingérés énergétiques des nourrissons a montré, d'une part, que l'ingéré énergétique à partir des bouillies pouvait être augmenté d'au moins 72% en incorporant des amylases dans des farines infantiles à base d'ingrédients locaux afin de permettre d'augmenter la densité énergétique des bouillies et, d'autre part, qu'il était nécessaire d'incorporer entre 9 et 20% de sucre dans les farines pour en améliorer les caractéristiques organoleptiques.

L'étude de l'influence de la durée de la période d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies et des fréquences et horaires des tétées et des distributions d'aliments autres que les bouillies a mis en évidence que, quelle que soit la densité énergétique des bouillies, l'augmentation de la durée de la période d'accoutumance n'a pas d'effet sur les ingérés (quantités consommées et ingérés énergétiques). Comme précédemment, la consommation de bouillies de haute densité énergétique a permis d'augmenter les ingérés énergétiques de 60% par rapport à ceux obtenus à partir des bouillies de faible densité énergétique.

Les résultats de l'ensemble des travaux sur les facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez le jeune enfant au Burkina Faso font ressortir clairement l'intérêt nutritionnel de l'augmentation de la densité énergétique des bouillies comme l'ont déjà rapporté certains auteurs (Bennet *et al.*, 1999; Moursi *et al.*, 2003; Dewey et Brown, 2003). En effet, malgré des quantités consommées plus faibles, les bouillies de haute densité énergétique permettent d'augmenter d'au moins 60% les ingérés énergétiques par rapport à ceux obtenus à partir des bouillies de faible densité énergétique et pourrait ainsi contribuer à l'amélioration de l'état nutritionnel des jeunes enfants burkinabè. Toutefois, quels que soient le type de bouillie et les prises alimentaires qui accompagnent leur consommation, les quantités de bouillie consommées dans les deux études restent faibles et bien inférieures à la capacité gastrique théorique des nourrissons estimée à 30-40 ml/kg/repas (Sanchez-Grinan *et al.*, 1992). Par ailleurs, si on estime à 77 kcal/kg de poids corporel/jour les besoins énergétiques journaliers chez les enfants de 6 à 10 mois (Butte *et al.*, 2000), nos résultats montrent que la consommation de deux bouillies par jour, ne permet pas de couvrir plus de 17% des besoins énergétiques des enfants, en raison du faible niveau de bouillie consommé.

Les faibles quantités de bouillies consommées pourraient s'expliquer, d'une part, par des pratiques alimentaires inadéquates notamment des prises alimentaires juste avant ou pendant la distribution des bouillies et, d'autre part, par les fortes fréquences de tétées et de prises alimentaires totales qui font que les enfants ne consomment que de faibles quantités de bouillies. Enfin, nos travaux ont pu montrer que le niveau de densité énergétique des bouillies n'influe pas sur les fréquences et durées totales des tétées et probablement pas, comme cela avait été déjà montré par Moursi *et al.* (2003), sur les quantités de lait maternel consommées qui sont d'ailleurs très élevées (776 g/jour à l'âge de 5 mois) au Burkina Faso (Thiombiano-Coulibaly *et al.*, 2004). La consommation de bouillies de haute densité énergétique pourrait donc permettre d'améliorer les ingérés énergétiques totaux.

Nos travaux relatifs à l'amélioration des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des bouillies, initiés à partir des conclusions des études précédentes, ont essentiellement montré, à

l'issue des 8 séances d'évaluation sensorielle, que, jusqu'à un taux d'incorporation (TI) de 20%, les bouillies sont d'autant plus appréciées qu'elles contiennent plus de sucre, que le TI optimal pour l'arachide est de 9%, que des variations du TI du sel entre 0,4 et 1,0% n'influent pas sur l'acceptabilité des bouillies, qu'un TI de 5% de lait en poudre est préférable à des TI de 1 et 9%, que l'incorporation d'un mélange «5% de pain de singe + 2,5% de pulpe de néré» est davantage appréciée que les autres incorporations d'ingrédients d'aromatisation étudiées et que 50% de mil peuvent être substitués par du maïs sans diminution significative de l'acceptabilité des bouillies. Ces travaux ont permis d'optimiser les TI de certaines matières premières (arachide) et de révéler l'intérêt de l'introduction d'ingrédients d'aromatisation produits localement (pain de singe et pulpe de néré). Ils ont enfin permis d'établir la possibilité d'utiliser un substitut (maïs) de l'ingrédient principal pour parer à une éventuelle évolution de la disponibilité et/ou du coût des matières premières. Par ailleurs, cette étude a montré que l'utilisation des amylases industrielles et du malt d'orge reste réservée à des ateliers de production de farine infantile ayant un minimum d'équipements et de maîtrise technique. Dans la perspective d'incorporer une farine de céréales maltées dans des farines infantiles susceptibles d'être produites en milieu rural, d'autres investigations se sont avérées nécessaires pour définir un mode de production efficace.

Nos travaux sur les procédés traditionnels de maltage des céréales, en vue de la mise au point de sources enzymatiques locales susceptibles d'être incorporées dans des farines infantiles ont montré que le maltage des céréales entraîne une réduction des teneurs en lipides et en cendres et une augmentation considérable des teneurs en sucres qui confèrent une saveur sucrée aux farines maltées. Les malts se sont révélés efficaces pour réduire les teneurs en phytates et pour augmenter les activités  $\alpha$ -amylasique et phytasique. La réduction des teneurs en phytates reste, toutefois, trop faible pour espérer une amélioration de la biodisponibilité des minéraux. Par ailleurs, la germination s'accompagne d'une augmentation importante des teneurs en cyanures qui peuvent, heureusement, être facilement éliminés par dégermage manuel des grains germés. Une variabilité importante au niveau des caractéristiques biochimiques des farines maltées a, par ailleurs, été observée entre les ateliers de maltage transformant le sorgho rouge. Cette variabilité est due à la fois aux origines différentes des graines utilisées (variété, histoire culturelle, modalités de conservation depuis la récolte) et aux modalités de transformation (choix des procédés, savoir-faire des productrices). L'addition de cendres aux grains trempés, s'accompagne d'une augmentation des teneurs en fer, mais n'a pas d'effet sur l'activité  $\alpha$ -amylasique. En revanche, l'évolution de l'activité  $\alpha$ -amylasique des grains de sorgho rouge au cours du maltage traditionnel est apparue comme fortement influencée par les durées de trempage et de germination ainsi que par la nature du support de germination. Les farines de sorgho rouge malté produites avec la variante ayant des durées de trempage et de germination plus longues et utilisant un canari comme support de germination ont présenté des caractéristiques nutritionnelles et enzymatiques particulièrement intéressantes en vue de leur incorporation dans des farines infantiles susceptibles d'être produites en milieu rural pour améliorer la densité en énergie et en nutriments des bouillies. Mais pour optimiser les caractéristiques biochimiques de farines de sorgho rouge malté issues d'ateliers de production traditionnels, d'autres investigations accordant une attention particulière aux conditions de trempage et de germination s'avèrent nécessaires.

A partir des résultats des travaux que nous avons menés dans le second volet de cette thèse, il semble donc possible de proposer des modifications de formules et ou des procédés pour mettre au point au niveau de petites unités communautaires en milieu rural des farines infantiles pouvant être préparées sous forme de bouillies ayant les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques requises, mais les conditions de transfert de ces

améliorations ainsi que l'efficacité biologique de ces farines nécessitaient d'être davantage étudiées.

Les analyses préliminaires des résultats de nos travaux réalisés dans le village de Ouarégou pour évaluer l'efficacité des bouillies améliorées, préparées à partir d'une farine infantile produite par des groupements féminins, à augmenter les ingérés énergétiques et à promouvoir la croissance et un meilleur statut en micronutriments chez les enfants de 6 à 10 mois ont principalement montré que très peu d'enfants du groupe témoin avaient consommé des bouillies traditionnelles ou d'autres aliments de complément entre 6 et 10 mois, que le plat familial était souvent introduit trop tôt dans les deux groupes et que les ingérés énergétiques à partir des bouillies ainsi que les ingérés énergétiques à partir de l'ensemble des aliments de complément ne variaient pas entre 6 et 10 mois quel que soit le groupe d'enfants considéré.

Sur l'ensemble des observations, les quantités médianes de bouillies traditionnelles consommées par repas ont été significativement plus élevées que celles des bouillies améliorées (5,9 vs 3,6 g/kg/repas, respectivement). En revanche, la consommation des bouillies améliorées a permis d'augmenter de 63% les ingérés énergétiques à partir d'un repas bouillies traditionnelles, comme précédemment observé dans les études du volet 1. Par ailleurs, les ingérés énergétiques journaliers à partir des bouillies et à partir de l'ensemble des aliments de complément ont été significativement plus élevés dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin que ce soit en considérant l'ensemble des enfants du groupe témoin ou seulement ceux ayant consommé des aliments de complément. Toutefois, les quantités de bouillie consommées étant faibles comme précédemment observé dans les études du volet 1, la contribution des bouillies améliorées et traditionnelles à la couverture des besoins énergétiques journaliers (77 kcal/kg/jour chez les enfants de 6 à 10 mois; Butte, 2000) reste faible (14% vs 4%, respectivement).

La croissance moyenne en taille des enfants du groupe d'intervention a été significativement plus importante que celle des enfants du groupe témoin (+5,31 vs 5,03, respectivement;  $p=0,0009$ ). En outre, la baisse significative des valeurs des z-scores taille-âge et poids-taille observée dans le groupe témoin témoigne d'une dégradation entre 6 et 10 mois de l'état nutritionnel des enfants ne bénéficiant pas de bouillies améliorées.

Entre 6 et 10 mois, la concentration en hémoglobine a significativement augmenté dans le groupe d'intervention tandis qu'elle a significativement baissé dans le groupe témoin. On a par ailleurs constaté, comme Ninh *et al.* (2002) avant nous dans une étude comparable réalisée en milieu rural au Vietnam, que cette augmentation de la concentration en hémoglobine dans le groupe d'intervention ne s'observe que chez les enfants qui étaient anémiques à 6 mois. Cette observation s'explique par le fait que, outre la composition du repas, le taux d'absorption dépend du statut en fer de l'individu et en particulier de l'état de ses réserves en fer (Cook, 1990). L'absorption augmente lors de la diminution des réserves et, inversement, diminue lors d'une surcharge en fer. Les évolutions observées au niveau des concentrations en hémoglobine se traduisent par une augmentation de la prévalence d'anémie (de 86 à 100%) dans le groupe témoin tandis qu'elle restait stable (76%) dans le groupe d'intervention.

La concentration sérique en rétinol a considérablement augmenté dans les 2 groupes entre 6 et 10 mois sans que la différence entre les 2 groupes ne soit significative. Des résultats similaires avaient été observés par Ake *et al.*, (2001) au cours d'une étude comparant 2 régimes administrés avec ou sans supplémentation en vitamine A, à des enfants malnutris. L'évaluation finale de l'étude ayant été réalisée à une période de forte disponibilité et de

consommation des mangues, fruits très riches en vitamine A, on peut supposer que la teneur du lait maternel en vitamine A a été améliorée par la consommation des mangues, ce qui pourrait expliquer l'augmentation considérable des teneurs en rétinol sérique observée chez les enfants des 2 groupes à l'âge de 10 mois. Bien que non significativement différente entre les deux groupes, l'augmentation moyenne de concentration sérique en rétinol était toutefois légèrement plus élevée dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin ( $+0,50 \pm 0,73$  vs  $+0,46 \pm 0,49 \mu\text{mol/l}$ , respectivement). Chez les enfants des deux groupes accusant une rétinolémie faible à 6 mois, la concentration sérique en rétinol a significativement augmenté par rapport aux enfants ayant une rétinolémie normale ( $p < 10^{-4}$ ; test de Mann Whitney). Cette observation avait également été faite par Zagré *et al.* (2002) au cours d'une étude d'efficacité de l'introduction de l'huile de palme rouge sur une base commerciale dans une région du Burkina Faso.

La consommation de bouillies fortifiées de haute densité en énergie et en nutriments a permis une amélioration très significative des ingérés énergétiques par rapport aux bouillies traditionnelles. Elle s'est révélée efficace pour améliorer la croissance en taille et le statut en fer (mesuré par la concentration d'hémoglobine) des jeunes enfants. Cependant, le faible niveau d'ingéré des bouillies améliorées n'a pas permis d'atteindre des niveaux d'apports en vitamine A suffisants pour avoir un impact sur le statut en vitamine A mesuré par le rétinol sérique. Il serait envisageable, compte tenu du faible niveau de consommation des bouillies et de la faible fréquence de consommation d'autres aliments de complément, d'augmenter le taux d'incorporation du complément minéral et vitaminique dans les farines infantiles (calculé en partant de l'hypothèse que les enfants consomment des quantités de bouillie correspondant à leur capacité gastrique) et la fréquence de consommation des bouillies (au moins 3 fois/jour).

Nous ne pouvons passer sous silence quelques limites de cette étude. D'abord, l'absence de randomisation au moment de la répartition des enfants entre le groupe d'intervention et le groupe témoin. La raison en est que l'essai faisait partie d'une stratégie globale d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant dans le village de Ouarégou et que, de ce fait, il n'était pas possible de procéder à une randomisation au risque de nous retrouver avec des enfants du groupe témoin dans la zone d'intervention, ce qui ne nous aurait pas permis de garantir que ces enfants n'avaient pas accès à la farine infantile mise au point dans notre étude. De plus, il était difficilement justifiable auprès de la population de la zone témoin que quelques enfants consomment des bouillies améliorées alors que la quasi-totalité des enfants n'y aurait pas eu accès.

Ensuite, l'utilisation de la concentration en hémoglobine pour évaluer le statut en fer permet de déceler une anémie mais pas de déterminer son étiologie, car toutes les anémies ne sont pas exclusivement d'origine nutritionnelle. Cependant, il est reconnu qu'en Afrique et en Asie Méridionale, les anémies nutritionnelles traduisent le plus souvent une carence en fer (Hercberg, 1990).

A la lumière des résultats de l'ensemble des nos travaux, il est possible de proposer des modalités de production et d'utilisation d'aliments de complément susceptibles de contribuer à la réduction des prévalences de malnutrition observées chez les nourrissons burkinabè. Les résultats obtenus ont d'ores et déjà permis d'élaborer une stratégie d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant qui a été mise en place à l'échelle pilote, pour y être évaluée, dans le village de Ouarégou. Cette évaluation réalisée selon un schéma contrôlé (Martin-Prével *et al.*, 1999) et dont les résultats sont en cours d'analyse, nous permettra de juger, d'une part, du rendement et de l'impact de l'opération d'éducation nutritionnelle et de

transfert de technologies alimentaires au niveau de la communauté et, d'autre part, des éventuelles modifications à y apporter tant dans le contexte où elle a été mise en place que pour l'adapter à d'autres contextes du Burkina Faso en vue de son éventuelle extension au niveau national.

Cependant, nos résultats suggèrent que d'autres investigations sont nécessaires à différents niveaux:

- Tout d'abord une étude d'observation de l'ensemble des consommations (lait maternel et aliments de complément) des enfants de 6-11 mois sur des périodes de 24 heures en vue d'identifier plus précisément les déterminants des faibles ingérés à partir des aliments de complément chez les enfants de 6-11 mois et de proposer des recommandations permettant d'augmenter les ingérés totaux sans diminuer les apports du lait maternel;
- L'optimisation des procédés permettant d'obtenir dans des ateliers de production traditionnels des farines de sorgho rouge malté ayant les caractéristiques biochimiques et bactériologiques permettant de les utiliser comme sources d' $\alpha$ -amylases à incorporer dans les farines infantiles;
- L'identification et la définition des modalités d'utilisation d'ingrédients locaux permettant d'améliorer l'acceptabilité organoleptique des farines infantiles et leurs teneurs en micronutriments biodisponibles, dans les contextes où l'incorporation de compléments minéraux et vitaminiques est difficilement envisageable.

# **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.
- Adeyeye, E.I., Arogundade, L.A., Akintayo, E.T., Aisida, O.A., Alao, P.A. (2000). Calcium, zinc and phytate interrelationships in some foods of major consumption in Nigeria. *Food Chemistry*, 71, 435-441.
- AFNOR, NF V 03-050 (1970). Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl.
- Agte, V.V., Gokhale, M.K., Chiplonklar, S.A. (1997). Effect of natural fermentation on in vitro zinc bioavailability in cereal-legume mixtures. *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 29-32.
- Agu, R.C., Palmer, G.H. (1996). Enzymatic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures. *Journal of the Institute of Brewing*, 102, 415-8.
- Agu, R.C., Palmer, G.H. (1997). Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures. *Process Biochemistry*, 32(2), 147-58.
- Agu, R.C., Palmer, G.H. (1998). A reassessment of sorghum for larger-beer brewing. *Bioressource Technology*, 66, 253-61.
- Ahmed, S.B., Mahgoub, S.A., Babiker, B.E. (1996). Changes in tannin and cyanides contents and diastic activity during germination and the effect of traditional processing on cyanide content of sorghum cultivars. *Food Chemistry*, 56(2), 159-62.
- 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.
- Ake, M., Poby, A.G., Malan, K.A., Tebi, A., Monnet, D. (2001). Effets de la supplémentation en vitamine A sur les marqueurs de la nutrition dans la prise en charge de la malnutrition de l'enfant. *Annales de biologie clinique*, 59(4), 417-21.
- 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.
- Amoa, B., Muller, H.G. (1975). Studies on Kenkey with particular reference to calcium and phytic acid. *Cereal Chemistry*, 53, 365-375.
- Aniche, G.N. (1990). Studies on the effects of germination and drying conditions on the cyanide content of sorghum sprouts. *Journal of Food Technology*, 27(4), 202-4.
- 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 Versaille*, 247-260.
- Bennet, V.A., Morales, E., Gonzales, J., Peerson, J.M., de Romana, G.L., Brown, K.H., (1999). Effect of dietary viscosity and energy density on total daily energy consumption by young Peruvian Children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(2), 285-291.

- Berger, J., Aguayo, V.M., Téllez, W., Luján, C., Traissac, P., San Miguel, J.L. (1997). Weekly iron supplementation in Bolivian school children living at high altitude. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 381-386.
- Berger, J., Dillon, J.C. (2002). Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement. *Cahiers Santé*, 12(3):22-30.
- Bergman, E.L., Autio, K., Sandberg, A.S. (2000). Optimal conditions for phytate degradation, estimation of phytase activity, and localization of phytate in barley (Cv. Blenheim). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4647-4655.
- 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.
- Birch, L.F, Fisher, J.O. (1997). Food intake regulation in children. Fat and sugar substitutes and intake. [Review] [23 refs]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 819, 194-220.
- Birch, L.L., Gunder, L., Grimm-Thomas, K., Laing, D.G. (1998). Infants' consumption of a new food enhances acceptance of similar foods. *Appetite*, 30(3), 283-295.
- 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.
- Bouyer, J. (1996). Méthodes statistiques : Médecine, biologie. Paris : ESTEM-INSERM.
- 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
- Bruyeron, O., Trèche, S. (1998). L'analyse sensorielle pour la définition de farines infantiles. Bulletin du réseau technologie et partenariat en agrolimentaire, n° 15, pp. 12-14.
- Butte, N.F. (1996). Energy requirements of infants. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50, 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.
- Colonna, P., Buleon, 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.

- Cook, J.D. (1990). Adaptation in iron metabolism. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 301-308.
- Dada, L.O., Dendy, D.A.V. (1988). La teneur en cyanures des céréales germées et l'effet des techniques de conditionnement. In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., ed : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique Orientale et Australe : Une technologie à la portée des ménages*, compte rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenyan, 12-16 octobre 1987, IDRC-265 f, Ottawa : 407-414.
- Daelmans, B., Martines, J., Saadeh, R. (2003). Conclusions of the global consultation on complementary feeding. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 126-129.
- 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.
- Davies, N.T., Olpin, S.E. (1979). Studies on the phytate: Zinc molar contents in diets as a determinant of Zn availability to young rats. *British Journal of Nutrition*, 43(3), 590-603.
- 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.
- 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.
- 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.
- Dewar, J., Taylor, J.R.N., Berjak, P. (1997). Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *Journal of cereal Science*, 26, 129-136.
- 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., Lönnérdaal, 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.
- Dicko, M.H., Searle-van Leeuwen, M.J.F., Beldman, G., Ouedraogo, O.G., Hilhorst, R., Traore, A.S. (1999). Purification and characterization of  $\beta$ -amylase from *Curculigo pilosa*. *Applied Microbiology Biotechnology*, 52(6), 802-805.
- Donnen, P., Dramaix, M., Brasseur, D., Bitwe Mihanda, R., Fazili, S., Trèche, S. (1996). Hihg energy density gruels in the treatment of hospitalized children suffering from mainly protein malnutrition in Zaire. *Food and Nutrition Bulletin*, 17, 145-153.

- 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., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 43-58.
- Duhan, A., Khetarpaul, N., Bishnoi, S. (2002). Content of phytic acid and HCl-extractability of calcium, phosphorus and iron as affected by various domestic processing and cooking methods. *Food Chemistry*, 78(1), 9-14.
- EDS, 2000. Enquête Démographique et de Santé du Burkina Faso 1999. Maryland, USA: Macro International Inc.
- Elmaki, H.B., Babiker, E.E., El Tinay, A.H. (1999). Changes in chemical composition, grain malting, starch and tannin contents and protein digestibility during germination of sorghum cultivars. *Food chemistry*, 64, 331-336.
- 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.
- Eskin, N.A.M., Wiebe, S. (1983). Changes in phytase activity and phytate during germination of two fababean cultivars. *Journal of Food Science*, 48, 270-271.
- Fomon, S.J., Ziegler, E.E., Nelson, S.E., Edwards, B.B. (1983). Sweetness of diet and food consumption by infants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 173, 190-193.
- Frölich, W. (1995). Bioavailability of micronutrients in fibre-rich diet, especially related to minerals. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, S116-S122.
- Garcia, S.E., Kaiser, L.L., Dewey, K.G. (1990). The relationship of eating frequency and caloric density to energy intake among rural Mexican preschool children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44, 381-387.
- Gibson, R.S., Ferguson, E.L. (1998). Nutrition intervention strategies to combat zinc deficiency in developing countries. *Nutrition Research Reviews*, 11, 115-131.
- Gopaldas, T., Deshpande, S., John, C. (1988). Studies on a Wheat based amylase-rich food. *Food and Nutrition Bulletin*, 10, 55-59.
- Guyot, J.P., Mouquet, C., Tou, E.H., Counil, E., Traoré, A.S., Trèche, S. (2004). Etude de la transformation du mil (*Pennisetum glaucum*) en ben-saalga, une bouillie fermentée traditionnelle au Burkina Faso. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 437-444.
- Heinonen, J.K., Lahti, R.J. (1981). A new and convenient colorimetric determination of inorganic orthophosphate and its application to the assay of inorganic pyrophosphatase. *Analytical Biochemistry*, 113, 313-317.
- Helland, M.H., Wicklund, T., Narvhus, J.A. (2002). Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. *Food Research International*, 35, 315-321.
- Hercberg, S. (1990). Les anémies par carence en fer et en folates. *L'enfant en milieu tropical*, 128, 40p.

- Honke, J., Kozlowska, 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.
- Ikediobi, C.O., Olugboji, O. (1988). Cyanide profile of component parts of sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) sprouts. *Food Chemistry*, 27, 167-175.
- INSD, Macro International Inc. (1994). *Enquête de Démographie et de Santé – Burkina Faso 1993*, pp 115-127.
- INSD, Macro International Inc. (2000). *Enquête de Démographie et de Santé – Burkina Faso 98/99*, pp 121-134.
- 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 B<sub>6</sub>, folate, vitamin B<sub>12</sub>, pantothenic acid, biotin and choline. Washington, DC: National Academic Press.
- Institute of Medicine (2000). Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium and carotenoids. 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.
- FAO/WHO (2002). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Joint FAO/WHO expert consultation. Geneva: World Health Organisation.
- Konietzy, U., Greiner, R., Jany, K.D. (1995). Purification and characterization of a phytase from spelt. *Journal of Food Biochemistry*, 18, 165-183.
- 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 Heat stable  $\alpha$ -Amylase. *Journal of Food Science*, 55(5), 1365-1372.
- 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.
- 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). 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.
- Maha Lakshmi, R., Sumathi, S. (1997). Binding of iron, calcium and zinc by fibre of sorghum and ragi. *Food Chemistry*, 60(2), 213-217.
- 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.
- Makokha, A.O., Oniang'o, R.K., Njoroge, S.M., Kamar, O.K. (2002). Effect of traditional fermentation and malting on phytic acid and mineral availability from sorghum (*Sorghum bicolor*) and finger millet (*Eleusine coracana*) grain varieties grown in Kenya. *Food and Nutrition Bulletin*, 23(3), 241-245.
- Maller, O., Turner, R.E. (1973). Taste in acceptance of sugars by human infants. *J. Comp. Physiol. Psycho.*, 84(3), 496-501.
- Malleshi, M.G., Amla, B.L. (1989). Les produits de sevrage maltés en Inde. In Alnwick D., Moses S., Schmidt O.G., ed : *Pour améliorer l'alimentation des jeunes enfants en Afrique Orientale et Australe : Une technologie à la portée des ménages*, compte rendu d'un atelier tenu à Nairobi, Kenyan, 12-16 octobre 1987, IDRC-265 f, Ottawa : 386-394.
- 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.
- Martin-Prevel, Y., Trèche, S., Delpeuch, F. (1999). Impact evaluation of a programme to improve complementary feeding practices: study design and constraints. 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 199-214.
- Martorell, R. (1995). Results and implications of the INCAP follow-up study. *Journal of Nutrition*, 125(4 Suppl), 1127S-1138S.
- 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. (1993). Nutritional appraisal of extruded foods. *International Journal of Foods 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.
- Mitra, A.K., Rahman, M.M., Mahalanabis, D., Patra, F.C., Wahed, M.A. (1995). Evaluation of an energy-dense meal liquiefied with amylase of germinated wheat in children with acute watery diarrhoea: a randomized controlled clinical trial. *Nutrition Research*, 15, 939-951.
- Mosha, A.C., Svanberg, U. (1990). The acceptance and intake of bulk-reduced weaning foods: the Luganga village study. *Food and Nutrition Bulletin*, 12(1), 69-74.
- 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., 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.
- 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.
- Ninh, N.X., Berger, J., Quyen, D.T., Khan, N.C., Traissac, P., Khoi, H.H. (2002). Efficacité de la supplémentation en fer quotidienne et hebdomadaire pour le contrôle de l'anémie chez le nourrisson en milieu rural au Vietnam. *Cahiers Santé*, 12(1), 31-37.
- Nirmala, M., Subba Rao, M.V.S.S.T., Muralikrishna, G. (2000). Carbohydrates and their degrading enzymes from native and malted finger millet (Ragi, *Eleusine coracana*, Indaf-15). *Food Chemistry*, 69, 175-80.
- Nordeide, M.B., Hatloy, A., Folling, M., Lied, E., Oshaug, A. (1996). Nutrient composition and nutritional importance of green leaves and wild food resources in an agricultural district, Koutiala, South Mali. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 47, 455-468.
- Norme NF V09-001 In: Recueil de normes françaises. Contrôle de la qualité des produits alimentaires, Analyse sensorielle, AFNOR, 1988.
- Norme NF V09-018 In: Recueil de normes françaises. Contrôle de la qualité des produits alimentaires, Analyse sensorielle, AFNOR, 1988.
- 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 D.E.S.S., Université de Montpellier II, Montpellier.
- Nout, M.J.R., Rambouts, F.M. (1990). Recent developments in tempe research. *J. Appl. Bacteriol.*, 69, 609.
- Okoh, P.N., Ikediobi, C.O., Olugboji, O. (1988). The fate in the rat of ingested dhurrin present in sprouted sorghum grain. *Food Chemistry*, 29, 299-307.
- OMS (1986). Besoins énergétique et besoins en protéines. Séries de rapport technique n° 724. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU , 130-131.

- Onyeka, U., Dibia, I. (2002). Malted weaning food made from maize, soybean, groundnut and banana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 513-316.
- Opoku, A.R., Ohenhen, S.O., Ejiofor, N. (1981). Nutrient composition of millet (*Pennisetum thypoides*) grains and malts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 29, 1247-1248.
- Palmer, G.H. (1989). Cereals in malting and brewing, in: Cereal Science and Technology. Palmer ed., Aberdeen University Press, London.
- Panasiuk, O., Bills, D.D. (1984). Cyanide content of sorghum sprouts. *Journal of Food Science*, 49, 791-793.
- Pearcey, S.M., De Castro, J.M. (1997). Food intake and meal patterns of one year old infants. *Appetite*, 29(2), 201-212.
- 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.
- Rahman, M.M., Islam, M.A., Mahalanabis, D., Biswas, E., Majid, N., Wahed, M.A. (1994). Intake from an energy-dense porridge liquefied by amylase of germinated wheat: a controlled trial in severely malnourished children during convalescence from diarrhoea. *European Journal of Clinical Nutrition*, 48, 46-53.
- Rahman, M.M., Mazumder, R.N., Ali, M., Mahalanabis, D. (1995). Role of amylase-treated, energy-dense liquid diet in the nutritional management of acute shigellosis in children: a controlled clinical trial. *Acta Paediatrica*, 84(8), 867-872.
- Reddy, N.R., Sathe, S.K., Salunke, D.K. (1982). Phytate in legumes and cereal. *Advanced in Food Research*, 28.1
- Saha, P.R., Weaver, C.M., Mason, A.C. (1994). Mineral bioavailability in rats from intrinsically labelled whole wheat flour of various phytate levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 2531-2535.
- Saharan, K., Khetarpaul, N., Bishnoi, S. (2001). HCl-extractability of minerals from ricebean and Fababean: influence of domestic processing methods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(4), 323-325.
- Sanchez-Grinan, M.I., Peerson, J., Brown, K.H. (1992). Effect of dietary energy density on total *ad libitum* energy consumption by recovering malnourished children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 197-204.
- 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.
- Sapin, V., Alexandre, M.C., Chaïb, S., Bournazeau, J.A., Sauvant, P., Borel, P., Jacquetin, B., Grolier, P., Lémery, D., Dastugue, B., Azaïs-Braesco, V. (2000). Effect of vitamin A status at the end of term pregnancy on the saturation of retinol binding protein with retinol. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 537-543.
- Sauvageot, F. (1980). Techniques d'analyse sensorielle. In: Linden G, coordonnateur. Techniques d'analyse et de contrôle dans industries agroalimentaires, tome 2; Paris, APRIA-Lavoisier: 325-390.

- Sawadogo, S.P., Martin-Prével, Y., Savy, M., Kameli, Y., Traoré, A.S. (2004). Les pratiques d'alimentation du nourrisson en zone rurale au Burkina Faso (Province de la Gnagna) : description et conséquences nutritionnelles. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 317-327.
- Schmitz, J., Mc Neisch, A.S. (1987). Development of structure and function of the gastro intestinal tract : Relevance of weaning. In: A. Ballabriga, J. Rey, Eds. Weaning : why, what, and when. Nestlé Nutrition Series, 10 Raven Press, New York: 1-43.
- Seroussi, M. (1994). Allaitement et nutrition. In Enquête Démographique et de Santé Burkina Faso 1993. ed. Institut National de la Statistique et de la Démographie, pp. 115-127. Calverton: Demographic and Health Surveys.
- Shayo, N.B., Nnko, S.A.M., Gidamis, A.B., Dillon, V.M. (1998). Assessment of cyanogenic glucoside (cyanide) residues in Mbegé: an opaque traditional Tanzanian beer. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 333-338.
- 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.
- Solon, F.S., Klemm, R.D.W., Sanchez, L., Darnton-Hill, I., Craft, N.E., Christian, P., West Jr, K.P. (2000). Efficacy of a vitamin A-fortified wheat-flour bun on the vitamin A status of Filipino schoolchildren. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 738-744.
- Somda, J.C. (1999). Feeding practices in Burkina Faso. In Dop M.C., Benbouzid D., Trèche S., de Benoit B., Verster A., Delpeuch F., éd.: *Complementary feeding of young children in Africa and the middle-East*, Geneva, World Health Organization. Pp 227-235.
- Souci, S.W., Fachman, W., Kraut, H. (1994). *Food composition and nutrition tables*. 5<sup>th</sup> ed. Stuttgart: Medpharm Scientific Publisher, CRC Press.
- Stephenson, D.M., Gardner, J.M.M., Walker, S.P., Ashworth, A. (1994). Weaning-food viscosity and energy density: their effects on *ad libitum* consumption and energy intakes in Jamaican children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 60(4), 465-469.
- Sullivan, S.A., Birch, L.L. (1994). Infant dietary experience and acceptance of solid foods. *Pediatrics*, 93(2), 271-277.
- Svanberg, U. (1988). Dietary bulk in weaning food and its effect on food and energy intake. In : *Improving young Child Feeding in Eastern and Southern Africa : household level food technology*, eds D. Alnwick, S. Moses and OG. Schmidt, pp. 272-287. Ottawa : IDRC.
- 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.

- Taylor, J.R.N., Dewar, J. (2001). Development in sorghum food technologies. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43, 217-64.
- Thiombiano-Coulibaly, N., Rocquelin, G., Eymard-Duvernay, S., Zougmoré, O.N., Traoré, S.A. (2004). Effects of early extra fluid and food intake on breast milk consumption and infant nutritional status at 5 months of age in an urban and rural area of Burkina Faso. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58, 80-89.
- Torun, B., Davies, P.S.W., Livingstone, M.B.E., Paolisso, M., Sackett, R., Spurr, G. (1996). Energy requirements and dietary energy recommandations for children and adolescents 1 to 18 years old. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50(1 suppl), S37-S80.
- Tou, E.H., Mouquet, C., Guyot, J.P., Traoré, A.S., Trèche, S. (2004). Essai de modification des procédés traditionnels de fabrication des bouillies de mil fermenté « *ben-saalga* » en vue d'augmenter leur densité énergétique. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 517-524.
- Traoré, T., Mouquet, C., Icard-Vernière, C., Traoré, A.S., Trèche, S. (2004a). Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chemistry*, 88(1), 105-114.
- Traoré, T., Zagré, N., Traoré, A.S., Trèche, S. (2004b). Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et le statut en fer et en vitamine A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 539-551.
- Trèche, S. (1996). Influence de la densité énergétique et de la viscosité des bouillies sur l'ingéré énergétique des nourrissons. *Cahiers Santé*, 6, 237-243.
- Trèche, S. (1998). Factors affecting the energy intake from gruel by breast-fed children in developing countries. International Conference on Infant and Pre-school child Nutrition, Ibadan, November: 16-21/1998.
- 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, Hoerée T, Perez-Cueto eds; *Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives*. Antwerpen: ITG Press: 132-148.
- Trèche, S. Unpublished data. UR 106 «Nutrition, Alimentation, Sociétés», IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France.
- 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 èd. 32p.
- UNICEF (1998). La situation des enfants dans le monde 1998.
- UNICEF, 2004. La situation des enfants dans le monde 2004 – Les filles, l'éducation et le développement, 147p.
- Uvere, P.O., Adenuga, O.D., Mordi, C. (2000). The effect of germination and kilning on the cyanogenic potential, amylase and alcohol levels of sorghum malts used for burukutu production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 352-358.
- 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.
- Wahed, M.A., Mahalanabis, D., Begum, M., Rahman, M., Islam, M.S. (1994). Energy-dense weaning foods liquefied by germinated-wheat amylase: Effect on viscosity, osmolality, macronutrients, and bacterial growth. *Food and Nutrition Bulletin*, 15(3), 257-261.
- 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.
- WHO (1995). Infant feeding recommendations. Bulletin of WHO, 73: 165.
- WHO (1996). Indicators for assessing VAD and their application in monitoring and evaluating intervention programmes. Geneva: WHO, 66p.
- WHO (1996d). Fermentation : assessment and research. Report of a FAO / WHO work shop on fermentation as a house hold technology to improve food safety (Pretoria, South Africa, 11-15 december 1995), WHO/FNU /FOS /96.1 ; Geneva, World Health Organisation.
- WHO (1998). *Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge*. UNICEF/ University of California-Davis/ WHO/ ORSTOM. Geneva: WHO/NUT/98.1.
- 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.
- Zagré, N.M. (2002). Projet pilote d'introduction de l'huile de palme non raffinée comme source de vitamine A au Burkina Faso : Evaluation de l'impact. Thèse de Doctorat. Université de Montréal/Université Montpellier II.

## **ANNEXES**

## **ANNEXE 1**

**FACTEURS INFLUENCANT LES INGÉRÉS  
EN ENERGIE ET EN NUTRIMENTS CHEZ  
LE JEUNE ENFANT**

## **ANNEXE 1-1**

Etude des effets de la densité énergétique et de  
l'intensité de la saveur sucrée des bouillies sur les  
ingérés énergétiques des nourrissons burkinabè

## ANNEXE 1-1-1 :

## Questionnaire d'éligibilité

Nom de l'enfant :.....

---

L'enfant est-il malade aujourd'hui ?.....oui      non  
Si oui, de quelle maladie souffre t-il? diarrhée      fièvre      manque d'appétit  
autre :.....

L'enfant a t-il régulièrement des problèmes de santé ?.....oui      non  
Si oui, préciser les maladies :.....

---

L'enfant a-t-il consommé de la bouillie hier ?.....oui      non  
Si oui, quel type de bouillie?.....

L'enfant a-t-il l'habitude de consommer de la bouillie ?.....oui      non  
Si oui, combien de fois par jour ?.....  
A quelles heures ?.....  
Quel type de bouillie consomme t-il ?.....

---

Avez-vous l'intention de vous absenter dans les 3 semaines à venir ? ..oui      non

---

Si vous êtes sélectionnée pour participer à l'étude, à quelles heures souhaitez-vous que votre enfant reçoive la bouillie ?.....

Commentaires divers : .....  
.....  
.....

Entourer les réponses et écrire sur les pointillés dans la partie gauche seulement.

	<b>Réervé au codage</b>		
<b>Nom de l'enquêtrice :</b> .....			
<b>Date de l'enquête :</b>     J     M			
<b>Personne répondant au questionnaire :</b>			
mère=1	grand-mère=3	frère ou soeur=4	
père=2	autre=5 : .....		
<b>1-L'ENFANT :</b>			
<b>Nom et prénom :</b> .....			
<b>Lieu de naissance :</b> maternité=1 domicile=2 autre=3			
<b>Rang de naissance :</b> .....			
<b>Nombre de frères et soeurs de moins de 5 ans :</b> .....			
 <b>L'enfant a-t-il eu la diarrhée au cours des 2 dernières semaines ?</b> oui=1 non=2 nsp=3			
<b>Qui s'occupe habituellement de l'enfant :</b>			
mère=1	grand-mère=3	frère ou soeur=4	
père=2	autre=5 : .....		
 <b>2-ALIMENTATION DE L'ENFANT :</b>			
<b>La mère a-t-elle donné le sein à son enfant immédiatement après l'accouchement ?</b>			
oui=1 non=2 nsp=3			
Si non : pourquoi ? coutume=1 autre=2			
<b>L'enfant a-t-il été allaité au sein hier ?</b> oui=1 non=2 nsp=3			
Si non : pourquoi ? enfant malade=1 mère malade=2			
arrêt définitif de l'allaitement=3 autre=4			
Si arrêt définitif, jusqu'à quel âge a-t-il été allaité (en mois, au ½ mois près) : .....	,		
<b>A-t-il eu du lait artificiel hier ?</b> oui=1 non=2 nsp=3			
Si non : lui en a-t-on donné depuis sa naissance ?			
oui=1 non=2 nsp=3			
<b>Combien de fois a-t-il consommé de la bouillie hier ?</b> .....			
<b>A quel âge a-t-il commencé à consommer de la bouillie (en mois) :</b> .....	,		

**A-t-il consommé du plat familial hier?** oui=1 non=2 nsp=3  
 Si oui : A quel âge avez vous commencé à lui en donner (*en mois*) ? .....  
 Si non : Lui en a-t-on donné depuis sa naissance ? oui=1 non=2 nsp=3  
 Si oui : A quel âge avez-vous commencer à lui en donner ? .....

**A-t-il consommé d'autres aliments solides hier ?** oui=1 non=2 nsp=3  
 Si oui, préciser : .....

### 3-CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DU MENAGE :

**Nombre de personnes vivant sous le toit familial :**

**Nombre de personnes pour qui la mère prépare à manger chaque jour :**

#### • MERE

**Age (en années) :** .....

**Lieu où la mère a grandi :** milieu urbain=1 milieu rural=2

**Situation familiale :**

mariée=1 célibataire=2 union libre=3 divorcée=4 veuve=5

**Ethnie :**

Mossi=1 Peul=2 Bissa=3 Bobo=4 Dagari=5  
 Gourounsi=6 Gourmantché=7 Samo=8 autre=9 : ...

**Religion :**

catholique=1 protestante=2 musulmane=3 animiste=4 autre=5

**Dernière classe fréquentée :**

jamais scolarisée=1 jamais scolarisée mais alphabétisée=2  
 primaire=3 premier cycle du secondaire=4  
 second cycle du secondaire=5 supérieur=6

**Activité professionnelle :**

mère au foyer=1 employée de maison=2 ouvrière=3  
 agricultrice=4 commerçante=5 artisan=6  
 fonctionnaire=7 cadre=8 étudiante=9  
 autre=10 : .....

• ***PERE***

**Age (en années)**

\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_

**Lieu où le père a grandi :**.....

Préciser : milieu urbain=1 milieu rural=2

\_\_\_\_

**Situation familial :**

Marié=1	célibataire=2	union libre=3
Divorcé=4	veuf=5	Polygame=6

\_\_\_\_

**Ethnie :**

Mossi=1	Peul=2	Bissa=3	Bobo=4	Dagari=5
Gourounsi=6	Gourmantché=7	Samo=8	autre=9 : ...	

\_\_\_\_

**Religion :**

catholique=1 protestante=2 musulmane=3 animiste=4 autre=5

\_\_\_\_

**Dernière classe fréquentée**

Jamais scolarisé=1 jamais scolarisé mais alphabétisé=2 primaire=3 premier cycle du secondaire=4 second cycle du secondaire=5 supérieur=6

\_\_\_\_

**Activité professionnelle :**

agriculteur=1	éleveur=2	ouvrier=3	commerçant=4
artisan=5	fonctionnaire=6	cadre=7	étudiant=8
mécanicien=9	aucune=10	autre=11 : .....	

\_\_\_\_

• ***LOGEMENT***

**Statut de l'occupant :**

propriétaire=1	locataire=2	hébergé gratuitement=3
autre=4 : .....		

\_\_\_\_

**Nombre de pièces :** .....

\_\_\_\_

**Nature des sols :**

carrelage=1	ciment=2	terre battue=3
autre=4 : .....		

\_\_\_\_

**Nature du toit :**

dur=1	tôle=2	banco=3	paille=4
autre=5 : .....			

\_\_\_\_

**Nature des murs :**

dur=1	banco=2	paille=3
autre=4 : .....		

\_\_\_\_

**Approvisionnement en eau** (de boisson) :

robinet dans le logement=1    robinet dans la parcelle=2  
robinet chez le voisin=3    puits=4                      autre=5 : .....

**Electricité** :                oui=1                non=2

**Les toilettes que vous utilisées sont :**

dans la maison=1    privées mais extérieures=2    collectives=3  
autres=4 : .....

**Équipement du ménage :**

cuisinière ou réchaud à gaz :	oui=1	non=2
réchaud à pétrole :	oui=1	non=2
réfrigérateur :	oui=1	non=2
radio ou radiocassette :	oui=1	non=2
télévision :	oui=1	non=2
scooter, vélo ou mobylette :	oui=1	non=2
voiture ou camion :	oui=1	non=2

|

## **ANNEXE 1-1-3 : Séquences de distribution des bouillies expérimentales**

Chaque enfant recevra la bouillie de faible DE en première période et la bouillie Cérélac en dernière.

Les 3 autres bouillies seront données dans l'ordre suivant :

B1-B2-B3 / B1-B3-B2 / B2- B1- B3 / B2-B3-B1 / B3-B1-B2 / B3-B2-B1

En conclusion,

4 enfants recevront successivement B0-B1-B2-B3-B4 (combinaison n°1)

4 enfants recevront successivement B0-B1-B3-B2-B4 (combinaison n°2)

4 enfants recevront successivement B0-B2- B1-B3-B4 (combinaison n°3)

4 enfants recevront successivement B0-B2-B3-B1-B4 (combinaison n°4)

4 enfants recevront successivement B0-B3-B1-B2-B4 (combinaison n°5)

4 enfants recevront successivement B0-B3-B2-B1-B4 (combinaison n°6)

Chaque enfant sera suivi sur une période de 2 semaines et demi selon le schéma suivant :

LU <sub>S1</sub>	Distribution du 1e type de bouillie de la combinaison attribuée
MA <sub>S1</sub>	Distribution du 1e type de bouillie de la combinaison attribuée
ME <sub>S1</sub>	Distribution du 1e type de bouillie de la combinaison attribuée
JE <sub>S1</sub>	Distribution du 2e type de bouillie de la combinaison attribuée
VE <sub>S1</sub>	Distribution du 2e type de bouillie de la combinaison attribuée
SA <sub>S1</sub>	Distribution du 2e type de bouillie de la combinaison attribuée
DI	Distribution par la mère du 2e type de bouillie de la combinaison attribuée

LU <sub>S2</sub>	Distribution du 3e type de bouillie de la combinaison attribuée
MA <sub>S2</sub>	Distribution du 3e type de bouillie de la combinaison attribuée
ME <sub>S2</sub>	Distribution du 3e type de bouillie de la combinaison attribuée
JE <sub>S2</sub>	Distribution du 4e type de bouillie de la combinaison attribuée
VE <sub>S2</sub>	Distribution du 4e type de bouillie de la combinaison attribuée
SA <sub>S2</sub>	Distribution du 4e type de bouillie de la combinaison attribuée
DI	Distribution par la mère du 4e type de bouillie de la combinaison attribuée

LU <sub>S3</sub>	Distribution du 5e type de bouillie de la combinaison attribuée
MA <sub>S3</sub>	Distribution du 5e type de bouillie de la combinaison attribuée
ME <sub>S3</sub>	Distribution du 5e type de bouillie de la combinaison attribuée

## **ANNEXE 1-1-4 : FICHE DE SUIVI DE LA MORBIDITE**

Nom et prénom de l'enfant: .....

## ANNEXE 1-1-5 : ETUDE EXPERIMENTALE: recueil des observations (1ere bouillie)

Nom et prénom de l'enfant : .....  
(Numéro de l'enfant : |\_\_|\_\_|)

Nom de l'enquêteuse : .....  
Date de l'enquête : |\_\_|\_\_| J|\_\_|\_\_| M

### **IDENTIFICATION DE LA BOUILLIE :**

RANG DE DISTRIBUTION DANS LA POURNÉE: |\_\_|  
(CODE DE LA BOUILLIE: |\_\_|)  
(RANG DE LA PÉRIODE DE DISTRIBUTION: |\_\_|)  
(RANG DU JOUR A L'INTÉRIEUR DE LA PÉRIODE DE DISTRIBUTION: |\_\_|)

### **DISTRIBUTION DE LA BOUILLIE :**

POIDS DU BOL VIDE + CUILLERE: |\_\_|\_\_|\_\_| g

POIDS DU BOL PLEIN CUILLERE AVANT CONSOMMATION: |\_\_|\_\_|\_\_| g

HEURE DE DÉBUT DE DISTRIBUTION (1<sup>ère</sup> cuillerée) : |\_\_|\_\_| H |\_\_|\_\_| MIN

TEMPERATURE DE DÉBUT DE DISTRIBUTION : |\_\_|\_\_|, \_\_ °C

HEURE DE FIN DE DISTRIBUTION (dernière cuillerée): |\_\_|\_\_| H |\_\_|\_\_| MIN

POIDS DU BOL CUILLERE APRÈS CONSOMMATION : |\_\_|\_\_|\_\_| g

### **PRÉLEVEMENT**

POIDS DU PREMIER PRÉLEVEMENT (pot + couvercle+bouillie) |\_\_|\_\_|\_\_| g  
numéro du pot : .....

POIDS DU DEUXIÈME PRÉLEVEMENT (pot + couvercle+bouillie) |\_\_|\_\_|\_\_| g  
numéro du pot : .....

### **PERTES :**

- poids de la serviette propre : |\_\_|\_\_|\_\_| g  
poids de la serviette souillée : |\_\_|\_\_|\_\_| g
- l'enfant a-t-il vomi de la bouillie ? oui=1 non=2
- la mère a-t-elle goûté la bouillie pendant la distribution ? oui=1 non=2  
Si oui, évaluer la quantité goûtée : .....

### **MODALITÉS DE DISTRIBUTION :**

- position de l'enfant : couché=1 mi-couché=2 assis=3
- l'enfant : boit=1 mange à la cuillère=2 autre=3 : .....
- est-ce l'enfant qui a décidé de la fin de la distribution ? oui=1 non=2  
Si non, pourquoi ? bouillie consommée en totalité par l'enfant=1  
interruption de la distribution par la mère=2  
préciser : ....., autre=3 : .....

### **REMARQUES :**

La bouillie que vous avez préparée a-t-elle un écoulement proche de 110 ? oui non

Si non, est-elle très liquide ? ..... oui non

ou très épaisse ? ..... oui non

Remarques diverses : .....

## SUIVI DE L'INGÈRE ENERGETIQUE JOURNALIER DE L'ENFANT

nom et prénom de l'enfant : .....

date: |\_\_| J |\_\_| M

### ALIMENTS DONNES A L'ENFANT ENTRE LA DERNIERE BOUILLIE DE LA VEUILLE ET CE MATIN (avant le réveil) :

Cette période comprend le soir, la nuit pendant laquelle l'enfant est susceptible de se réveiller pour téter, et se termine au moment du lever de l'enfant.

NOMBRE DE TETEES : .....

heure de la dernière tétée : |\_\_| H |\_\_| MIN

durée de la tétée : |\_\_| MIN

NOMBRE DE DISTRIBUTIONS D'ALIMENTS DE COMPLEMENT :

boissons : |\_\_| heure de la dernière prise de boisson : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....

lait artificiel : |\_\_| heure de la dernière prise de lait artificiel : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....

plat familial : |\_\_| heure de la dernière prise de plat familial : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères) : .....

autre : |\_\_| heure de la dernière prise : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (préciser l'unité ménagère) : .....

bouillie : |\_\_| heure de la dernière prise : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères) : .....

### ALIMENTS DONNES A L'ENFANT AVANT LA PREMIERE BOUILLIE (du réveil jusqu'à la 1ère prise de la bouillie expérimentale:

NOMBRE DE TETEES : .....

heure de la dernière tétée : |\_\_| H |\_\_| MIN

durée de la tétée : |\_\_| MIN

NOMBRE DE DISTRIBUTIONS D'ALIMENTS DE COMPLEMENT :

- boissons : |\_\_| heure de la dernière prise de boisson : |\_\_| H |\_\_| MIN

préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....

- lait artificiel : |\_\_| heure de la dernière prise de lait artificiel : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....

- plat familial : |\_\_| heure de la dernière prise de plat familial : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....

évaluer la quantité (en nombre de cuillères) : .....

- autre : |\_\_| heure de la dernière prise : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....

évaluer la quantité (préciser l'unité ménagère) : .....

NB : si impossibilité d'évaluer l'heure exacte, utiliser les repères de temps suivants : avant le lever du soleil/après le lever du soleil.

## ANNEXE 1-1-6 : ETUDE EXPERIMENTALE: recueil des observations (2eme bouillie)

Nom et prénom de l'enfant : .....  
(Numéro de l'enfant : |\_\_|\_\_|)

Nom de l'enquêteuse : .....  
Date de l'enquête : |\_\_|\_\_| J|\_\_|\_\_| M

### **IDENTIFICATION DE LA BOUILLIE :**

RANG DE DISTRIBUTION DANS LA POURNÉE: |\_\_|  
(CODE DE LA BOUILLIE: |\_\_|)  
(RANG DE LA PÉRIODE DE DISTRIBUTION: |\_\_|)  
(RANG DU JOUR A L'INTÉRIEUR DE LA PÉRIODE DE DISTRIBUTION: |\_\_|)

### **DISTRIBUTION DE LA BOUILLIE :**

POIDS DU BOL VIDE + CUILLERE: |\_\_|\_\_|\_\_| g

POIDS DU BOL PLEIN CUILLERE AVANT CONSOMMATION: |\_\_|\_\_|\_\_| g

HEURE DE DÉBUT DE DISTRIBUTION (1<sup>ère</sup> cuillerée) : |\_\_|\_\_| H |\_\_|\_\_| MIN

TEMPERATURE DE DÉBUT DE DISTRIBUTION : |\_\_|\_\_|, \_\_| °C

HEURE DE FIN DE DISTRIBUTION (dernière cuillerée): |\_\_|\_\_| H |\_\_|\_\_| MIN

POIDS DU BOL CUILLERE APRÈS CONSOMMATION : |\_\_|\_\_|\_\_| g

### **PRÉLEVEMENT**

POIDS DU PREMIER PRÉLEVEMENT (pot + couvercle+bouillie) |\_\_|\_\_|\_\_| g  
numéro du pot : .....

POIDS DU DEUXIÈME PRÉLEVEMENT (pot + couvercle+bouillie) |\_\_|\_\_|\_\_| g  
numéro du pot : .....

### **PERTES :**

- poids de la serviette propre : |\_\_|\_\_|\_\_| g  
poids de la serviette souillée : |\_\_|\_\_|\_\_| g
- l'enfant a-t-il vomi de la bouillie ? oui=1 non=2
- la mère a-t-elle goûté la bouillie pendant la distribution ? oui=1 non=2  
Si oui, évaluer la quantité goûtée : .....

### **MODALITÉS DE DISTRIBUTION :**

- position de l'enfant : couché=1 mi-couché=2 assis=3
- l'enfant : boit=1 mange à la cuillère=2 autre=3 : .....
- est-ce l'enfant qui a décidé de la fin de la distribution ? oui=1 non=2  
Si non, pourquoi ? bouillie consommée en totalité par l'enfant=1  
interruption de la distribution par la mère=2  
préciser : ....., autre=3 : .....

### **REMARQUES :**

La bouillie que vous avez préparée a-t-elle un écoulement proche de 110 ? oui non

Si non, est-elle très liquide ? ..... oui non

ou très épaisse ? ..... oui non

Remarques diverses : .....

## SUIVI DE L'INGÈRE ENERGETIQUE JOURNALIER DE L'ENFANT

nom et prénom de l'enfant : .....

date: |\_\_| J |\_\_| M

### ALIMENTS DONNES A L'ENFANT ENTRE LA PREMIERE ET LA DEUXIEME BOUILLIE :

NOMBRE DE TETEES : |\_\_|

heure de la dernière tétée : |\_\_| H |\_\_| MIN

durée de la tétée : |\_\_| MIN

NOMBRE DE DISTRIBUTIONS D'ALIMENTS DE COMPLEMENT :

- boissons : |\_\_| heure de la dernière prise de boisson : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....  
évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....
- lait artificiel : |\_\_| heure de la dernière prise de lait artificiel : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....  
évaluer la quantité (en nombre de cuillères ou de verres) : .....
- plat familial : |\_\_| heure de la dernière prise de plat familial : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....  
évaluer la quantité (en nombre de cuillères) : .....
- autre : |\_\_| heure de la dernière prise : |\_\_| H |\_\_| MIN  
préciser la nature : .....  
évaluer la quantité (préciser l'unité ménagère) : .....

## **ANNEXE 1-1-7 : FICHE DE RECUEIL DES MESURES ANTHROPOMETRIQUES**

Nom et prénom(s) de l'enquêtrice ...

## **ANNEXE 1-2**

Etude de l'influence de la durée de la période  
d'accoutumance aux caractéristiques des bouillies et de  
la répartition des prises alimentaires autres que les  
bouillies sur les ingérés de bouillies de haute et de faible  
densités énergétiques

## **ANNEXE 1-2-1: Questionnaire d'éligibilité**

**Nom de l'enfant :**.....

**date de naissance :**.....(à priori critère déjà vérifié)

**Poids de l'enfant :**.....

**L'enfant présente-t-il un handicap physique ?:**      oui      non

*Si oui, lequel :* .....

---

**Avez-vous donné le sein à votre enfant hier :**      oui      non

*Si oui, combien de fois :* .....

---

**Avez-vous donné de la bouillie à votre enfant hier? :**      oui      non

*Si oui, combien de fois :* .....

*A quelles heures :* .....

*Quels types de bouillie lui avez-vous donnés hier? :* .....

**Ces 7 derniers jours, combien de jours avez-vous donné de la bouillie à votre enfant ? :**

.....

**Combien de fois par jour en moyenne ? :** .....

---

**Connaissez-vous la farine Kasona ou Misola ? :**      oui      non

**Avez-vous déjà donné à votre enfant des bouillies Kasona ou Misola? :**      oui      non

*Si oui, combien de jours au cours des 2 dernières semaines:* .....

---

**Avez-vous l'intention de vous absenter dans les 5 semaines à venir ? :**      oui      non

---

**Si vous êtes sélectionnée pour participer à l'étude, acceptez-vous de participer ? :**

oui      non

**Commentaires divers :**.....

.....

.....

## ANNEXE 1-2-2 : Questionnaire données générales

code : A | | |

<p><b>Nom de l'enquêtrice :</b> .....</p> <p><b>Date de l'enquête :</b> .....</p> <p><b>Personne répondant au questionnaire :</b></p> <p>mère=1 père=2 grand-mère=3 frère ou soeur=4 autre=5 : .....</p>	<p><b>1-L'ENFANT :</b></p> <p><b>Nom et prénom :</b> .....</p> <p><b>Sexe :</b> féminin =1 masculin =2</p> <p><b>Date de naissance :</b> .....</p> <p><b>Lieu de naissance :</b> maternité=1 domicile=2 autre=3</p> <p><b>Rang de naissance :</b> .....</p> <p><b>Nombre de frères et sœurs de moins de 5 ans :</b> .....</p> <p><b>Qui s'occupe habituellement de l'enfant :</b> mère=1 grand-mère=3 frère ou soeur=4 père=2 autre=5 : .....</p>	<p><b>2-SUIVI SANITAIRE :</b></p> <p>L'enfant a-t-il un carnet de santé ? oui=1 non=2 Combien de fois la mère est-elle allée à la SMI avec son enfant depuis sa naissance? : .....</p> <p>Pour quelles raisons, ex : vaccinations, problèmes de santé etc : .....</p>	<p>L'enfant a-t-il été hospitalisé depuis sa naissance ? oui=1 non=2 Si oui, combien de fois : .....</p> <p>Pour quelles raisons ? .....</p> <p>Durées des séjours (en nombre de jours) : .....</p>	<p>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois la diarrhée au cours des 7 derniers jours ?</p> <p>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois la fièvre au cours des 7 derniers jours?</p> <p>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois des infections respiratoires au cours des 7 derniers jours?</p>	<p><b>3-ALIMENTATION DE L'ENFANT :</b></p> <p>La mère a-t-elle donné le sein à son enfant dans l'heure suivant l'accouchement ? Oui=1 non=2 nsp=3</p> <p>A quel âge a-t-il commencé à consommer de la bouillie (<i>en mois</i>) : .....</p> <p>Combien de fois l'enfant a-t-il téte dans la journée(de son levée, à son coucher), hier ? : .....</p> <p>Combien de fois l'enfant a-t-il téte dans la nuit, hier ? : .....</p> <p>A-t-il eu du lait artificiel hier ? oui=1 non=2 nsp=3 Si oui : Combien de fois : .....</p> <p>Si non : lui en a-t-on donné depuis sa naissance ? Oui=1 non=2 nsp=3</p> <p>Combien de fois a-t-il consommé de la bouillie hier ? .....</p> <p>A-t-il consommé des aliments solides hier? Oui=1 non=2 nsp=3 Si oui : A quel âge a-t-on commencé à lui en donner (<i>en mois</i>) ? .....</p> <p>Nature des plats consommés hier : .....</p> <p>Combien de fois : .....</p> <p>Si non : lui en a-t-on donné depuis sa naissance ? oui=1 non=2 nsp=3 Si oui : A quel âge a-t-on commencer à lui en donner ? .....</p>
--	---	---	---	--	--

#### 4-CARACTÉRIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DU MENAGE :

code : A

**Nombre de personnes vivant sous le toit familial :** .....

**Nombre de personnes pour qui la mère prépare à manger chaque jour :** .....

• **MERE**

**Lieu où la mère a grandi :** milieu urbain=1 milieu rural=2

**Situation familiale :**

mariee=1 célibataire=2 union

**Ethnie :** Mossi=1 Peul=2 Bissa=3 Bobo=4 Dagari=5

Gourounsi=6 Gourmantché=7 Samo=8 autre=9 : ...

**Religion :** catholique=1 protestante=2 musulmane=3 animiste=4 autre=5

**Dernière classe fréquentée :**

jamais scolarisée mais alphabétisée=2 primaire=3 premier cycle du secondaire=4 second cycle du secondaire=5 supérieur=6

**Activité professionnelle :**

mère au foyer=1 employée de maison=2 ouvrière=3 agricultrice=4 commerçante=5 artisan=6 fonctionnaire=7 cadre=8 étudiante=9 autre=10 : .....

• **PERE**

**Age (en années) :** .....

**Situation familiale :**

Polygame ? oui=1 non=2

**Activité professionnelle :**

agriculteur=1 artisanat=2 employé fonctionnaire=3 cadre fonctionnaire=4 commerce (avec registre de commerce)=5 commerce informel=6 étudiant=7 autre=8 : .....

**Le père est-il le chef de ménage ?** oui=1 non=2

#### • LOGEMENT - INDICE ECONOMIQUE

**Statut de l'occupant :**

Propriétaire=1 locataire=2 hébergé gratuitement=3 autre=4 : .....

**Nombre de pièces :** .....

**Approvisionnement en eau** (de boisson) :

Robinet dans le logement=6 robinet dans la parcelle=4 fontaine publique, puis/forage=0

**Électricité :** oui=6 non=0

**Équipement du ménage :**

Cuisinière ou réchaud à gaz :	oui=5
réchaud à pétrole :	oui=1
réfrigérateur :	oui=5
radio ou radiocassette :	oui=3
télévision :	oui=5
vélo :	oui=4
mobylette :	oui=6
moto, voiture	oui=15

Total

indice éco

**REMARQUES DIVERSES :** .....  
.....  
.....  
.....

## ANNEXE 1-2-3 :

## SUIVI DE SUIVI DE LA MORBDITE

Nom et prénom de l'enfant: .....

Code :

## ANNEXE 1-2-4 : Consommations alimentaires de la journée (eau, lait maternel, plat familial, bouillies, autres)

Pour les bouillies expérimentales, remplir la fiche spécifique		date : .....	nom de l'enfant : .....	code : A																																																																																										
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																			<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>min</td><td> </td><td> </td><td>sec</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			min			sec																									<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																		
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		min			sec																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																			<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>min</td><td> </td><td> </td><td>sec</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			min			sec																									<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																		
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		min			sec																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nature : .....</li> <li>• heure de début de la consommation : .....</li> <li>• heure de fin : .....</li> <li>• <i>Pour le lait maternel</i>, durée de la têtée : .....</li> <li>• quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																			<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>min</td><td> </td><td> </td><td>sec</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			min			sec																									<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>H</td><td> </td><td> </td><td>MIN</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>			H			MIN			H			MIN																		
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		min			sec																																																																																									
		H			MIN																																																																																									
		H			MIN																																																																																									

**ANNEXE 1-2-5**PRISE DE LA  ère ou ème BOUILLE : nom de l'enfant : .....
**IDENTIFICATION DE LA BOUILLE :**  
**Rang de la bouillie :** .....  
**Type de bouillie**

Haute densité énergétique = 1 basse densité énergétique=2

**DISTRIBTION DE LA BOUILLE :**

Poids du bol vide : .....

Poids du bol plein avant consommation .....

Heure de début de distribution (1<sup>ère</sup> cuillerée) : .....

Température de début de distribution : .....

Heure de fin de distribution (dernière cuillerée) : .....

Poids du bol plein après consommation : .....

*Si l'enfant a utilisé une cuillère, poids de la cuillère propre : .....*

Poids de la cuillère sale : .....

**PRELEVEMENT**Numéro du pot du 1<sup>er</sup> prélèvement : .....Numéro du pot du 2<sup>e</sup> prélèvement : .....**CONSISTANCE****D'après l'enquêteuse la bouillie est elle plu**t**6?****Liquide semi liquide épaisse**
**PERTES :**

- poids de la serviette propre .....
- poids de la serviette souillée .....
- l'enfant a-t-il vomi de la bouillie ? oui=1 non=2
- la mère a-t-elle goûté la bouillie pendant la distribution ? oui=1 non=2

Si oui, évaluer la quantité goûtée : .....

**MODALITES DE DISTRIBUTION :**

- position de l'enfant : couche=1 mi-couché=2 assis=3
- l'enfant : boit=1 mange à la cuillère=2 autre=3 ; est-ce l'enfant qui a décidé de la fin de la distribution ? oui=1 non=2
- Interruption de la distribution par la mère=2 préciser : .....
- Autre=3 : .....

Si non, pourquoi ? bouillie consommée en totalité par l'enfant=1  
Interruption de la distribution par la mère=2  
préciser : .....

**H  MIN****H  °C****H  MIN****H  g****H  g****H  g****H  g****MS : ,** **MS : ,** **MS : ,** **MS : ,** **REPRESENTATIVITE DES QUANTITES CONSOMMEEES**

Avant l'étude, votre enfant consommait -t-il par repas autant de bouillie

*qu'aujourd'hui ? Oui=1 non=2*

Si non, les quantités de bouillie généralement consommées par votre enfant sont ?  
Plus grandes que ce qu'il a consommé au cours de ce repas = 1  
Plus petites que ce qu'il a consommé au cours de ce repas = 2

## **ANNEXE 2**

EVALUATION DE L'EFFICACITE  
BIOLOGIQUE D'UNE FARINE AMELIOREE  
EN ZONE RURALE

**ANNEXE 2-1****Questionnaire d'éligibilité :****Code de l'enfant : |\_\_|\_\_|\_\_|\_\_|**

<b>Nom et prénom(s) de l'enfant...</b>	
<b>Date de naissance:</b>	
<b>Sexe (1:mASCULIN;2:FéMININ):</b>	
<b>Poids de naissance :</b>	
<b>Date de l'enquête :</b>	
<b>Poids de l'enfant :</b>	
<b>Nom et prénom(s) de la mère.....</b>	
<b>Nom et prénom(s) du père .....</b>	
<b>L'enfant présente-t-il un handicap physique?(1) oui;(2) non Si oui, lequel:</b>	
---	
<b>Avez-vous donné le sein à votre enfant hier:(1) oui;(2) non Si oui, combien de fois:</b>	
<b>Avez-vous l'intention de vous absenter dans les 5 mois à venir?(1) oui;(2) non</b>	
<b>Svous êtes sélectionnée pour participer à l'étude, acceptez-vous qu'une enquêtrice vienne, une fois par mois, mesurer tout ce que votre enfant consommera pendant toute une journée?(1) oui;(2) non</b>	
<b>Svous êtes sélectionnée pour participer à l'étude, acceptez-vous que des enquêtrices passent chez vous une fois par semaine poser des questions sur l'état de santé de votre enfant?(1) oui;(2) non</b>	
<b>Commentaires divers:.....</b>	
---	
---	
---	
.....	
.....	
.....	

## **ANNEXE 2-2 Questionnaire de données générales**

Zone (1=ZI; 2=ZT); |

<p>Nom de l'enquêteuse : .....</p> <p>Date de l'enquête : .....</p> <p>Personne répondant au questionnaire :</p> <p>mère=1 père=2 grand-mère=3 frère ou soeur=4 autre=5 : .....</p>	<p><b>Lorsque l'enfant est souffrant, a-t-il ?</b></p> <p>Autant =1 plus=2 moins=3 d'appétit que les autres jours</p> <p><b>Globalement, la mère pense-t-elle que son enfant a souvent des problèmes de santé?</b></p> <p>Oui=1 non=2</p>
<p><b>D'après la mère, l'enfant est-il actuellement ?</b></p> <p>En bonne santé=1 en mauvaise santé=2 De quoi souffre-t-il ? .....</p>	<p><b>D'après la mère, l'enfant a-t-il ?</b></p> <p>Une croissance en taille normale? oui=1 non=2 Un poids normal? oui=1 non=2</p>
<p><b>Lieu de naissance :</b> maternité=1 domicile=2 autre=3</p> <p><b>Rang de naissance :</b> .....</p> <p><b>Nombre de frères et sœurs de moins de 5 ans :</b> .....</p>	<p><b>Ces jours derniers, mange-t-il ?</b></p> <p>Autant =1 plus=2 moins=3 que d'habitude</p>
<p><b>Qui s'occupe habituellement de l'enfant :</b></p> <p>mère=1 grand-mère=3 frère ou soeur=4 père=2 autre=5 : .....</p>	<p><b>3-ALIMENTATION DE L'ENFANT :</b></p> <p><b>Après l'accouchement, la mère a-t-elle donné :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le sein à son enfant dans l'heure suivant l'accouchement : Oui=1 non=2</li> <li>- un autre aliment ou liquide avant le sein? Oui=1 non=2</li> </ul> <p><b>A quel âge a-t-il commencé à consommer de la bouillie (<i>en mois</i>) :</b> .....</p> <p><b>Combien de fois l'enfant a-t-il téte dans la journée (de son levée, à son coucher), hier ? :</b> .....</p> <p><b>Combien de fois l'enfant a-t-il téte dans la nuit, hier ? :</b> .....</p> <p><b>A-t-il eu du lait artificiel hier ?</b> oui=1 non=2</p> <p><i>Si oui</i> : Combien de fois : .....</p> <p><i>Si non</i> : lui en a-t-on donné depuis sa naissance ? oui=1 non=2</p> <p><b>Combien de fois a-t-il consommé de la bouillie hier ?</b> .....</p>
<p><b>Qui a-t-il un carnet de santé ?</b> oui=1 non=2</p>	<p><b>2-SUIVI SANITAIRE :</b></p> <p><b>L'enfant a-t-il été hospitalisé depuis sa naissance ?</b> oui=1 non=2</p> <p><b>Combien de fois la mère est-elle allée à la SMI avec son enfant depuis sa naissance? :</b> .....</p> <p>Pour quelles raisons, : ex : vaccinations, problèmes de santé etc : .....</p> <p><b>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois la diarrhée au cours des 7 derniers jours ?</b> oui=1 non=2</p> <p><i>Si oui</i>, combien de fois : .....</p> <p>Pour quelles raisons ? .....</p> <p>Durée totale des séjours (en nombre de jours) : .....</p>
<p><b>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois la fièvre au cours des 7 derniers jours ?</b> oui=1 non=2</p> <p><b>L'enfant a-t-il eu au moins 1 fois des infections respiratoires au cours des 7 derniers jours ?</b> oui=1 non=2</p>	<p><b>A-t-il consommé des aliments autres que les bouillies hier?</b> oui=1 non=2</p> <p><i>Si oui</i> : A quel âge a-t-on commencé à lui en donner (<i>en mois</i>) ? .....</p> <p>Nature des plats consommés hier : .....</p> <p>Combien de fois : .....</p> <p><i>Si non</i> : Lui en a-t-on donné depuis sa naissance ? oui=1 non=2</p> <p><i>Si oui</i> : A quel âge a-t-on commencé à lui en donner ? .....</p>

#### 4-CARACTÉRIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DU MÉNAGE :

**Nombre de personnes vivant sous le toit familial :** .....

**Nombre de personnes pour qui la mère prépare à manger chaque jour:** .....

#### MÈRE

**Age (en années) :** .....

**Lieu où la mère a grandi :** milieu urbain=1 milieu rural=2

**Situation familiale :**

mariée=1 célibataire=2 union

**Ethnie :** Mossi=1 Peul=2 Bissa=3 Bobo=4 Dagari=5

Gourounsi=6 Gourmantché=7 Samo=8 autre=9 : .....

**Religion :** catholique=1 protestante=2 musulmane=3 animiste=4 autre=5

**Niveau d'éducation :** jamais scolarisée mais alphabétisée=2

primaire=3 premier cycle du secondaire=4 second cycle du secondaire=5 supérieur=6

**Activité professionnelle :** mère au foyer=1 employée de maison=2 agricultrice=3 commerçante=4 artisan=5 élève=6 autre=7 : .....

**Activité professionnelle :**

mère au foyer=1 employée de maison=2 agricultrice=3 cadre fonctionnaire=4 commerce=5 élève=6 autre=7 : .....

#### PERE

**Age (en années) :** .....

**Situation familiale :**

Polygame ? oui =1 non=2

**Activité professionnelle :**

agriculteur=1 artisanat=2 employé fonctionnaire=3 cadre fonctionnaire=4 commerce=5 élève=6 autre=7 : .....

Le père est-il le chef de ménage ? oui=1 non=2  
  
 + maïs

#### LOGEMENT - INDICE ECONOMIQUE

**Statut de l'occupant :** Propriétaire=1 locataire=2 hébergé gratuitement=3 autre=4 : .....

**Nombre de pièces :** .....

**Approvisionnement en eau (de boisson) :**

Puits=0 forage =1

**Électricité :** oui=6 non=0

**Équipement du ménage :**

Cuisinière ou réchaud à gaz : oui=5

réchaud à pétrole :

oui=1 non=0

réfrigérateur :

oui=5 non=0

radio ou radiocassette :

oui=3 non=0

télévision :

oui=5 non=0

vélo :

oui=4 non=0

#### ACTIVITÉS AGRICOLES

- Nature et modes d'utilisation des productions végétales cultivées par le ménage au cours de la dernière année éculée: (0) si pas cultivé ; (1) si cultivé pour autoconsommation uniquement ; (2) si cultivé pour autoconsommation + vente ; (3) si cultivé pour vente uniquement

+ petit mil  
 + sorgho rouge  
 + sorgho blanc

+ riz  
 + arachide  
 + niébé  
 + pois de terre  
 + autres légumineuses  
 + tubercules ou racines  
 + tomate ou aubergine  
 + oignons  
 + légumes feuilles  
 + piment  
 + mangues  
 + coton  
 + autres : (1) oui ; (2) non  
 si oui, préciser : ....

- Nombre de bovins possédés par le ménage au moment de l'enquête
- Nombre d'ânes possédés par le ménage au moment de l'enquête
- Nombre de chèvres possédés par le ménage au moment de l'enquête
- Nombre de porcs possédés par le ménage au moment de l'enquête
- Actuellement, le ménage possède-t-il plus de 5 volailles : (1) oui ; (2) non
- Le chef de ménage habite-t-il actuellement : (1) à Ouarégou ; (2) dans un autre village au Burkina ; (3) à la ville au Burkina ; (4) dans un village à l'étranger ; (5) dans une ville à l'étranger   
 + si (1), le chef de ménage a-t-il une autre activité qu'agricole procurant des revenus au ménage : (1) oui ; (2) non   
 si oui, laquelle : ....

## ANNEXE 2-3 /

### Questionnaire du suivi hebdomadaire de la morbidité

Nom et prénom(s) de l'enfant : .....

Date de la première enquête: ..... / ..... / ..... Zone d'enquête (1) Z1 ; (2) ZT) : |\_|

Nom et prénom(s) de l'enquêtrice: .....

**Question:** Au cours des 7 derniers jours votre enfant souffrait-il des maladies suivantes ou présentait-il les symptômes suivants ? Si oui, combien de jour(s) dans la semaine ?

Semaines	Date (j/mois/ années)	Vomissements	Fièvre	Selles liquides	Infections respiratoires aiguës (toux, otite, pharyngite)			Maladies de la peau	Autres maladies	Anorexie (manque d'appétit, constaté par la mère)		
					O/N	N jours	O/N	N jours	O/N	N jours	O/N	N jours
1							< 3	= 3	O/N	N jours	O/N	N jours
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												

## ANNEXE 2-4

### QUESTIONNAIRE DU SUIVI HEBDOMADAIRE DES CONSOMMATIONS ALIMENTAIRES

Nom et prénom(s) de l'enfant : ..... **Code** |\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|

Zone d'enquête (1): ZI; 2: ZT): |\_\_|

Date de l'enquête: |\_\_|\_\_| / |\_\_|\_\_| / |\_\_|\_\_| N° de la semaine : |\_\_|\_\_|

Nom et prénom(s) de l'enquêtrice: .....

	Hier, avez-vous donné à l'enfant: (1) oui; (2) non	<b>Si oui</b> , combien de fois (hier)	<b>Si non</b> , au cours des 7 derniers jours avez-vous donné à l'enfant: (1) oui; (2) non
du lait maternel (durant le jour)		Nombre de tétées:	
Du lait maternel (durant la nuit)		Nombre de tétées:	
De l'eau			
Du lait de vache			
Du lait en poudre ou concentré			
Du jus de fruit			
D'autres liquides (spécifier)			
Des bouillies fabriquées dans le ménage			
Des bouillies préparées à partir de farines infantiles		Nombre: Nom:	Nom
Les bouillies préparées à partir du complément nutritionnel			
Biscuits			
Fruits			
Plat familial			
Autres aliments (spécifier)			

*NB: Hier correspond à la période entre le réveil de l'enfant le matin du jour précédent et son réveil le jour de l'enquête.*

## ANNEXE 2-5

### Fiche de recueil des mesures anthropométriques

N° de codification : |\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|  
 Date de l'enquête: |\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|  
 Période de l'enquête : (1) avant intervention ; (2) après intervention |\_\_\_\_|  
 Nom et Prénom (s) de l'enfant: ..... **Sexe:** |\_\_\_\_|  
 Date de naissance de l'enfant: |\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_|  
 Nom et prénom (s) de la mère..... |\_\_\_\_|\_\_\_\_|  
 N° de la concession: |\_\_\_\_|\_\_\_\_|  
 N° de ménage dans la concession: |\_\_\_\_|\_\_\_\_|

<b>1 – Taille</b>		
<b>MERE</b>	<i>première mesure</i>	____ ____ cm ____
	<i>Deuxième mesure</i>	____ ____ cm ____
	<i>Troisième mesure</i>	____ ____ cm ____
<b>Taille :</b> (ne reporter que les trois premières mesures qui ne diffèrent que de 1 mm maximum)	Moyenne des mesures  ____ ____ cm ____	
<b>ENFANT</b>	<i>première mesure</i>	____ ____ cm ____
	<i>Deuxième mesure</i>	____ ____ cm ____
	<i>Troisième mesure</i>	____ ____ cm ____
<b>Taille en position couchée :</b> (ne reporter que les trois premières mesures qui ne diffèrent que de 1 mm maximum)	Moyenne des mesures :  ____ ____ cm ____	

<b>2 – Poids</b> (ne reporter que les 3 premières séries de mesures permettant de calculer des poids de l'enfant qui ne diffèrent que de 100 g maximum)		
Première série de mesure	Deuxième série de mesure	Troisième série de mesure
Mère+enfant  ____ ____ .____ kg	Mère+enfant  ____ ____ .____ kg	Mère+enfant  ____ ____ .____ kg
Mère  ____ ____ .____ kg	Mère  ____ ____ .____ kg	Mère  ____ ____ .____ kg
Enfant (différence) ____ ____ .____ kg	Enfant (différence) ____ ____ .____ kg	Enfant (différence) ____ ____ .____ kg
Poids de l'enfant (moyenne des 3 mesures) :  ____ ____ .____ kg		

## ANNEXE 2-6 : Consommations alimentaires de la journée (eau, lait maternel, plat familial, bouillies, autres) date : nom de l'enfant : code : A| | |

Pour les bouillies expérimentales, remplir la fiche spécifique	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nature : .....</li> <li>heure de début de la consommation : .....</li> <li>heure de fin : .....</li> <li><i>Sur le lait maternel</i>, durée de la tétée : .....</li> <li>quantités estimées (sauf pour le lait maternel) : .....</li> </ul>





## **Note explicative concernant la manière de remplir la fiche de recueil des observations et des mesures d'ingrédés pour les aliments de complément autres que les bouillies**

Cette fiche est destinée à évaluer par pesée les ingrédients utilisés lors de la constitution des plats et à calculer à partir de détermination du poids des récipients avant et après consommation les quantités d'aliments complémentaires consommées par les enfants lors des enquêtes de consommation alimentaires.

La fiche doit être remplie en respectant les recommandations ci-après :

- les ingrédients entrant dans la préparation du plat ainsi que leur quantité (évaluée par pesée) doivent être notés dans la première colonne ; chaque ligne correspond à un type donné de recette (première recette, deuxième recette, etc.).
- les différents ingrédient entrant dans la préparation du plat sont codifiés (A, B, C, etc.) et notés dans la deuxième colonne.
- les différents types de plats (plat familial, plat spécial, ...) doivent être notés dans la troisième colonne.
- les codes des différents plats, correspondants à la combinaison des codes des ingrédients, doivent être notés dans la quatrième colonne.
- Le poids du récipient avant consommation est à noter dans la sixième colonne et le poids après consommation est à noter dans la septième colonne.
- La neuvième colonne correspond à celle où doit être notée la quantité consommée par l'enfant. Cette quantité correspond à la différence entre le poids du plat avant consommation et le poids du plat après consommation soustrait des pertes issues des régurgitations, en tenant compte éventuellement de la tare.
- Le poids vide (tare) du récipient utilisé pour distribuer l'aliment à l'enfant est donné dans la dixième colonne.
- Dans la onzième colonne, on placera le poids net du plat versé dans le récipient utilisé pour le distribuer à l'enfant (différence entre les valeurs portées dans la 6eme et 10eme colonne).
- Les différents prélèvements d'aliments en vue d'analyses et leurs codes sont à noter dans la dernière colonne.

## **Publications (*articles publiés, acceptés et soumis*) se rapportant à la présente thèse de Doctorat**

Traoré T., Vieu M-C., Traoré A. S., 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*, in press.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2005.07.001>

Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Traoré A. S., Trèche S. 2004a. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chemistry*, 88, 105-114.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.032>

Traoré T., Zagré N., Traoré AS., Trèche S., 2004b. Effet de la consommation de bouillies fortifiées de haute densité énergétique sur les ingérés, la croissance et le statut en fer et en vitamine A d'enfants de 6 à 10 mois en zones rurales sahéliennes. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 539-552.

[http://www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003/abstracts/0618\\_FP\\_O3\\_BurkinaFaso\\_Traore.pdf](http://www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003/abstracts/0618_FP_O3_BurkinaFaso_Traore.pdf)  
<http://www.mpl.ird.fr/fn2ouaga/>

Traoré T., Icard-Vernière C., Mouquet C., Picq C., Traoré A. S., Trèche S. (2004c). Variation de l'activité  $\alpha$ -amylasique et des teneurs en certains nutriments et facteurs anti-nutritionnels au cours de la préparation de farines de céréales germées par les dolotières de Ouagadougou. In Brouwer ID, Traoré AS, Trèche S eds : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso (23-28 novembre 2003)*. Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 525-538.

[www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003/abstracts/0617\\_FP\\_P3\\_BurkinaFaso\\_Traore.pdf](http://www.univ-ouaga.bf/fn2ouaga2003/abstracts/0617_FP_P3_BurkinaFaso_Traore.pdf)  
<http://www.mpl.ird.fr/fn2ouaga/>

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.

<http://taylorandfrancis.metapress.com/link.asp?id=dcrhcblbrfynkjv>

Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Rochette I., Traoré A. S., Trèche S. Influence of the technological know-how of producers on the biochemical characteristics of red sorghum malt from small scale production units in Ouagadougou (Burkina Faso). Article soumis à *International Journal of Food Sciences and Nutrition*.

Traoré T., Mouquet C., Traoré A. S., Trèche S. Voies d'amélioration des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des bouillies préparées à partir de farines infantiles produites localement au Burkina Faso. Article soumis à *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*.

Traoré T., Mouquet C., Icard-Vernière C., Rochette I., Picq C., Traoré A. S., Trèche S. Effects de modifications du procédé de maltage traditionnellement utilisé au Burkina Faso sur les activités  $\alpha$ -amylasique et phytasique et sur les teneurs en phytates, fer et zinc du sorgho rouge. Article soumis à *Cahiers Agricultures*.

## **TITLE**

# **Definition and assessment of a strategy for improvement of complementary feeding of young children in Burkina Faso**

---

## **ABSTRACT**

The main objective of the present thesis is to study the conditions allowing the improvement of the production and the promotion of complementary foods in view to reduce the prevalence of infant malnutrition in Burkina Faso. More specifically, our work consisted in *(i)* highlighting the main factors affecting infant energy and nutrient intakes, *(ii)* developing improved processes for the production, at low cost, of infant flours having the nutritional, organoleptic and hygienic qualities required to be used as complementary foods and *(iii)* evaluating the biological effectiveness of an infant flour in rural zone.

The results of all the studies related to the factors affecting infant energy and nutrient intakes showed clearly the nutritional benefit of an increase of the gruel energy density (ED). Indeed, despite the fact that lower quantities are consumed, the consumption of high ED gruels led to an increase of energy intakes of at least 60% in comparison with low ED gruels. Whatever the type of gruel, the increase of the duration of the habituation period (up to 10-days) did not increase amount consumed and energy intakes. However, whatever their ED, the amounts of gruels consumed remained very low and far lower than the infant gastric capacity. Therefore, gruel feeding twice a day did not cover more than 18% of infant total energy requirements.

Our studies on the improvement of the organoleptic characteristics of gruels allowed us to optimise the incorporation rates of some raw materials (groundnut). They showed also the interest of the introduction of local ingredients (pulp of *Adansonia digitata* and pulp of *parkia biglobosa*). The traditional processes of cereal malting was studied in view to produce locally enzymatic sources that may be added to infant flours. Results mainly showed that malting was effective in reducing phytate contents and increasing  $\alpha$ -amylase and phytase activities. The germination of red sorghum induced a significant increase in cyanide content which, fortunately, can be considerably reduced by the manual removal of the sprouts of the seeds. A malting process characterized by a longer durations of steeping and germination and using canaries as supports for steeping and germination was retained for the preparation of malt intended to be incorporated in an infant flour produced at a community level.

To evaluate the effectiveness of improved gruels (IG), prepared from an infant flour including malt, studies were led in the village of Ouarégou. Results showed that the consumption of IG having high energy and nutrient densities permitted a significant increase in energy intake from gruels compared with that obtained from traditional gruels having low energy and nutrient densities. It proved to be effective to improve growth and iron status of young children between 6 and 10 months of age. However, the low level of IG consumed did not permit to reach sufficient level of vitamin A intakes (VA) to have an impact on the VA status.

In the light of all our results, methods to produce and use complementary foods that can help to reduce the prevalence of infant malnutrition can be proposed. The results already allowed us to define a strategy for the improvement of complementary feeding of young children that we implemented at pilot scale in the village of Ouarégou, to be evaluated according to a controlled trial.

---

**Key words :** Complementary feeding – young children – energy density – sources of amylase  
– Anti-nutritional factors – biological effectiveness – Burkina Faso

## RESUME

---

L'objectif général de la présente thèse est d'approfondir les connaissances et d'étudier les conditions permettant de proposer des améliorations aux niveaux de la production et de la promotion des aliments de complément en vue de contribuer à réduire les prévalences de malnutrition chez les nourrissons au Burkina Faso. Il s'est agi spécifiquement (*i*) de mettre en évidence les facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez les nourrissons, (*ii*) de mettre au point des procédés améliorés pour la production de farines infantiles bon marché tout en possédant les qualités nutritionnelles, organoleptiques et hygiéniques requises pour être utilisées comme aliments de complément et (*iii*) d'évaluer l'efficacité biologique d'une farine infantile en zone rurale.

Les résultats de l'ensemble des travaux sur les facteurs influençant les ingérés en énergie et en nutriments chez les nourrissons font ressortir clairement l'intérêt nutritionnel de l'augmentation de la densité énergétique (DE) des bouillies. En effet, malgré des quantités consommées plus faibles, les bouillies de haute DE permettent d'augmenter d'au moins 60% les ingérés énergétiques par rapport à ceux obtenus à partir des bouillies de faible DE. Il a pu être mis en évidence que, quelle que soit la DE des bouillies, l'augmentation de la durée de la période d'accoutumance n'a pas d'effet sur les ingérés. Cependant, quel que soit le type de bouillie, les quantités consommées restent faibles et bien inférieures à la capacité gastrique théorique des nourrissons et la consommation de deux bouillies par jour, ne permet pas de couvrir plus de 17% des besoins énergétiques des nourrissons.

Nos travaux relatifs à l'amélioration des caractéristiques organoleptiques des bouillies ont permis d'optimiser les taux d'incorporation de certaines matières premières (arachide) et de révéler l'intérêt de l'introduction d'ingrédients locaux (pain de singe et pulpe de néré). Les travaux sur les procédés traditionnels de maltage des céréales, en vue de la mise au point de sources enzymatiques locales susceptibles d'être incorporées dans des farines infantiles ont montré principalement que le maltage se traduit par une réduction des teneurs en phytates et une augmentation des activités  $\alpha$ -amylasique et phytasique. La germination du sorgho rouge s'accompagne d'une augmentation importante des teneurs en cyanures qui peuvent, heureusement, être facilement éliminés par dégermage manuel des grains germés. Un procédé de maltage caractérisé par des durées de trempage et de germination plus longues et utilisant des canaris comme supports de trempage et de germination a été retenue pour la préparation de malt destiné à être incorporé dans une farine infantile produite à l'échelle communautaire.

Les résultats de nos travaux réalisés dans le village de Ouarégou pour évaluer l'efficacité des bouillies améliorées (BA), préparées à partir d'une farine infantile, ont montré que la consommation de bouillies fortifiées de haute densité en énergie et en nutriments permet une amélioration très significative des ingérés énergétiques par rapport aux bouillies traditionnelles. Elle s'est révélée efficace pour améliorer la croissance en taille et le statut en fer des nourrissons. Cependant, le faible niveau d'ingéré des BA n'a pas permis d'atteindre des niveaux d'apports en vitamine A (VA) suffisants pour avoir un impact sur le statut en VA.

A la lumière des résultats de l'ensemble de nos travaux, des modalités de production et d'utilisation d'aliments de complément susceptibles de contribuer à la réduction des prévalences de malnutrition observées chez les nourrissons peuvent être proposées. Les résultats obtenus ont d'ores et déjà permis d'élaborer une stratégie d'amélioration de l'alimentation du jeune enfant qui a été mise en place à l'échelle pilote dans le village de Ouarégou, pour y être évaluée selon un schéma contrôlé.

---

**Mots clés :** Alimentation de complément – jeune enfant – densité énergétique – sources amylasiques – facteurs antinutritionnels – efficacité biologique – Burkina Faso

---

**DISCIPLINE : NUTRITION ET SCIENCES DES ALIMENTS**