
Dépôt Institutionnel de l'Université libre de Bruxelles /
Université libre de Bruxelles Institutional Repository
Thèse de doctorat/ PhD Thesis

Citation APA:

Ouedraogo, H. (2008). *Anémie chez les jeunes enfants: situation et stratégies de prévention en milieu rural du Burkina Fasso* (Unpublished doctoral dissertation). Université libre de Bruxelles, Ecole de Santé publique, Bruxelles.

Disponible à / Available at permalink : <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/210436/14/06c59342-3bd8-4d9c-9f48-86c6f9bf1f50.txt>

(English version below)

Cette thèse de doctorat a été numérisée par l'Université libre de Bruxelles. L'auteur qui s'opposerait à sa mise en ligne dans DI-fusion est invité à prendre contact avec l'Université (di-fusion@ulb.be).

Dans le cas où une version électronique native de la thèse existe, l'Université ne peut garantir que la présente version numérisée soit identique à la version électronique native, ni qu'elle soit la version officielle définitive de la thèse.

DI-fusion, le Dépôt Institutionnel de l'Université libre de Bruxelles, recueille la production scientifique de l'Université, mise à disposition en libre accès autant que possible. Les œuvres accessibles dans DI-fusion sont protégées par la législation belge relative aux droits d'auteur et aux droits voisins. Toute personne peut, sans avoir à demander l'autorisation de l'auteur ou de l'ayant-droit, à des fins d'usage privé ou à des fins d'illustration de l'enseignement ou de recherche scientifique, dans la mesure justifiée par le but non lucratif poursuivi, lire, télécharger ou reproduire sur papier ou sur tout autre support, les articles ou des fragments d'autres œuvres, disponibles dans DI-fusion, pour autant que :

- Le nom des auteurs, le titre et la référence bibliographique complète soient cités;
- L'identifiant unique attribué aux métadonnées dans DI-fusion (permalink) soit indiqué;
- Le contenu ne soit pas modifié.

L'œuvre ne peut être stockée dans une autre base de données dans le but d'y donner accès ; l'identifiant unique (permalink) indiqué ci-dessus doit toujours être utilisé pour donner accès à l'œuvre. Toute autre utilisation non mentionnée ci-dessus nécessite l'autorisation de l'auteur de l'œuvre ou de l'ayant droit.

----- **English Version** -----

This Ph.D. thesis has been digitized by Université libre de Bruxelles. The author who would disagree on its online availability in DI-fusion is invited to contact the University (di-fusion@ulb.be).

If a native electronic version of the thesis exists, the University can guarantee neither that the present digitized version is identical to the native electronic version, nor that it is the definitive official version of the thesis.

DI-fusion is the Institutional Repository of Université libre de Bruxelles; it collects the research output of the University, available on open access as much as possible. The works included in DI-fusion are protected by the Belgian legislation relating to authors' rights and neighbouring rights. Any user may, without prior permission from the authors or copyright owners, for private usage or for educational or scientific research purposes, to the extent justified by the non-profit activity, read, download or reproduce on paper or on any other media, the articles or fragments of other works, available in DI-fusion, provided:

- The authors, title and full bibliographic details are credited in any copy;
- The unique identifier (permalink) for the original metadata page in DI-fusion is indicated;
- The content is not changed in any way.

It is not permitted to store the work in another database in order to provide access to it; the unique identifier (permalink) indicated above must always be used to provide access to the work. Any other use not mentioned above requires the authors' or copyright owners' permission.

ULB

UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES

ESP

ECOLE DE SANTE PUBLIQUE

THESE

Anémie chez les jeunes enfants :
Situation et stratégies de prévention en milieu rural
du Burkina Faso.

Présentée par
Hermann OUEDRAOGO

En vue de l'obtention du titre de
Docteur en Sciences de la Santé Publique

Universite Libre de Bruxelles



003395020

Promoteur
Prof. Philippe DONNEN

Remerciements

Ces travaux de thèse font suite à ma formation de base en Santé publique, Nutrition et santé de l'enfant dans les pays en développement. Au cours de cette formation puis des travaux qui ont suivi, mes moments difficiles ont été rendus supportables par des personnes d'un humanisme exceptionnel agissant aussi bien à travers les institutions qu'elles servent, qu'à travers leur haute bienveillance personnelle. Puisse ce travail être le témoin de ma profonde gratitude :

A l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS), Burkina Faso ;

A l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso ;

Au district sanitaire de Kongoussi, Burkina Faso ;

A l'Université Libre de Bruxelles (ULB), Belgique ;

Au CGRI (Commissariat Général aux Relations Internationales) de la Communauté Française Wallonie-Bruxelles, Belgique ;

A la CUD (Coopération Universitaire pour le Développement), Belgique ;

A la Fondation Nestlé, Suisse ;

Au Professeur Philippe Donnen, qui, pétri de rigueur scientifique et de talent de conseiller, a su redresser la barre dans les moments de blocage et me donner le courage pour mener ce travail jusque là ;

Au Professeur Michèle Dramaix, dont les grandes qualités pédagogiques et la bonne humeur permanente m'ont permis de rester optimiste pour la réalisation de cette thèse ;

Au Professeur Philippe Hennart, dont l'immensité des connaissances sur les questions de nutrition et santé de l'enfant n'a d'égal que sa modestie qui m'a permis de lui poser souvent mes problèmes aussi bien d'ordre scientifique qu'administratif qui ont toujours été solutionnés ;

Au Professeur France Kittel, qui a toujours été à mon écoute, et a suivi ce travail avec beaucoup d'attention et d'intérêt ;

Aux Professeurs Alain Levêque et Daniel Brasseur pour les enseignements de haut niveau reçus en Epidémiologie et en Nutrition et santé de l'enfant à l'ULB, et pour leur constante disponibilité ;

Au Professeur Patrick Kolsteren, dont j'ai été impressionné par la grande culture scientifique, et qui m'a donné le privilège de le rencontrer dans son département de Nutrition à l'Institut de Médecine Tropicale d'Anvers pour discuter de ce travail ;

A la mémoire du Professeur René Tonglet ;

Au Dr Dayéri Dianou, chef du Département Biomédical et de Santé de l'IRSS, le modèle de chef au service de ses administrés ;

Au Dr Salam Ouédraogo, qui a été un aîné exemplaire pendant mes stages hospitaliers durant mes études de médecine, et un appui solide dans l'exercice de la profession en me faisant appel pour le suivi des enfants du district sanitaire de Kongoussi dont il était le médecin-chef ;

Au Dr Tahirou Traoré, qui a su mettre ses compétences de Technologue alimentaire au profit de ce travail ;

A tous mes amis, à mes collègues et à ma famille, pour les moments difficiles et les moments agréables passés ensemble sur le chemin de cette formation ;

Aux médecins-chefs du district sanitaire de Kongoussi qui se sont succédés entre 2001 et 2007, Dr Seydou Gnanou, Dr Cyriaque Dah, Dr Honoré Tinguéri, et aux agents de santé du district ;

Aux enfants de Kongoussi et à leurs parents, merci pour votre courage et pour la confiance que m'avez faite en m'ouvrant vos maisons. Je garde un cœur sensible à vos malheur et bonheur.

Résumé

L'anémie est un problème de santé publique très répandu, avec des conséquences majeures sur la santé humaine et le développement économique et social. Elle affecte avec prédilection les jeunes enfants et les femmes enceintes. Ce travail avait pour objectifs d'analyser la situation de l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi (Burkina Faso), et de tester l'efficacité de stratégies intégrées de lutte. Il a consisté en deux enquêtes transversales et deux études d'intervention en population, menées entre janvier 2004 et juin 2006.

La prévalence (IC à 95%) de l'anémie était de 98,8% (97,6 ; 99,9) parmi ces enfants, et la prévalence (IC à 95%) de l'anémie sévère de 29,5% (23,9 ; 35,0). Parmi les enfants présentant une anémie, 65,1% avaient une anémie hypochrome.

Les enfants ne présentant pas de retard de croissance avaient un taux moyen (ES) d'hémoglobine plus élevé que les enfants présentant un retard de croissance : 81,1 (2,6) contre 77,2 (2,8) g/L, ($p=0,026$). La prévalence (IC à 95%) du retard de croissance était de 35,8% (29,4 ; 41,1). Le retard de croissance était associé aux pratiques d'alimentation de complément chez les enfants âgés de 12-23 mois. L'indice z-score de la taille pour l'âge était en moyenne (DS) de -1,33 (0,63), -1,61 (0,30), et -2,11 (0,32) chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales fortifiées, chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales non fortifiées, et chez les enfants qui ne recevaient pas d'aliments de complément, respectivement ($p=0,018$).

L'infection à *Plasmodium falciparum* était présente chez 52,6% des enfants, 25,6% étant non fébrile et 27,0% fébrile. En comparaison aux enfants non infectés, les enfants ayant une infection fébrile, mais aussi ceux ayant une infection non fébrile avaient un taux d'hémoglobine plus faible, les différences (ES) étant de 7,86 (1,75) g/L avec $p<0,001$ et de 3,52 (1,74) g/L avec $p=0,044$, respectivement.

Dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthoses, la supplémentation en fer pendant 6 mois a conduit à une augmentation moyenne (DS) du taux d'hémoglobine de 16,3 (13,6) g/L ($p < 0,001$), alors que cette augmentation a été de 22,8 (14,6) g/L ($p < 0,001$) pour la supplémentation en micronutriments multiples, soit une différence (IC à 95%) de 6,5 (2,0 ; 11,1) avec $p = 0,003$. La supplémentation en fer conduisait à une réduction de la prévalence de l'anémie de 40,6%, alors que cette réduction était de 62,0% avec la supplémentation en micronutriments multiples, soit un ratio ajusté de prévalences de guérison [PRR (IC à 95%)] de 1,62 (1,22 ; 2,15), $p < 0,001$.

Une farine améliorée a été produite à partir d'ingrédients disponibles localement ; elle se composait de petit mil (51,7%), haricots (8,8%), arachide (7,8%), malt de sorgho rouge (9,0%), *soumbala* (9,3%), sucre (12,7%), et de sel iodé (0,8%). La bouillie améliorée préparée avec cette farine avec une consistance de 120 mm/30 s (distance d'écoulement dans un consistomètre de Bostwick) avait une densité énergétique de 103 kcal/100 g, une teneur en fer de 2,6 mg/100 kcal, et une teneur en zinc de 1,2 mg/100 kcal. La production de la farine et la préparation de la bouillie étaient reproductibles par les ménagères.

La consommation de bouillie à chaque session était en moyenne de 29 ou 28 g/kg de poids corporel/repas, correspondant à 108 ou 105% de la consommation souhaitée, alors que la présence au centre de nutrition ouvert dans le village n'était que de 68 ou 58%, dans le groupe consommant la bouillie sans supplément de micronutriments et le groupe consommant la bouillie avec un supplément de micronutriment multiples, respectivement.

Dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthoses la consommation de la bouillie améliorée sans supplément de micronutriments conduisait à une augmentation du taux d'hémoglobine de 14,8 (11,8) g/L ($p < 0,001$), et la consommation de la bouillie améliorée avec des suppléments de micronutriments multiples entraînait une augmentation de 17,3 (15,8) g/L ($p < 0,001$), soit une différence (IC à 95%) de 3,5 (-1,0 ; 8,1) g/L

($p=0,13$). La prévalence de l'anémie en fin d'intervention était de 67,9% et de 55,6% dans les groupes BA et BAM, respectivement ($p=0,13$)

Ces résultats soulignent la nécessité de mesures permettant de réduire rapidement la prévalence de l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois de ce district. La stratégie de supplémentation en micronutriments multiples combinée à la prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthiases est la stratégie à préférer.

La supplémentation en micronutriments multiples pourrait être relayée progressivement par la stratégie basée sur une alimentation de complément améliorée au niveau des ménages, toujours dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthiases. Intégrés dans la routine des ménages et soutenus par une formation et une éducation nutritionnelles, les procédés de production de farine puis de bouillie améliorée devraient avoir une plus grande portée sur la prévention de l'anémie à moyen et long termes.

Summary

Anaemia is a widespread public health problem with major consequences for human health as well as social and economic development. Pregnant women and young children are the most affected. This work aimed at 1) analysing the anaemia situation among children aged 6-23 months of the rural district of Kongoussi (Burkina Faso), and 2) assessing the efficacy of integrated strategies. Two cross-sectional and two randomised, population-based studies were conducted over the January 2004-June 2006 period.

The prevalence (95% CI) of anaemia was 98.8% (97.6 ; 99.9); that of severe anaemia was 29.5 (23.9 ; 35.0). Hypochromia was retrieved in 65.1% of anaemic children.

Mean (SE) haemoglobin concentration was higher in non-stunted children [81.1 (2.6) g/L] than in their stunted counterparts [77.2 (2.8) g/L], $p=0.026$. The prevalence (95% CI) of stunting was 35.8% (29.4 ; 41.1). After adjustment for children, mothers and household characteristics, and for current and past breastfeeding patterns, the height-for-age z-score (HAZ) remained associated with the mode of complementary feeding among children aged 12-23 months. The adjusted mean HAZ (SE) was -1.33 (0.63), -1.61 (0.30), and -2.11 (0.32) among children consuming fortified cereals, unfortified cereals, or no complementary food, respectively ($p=0.018$)

Plasmodium falciparum infection was noted in 52.6% of children with 25.6% being afebrile and 27.0% being febrile. Compared to uninfected children, children with febrile infection and those with afebrile infection had lower haemoglobin concentration, the differences (ES) being 7.86 (1.75) g/L ($p<0.001$) and 3.52 (1.74) g/L ($p=0.044$), respectively.

Combined with malaria and geohelminths preventive and curative care, daily iron supplementation for 6 months led to a mean increase (SD) of haemoglobin concentration of 16.3 (13.6) g/L ($p<0.001$), whereas the increase was 22.8 (14.6) g/L ($p<0.001$) with daily multiple

micronutrients supplementation. The difference (95% CI) of haemoglobin concentration at the end of intervention was of 6.5 (2.0 ; 11.1), $p=0.003$. Iron supplementation reduced the prevalence of anaemia by 40.6%, while the reduction was of 62.0% with the multiple micronutrients supplementation. The prevalence rate ratio [PRR (95% CI)] of children who were cured from anaemia at the end of intervention was 1.62 (1.22 ; 2.15), $p<0.001$.

A new, local-ingredient-based flour was developed to prepare an improved mush for children. It was composed of pearl millet (51.7%), beans (8.8%), peanuts (7.8%), malted red sorghum (9.0%), *soumbala* (9.3%), sugar (12.7%) and iodized salt (0.8%). When this improved mush was prepared with a consistency of 120 mm/30 s (Bostwick flow distance), its volumetric mass, energy density, iron content and zinc content are 103 g/100 ml, 103 kcal/100 g, 2.6 mg/100 kcal, and 1.2 mg/100 kcal respectively. The flour production and mush preparation were reproducible by rural housewives.

The average mush consumption was 29 and 28 g/kg body weight/meal, corresponding to 108 and 105% of the desired consumption, whereas the child's presence at the nutrition centre that was opened in his village was 68 and 58%, in the group consuming the mush without micronutrient supplement (MG) and that consuming the mush with a multiple micronutrients supplement (MMG). Mean (SD) haemoglobin concentration increased of [14.8 (11.8) g/L, $p<0.001$] in the MG and [17.3 (15.8) g/L, $p<0.001$] in the MMG. The between group difference (95% CI) of 3.5 (-1.0 ; 8.1) g/L in mean (SD) endpoint haemoglobin concentration was not significant ($p=0.13$). The prevalence of anemia at the end of intervention was 67.9% and 55.6% in the MG and MMG, respectively ($p=0.13$)

These results underline the need of urgent actions to rapidly reduce the prevalence of anemia. The multiple micronutrients supplementation combined with malaria and geohelminths preventive and curative care is the strategy to prefer. However, this strategy could be progressively replaced by that including complementary feeding improvement. To increase the

mush consumption and better meet the needs of young children, flour and mush production must enter the routines of individual households. If this integration is to succeed, it should be supported by a large-scale program of training and nutrition education.

Sigles et abréviations

AGR :	Activités Génératrices de Revenus
CERS :	Comité d’Ethique pour la Recherche en Santé
CRP :	C-reactive Protein
CSPS :	Centre de Santé et de Promotion Sociale
EDS :	Enquête Démographique et de Santé
FRSM :	Fonds pour la Recherche Scientifique Médicale
ICCIDD :	International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders
IMC :	Indice de masse corporelle
IRIS :	International Research on Infant Supplementation
MI :	Micronutrient Initiative
MM :	Micronutriments Multiples
NCHS :	National Centre for Health Statistics
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
PF :	Plasmodium falciparum
PRR :	Prevalence Rate Ratio
PSP :	Poste de Santé Primaire
UNICEF :	United Nations Children’s Fund
WHO :	World Health Organization
ZIA :	Z-score de l’indice de masse corporelle pour l’âge
ZPA :	Z-score du poids pour l’âge
ZPT :	Z-score du poids pour la taille
ZTA :	Z-score de la taille pour l’âge

Table des matières

1. Introduction générale	15
1.1. Définitions	15
1.1.1. <i>Anémie</i>	15
1.1.2. <i>Hémoglobine</i>	15
1.1.3. <i>Micronutriments</i>	16
1.1.4. <i>Fer</i>	18
1.2. Epidémiologie de l'anémie chez l'enfant.....	27
1.2.1. <i>Ampleur</i>	27
1.2.2. <i>Causes</i>	28
1.3. Conséquences sanitaires de l'anémie chez l'enfant	29
1.4. Moyens de prévention de l'anémie chez l'enfant	30
1.4.1. <i>Supplémentation</i>	30
1.5.2. <i>Fortification</i>	31
1.5.3. <i>Diversification alimentaire</i>	31
1.5.4. <i>Stratégies intégrées</i>	31
2. Hypothèses et objectifs	37
2.1. Hypothèses	37
2.2. Objectifs.....	37
2.2.1. <i>Objectifs généraux</i>	37
2.2.2. <i>Objectifs spécifiques</i>	38
3. Méthodologie générale	39
3.1. Contexte d'étude	39
3.1.1. <i>Le Burkina Faso</i>	39
3.1.2. <i>Le district de Kongoussi</i>	44
3.2. Enquêtes transversales	46
3.2.1. <i>Population et échantillonnage</i>	46
3.2.2. <i>Données collectées</i>	47
3.3. Etudes d'intervention.....	47
3.3.1. <i>Critères d'inclusion</i>	48
3.3.2. <i>Critères d'évaluation</i>	48
3.4. Considérations éthiques	48
3.5. Traitement des données et analyses statistiques.....	49
3.6. Financement	50

4. Première partie des résultats : prévalence et facteurs contributifs de l'anémie.....	53
4.1. Anémie et facteurs associés.....	54
4.1.1. <i>Prévalence de l'anémie, indices globulaires et facteurs associés au taux d'hémoglobine chez les enfants de 6-23 mois du district rural de Kongoussi, Burkina Faso</i>	54
4.2. Malnutrition.....	66
4.2.1. <i>Les pratiques ménagères d'amélioration des aliments de complément sont associées à un meilleur indice taille pour âge chez les enfants âgés de 12-23 mois d'un district rural au Burkina Faso</i>	66
4.3. Anémie et paludisme.....	83
4.3.1. <i>Anémie sévère due à l'infection non fébrile à Plasmodium falciparum chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi, Burkina Faso</i>	83
5. Deuxième partie des résultats : stratégies de prévention de l'anémie.....	98
5.1. Stratégie intégrée de supplémentation en micronutriments multiples et de lutte contre les parasitoses.....	99
5.1.1. <i>Effet de la supplémentation en fer ou en micronutriments multiples sur la prévalence de l'anémie chez les jeunes enfants présentant une anémie en milieu d'endémie palustre : un essai en population randomisé en double aveugle</i>	99
5.2. Stratégie intégrée de supplémentation en micronutriments, de lutte contre les parasitoses, et d'amélioration de l'alimentation de complément.....	127
5.2.1. <i>Développement d'une bouillie améliorée à base d'ingrédients locaux et transfert de technologie à des ménagères rurales</i>	128
5.2.2. <i>Une farine améliorée, à base d'ingrédients locaux traités, pour améliorer les ingérés en énergie, fer et zinc chez les enfants de 6-23 mois : une intervention communautaire</i>	146
5.2.3. <i>Effet d'une bouillie améliorée, administrée avec ou sans supplément de micronutriments multiples, sur le taux d'hémoglobine chez les enfants de 6-23 mois : essai en population, randomisé</i>	170
6. Synthèse et conclusion générale.....	193
6.1. Rappel des hypothèses.....	193
6.2. Rappel des objectifs.....	193
6.3. Synthèse des principaux résultats.....	194
6.3.1. <i>Prévalence de l'anémie et facteurs associés</i>	194
6.3.2. <i>Stratégies de prévention de l'anémie</i>	195
6.4. Conclusion générale.....	196
6.4.1. <i>Défis liés à la prévention de l'anémie</i>	196
6.4.2. <i>Recommandations</i>	198
7. Références.....	200

8. Annexes	222
8.1. Annexes A: Vitamines, minéraux et oligo-éléments d'intérêt nutritionnel.....	222
<i>Annexe A1: Vitamines liposolubles : rôles, signes de carence et sources alimentaires</i>	222
<i>Annexe A2 : Vitamines hydrosolubles : rôles, signes de carence et sources alimentaires</i>	223
<i>Annexe A3 : Principaux sels minéraux et oligo-éléments : rôles, signes de carence et sources alimentaires</i>	224
.....	224
<i>Annexe A4 : Besoins quotidiens recommandés en micronutriments</i>	225
8.2. Annexes B : Données sur la situation nutritionnelle au Burkina Faso.....	226
<i>Annexe B1 : Pratiques d'alimentation du nourrisson et conséquences nutritionnelles</i>	226
<i>Annexe B2 : La vulnérabilité structurelle à la sécurité alimentaire en milieu rural (Burkina Faso)</i>	227
<i>Annexe B3: Hydro-aménagements et situations nutritionnelles des enfants</i>	228
<i>Annexe B4 : Enquête sur la santé scolaire dans la zone de Kayao</i>	229
<i>Annexe B5 : Enquête sur les conditions de vie des ménages</i>	230
<i>Annexe B6 : Héméralopie et facteurs non alimentaires chez les enfants du district sanitaire de Kongoussi</i>	231
.....	231
<i>Annexe B7 : Volet nutritionnel des Journées Nationales de Vaccination (JNV)</i>	232
<i>Annexe B8 : Journées Nationales Micronutriments (JNM)</i>	233
8.3. Annexe C : Classification physiopathologique de l'anémie	234
8.4. Annexes D : Outils de collecte des données.....	235
<i>Annexe D1 : Questionnaire</i>	235
<i>Annexe D2 : Fiche d'examen médical</i>	237
<i>Annexe D3 : Fiches de coche</i>	238
<i>Annexe D4 : Autres fiches</i>	241

1. Introduction générale

1.1. Définitions

1.1.1. Anémie

C'est la diminution de la masse d'hémoglobine circulante qui définit l'anémie [1]. La fonction des globules rouges du sang, qui est d'apporter l'oxygène jusqu'aux tissus, est assurée par l'hémoglobine qu'ils contiennent.

1.1.2. Hémoglobine

L'hémoglobine est synthétisée au cours de l'érythropoïèse, c'est-à-dire de la formation du globule rouge à partir de cellules souches ; cette synthèse requiert la production coordonnée d'hème et de globine. L'hème est la partie prosthétique qui assure le portage réversible de l'oxygène par l'hémoglobine. La globine est la protéine qui entoure et protège la molécule d'hème [1].

L'hème est synthétisée au cours d'une série d'étapes complexes impliquant des enzymes mitochondriaux et cytoplasmiques de la cellule. La première étape a lieu dans la mitochondrie, et correspond à la condensation du *succinyl coenzyme A* et de la *glycine* par l'*aminolevulinic acid synthétase* pour former la *5-aminolevulinic acid*. Cette molécule est transportée dans le cytoplasme où une série de réactions produit une structure en chaîne appelée *coproporphyrinogen III*. La *coproporphyrinogen III* retourne à la mitochondrie où une réaction d'addition produit la *protoporphyrin IX*. La *ferrochelatase* insert le *fer* dans cette structure pour produire l'hème.

Deux chaînes distinctes de globine (chacune avec sa molécule d'hème) se combinent pour former l'hémoglobine. Une des chaînes est dite alpha, et la deuxième est appelée non-alpha. Le couplage simple d'une chaîne alpha et d'une chaîne non-alpha conduit à une hémoglobine dimérique. Deux

dimères se combinent pour donner l'hémoglobine tétramérique, qui est la forme fonctionnelle de l'hémoglobine. Les caractéristiques biophysiques complexes du tétramère d'hémoglobine lui permettent le contrôle délicat de la fixation de l'oxygène dans les poumons et sa libération dans les tissus.

1.1.3. Micronutriments

❖ *Classification*

Les besoins nutritionnels d'un individu sont les quantités de nutriments nécessaires au maintien d'un bon état de nutrition et de santé. Classiquement les nutriments peuvent être catégorisés en macronutriments et en micronutriments. Les macronutriments correspondent principalement à l'énergie et aux protéines, et les micronutriments aux vitamines, minéraux et oligo-éléments [2].

Une vitamine est une substance indispensable à la vie, dont la privation aboutit à des manifestations de carence, plus ou moins longues à apparaître selon l'état des réserves de l'organisme, et que celui-ci doit trouver dans ses aliments. Les vitamines n'apportent aucune calorie : elles sont en ceci différentes des nutriments énergétiques que sont les glucides, les lipides et les protéines. Les vitamines sont des substances d'origine organique : elles se distinguent en cela des oligo-éléments et des sels minéraux, que les organismes doivent également trouver dans leur alimentation. Elles se distinguent enfin des hormones qui sont aussi des substances organiques nécessaires à la vie en très faibles quantités, mais qui peuvent être élaborées par l'organisme, alors que les vitamines ne le sont pas, à l'exception de la vitamine D et de la vitamine K. On classe habituellement les vitamines en deux grands groupes : les vitamines liposolubles (vitamine A, vitamine D, vitamine E et vitamine K), et les vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B, et vitamine C) (voir **annexes A**).

Les sels minéraux et les oligo-éléments sont des composants de l'organisme, d'origine minérale. Il n'y a pas de différence bien établie entre les sels minéraux et les oligo-éléments, si ce n'est leur teneur dans le corps (**annexes A**). Les sels minéraux existent en quantités relativement élevées dans l'organisme : ce sont le calcium, le sodium, le magnésium, le phosphore et le potassium. Les oligo-éléments, au contraire, sont présents en très petites quantités dans l'organisme, et même pour certains, à l'état de traces : ce sont le fer, le zinc, le fluor, le cuivre, l'iode, le manganèse, le cobalt, le sélénium, le vanadium, le molybdène, et le chrome.

❖ *Micronutriments et aliments*

Les aliments sont classés en cinq grands groupes [3]: 1) les aliments de base, d'origine végétale, que sont les céréales (mils, sorghos, maïs, riz, blé), les tubercules (manioc, patate douce, igname, pomme de terre), et les légumineuses (légumes secs, par exemple les haricots, les pois chiches, les lentilles, certaines graines, et oléoprotéagineuses, par exemple les arachides, les noix, le soja), 2) les aliments d'origine animale que sont les viandes, poissons, et œufs, et le lait et produits laitiers, 3) les corps gras, 4) les légumes et fruits, et 5) les autres aliments (condiments, boissons).

Les céréales qui constituent la base de l'alimentation sont énergétiques et relativement pauvres en protéines, de même que les tubercules et racines ; les légumineuses apportent plus de protéines que les céréales. Les apports protéiques proviennent surtout des aliments d'origine animale. Les apports en micronutriments sont représentés principalement par les aliments d'origine animale, les fruits et les légumes [3].

1.1.4. Fer

❖ Rôle dans les processus métaboliques

Bien que présent dans l'organisme en faible quantité (2,3 g chez la femme et 3,8 g chez l'homme, soit environ 40-50 mg/kg de poids corporel), le fer intervient sous forme héminique et non héminique dans de nombreux compartiments de l'organisme et de nombreuses fonctions métaboliques. Approximativement 75% du fer de l'organisme est présent au sein de composés métaboliquement actifs. Les 25% restants constituent une réserve dynamique continuellement renouvelée (**tableau 1**) [4].

Tableau 1 : Répartition du fer dans l'organisme humain adulte.

Type de fer	Homme (mg)	Femme (mg)
Fer fonctionnel		
Hémoglobine	2300	1680
Myoglobine	320	205
Enzymes héminiques et non héminiques	160	128
Fer de réserve		
Ferritine et hémosidérine	1000	300

Le fer héminique est celui qui participe à la structure de l'hème. Il est retrouvé dans les globules rouges du sang incorporé à l'hémoglobine, dans les muscles incorporé à la myoglobine (structure similaire à l'hémoglobine mais ayant une seule molécule d'hème et une seule chaîne de globine), et dans divers compartiments de l'organisme sous forme d'enzymes héminiques.

Le fer non héminique est également présent dans de nombreuses enzymes. C'est également sous forme non héminique que le fer est transporté dans le plasma et stocké dans l'organisme. Le fer

est lié dans le plasma à une protéine d'origine hépatique, la transferrine ou sidérophiline. Le rôle essentiel de la transferrine est d'amener le fer aux tissus qui en ont besoin, en premier lieu l'appareil érythropoïétique. Elle permet également de récupérer le fer libéré par l'hémolyse des globules rouges. Le fer de réserve est séquestré dans une protéine spécifique, la ferritine. Le fer contenu dans la ferritine est disponible et aisément mobilisable en cas de besoin, notamment pour la synthèse de l'hémoglobine et pour le maintien des diverses fonctions cellulaires. La plupart des tissus de l'organisme contiennent de petites quantités de fer de réserve, mais c'est le foie (au niveau des hépatocytes), la rate et la moelle osseuse (dans le système réticulo-endothélial) qui constituent les principaux organes de stockage du fer.

Le fer joue un rôle dans le transport et le stockage de l'oxygène, le métabolisme oxydatif, la prolifération cellulaire, et beaucoup d'autres processus physiologiques [4]. En outre le fer est un nutriment essentiel à tous les organismes pathogènes connus. Librement disponible, il peut grandement augmenter leur virulence.

❖ *Besoins physiologiques*

Le métabolisme du fer s'effectue en circuit fermé entre les apports et les pertes. Les quantités de fer quotidiennement éliminées ne constituent qu'une infime partie du pool total de fer de l'organisme. Mais cette faible dépendance envers l'extérieur est un facteur d'une extrême importance pour l'équilibre général du système. En cas de non compensation des pertes par les apports il y a risque de carence. Le fer est excrété avec les cellules de la peau et des surfaces intérieures (intestin, tractus urinaire, voies aériennes). Le total des pertes est estimé à 14 µg/kg/jour [5]. Chez la femme, se surajoutent de la puberté à la ménopause les pertes en fer liées aux hémorragies menstruelles. A côté des pertes physiologiques « habituelles », des pertes anormales s'ajoutent en cas d'hémorragie, notamment minimes et répétées. Dans les régions tropicales et surtout tropicales humides les parasitoses digestives et tout spécialement les

ankylostomiases, ainsi que la schistosomiase urogénitale, sont des causes habituelles de pertes anormales en fer.

Il existe des besoins particuliers liés à certaines circonstances physiologiques de la vie comme la croissance de l'enfant et la gestation chez la femme. Le fer est nécessaire chez l'enfant pour couvrir les pertes basales, mais aussi pour faire face à l'expansion rapide des tissus de l'organisme (**tableau 2**). Les besoins pour la croissance sont de 0,55 et 0,27 mg/jour chez les enfants âgés de 6-11 mois et de 12-23 mois respectivement. Le nouveau-né à terme a environ 250-300 mg de fer (75 mg/kg de poids corporel). Durant les deux premiers mois de vie, le taux d'hémoglobine baisse du fait de l'amélioration de la situation en oxygène chez le nouveau-né en comparaison au fœtus intra-utérin. Ceci conduit à une redistribution du fer des globules rouges catabolisés vers le fer de réserve. Ce fer couvrira les besoins du nourrisson né à terme pendant les 4-6 premiers mois de vie et c'est pourquoi les besoins en fer pendant cette période peuvent être couverts par le lait humain, qui contient une très faible quantité de fer. Du fait du passage marqué de fer au fœtus pendant le dernier trimestre de la grossesse, la situation en fer est beaucoup moins favorable chez le prématuré que chez le nouveau-né né à terme [5].

Tableau 2 : Besoins physiologiques en fer chez les jeunes enfants.

	Poids moyen (kg)	Besoins pour la croissance (mg)	Besoins pour compenser les pertes (mg)	Besoins absolus (mg)	
				Médiane	95 ^{ème} percentile
6-11 mois	9	0,55	0,17	0,72	0,93
12-23 mois	13	0,27	0,19	0,46	0,58

Source : WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.

❖ *Régulation de l'équilibre en fer*

L'équilibre en fer de l'organisme est régulé par trois mécanismes homéostatiques situés aux niveaux érythropoïétique, des réserves, et des apports alimentaires [6]. Ces trois niveaux de régulation sont intégrés de manière à assurer le contrôle de l'absorption du fer et la protection contre à la fois la carence et la surcharge en fer. Ils reflètent une réponse hiérarchique dans le maintien de l'équilibre en fer. La régulation érythropoïétique serait de première importance seulement en réponse à une anémie chronique par carence en fer. Le régulateur des réserves joue un rôle prédominant dans la mise en réserve ou la mobilisation du fer endogène. La régulation alimentaire peut apporter une réponse fonctionnelle à une modification brusque de la consommation alimentaire en fer, pour, en première intention, prévenir la surcharge en fer. La composante principale de la régulation érythropoïétique est représentée par la sécrétion rénale d'érythropoïétine qui augmente la production de globules rouges et l'absorption du fer. La découverte récente d'un petit peptide cationique riche en cystéine, appelé hepcidine, produit par le foie, circulant dans le plasma et excrété par les urines, a révolutionné la compréhension de la régulation de l'absorption et du stockage du fer [4]. L'hepcidine semble avoir un rôle fondamental dans le maintien des réserves en fer à un niveau optimal, dans la régulation de l'approvisionnement en fer de l'ensemble des cellules de l'organisme en fonction de leurs besoins fonctionnels et dans le blocage de l'absorption du fer inutile au niveau de l'intestin. Ce peptide agit comme un régulateur négatif de la libération des réserves et de l'absorption intestinale.

Le **tableau 3** présente les facteurs influençant l'absorption du fer alimentaire.

Tableau 3 : Facteurs influençant l'absorption du fer alimentaire

Absorption du fer héminique

- Statut en fer de l'individu
- Quantité du fer héminique alimentaire
- Contenu en calcium du repas (par exemple, du lait, fromage)
- Préparation du repas (c'est-à-dire durée, température)

Absorption du fer non héminique

- Statut en fer de l'individu
- Quantité du fer non héminique alimentaire
- Equilibre entre les facteurs facilitateurs et inhibiteurs suivants :

Facteurs facilitateurs

- . Acide ascorbique (c'est-à-dire certains fruits, jus de fruits, patates et certains légumes)
- . Viandes, poissons
- . Légumes fermentés (choucroute par exemple), sauces de soja fermentée

Facteurs inhibiteurs

- . Phytates et autres inositol phosphates (par exemple les produits contenant du son, céréales, avoine, riz, spécialement riz non poli, cacao, certains épices, noix, graines de soja, et pois)
- . Composés phénoliques (par exemple thé, café, cacao, certains épices, certains légumes, et la plupart des vins rouges)
- . Calcium

Source : WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.

L'absorption du fer alimentaire est régulée et est inversement associée aux réserves en fer de l'organisme. Elle dépend aussi de la forme du fer contenu dans les aliments. La première source de fer héminique est représentée par l'hémoglobine et la myoglobine provenant des aliments animale, alors que le fer non héminique provient des céréales, légumineuses, fruits et légumes.

En moyenne l'absorption du fer héminique des repas contenant de la viande est de 25%.

L'absorption du fer héminique peut varier d'environ 40% en cas de carence en fer chez l'individu à 10% en situation de non carence en fer [5]. Le fer héminique peut être transformé en fer non héminique lorsque les aliments sont cuits à des températures très élevées pendant longtemps. Le calcium est le seul facteur alimentaire qui influence négativement l'absorption du fer héminique.

Le fer non héminique est la principale forme du fer alimentaire, principalement dans les pays en développement où le régime alimentaire est basé essentiellement sur les produits d'origine végétale ; l'absorption est souvent de moins de 10% [5]. L'absorption du fer non héminique est influencée par le statut en fer de l'individu, et par plusieurs facteurs présents dans les aliments.

Les composés de fer utilisés dans la fortification des aliments seront disponibles seulement partiellement pour l'absorption. Une fois que le fer provenant de la fortification est dissout, son absorption est influencée par les mêmes facteurs que ceux du fer natif des aliments.

Bien que l'intégration de ces mécanismes homéostatiques soit bien décrite chez l'adulte, la compréhension de la régulation de l'équilibre en fer durant l'enfance reste incomplète. Il semble que l'absorption en fer chez le nourrisson soit principalement régulée par les modifications de l'érythropoïèse, secondairement par la consommation alimentaire, et moins sensiblement par le fer endogène.

❖ *Besoins alimentaires en fer*

En raison d'une croissance rapide au cours de la première année de vie, les besoins en fer à l'âge de 6 à 12 mois sont très élevés, avec des ingérés recommandés de 9,3 mg/jour. A l'âge de 12 à 24 mois les besoins en fer sont moins élevés qu'à l'âge de 6 à 12 mois, les ingérés recommandés étant de 5,8 à 7 mg/jour [5]. Pour traduire les besoins physiologiques en besoins alimentaires, la biodisponibilité du fer dans les aliments doit être prise en considération.

Tableau 4 : Ingérés recommandés en fer, par niveau de biodisponibilité du fer alimentaire.

	Poids moyen (kg)	Niveau de biodisponibilité du fer alimentaire			
		15%	12%	10%	5%
6-11 mois	9	6,2	7,7	9,3	18,6
12-23 mois	13	3,9	4,8	5,8	11,6

Source : WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.

La majeure partie du fer alimentaire doit provenir de l'alimentation de complément, le lait maternel ayant des teneurs en fer peu élevées [7]. La teneur minimale en fer des aliments de complément, requise pour couvrir les besoins nutritionnels des jeunes enfants est de 4,5 mg/100 kcal, 3,0 mg/100 kcal, et 1 mg/100 kcal pour les enfants âgés de 6-8 mois, 9-11 mois et de 12-23 mois respectivement.

❖ *Indicateurs du statut en fer de l'individu*

Chacun des paramètres biologiques d'appréciation du statut en fer reflète les changements qui surviennent dans les différents compartiments de l'organisme aux différents stades de la déplétion en fer. Classiquement on peut envisager de façon dynamique la carence en fer en trois stades allant de la seule négativation de la balance en fer à l'anémie franche :

- 1^{er} stade : la carence en fer pré-latente. Elle correspond à la déplétion des réserves en fer, mais sans perturbations des apports de fer aux tissus érythropoïétiques ;
- 2^{ème} stade : la carence en fer latente : il existe une insuffisance d'apport de fer aux tissus érythropoïétiques, mais sans modification de l'hémoglobine circulante ;
- 3^{ème} stade : la carence en fer manifeste. Elle correspond à l'anémie ferriprive.

Il y a trois mesures importantes pour évaluer le statut en fer : l'hémoglobine, la ferritine, et le récepteur soluble à la transferrine [8].

La méthode la plus commune de dépistage des individus carencés en fer est la détermination du *taux d'hémoglobine* dans le sang. C'est l'une des mesures les plus courantes et les moins coûteuses. Il est bien connu que les distributions des taux d'hémoglobine varient avec l'âge, le sexe, les différents stades de la grossesse, ainsi qu'avec l'altitude et certains facteurs génétiques. L'interprétation correcte des valeurs de l'hémoglobine requiert la prise en considération de ces facteurs. Le **tableau 4** présente les seuils habituellement utilisés pour définir l'anémie.

Tableau 4 : Seuils de taux d'hémoglobine en dessous desquels l'anémie est déclarée.

Age ou Genre	Taux d'hémoglobine	
	g/L	mmol/L
Enfants de 6 – 59 mois	110	6,83
Enfants de 5 – 11 ans	115	7,13
Enfants de 12 – 14 ans	120	7,45
Femmes non enceintes (≥ 15 ans)	120	7,45
Femmes enceintes	120	6,83
Hommes (≥ 15 ans)	130	8,07

Source : WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.

La mesure du taux d'hémoglobine du sang n'est ni très sensible ni spécifique de la carence en fer. D'une part, seule la troisième étape de la carence en fer affecte la synthèse de l'hémoglobine, et d'autre part, d'autres situations comme les hémolyses (paludisme et autres maladies hémolytiques) peuvent engendrer des baisses du taux d'hémoglobine.

Le test le plus spécifique de la carence en fer est la concentration sérique en *ferritine*. Elle est bien corrélée aux réserves en fer de l'organisme. Au premier stade de la carence en fer, la concentration en ferritine baisse, ce qui en fait le paramètre le plus sensible. Une concentration basse indique toujours une baisse des réserves en fer. La ferritine sérique augmente avec certains facteurs, particulièrement l'infection et l'inflammation, d'où une valeur élevée n'indique pas nécessairement un statut en fer normal. Pour remédier à ce problème, il est utile de mesurer concomitamment les paramètres de l'infection aiguë comme la C-reactive protein (CRP) et de l'infection chronique comme l'alpha-1 glycoprotein (AGP). Jusque là il n'y a pas de seuil clair pour la ferritine sérique mais habituellement elle varie entre 10 et 30 µg/L, et une valeur inférieure à 10 µg/L indique certainement une carence en fer. Le coût de l'examen reste élevé, même si en raison de son utilisation de plus en plus fréquente il a tendance à baisser.

Au cours des 10-15 dernières années la mesure des récepteurs solubles à la transferrine (*soluble transferrin receptor (sTfR)*) a été de plus en plus utilisée comme indicateur pour la détection de la carence en fer, principalement dans les contextes où l'infection est présente. Le sTfR est libéré dans la circulation sanguine à partir des cellules, en fonction des besoins en fer. Sa concentration est anormalement élevée à la deuxième phase de la carence en fer, après que les réserves en fer se soient épuisées, et que le taux d'hémoglobine est encore au dessus du seuil indicatif d'anémie. Il est donc un paramètre moins sensible que la ferritine sérique mais plus sensible que le taux d'hémoglobine. Le coût de ce test est environ quatre fois plus élevé que celui de la ferritine sérique. Le ratio des deux indicateurs permet le calcul des réserves de fer en mg/kg de poids

corporel, similaire au résultat de la biopsie de la moelle, qui est le test de référence dans la définition de la carence en fer.

Parmi les autres tests de détection de la carence en fer on peut citer la mesure de la *zinc protoporphyrine (ZnPP)* : au cours de la seconde phase de la carence en fer, au lieu du fer, c'est le zinc qui est inséré dans la protoporphyrine pendant la production de l'hème. Ce composé zinc-protoporphyrine peut être mesuré sélectivement par hématofluorométrie. La carence en fer conduit à une diminution de la *concentration sérique en fer*, une augmentation de la *concentration sérique en transferrine*, et une réduction de la *saturation de la transferrine*. Parmi les *indices globulaires*, mesurés par comptage électronique, le volume globulaire moyen et la concentration moyenne en hémoglobine sont les indices les plus sensibles de la carence en fer ; ils baissent avec la carence en fer. La baisse du volume globulaire moyen survenant en parallèle avec l'anémie est un phénomène tardif accompagnant la carence en fer.

1.2. Epidémiologie de l'anémie chez l'enfant

1.2.1. Ampleur

Une revue d'études faites entre 1993 et 2005 montre que 47,4% (IC à 95% : 45,7 – 49,1) des enfants d'âge préscolaire dans le monde sont touchés par l'anémie [9, 10]. Cela représente 293,1 millions (282,8 – 303,5) d'enfants. Les prévalences les plus élevées d'anémie se situent en Afrique : 64,6% (61,7 – 67,5) des enfants d'âge préscolaire en sont atteints. Cette analyse indiquait qu'environ 60% des cas d'anémie étaient attribuables à la carence en fer dans les régions non endémiques pour le paludisme, 50% dans les régions d'endémie palustre. Chez les jeunes enfants, le pic de prévalence de l'anémie se situe autour de l'âge de 18 mois.

1.2.2. Causes

L'anémie peut être déterminée par plusieurs facteurs [1] (**annexes B**). L'anémie parmi les enfants Africains est déterminée essentiellement par la combinaison de carences nutritionnelles, de maladies infectieuses [11-13], ainsi que de l'expression génétique de l'hémoglobine globulaire.

❖ *Anémie d'origine nutritionnelle*

La carence en fer est la première cause d'anémie nutritionnelle. L'anémie nutritionnelle survient lorsque les besoins physiologiques en fer ne peuvent pas être satisfaits par l'absorption du fer alimentaire [5]. Cependant d'autres carences en micronutriments peuvent conduire à l'anémie, intervenant soit directement sur une des étapes du processus d'érythropoïèse, soit indirectement en influençant le métabolisme du fer ou en affaiblissant le système immunitaire et donc augmentant la susceptibilité aux maladies infectieuses, soit encore par les deux mécanismes. Il s'agit principalement de la vitamine A [13-17], du zinc et du cuivre [17-18], de la vitamine E [19], de certaines vitamines B (acide folique, vitamine B12, vitamine B6, thiamine) [17, 20] et du sélénium [21]. Enfin la malnutrition énergétique et protéique, en particulier sa forme sévère, est aussi associée à l'anémie. Cette anémie est la conséquence de facteurs multiples entrant dans le cadre de l'adaptation à des apports alimentaires inadéquats et du stress lié aux infections [22].

❖ *Anémie d'origine infectieuse*

En milieu tropical les maladies infectieuses pourvoyeuses d'anémie les plus fréquentes sont le paludisme, et les infestations à géohelminthes et les bilharzioses.

Le paludisme est une maladie parasitaire connue comme un facteur majeur d'anémie pédiatrique [23]. L'hémolyse des globules rouges, ainsi que la baisse de production des globules rouges sont les mécanismes par lesquels le paludisme conduit à l'anémie [12, 24, 25].

Les infestations à géohelminthes comme les ankylostomes, l'ascaris, et le trichiurus conduisent à l'anémie en raison des micro-saignements locaux, de la malabsorption et de l'inflammation qu'elles provoquent [26].

❖ *Autres causes d'anémie*

Des anomalies héréditaires comme les hémoglobinoses (drépanocytose, thalassémies) et les enzymopathies érythrocytaires (déficit en G6PD) sont d'autres facteurs d'anémie dans certaines régions.

Ces causes immédiates d'anémie ci-dessus décrites, sont sous tendues par des facteurs socio-économiques et démographiques comme : le faible niveau d'éducation des mères, le faible niveau socio-économique des ménages, et le faible niveau de développement communautaire [27].

1.3. Conséquences sanitaires de l'anémie chez l'enfant

La conséquence la plus grave de l'anémie sur la santé réside dans l'augmentation du risque de mortalité infantile observée dans les formes sévères [28]. Elle soulève en plus d'autres sujets de préoccupation, comme l'altération des capacités cognitives, la diminution des capacités physiques et la baisse de l'immunité au cas où l'anémie est due à une carence en fer ; ceci peut s'observer aux premiers stades de la carence en fer, avant même que l'individu ne souffre d'anémie [28]. Il est de plus en plus évident que les enfants de 6-23 mois ayant une anémie par carence en fer risquent un retard de développement cognitif, moteur, socio-émotionnel et neurophysiologique

[29]. L'anémie par carence en fer est responsable du retard de développement mental de 40 à 60% des nourrissons dans les pays en développement [30].

1.4. Moyens de prévention de l'anémie chez l'enfant

Les moyens de prévention de l'anémie comprennent essentiellement les interventions nutritionnelles visant la lutte contre les carences en micronutriments et les mesures générales de santé publique [31]. Les interventions nutritionnelles sont basées sur des approches alimentaires comme la diversification alimentaire et la fortification, et sur la supplémentation.

1.4.1. Supplémentation

Parmi les options citées ci-dessus, qui visent à accroître le niveau des ingérés en micronutriments, les programmes de supplémentation conduisent souvent à une amélioration rapide du statut en micronutriments des populations ciblées [31]. L'OMS recommande que dans les régions où l'alimentation n'inclut pas des aliments fortifiés, ou où la prévalence de l'anémie est sévère (environ 40%) parmi les enfants âgés d'environ un an, des suppléments de fer à la dose de 2 mg/kg/jour soient donnés à tous les enfants âgés de 6 à 23 mois [32]. Toutefois, dans les pays où le paludisme est endémique, où la supplémentation en fer est associée à un risque accru de morbidité et de mortalité palustres, les stratégies de contrôle de la carence en fer basées sur les suppléments de fer chez les enfants de 6-23 mois devraient être mises en oeuvre dans un contexte de soins de santé efficaces et globaux. Ces soins incluent un approvisionnement en moustiquaires imprégnées d'insecticide et des mesures de contrôle du vecteur pour la prévention du paludisme, et une détection et traitement rapides des cas avec des antipaludéens efficaces [33].

1.5.2. Fortification

La fortification des aliments tend à avoir un impact moins immédiat que la supplémentation mais plus large et soutenu [31]. Elle correspond à l'incorporation de micronutriments aux aliments. Dans certains cas, cette stratégie conduit à une amélioration relativement rapide du statut en micronutriments de la population, et à un coût raisonnable. Habituellement, il est préférable d'utiliser comme véhicule alimentaire, des aliments qui peuvent être traités de manière centralisée et d'avoir le support de l'industrie alimentaire. Toutefois, la fortification à domicile des aliments de complément des jeunes enfants, en utilisant un prémix de vitamines et minéraux, est de plus en plus utilisée [34, 35].

1.5.3. Diversification alimentaire

La diversification alimentaire signifie l'augmentation à la fois de la quantité et de la gamme des produits riches en micronutriments consommés. Bien qu'elle soit généralement considérée comme l'option la plus durable, elle met le plus de temps à s'accomplir. Elle repose sur l'éducation et le changement de comportement des populations [31].

1.5.4. Stratégies intégrées

Une approche qui intègre les dimensions multifactorielles et multisectorielles de l'anémie est indispensable pour obtenir des progrès sensibles dans la lutte contre ce problème de santé publique [28]. Il est nécessaire de promouvoir des approches qui combinent les interventions visant à apporter des micronutriments à d'autres mesures plus générales de santé publique là où la carence en fer n'est pas la seule cause de l'anémie. Le contrôle des infections comme le paludisme et les géohelminthes est une mesure qui devrait être complémentaire des interventions

nutritionnelles, tant elles ont montré un impact positif sur la réduction de l'anémie dans certains contextes [36, 37].

Références

1. Sebahoun G. Erythropoïèse. In Sebahoun G, eds. *Hématologie clinique et biologique*. Rueil Malmaison Cedex, Arnette, 1998: pp. 19-28.
2. Dorosz P. Vitamines, sels minéraux et oligo-éléments. 2^{ème} édition. Paris, Maloine, 2002.
3. Gerbouin-Rerolle P, Dupin H. Aliments et valeur nutritionnelle. Paris, Centre International de l'Enfance, 1993.
4. Lynch S. Iron metabolism. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 59-76.
5. WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.
6. Lönnerdal B, Kelleher S. Iron metabolism in infants and children. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (4): S491-S499.
7. 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.

8. Biesalski HK, Erhardt JG. Diagnosis of nutritional anaemia : laboratory assessment of iron status. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 37-43.
9. McLean E, Egli I, De Benoist B, Wojdyla D. Worldwide prevalence of anaemia in pre-school aged children, pregnant women and non-pregnant women of reproductive age. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 1-12.
10. Black RE, Allen LH, Bhutta ZA *et al*. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008; 371: 243-260.
11. Stoltzfus RJ, Chwaya HM, Montresor A, Albonico M, Savioli L, Teilsch JM. Malaria, hookworms and recent fever are related to anaemia and iron status indicators in 0- to 5-y old Zanzibari children and these relationships change with age. *J Nutr* 2000;130: 1724-1733.
12. Menendez C, Fleming AF, Alonso PL. Malaria-related anaemia. *Parasitol Today* 2000; 16: 469-476.
13. Nussenblatt V, Semba RD. Micronutrient malnutrition and the pathogenesis of malarial anaemia. *Acta Tropica* 2002; 82: 321-337.
14. Nussemblatt V, Mukasa G, Metzger A, Ndeezi G, Eisinger W, Semba RD. Relationships between carotenoids and anaemia during acute uncomplicated *Plasmodium falciparum* malaria in children. *J Health Pop Nutr* 2002; 20: 205-214.

15. Semba RD, Bloem MW. The anaemia of vitamin A deficiency: epidemiology and pathogenesis. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 271-281.
16. West KP Jr, Gernand AD, Sommer A. Vitamin A in nutritional anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 133-154.
17. Zimmermann MB. Interactions between iron and vitaminA, riboflavin, copper, and zinc in the aetiology of anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 199-213.
18. Olivares M, Hertrampf E, Uauy R. Copper and zinc interactions in anaemia: a public health perspective. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 99-109.
19. Traber MG, Kamal-Eldin A. Oxidative stress and vitamine E in anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 155-187.
20. Scott JM. Nutritional anaemia: B-vitamins. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 111-132.
21. Semba RD. Sélénium. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 189-197.

22. Jackson AA. Anaemia in severe undernutrition. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 215-230.
23. Snow RW, Craig MH, Newton CRJC, Steketee RW. The public health burden of *Plasmodium falciparum* malaria in Africa: Deriving the numbers. Bethesda, Maryland, Working Paper No. 11, Disease Control Priorities Project, Fogarty International Center, National Institutes of Health, 2003.
24. Ekvall H. Malaria and anemia. *Current Opinion Haematol* 2003; 10: 108-114.
25. Miller LH, Baruch DI, Marsh K, Doumbo OK. The pathogenic basis of malaria. *Nature* 2002; 415: 673-679.
26. Thurnham DI, Northrop-Clewes C. Infection and the etiology of anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 231-256.
27. Ngnie-Teta I, Receveur O, Kuate-Defo B. Risk factors for moderate to severe anemia among children in Benin and Mali: Insights from a multilevel analysis. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 76-89.
28. WHO, UNICEF. Focusing on anaemia. Towards an integrated approach for effective anaemia control. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Geneva, WHO, 2004.
29. Lozoff B. Iron deficiency and child development. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (4): S560-S571.

30. MI, UNICEF. Vitamins and minerals deficiencies. A global progress report. Ottawa, The Micronutrient Initiative, 2004.
31. Allen L, De Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines of food fortification with micronutrients. Geneva, WHO/FAO, 2006.
32. WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
33. WHO. Conclusions and recommendations of the WHO consultation on prevention and control of iron deficiency in infants and young children in malaria-endemic areas. *Food Nutr Bull* 2007; 28: S621-S627.
34. Nestel P, Briend A, De Benoist B *et al.* Complementary food supplements to achieve micronutrient adequacy for infants and young children. *J Paediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 36: 316-328
35. Dewey KG, Adu-Afarwuah S. Systematic review of the efficacy and effectiveness of complementary feeding interventions in developing countries. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 24-85.
36. Korenromp EL, Armstrong-Schellenberg JRM, Williams BG, Nahlen BL, Snow RW. Impact of malaria control on childhood anaemia in Africa. A quantitative review. *Trop Med Int Health* 2004; 9: 1050-1065.
37. Hall A, Hewitt G, Tuffrey V, De Silva N. A review and meta-analysis of the impact of intestinal worms on child growth and nutrition. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 118-236.

2. Hypothèses et objectifs

2.1. Hypothèses

Compte tenu d'une situation de mortalité infanto-juvénile élevée en milieu rural du Burkina Faso, et de la présence de certains facteurs de risque comme le faible niveau socio-économique des ménages et l'analphabétisme, nous avons formulé les hypothèses que :

- La prévalence de l'anémie est élevée parmi les jeunes enfants ;
- L'anémie est multifactorielle, impliquant aussi bien la carence en fer et en d'autres nutriments, que des causes infectieuses comme le paludisme ;
- Des pratiques ménagères d'alimentation de complément inadéquates sont à l'origine des carences nutritionnelles ;
- Une stratégie de lutte contre l'anémie intégrant l'amélioration des pratiques ménagères d'alimentation de complément, la supplémentation en micronutriments multiples et des mesures de contrôle des parasitoses est efficace dans la réduction de la prévalence de l'anémie.

2.2. Objectifs

2.2.1. Objectifs généraux

1. Analyser la situation de l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi ;
2. Tester l'efficacité de stratégies intégrées de lutte contre l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi.

2.2.2. Objectifs spécifiques

1. Déterminer la prévalence de l'anémie ;
2. Décrire les caractéristiques biologiques de l'anémie ;
3. Identifier les facteurs nutritionnels associés au taux d'hémoglobine ;
4. Analyser les pratiques ménagères d'alimentation de complément, en relation avec l'état nutritionnel ;
5. Déterminer la prévalence du paludisme ;
6. Analyser l'association entre l'anémie et le paludisme ;
7. Tester l'efficacité d'une stratégie de lutte contre l'anémie intégrant la supplémentation en micronutriments multiples et des mesures de contrôle des parasitoses ;
8. Produire un aliment de complément amélioré répondant aux besoins nutritionnels des jeunes enfants, et reproductible au niveau des ménages ;
9. Tester l'efficacité d'une stratégie de lutte contre l'anémie intégrant une alimentation de complément améliorée, la supplémentation en micronutriments multiples et des mesures de contrôle des parasitoses.

3. Méthodologie générale

Le travail a entièrement été conduit dans le district de Kongoussi (Burkina Faso). Il comprenait deux enquêtes transversales et deux études d'intervention.

3.1. Contexte d'étude

3.1.1. Le Burkina Faso

Situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso s'étend sur une superficie de 274 000 km² et partage ses frontières avec le Niger à l'est, le Mali au nord, le Bénin au sud-est, le Togo et le Ghana au sud et la Côte d'Ivoire au sud-ouest (**figure 1**). Après plusieurs décennies de colonisation française, le pays acquiert son indépendance en 1960 et prend le nom de Haute-Volta, avant de devenir Burkina Faso en 1984.



Figure 1 : Carte administrative du Burkina Faso

La population du pays était estimée à environ 13 millions d'habitants en 2004 [1]. Cette population se caractérise par sa jeunesse et sa croissance rapide (taux d'accroissement naturel de 3,1% et un taux brut de natalité de 45,1‰). Elle est essentiellement rurale ; Ouagadougou, la ville capitale compte environ 1 million d'habitants.

Deux saisons climatiques très contrastées se succèdent : une saison sèche d'octobre à avril et une saison des pluies de mai à septembre. La pluviométrie varie entre 350 mm dans l'extrême nord et 1100 mm dans l'extrême sud. Ce pays sahélien, pauvre en ressources naturelles, est confronté à une sévère aridité des sols et à une forte dégradation de son environnement.

Avec un produit intérieur brut de l'ordre de 210 dollars par an et par habitant, le Burkina Faso est parmi les pays les plus pauvres du monde. Il est classé 174^{ème} sur 177 pays au monde, avec un Indice de Développement Humain de 0,302 [2]. La pauvreté est un phénomène principalement rural avec plus de la moitié de la population rurale (52,3%) qui vit en dessous du seuil de pauvreté (82 672 francs CFA soit 126 euros par personne et par an) contre 19,9% en milieu urbain [3].

Le pays vit essentiellement de l'agriculture et de l'élevage. Le secteur agricole représente 40% du produit intérieur brut et emploie plus de 80% de la population active. Les paysans burkinabés pratiquent majoritairement une agriculture de subsistance. La production de céréales (petit mil, sorgho, arachide, riz, maïs, fonio) se situe en moyenne à 2,7 millions de tonnes par an, mais la production varie d'année en année en fonction des précipitations, affectant les prix des céréales sur les marchés.

L'accès à l'éducation formelle de base demeure encore très limité. Le taux d'alphabétisation des adultes est de 21,8%, avec des disparités entre hommes (29,4%) et femmes (12,5%), et entre zones urbaines (56,3%) et zones rurales (12,5%) [3]

Ce contexte de pauvreté et d'ignorance accentué par certaines pesanteurs traditionnelles, a des incidences sur la situation sanitaire nationale. Celle-ci se caractérise par une mortalité et une morbidité générales élevées imputables en grande partie aux maladies infectieuses et parasitaires [4, 5]. Le **tableau 1** présente quelques autres indicateurs sanitaires du Burkina Faso.

Tableau 1 : Quelques indicateurs sanitaires du Burkina Faso en 2004.

	Milieu de résidence		
	Rural	Urbain	Ensemble
Ménages utilisant du sel non ou faiblement iodée (<15 ppm), (%)	56,9	32,6	52,2
Insuffisance pondérale (IMC <18,5 kg/m ²) chez les femmes de 15-49 ans, (%)	24,2	8,8	20,8
Anémie chez les femmes de 15-49 ans	54,5	50,7	53,7
Femmes enceintes (taux d'Hb <110 g/L), (%)			68,3
Femmes allaitantes (taux d'Hb <120 g/L), (%)			52,5
Autres femmes de 15-49 ans (taux d'Hb <120 g/L), (%)			51,7
Cécité crépusculaire chez les femmes enceintes, (%)	13,8	8,1	13,0
Alimentation de l'enfant			
Enfants de 0-59 mois étant ou ayant été allaités, (%)	98,5	97,4	98,4
Enfants de moins de 6 mois exclusivement allaité, (%)			18,8
Durée médiane de l'allaitement, (mois)	25,2	21,7	24,7
Enfants de 6-9 mois ayant une alimentation de complément, (%)			38,0
Malnutrition énergétique et protéique chez les enfants de 0-59 mois			
Retard de croissance (indice ZTA<-2), (%)	41,6	20,2	38,7
Emaciation (indice ZPT<-2), (%)	19,6	12,4	18,6
Insuffisance pondérale (indice ZPA<-2), (%)	40,3	20,5	37,7
Anémie (taux d'hémoglobine <110 g/L) chez les enfants			
Enfants 6-59 mois, (%)	93,6	75,8	91,5
Enfant 10-11 mois, (%)			99,4
Morbidité chez les enfants de 0-59 mois			
Présence de la diarrhée au cours des deux dernières semaines, (%)	20,6	21,1	20,7
Présence de la fièvre au cours des deux dernières semaines, (%)	38,0	28,5	36,7

Tableau 1 (suite)

Mortalité chez les enfants de 0-59 mois			
Mortalité infantile, (‰)	95	70	81
Mortalité infanto-juvénile, (‰)	202	136	184

Source : Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.

Le taux de mortalité infanto-juvénile atteint 202 décès pour 1000 naissances vivantes en milieu rural [6]. La prévalence du retard de croissance ou malnutrition chronique (indice ZTA < -2) parmi les enfants de 0-59 mois était de 29,4%, 36,8%, et 38,7% en 1993, 1998 et 2003 respectivement [6-8]. La carence en vitamine A est endémique dans plusieurs régions du pays [6]. En milieu rural, environ 85% des enfants de 12-36 mois présentent un taux de rétinol sérique < 0,70 $\mu\text{mol/L}$ [9]. L'activité principale visant la lutte contre la carence en vitamine A est la supplémentation à travers les Journées Nationales de Vaccination (JNV) et les Journées Nationales pour les Micronutriments. Une enquête en population, parallèle aux données des rapports des JNV, a rapporté en 2000 une couverture des suppléments de vitamine A de 94% chez les enfants de 6-59 mois [10]. La prévalence du goitre atteint 33,7% chez les enfants de 5-14 ans, et 40,3% chez les femmes de 15-49 ans, selon une étude réalisée dans plusieurs provinces [11]. Une enquête réalisée en 1999 dans deux provinces rapportait une prévalence de 88% d'anémie chez les enfants âgés de 0-59 mois [12]. Les **annexes C** détaillent les données sur la situation nutritionnelle au Burkina Faso.

Le paludisme constitue sur le plan national l'un des principaux problèmes de santé publique, touchant avec prédilection les jeunes enfants. Le paludisme est endémique, avec une transmission stable et des pics saisonniers. Le taux d'inoculation entomologique atteint 131 piqûres par personne par an, 102 de ces piqûres survenant entre les mois d'août et septembre [13]. Parmi les enfants de moins de trois ans la prévalence de la parasitémie palustre varie de 68% à 83%, dépendant de la saison [13]. Les recommandations nationales pour le contrôle du paludisme chez

les enfants consistent essentiellement en la prévention par l'utilisation de moustiquaires imprégnées d'insecticide, et au traitement efficace des cas avec la combinaison thérapeutique arthemeter-lumefantrine [14].

Les infestations aux géo-helminthes affectent 21% des enfants d'âge scolaire au Burkina Faso, l'ankylostomiase étant impliquée dans 19% des cas [15].

3.1.2. Le district de Kongoussi

La décentralisation du système sanitaire du Burkina Faso a abouti à la mise en place de 55 districts sanitaires, qui sont les entités opérationnelles. Les districts sanitaires sont regroupés en 13 régions sanitaires. Le district sanitaire de Kongoussi, situé au centre-nord du pays, correspond à la province du Bam sur le plan administratif ; il a une population estimée en 2004 à 211 551 habitants répartie dans 245 villages (**figure 2**). C'est une population jeune, comprenant 17,7% d'enfants de moins de cinq ans, et 31,3% d'enfants de cinq à 14 ans (environ 10% de la population a moins de deux ans).



Figure 2 : Carte administrative du district de Kongoussi.

Parmi les enfants de 2-5 ans, la prévalence de l'insuffisance pondérale (indice ZPA<-2) et des parasitoses intestinales était de 29,3% et 24,9%, respectivement [16]. Le goitre était présent chez 15,7% des enfants de 5-14 ans.

L'infrastructure sanitaire est composée du Centre Médical avec Antenne chirurgicale (CMA) qui est l'hôpital de référence du district, et un échelon de premier recours constitué de 26 Centres de Santé et de Promotion Sociale (CSPS), et de 111 Postes de Santé Primaires (PSP). Le fonctionnement de ces structures est assuré par des équipes ayant en tête un médecin pour le CMA, un infirmier pour le CSPS, et un agent de santé villageois pour le PSP. La couverture de la prise en charge de la malnutrition est faible, puisque environ 18% des enfants atteints de malnutrition aigue sévère ont été suivis dans un des deux centres de récupération et d'éducation nutritionnelle du district [17].

3.2. Enquêtes transversales

Deux enquêtes transversales ont été réalisées, la première en janvier-février 2004, et la deuxième en août-septembre 2005.

3.2.1. Population et échantillonnage

La population concernée par l'étude était constituée par les enfants de 6-23 mois. Pour les enquêtes transversales, 30 grappes localisées dans 30 villages ont été sélectionnées par la méthode d'échantillonnage en grappes avec probabilité proportionnelle à la taille des villages, adoptée des méthodes d'enquête de couverture du Programme Elargi de Vaccination [18]. Dans chacun des villages, avec l'aide de l'agent de santé du village, le centre du village était désigné, puis une direction était choisie au hasard en utilisant la « technique du stylo ». Dans cette direction, toutes les concessions ont été numérotées. Puis un numéro a été tiré au hasard pour retenir la première

concession à enquêter. A partir de cette première concession, la prochaine enquêtée était celle dont l'entrée était la plus proche. L'enquête était conduite de proche en proche jusqu'à obtention du nombre requis d'enfants de 6-23 mois. Les enfants sélectionnés étaient invités à se présenter au poste de santé du village à un jour préalablement fixé pour l'examen médical.

3.2.2. Données collectées

Les données ont été collectées à l'aide de questionnaire et de formulaires (**annexes D**). Elles étaient d'ordre :

- socio-économique et démographique : équipement du ménage, occupation de la mère, éducation de la mère, âge, sexe, rang de naissance de l'enfant ;
- alimentaire : iodation du sel consommé dans le ménage, pratiques d'allaitement et d'alimentation de complément de l'enfant ;
- sanitaire, clinique (goitre chez la mère, splénomégalie, morbidité), et biologique (numération sanguine) ;
- nutritionnel, anthropométrique (poids et taille de l'enfant et de la mère), et biologique (taux d'hémoglobine, CRP, albumine plasmatiques).

3.3. Etudes d'intervention

Deux études d'intervention ont été conduites, le premier de septembre 2005 à février 2006, et le deuxième de janvier à juin 2006.

3.3.1. Critères d'inclusion

Ont été inclus, les enfants ayant un taux d'hémoglobine compris entre 70 et 109 g/L pour le premier essai, ou entre 80 et 109 g/L pour le deuxième essai. Cette différence entre les critères d'inclusion résulte de la différence de définition de l'anémie sévère par les comités d'éthique qui ont été consultés pour chacun des essais. Ont été exclus les enfants présentant un indice z-score du poids pour la taille (ZPT) < -3.

3.3.2. Critères d'évaluation

Les critères principaux d'évaluation étaient le taux d'hémoglobine et la prévalence de l'anémie en fin d'intervention. Secondairement, ont été évalués les indices z-scores en fin d'intervention.

3.4. Considérations éthiques

La première étude, réalisée en 2004 avant la mise en place du Comité d'Éthique pour la Recherche en Santé (CERS), a reçu l'autorisation du Ministère de la Santé du Burkina Faso, ainsi que du comité d'éthique du Fonds pour la Recherche Scientifique Médicale (FRSM) du Royaume de Belgique. La deuxième enquête, ainsi que les deux essais, ont reçu l'approbation du CERS du Burkina Faso, ainsi que du comité d'éthique du FRSM (pour le premier essai), et du comité d'éthique de la Fondation Nestlé (pour le deuxième essai).

Un consentement éclairé était obtenu des parents. Les enfants détectés avec une émaciation sévère étaient référés au centre de récupération et d'éducation nutritionnelle de l'hôpital du district pour une prise en charge. Les enfants qui présentaient une anémie sévère (taux d'hémoglobine < 70 g/L) en début d'intervention, et ceux présentant une anémie (taux

d'hémoglobine <110 g/L) en fin d'intervention, ont été mis sous traitement au fer pendant trois mois (Fercefol®, Exphar S.A., Brussels, Belgique).

3.5. Traitement des données et analyses statistiques

Les données ont fait l'objet d'une double saisie, suivie de validation, sous Epi info version 6.04D. Elles ont ensuite été analysées sous SPSS 12.0 for Windows. Les analyses statistiques ont été réalisées en deux étapes :

- Premièrement les analyses univariées étaient réalisées, avec comparaison de proportions par le test du chi carré de McNemar (pour échantillon appariés) ou du chi carré de Pearson (pour échantillons indépendants), comparaison de moyennes par le test t par paires (pour échantillon appariés) ou le test t de Student, ou l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur, suivie de comparaisons multiples en utilisant la correction de Bonferroni ou de Dunnett (pour échantillons indépendants), et comparaison de médianes par le test de Mann Whitney ;
- Deuxièmement, des analyses multivariées ont été conduites. Pour les variables dichotomiques, la régression logistique a été appliquée, et des odds-ratios ajustés et leurs intervalles de confiance à 95% (OR, IC à 95%) ont été estimés ; le chi carré de Wald a été utilisé pour tester chaque effet du modèle. Les OR ont été convertis en ratios de prévalence ajustés avec leurs intervalles de confiance à 95% (PRR, IC à 95%). L'adéquation des modèles logistiques a été testée par le test d'ajustement de Hosmer et Lemeshow. Pour les variables continues, la normalité des distributions a été vérifiée visuellement par l'examen du plot normal, et la régression linéaire multiple a été appliquée. Les coefficients de régression partiels qui en découlaient, leurs intervalles de confiance à 95% (b, IC à 95%) et la p-valeur du test t correspondant ont été présentés dans les tableaux de résultats. Les conditions d'application de la régression linéaire ont été

vérifiées par analyse des résidus et le carré du coefficient de corrélation multiple (R^2) a été utilisé comme mesure d'adéquation du modèle.

3.6. Financement

Deux sources de financement ont permis la réalisation de ce travail :

- Le FRSM du Royaume de Belgique a financé les deux enquêtes transversales et le premier essai d'intervention ;
- La Fondation Nestlé a financé le deuxième essai d'intervention.

Références

1. Institut National de la Statistique et de la Démographie. Recensement général de la population et de l'habitat 1996. <http://www.insd.bf>
2. United Nations Development Programme. Human Development Report 2006. <http://www.undp.org>
3. Institut National de la Statistique et de la Démographie. Burkina Faso : la pauvreté en 2003. Ouagadougou, INSD, 2003.
4. Burkina Faso, Ministère de la Santé. Document d'analyse de la situation sanitaire nationale. Ouagadougou, MS, 2000.
5. Burkina Faso, Ministère de la Santé. Annuaire statistique. Ouagadougou, DEP, 2007.

6. Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.
7. Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 1993. Washington DC, ORC Macro Int, 1993.
8. Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 1998-1999 (EDS-BF II). Washington DC, ORC Macro Int, 1999.
9. Zagre N, Delisle H, Tarini A. Evolution des apports en vitamine A à la suite de la promotion d'huile de palme rouge chez les enfants et les femmes au Burkina Faso. *Cahiers Santé* 2000; 12: 38-44.
10. Burkina Faso, Ministère de la santé. Rapports des Journées Nationales de Vaccination. Ouagadougou, MS, 2003.
11. Centre National pour la Nutrition, UNICEF. Enquête épidémiologique d'évaluation du programme de lutte contre l'avitaminose A dans 8 provinces du Burkina Faso. Ouagadougou, CNN/UNICEF, 1999.
12. Parent G, Zagré NM, Ouédraogo A *et al.* Les grands hydro-aménagements au Burkina Faso contribuent-ils à l'amélioration des situations nutritionnelles des enfants ? Ouagadougou, Textes de communication, colloque international « impact sanitaire et nutritionnel des hydro-aménagements en Afrique », 2000.

13. Traore C. Epidemiology of malaria in a holoendemic area of rural Burkina Faso. Heidelberg, University of Heidelberg, 2003.
14. Burkina Faso, Ministère de la santé, Programme national de lutte contre le paludisme. Directives nationales pour la prise en charge du paludisme au Burkina Faso. Ouagadougou, PNLP, 2005.
15. Brooker S, Clements ACA, Bundy DAP. Global epidemiology, ecology and control of soil-transmitted helminth infections. *Adv Parasitol* 2006; 62: 221-261.
16. Ouedraogo HZ, Savadogo LGB, Kouanda S *et al.* Héméralopie et facteurs non alimentaires dans un groupe d'enfants du district sanitaire de Kongoussi au Burkina Faso. *Science et technique* 2004; 1: 1-7.
17. Ouédraogo HZ, Kouanda S, Dramaix M *et al.* Etude de la couverture de la prise en charge de la malnutrition aiguë sévère dans le district sanitaire de Kongoussi. *Science et technique* 2003; 1: 33-40.
18. Lemeshow S, Robinson D. Surveys to measure programme coverage and impact: a review of a methodology used by the expanded programme on immunisation. *World Health Statist Quart* 1985; 38: 65-75.

4. Première partie des résultats : prévalence et facteurs contributifs de l'anémie

La première partie de ce travail se rapporte au premier objectif, à savoir analyser la situation de l'anémie parmi les jeunes enfants du district de Kongoussi. Pour ce faire une première enquête transversale a été réalisée, dont les résultats sont présentés en deux chapitres. Le chapitre 4.1 présente la prévalence de l'anémie et les facteurs associés. Le chapitre 4.2 présente la situation de la malnutrition, un des facteurs associés à l'anémie. Une deuxième enquête transversale a été réalisée, portant sur l'analyse de la relation entre anémie et morbidité, en particulier le paludisme (chapitre 4.3).

4.1. Anémie et facteurs associés

4.1.1. Prévalence de l'anémie, indices globulaires et facteurs associés au taux d'hémoglobine chez les enfants de 6-23 mois du district rural de Kongoussi, Burkina Faso

Introduction

Les carences en micronutriments sévissent à une fréquence élevée dans les pays en développement. Elles sont impliquées dans la morbidité et la mortalité chez les jeunes enfants, et présentent des conséquences négatives à long terme [1-4]. La carence en fer, avec l'anémie qu'elle provoque, est aujourd'hui la maladie nutritionnelle la plus répandue dans le monde, spécialement en milieu tropical où elle touche surtout les femmes et les jeunes enfants [5]. Elle est responsable du retard de développement mental de 40 à 60% des nourrissons dans les pays en développement [1]. L'anémie est très répandue, et a des conséquences négatives majeures sur la santé humaine et le développement social et économique [6]. Elle est associée à un risque accru de mortalité chez les jeunes enfants ; les enfants qui présentent une anémie ont un risque de décès 4,3 fois plus important que les enfants non anémiés [7].

Le taux d'hémoglobine est une mesure couramment utilisée pour l'évaluation de l'anémie dans une population. La mesure concomitante des indices érythrocytaires donne des orientations quant à l'origine de l'anémie. Parmi les indices globulaires, le volume globulaire moyen et la concentration moyenne en hémoglobine sont les deux indices les plus sensibles de la carence en fer. La baisse du volume globulaire moyen survenant en parallèle avec l'anémie est un phénomène tardif accompagnant la carence en fer [8]. L'utilisation de l'anémie hypochrome comme indice pour la détection de l'anémie par carence en fer a une sensibilité de 100% quand cet indice est comparé à la mesure du taux de ferritine sérique [9].

La situation sanitaire du Burkina Faso se caractérise par une mortalité infanto-juvénile élevée, particulièrement en milieu rural. La situation nutritionnelle est marquée par des prévalences élevées de retard de croissance et d'émaciation parmi les enfants de moins de cinq ans [10]. Les objectifs de cette étude étaient 1) de déterminer la prévalence de l'anémie, 2) de décrire les indices globulaires, et 3) d'analyser les facteurs associés au taux d'hémoglobine chez les enfants de 6-23 mois du district sanitaire de Kongoussi.

Méthodes d'étude

Une enquête transversale en population a été réalisée, de janvier à février 2004. La taille d'échantillon, calculée à 420 enfants, était suffisante pour déterminer la prévalence de l'anémie avec une précision souhaitée de 3,5%, un risque d'erreur alpha de 5%, un effet grappe de 2 et une prévalence attendue de 95%. Dans chacun des 30 villages, les mères des enfants de 6-23 mois sélectionnés ont été invitées à participer avec l'enfant à un examen qui s'est déroulé au CSPS ou au PSP à un jour préalablement fixé.

L'âge des enfants a été validé à partir du carnet médical, ou à défaut, du livret de famille, du carnet de baptême ou du registre des naissances du CSPS ou du PSP. Un questionnaire était d'abord administré aux mères. La scolarisation de la mère se référait à sa fréquentation passée de l'école formelle, la mère non scolarisée étant celle n'ayant jamais été à l'école. Des mesures du poids et de la taille ont ensuite été réalisées chez les enfants et leurs mères, en conformité avec les recommandations de l'OMS pour les mesures anthropométriques [11]. Un prélèvement de 5 ml de sang veineux était réalisé à la seringue et transféré dans un tube avec anticoagulant (Vacutest®). Ce tube était envoyé le même jour au laboratoire « Philadelphie » de Ouagadougou pour y être analysé par comptage électronique (Coulter®).

Une double saisie des données, suivie de validation, a été réalisée sous épi-info 6.04 dfr (Center for Disease Control and Prevention, Atlanta, USA). Le poids et la taille de l'enfant ont été comparés aux courbes de référence internationales du poids pour taille et de la taille pour âge (NCHS/WHO, 1978), et exprimés en z-scores du poids pour taille (ZPT) et de la taille pour âge (ZTA). Les seuils recommandés par l'OMS ont été utilisés pour définir l'anémie (taux d'hémoglobine <110 g/L), l'anémie sévère (taux d'hémoglobine <70 g/L), l'émaciation (ZPT <-2), et le retard de croissance (ZTA <-2) [8, 11]. Les seuils suivants ont été utilisés pour définir l'hypochromie (concentration moyenne en hémoglobine <22 pg) et la microcytose (volume globulaire moyen <67 fl) [8]. Le seuil de $15,0 \times 10^3$ globules blancs/ μL) a été utilisé pour définir l'hyperleucocytose [12].

Les données ont ensuite été analysées sous SPSS for Windows 12.0 (SPSS Inc, Chicago IL, USA). Le calcul des prévalences avec les intervalles de confiance à 95% (IC à 95%) a été fait sur Microsoft Excel (Microsoft Excel, Palisade Corp, Newfield, NY, USA). Ce calcul utilisait les formules tenant compte de la technique de sondage en grappes [13].

Les proportions ont été comparées en utilisant le test du chi carré. L'analyse du taux d'hémoglobine a été effectuée en deux étapes. Premièrement une analyse univariée a été réalisée, utilisant le test t de Student pour la comparaison des taux moyens (DS). Dans un deuxième temps, les variables présentant une valeur de $p < 0,10$ en analyse univariée ont été incluses dans un modèle de régression linéaire multiple. Le test F a été utilisé pour comparer les moyennes ajustées (ES) dérivées du modèle final de régression. Le seuil de signification était de 0,05 pour toutes les analyses.

Résultats

Sur les 420 enfants sélectionnés, 399 soit 95% ont participé à l'enquête. Parmi les 399 enfants ayant participé à l'enquête, 335 soit 80% des enfants sélectionnés ont eu un résultat d'analyse sanguine (5% n'ont pas participé, 4% avaient refusé le prélèvement de sang, et pour 11% des enfants, les prélèvements n'ont pas pu être analysés du fait d'hémolyse survenant principalement pendant le transport des échantillons). Les caractéristiques des 335 enfants ayant un résultat d'analyse sanguine sont présentées au **tableau 1**. L'âge variait de 6,1 à 23,9 mois, avec une moyenne (DS) de 13,8 (5,5) mois. L'âge et le sexe des enfants n'ayant pas de résultat d'analyse sanguine (64 enfants) n'étaient pas différents de ceux des enfants ayant un résultat.

Tableau 1 : Caractéristiques des enfants et de leurs mères (n=335).

Caractéristiques	Pourcentages
Mère	
Non scolarisée	87,1
Indice de masse corporelle <18,5 kg/m ²	14,1
Enfant	
Age de 12-23 mois	57,7
Sexe, M/F	51,4/48,6
N'est plus allaité actuellement	2,9
Absence d'alimentation de complément	22,4
Présence d'émaciation ^a	26,0
Présence de retard de croissance ^a	33,7

^aIl existe pour ces variables, des données exclues pour valeurs improbables (2 pour l'émaciation et 5 pour le retard de croissance)

Le **tableau 2** présente la description des mesures hématologiques, ainsi que la prévalence des facteurs hématologiques. Le taux d'hémoglobine était en moyenne (DS) de 77,7 (14,7) g/L. La prévalence de l'anémie était de 98,8% (IC à 95% : 97,6-99,9) ; celle de l'anémie sévère était de 29,5% (IC à 95% : 23,9-35,0).

Tableau 2 : Distribution et prévalence des facteurs hématologiques (n=335).

Mesures hématologiques	Moyenne (DS)	Prévalence (IC à 95%)
Taux d'hémoglobine (g/L)	77,6 (14,7)	
< 110		98,8 (97,6-99,9)
< 70		29,5 (23,9-35,0)
Concentration moyenne en hémoglobine (pg) ^a	20,9 (4,2)	
< 22		63,8 (57,5-70,1)
Volume globulaire moyen (fl) ^b	79,3 (12,7)	
< 67		17,2 (10,7-23,7)
Globules blancs (x 10 ³ /μL) ^c	11,5 (4,2)	
≥15		16,4 (8,0-27,8)

^apg, picogramme ; ^bfl, femtolitre ; ^cx10³ globules blancs/μL.

Parmi les enfants présentant une anémie, 65,1% avaient une anémie hypochrome, 15,2% avaient une anémie hypochrome et microcytaire. La **figure 1** illustre la répartition des enfants ayant une anémie, selon les indices érythrocytaires, l'âge et la sévérité de l'anémie.

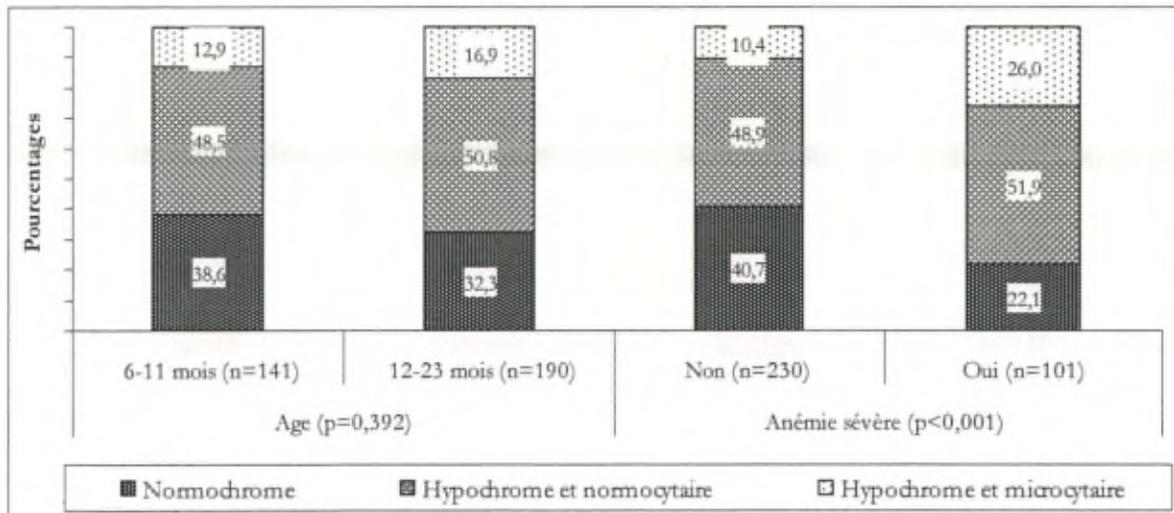


Figure 1 : Répartition des enfants présentant une anémie, selon les indices érythrocytaires, l'âge et la sévérité.

La fréquence des formes hypochromes microcytaires était plus élevée parmi les anémies sévères (26,0%), que parmi les anémies modérées (10,4%).

En régression linéaire multiple les deux seules variables qui restaient significativement associées au taux d'hémoglobine étaient l'âge de l'enfant et le retard de croissance. Les enfants de 6-11 mois avaient un taux moyen (ES) d'hémoglobine plus élevé que les enfants de 12-23 mois (82,4 (2,8) contre 75,8 (2,5) g/L, $p<0,001$). Les enfants n'ayant pas de retard de croissance avaient un taux moyen (ES) d'hémoglobine plus élevé que les enfants présentant un retard de croissance (81,1 (2,6) contre 77,2 (2,8) g/L, $p=0,026$).

Discussion

La prévalence de l'anémie est très élevée parmi les enfants de 6-23 mois du district de Kongoussi, la quasi-totalité de ces enfants étant affectés. Cette prévalence observée dépasse de loin le seuil OMS de 40% définissant l'endémie sévère d'anémie dans une population [8]. Une telle prévalence en population, à notre connaissance, n'a pas encore été rapportée. Cette prévalence très élevée,

qui pourrait placer l'anémie comme un des facteurs principaux de mortalité des jeunes enfants dans le district, appelle à des interventions urgentes. Les interventions devraient tenir compte des facteurs d'anémie les plus importants. Dans les pays en développement, l'anémie est causée principalement par la carence en fer [14]. Mais les maladies infectieuses et parasitaires, en particulier le paludisme contribuent à des prévalences élevées d'anémie dans de nombreuses populations en Afrique [15]. D'autres carences nutritionnelles comme celle en vitamine A peuvent être à l'origine d'anémie [16]. La connaissance de la part attribuable à chaque facteur potentiel est utile pour guider la formulation et la mise en oeuvre d'interventions visant le contrôle de l'anémie. La contribution de chaque facteur, vraisemblablement, est susceptible de variation d'un contexte donné à un autre en fonction de la fréquence et de la gravité de ce facteur vis-à-vis de l'anémie. Une étude précédente avait attribué à la malnutrition un rôle déterminant de l'anémie en milieu rural du Burkina Faso [17]. Les résultats de la présente étude permettent d'appuyer cette observation, un taux d'hémoglobine plus bas étant associé au retard de croissance ou malnutrition chronique. Toutefois, nos résultats montrent qu'une place non négligeable devrait être accordée aux autres causes potentielles d'anémie. En effet, deux tiers des anémies étaient hypochromes, et un tiers normochromes. Ce résultat, sans donner vraiment la proportion d'anémie attribuable à la carence en fer, suggère qu'au moins un tiers des anémies ont d'autres origines que la carence en fer.

Les interventions basées sur l'amélioration des apports en fer peuvent donc s'avérer insuffisantes pour le contrôle total de l'anémie dans cette population. L'étude internationale sur la supplémentation chez les enfants montrait qu'environ 23% des enfants restaient anémiques après 6 mois de supplémentation quotidienne en micronutriments multiples comprenant 10 mg de fer, chez des enfants de 6 mois parmi lesquels la prévalence de l'anémie était au départ de 67,1% [18]. Les autres causes d'anémie comme les maladies infectieuses et parasitaires, en particulier le paludisme, devraient être investiguées et mieux considérées dans le cadre des stratégies de contrôle de l'anémie chez les jeunes enfants de Kongoussi. Les hémoglobinopathies semblent

jouer un rôle moins important que la carence en fer ou les maladies infectieuses et parasitaires dans la prévalence très élevée d'anémie, du fait de leur relative faible fréquence. Des études menées dans l'ancienne Haute Volta, ou plus récemment dans l'actuel Burkina Faso, rapportaient de faibles prévalences d'hémoglobinopathies CC, SC et SS, autour de 1% [19-22].

Il existe peu de données sur l'anémie chez les enfants de 6-23 mois au Burkina Faso. A titre indicatif, l'Enquête Démographique et de Santé (EDS) de 2004 a rapporté une prévalence d'anémie, mesurée par un appareil à HemoCue, de 93,6% chez les enfants de 6-59 mois en milieu rural. On peut considérer que les résultats de la présente étude sont proches de ceux de l'EDS qui indiquait une prévalence d'anémie de 99,4% chez les enfants de 10-11 mois [10]. Au Bénin, la prévalence de l'anémie était de 89,0% et 85,4% chez les enfants âgés de 6-11 mois et ceux âgés de 12-23 mois respectivement ; elle était significativement associée au retard de croissance [23]. Au Mali, la prévalence de l'anémie était de 82,3% et 88,1% chez les enfants âgés de 6-11 mois et ceux âgés de 12-23 mois respectivement ; elle était aussi significativement associée au retard de croissance [23]. En Côte d'Ivoire, la prévalence de la carence en fer (enfant cumulant deux des trois indicateurs suivants : ferritine sérique <30 g/L, récepteurs sériques de la transferrine >8,5 mg/L, et zinc protoporphyrin >40 mol/mol heme) chez les enfants de 2-5 ans était de 63% [24].

En conclusion, ces résultats soulignent la fréquence très élevée de l'anémie qui appelle à des interventions urgentes. Les autres facteurs d'anémie que la carence en fer, en particulier les maladies infectieuses et parasitaires, devraient être investigués et mieux considérés dans le cadre des stratégies de contrôle de l'anémie chez les jeunes enfants. Le district de Kongoussi semble être un lieu où l'on devrait privilégier les stratégies intégrées dans la lutte contre l'anémie recommandée par l'OMS et l'UNICEF [6]. Ce type de stratégie prend en compte la carence en fer et les maladies infectieuses. Du reste, l'intégration à la lutte contre le paludisme devrait

permettre de contrôler les effets délétères de la supplémentation en fer sur la morbidité et la mortalité palustres, dans les régions où le paludisme est endémique [25].

Références

1. MI, UNICEF. Vitamins and minerals deficiencies. A global progress report. Ottawa, Micronutrient Initiative, 2004.
2. Black R. Micronutrient deficiency: an underlying cause of morbidity and mortality. *Bull World Health Organ* 2003; 81: 79.
3. UN/SCN. 5th report on the world nutrition situation: Nutrition for improved development outcome. Washington DC, ACC/SCN, 2004.
4. The World Bank. Repositioning nutrition as central to development. A strategy for large-scale action. Washington DC, The World Bank, 2006.
5. Dillon JC. Prévention de la carence en fer et des anémies ferriprives en milieu tropical. *Med Trop* 2000; 60: 83-91.
6. WHO, UNICEF. Focusing on anaemia. Towards an integrated approach for effective anaemia control. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Geneva, WHO, 2004.
7. Brabin J, Premji Z, Verhoeff F. An analysis of anaemia and child mortality. *J Nutr* 2001; 131: 636S-648S.

8. WHO. Iron Deficiency Anemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
9. Hershko C, Bar-Or D, Gaziel Y, *et al.* Diagnosis of iron deficiency anaemia in a rural population of children. Relative usefulness of serum ferritin, red cell protoporphyrin, red cell indices, and transferrine saturation determinations. *Am J Clin Nutr* 1981; 39: 1600-1610.
10. Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 2003- 2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.
11. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.
12. Grenier B. Pédiatrie en poche. Paris, Doins Editeurs, 1990.
13. Lemeshow S, Robinson D. Surveys to measure programme coverage and impact: a review of a methodology used by the expanded programme on immunisation. *World Health Statistics Quart* 1985; 38: 65-75.
14. Berger J, Dillon JC. Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement. *Cahiers Santé* 2000; 12: 22-30.
15. Crawley J. Reducing the burden of anaemia in infant and young children in malaria-endemic countries of Africa: from evidence to action. *Am J Trop Med Hyg* 2004; 71: 25-34.

16. Semba RD, Bloem MW. The anaemia of vitamin A deficiency: epidemiology and pathogenesis. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 271-281.
17. Muller O, Traoré C, Jahn A, *et al.* Severe anaemia in West African children: malaria or malnutrition? *Lancet* 2003; 361: 86-87.
18. Smuts CM, Lombard CJ, Benade AJ, *et al.* Efficacy of a foodlet-based multiple micronutrient supplement for preventing growth faltering, anaemia, and micronutrient deficiency of infants: the four country IRIS trial pooled data analysis. *J Nutr* 2005; 135: 631-638.
19. Katsir J. Hemoglobinopathies in Upper Volta. *J Trop Pediatr Environ Child Health* 1971; 17: 65-66.
20. Labie D, Richin C, Pagnier J *et al.* Hemoglobins S and C in Upper Volta. *Hum Genetics* 1984; 65: 300-302.
21. Devoucoux R, Hurpin C, Baudon D *et al.* Population genetics of abnormal hemoglobins in Burkina Faso, West Africa. *Ann Hum Biol* 1991; 18: 295-302.
22. Simpore J, Pignatelli S, Barlati S *et al.* Modification in the frequency of Hb C and Hb S in Burkina Faso: an influence of migratory fluxes and improvement of patients health care. *Hemoglobin* 2002; 26: 113-20.
23. Ngnie-Teta I, Receveur O, Kuate-Defo B. Risk factors for moderate to severe anemia among children in Benin and Mali: Insights from a multilevel analysis. *Food Nutr Bull*, 2007; 28: 76-89.

24. Asobayire FS, Adou P, Davidsson L, Cook JD, Hurrell RF. Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anemia in population groups with high prevalences of malaria and other infections: a study in Côte d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 2001; 74: 776–782.

25. WHO. Iron supplementation of young children in regions where malaria transmission is intense and infectious diseases highly prevalent. Geneva, WHO/CAH/NTD/NHD/RBM, 2004.

4.2. Malnutrition

4.2.1. *Les pratiques ménagères d'amélioration des aliments de complément sont associées à un meilleur indice taille pour âge chez les enfants âgés de 12-23 mois d'un district rural au Burkina Faso*

OUEDRAOGO HZ, NIKIEMA L, SOME I, SAKANDE J, DRAMAIX M, DONNEN P.
Home-based practices of complementary foods improvement are associated with better height-for-age z-score in 12-23 months-old children from a rural district of Burkina Faso. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 2008; 8 (2): 204-218.

Introduction

Plus de 10 millions d'enfants meurent chaque année, la plupart d'entre eux meurent de causes évitables, et la majorité de ces décès surviennent dans les pays en développement [1]. Une santé et nutrition adéquates durant les premières années de vie sont le fondement pour l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement [2]. Selon la Banque Mondiale, repositionner la nutrition est centrale pour le développement [3]. L'investigation des facteurs associés à la malnutrition est importante pour envisager les mesures de prévention. Conceptuellement les trois causes sous-jacentes de la malnutrition sont : 1) l'insécurité alimentaire des ménages, 2) l'insuffisance des soins de santé et la situation d'hygiène et d'assainissement défavorable, et 3) l'insuffisance de « soins » à la mère et à l'enfant [4]. Le concept de « soins », est plus récent à côté des deux premières causes, moins bien défini et rarement pris en compte dans les interventions de lutte contre la malnutrition [5]. Six catégories sont reconnues : « soins » en direction des femmes, alimentation du jeune enfant, « soins » psychosociaux, préparation des repas, comportement d'hygiène, et comportements de santé [5].

Pour les pratiques d'alimentation de l'enfant, l'OMS recommande que les nourrissons soient allaités exclusivement durant les six premiers mois de vie pour atteindre une croissance, un développement et une santé optimales. Par la suite, pour couvrir leurs besoins nutritionnels évolutifs, ils devront recevoir des aliments de complément adaptés et sains alors que l'allaitement continue jusqu'à deux ans d'âge et au delà [6]. La promotion de l'allaitement exclusif et d'une alimentation de complément améliorée sont classées première et troisième respectivement, parmi les actions de prévention les plus efficaces pour la réduction de la mortalité des enfants âgés de moins de cinq ans dans les pays en développement [7].

Au Burkina Faso, le taux de mortalité des enfants de moins de cinq ans atteignait 184 décès pour 1000 naissances vivantes (202 en milieu rural), soit un des taux de mortalité les plus élevés au monde [8]. La malnutrition sévit à un niveau endémique élevé, en particulier en milieu rural, où la prévalence de l'émaciation et du retard de croissance chez les enfants de moins de cinq ans atteignait 19,6% et 41,6% respectivement [8]. Avant la mise en œuvre d'un projet d'intervention nutritionnelle dans le district rural de Kongoussi, une étude a été réalisée en vue de collecter des données de base et d'investiguer les principaux facteurs contributifs de la malnutrition. Cet article présente les résultats de l'analyse du statut nutritionnel en rapport aux pratiques d'alimentation des jeunes enfants.

Méthodes d'étude

Conception de l'étude

Une enquête transversale en population a été menée de janvier à février 2004. Au total, 399 enfants âgés de 6-23 mois ont été examinés (95% des 420 enfants sélectionnés: 30 grappes de 14 enfants). Les mesures anthropométriques ont été réalisées chez la mère et l'enfant par un nutritionniste expérimenté, en accord avec les recommandations de l'OMS [9]. Le poids était

mesuré chez des enfants dévêtus, en utilisant une balance électronique ayant une capacité de 16 kg et une précision de 10 g, et chez la mère légèrement habillée sur une balance mécanique de 120 kg de capacité et de 100 g de précision (Seca®, France). Toutes les mesures de la taille chez les enfants ont été faites en position couchée au mm près sur une toise fabriquée localement, et chez les mères en position debout à 5 mm près en utilisant des toises de fabrication locale. Un questionnaire était administré par interview de la mère, réalisé par le même investigateur.

Collecte des données

L'âge de l'enfant était validé en utilisant son carnet de suivi sanitaire ou le registre des naissances ou celui des vaccinations du poste de santé. L'équipement du ménage était enregistré et coté comme suit : type de construction (en ciment = 1, toit en tôle = 1, présence d'électricité = 1, et d'eau courante = 1), type de moyen de transport (bicyclette = 1, cyclomoteur = 2, motocyclette = 3, et voiture = 4), et appareils électroménagers (radio = 1, télévision = 2, et réfrigérateur = 3). Les pratiques d'agriculture et d'élevage concernaient le type de charrue (charrue à traction asine = 1, à traction bovine = 2, et à traction équestre = 3), et le type d'élevage (caprins = 1, bovins = 2). L'occupation de la mère était classée comme génératrice de revenus ou non. Le petit commerce, le maraîchage, l'orpaillage, l'emploi domestique, la poterie, la couture, le tissage, et la coiffure étaient considérés comme activités génératrices de revenus (AGR). L'agriculture et le ménage à domicile n'étaient pas considérés dans cette définition parce qu'ils concernaient toutes les mères. Les pratiques d'alimentation de l'enfant concernaient d'abord l'alimentation pré-lactée et les modes d'allaitement au cours des six premiers mois de vie. L'alimentation pré-lactée était définie par tout aliment donné à l'enfant avant la mise au sein. Les mères étaient interviewées au sujet de l'allaitement et des autres aliments comme l'eau et autres, au cours des six premiers mois de vie. Les pratiques d'alimentation de l'enfant concernaient ensuite l'allaitement et l'alimentation de complément en cours. Il était demandé aux mères de décrire les ingrédients utilisés habituellement pour la préparation des aliments de complément. Ont été considérés comme

céréales « fortifiées » les farines améliorées à domicile en mélangeant du *soumbala*, du poisson séché, ou des arachides grillées, ou plusieurs de ces produits, au mil avant la mouture. Le *soumbala* est un produit fermenté des graines de *nééré*, (*Parkia biglobosa*), utilisé couramment comme condiment dans les sauces [10]. Il est d'utilisation très courante en Afrique, appelé "iru" au Nigeria, "neteton" en Gambie, "kpalugu" au Ghana, "kbinda" en Sierra Leone et "dawadawa" en Afrique du Nord. Il a une teneur en énergie, fer et zinc de 436 kcal/100g, 69,6 mg/100g et 5,1 mg/100g respectivement [11]. Aucune mère n'a rapporté l'utilisation de farine industrielle, qu'il s'agisse de celle de grande firmes ou de petites unités locales de production. Le mode d'alimentation de complément a par conséquent été classé en trois catégories: pas d'alimentation de complément, utilisation de céréales non fortifiées, et utilisation de céréales fortifiées.

Traitement des données

Les données ont fait l'objet d'une double saisie suivie de validation sous Epi-info version 6.04dfr (CDC, Atlanta, GA, USA). Un indice d'équipement a été créé en additionnant les cotes relatives à l'équipement du ménage. Il variait de zéro à 15 ; les enfants ont été regroupés en deux catégories selon l'indice d'équipement du ménage en utilisant le seuil de 5 pour obtenir des groupes approximativement égaux (indice ≥ 5 , élevé ; indice < 5 , bas). Un indice de niveau d'agriculture et d'élevage était créé en additionnant les cotes relatives aux pratiques d'agriculture et d'élevage. Cet indice variait de zéro à 7 ; l'indice ≥ 2 était considéré comme élevé alors que l'indice < 2 était considéré comme bas. Ce seuil de 2 a été retenu pour obtenir deux groupes approximativement égaux. L'âge de la mère a été catégorisé en utilisant le seuil de 25 ans qui permettait aussi d'obtenir deux groupes approximativement égaux. L'introduction en temps opportun de l'alimentation de complément était définie comme le pourcentage d'enfants de 6-9 mois allaités, qui recevaient une alimentation semi-solide ou solide [12]. L'allaitement prédominant était défini comme l'alimentation au lait ou une combinaison entre le lait et de l'eau. Le poids et la taille de l'enfant ont été comparés aux courbes de référence internationale du poids pour taille et de la

taille pour âge (NCHS/WHO, 1978), et exprimés en z-scores de poids pour taille (ZPT) et de taille pour âge (ZTA) ; le seuil de -2 a été utilisé pour définir l'émaciation ou malnutrition aiguë (ZPT <-2) et le retard de croissance ou malnutrition chronique (ZTA <-2) [9]. L'indice de masse corporelle (IMC) de la mère était calculé suivant l'équation "IMC = poids (kg)/taille (m)²." L'insuffisance pondérale correspondait à un IMC $<18,5$ kg/m².

Méthodes statistiques

Les prévalences du retard de croissance et de l'émaciation avec les intervalles de confiance à 95% ont été calculées, en tenant compte du type d'échantillonnage qui était en grappes [13]. Nous avons réalisé une analyse univariée du ZTA et du ZPT, comparant les moyennes par le test t de Student ou l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur suivie de comparaisons multiples de moyennes avec correction de Bonferroni. Nous avons établi un modèle de régression linéaire, d'une part du ZTA, et d'autre part du ZPT, puis calculé les moyennes ajustées qui ont été comparées par le test F suivie de comparaisons multiples de moyennes avec correction de Bonferroni. Seules les variables associées avec une valeur de $p < 0,10$ en analyse univariée ont été incluses dans le modèle de régression linéaire. L'analyse des résidus a permis de vérifier les conditions d'application et d'éventuelles colinéarités ont été recherchées. La catégorie d'âge étant une variable modificatrice pour l'association entre le ZTA et le mode d'alimentation de complément ; pour le ZTA un modèle a été présenté dans chaque catégorie d'âge. Le seuil de signification statistique était fixé à 0,05.

Résultats

Caractéristiques des enfants, des mères, et des ménages

Le **tableau 1** présente les caractéristiques des enfants, des mères et des ménages.

Tableau 1 : Distribution des enfants suivant leurs caractéristiques, celles des mères et des ménages.

Caractéristiques	n	%
<i>Enfants</i>		
Age (mois)		
6-11	169	42,3
12-23	230	57,7
Sexe		
Filles	204	51,1
Garçons	195	48,9
Rang de naissance		
1	86	23,0
> 1	288	77,0
<i>Mères</i>		
Age (ans)		
< 25	187	50,4
≥ 25	184	49,6
Insuffisance pondérale		
Non	326	85,1
Oui	57	14,9

Tableau 1 (suite)

Fréquentation scolaire		
A fréquenté	48	12,9
N'a jamais fréquenté	324	87,1
Exerce une activité génératrice de revenus		
Oui	206	55,5
Non	165	44,5
<i>Ménages</i>		
Présence de latrines		
Oui	148	39,6
Non	226	60,4
Indice d'agriculture et d'élevage ^a		
Elevé	205	54,5
Bas	171	45,5
Indice d'équipement ^b		
Elevé	220	59,6
Bas	149	40,4

^acréé en additionnant les cotes relatives à l'équipement du ménage ; ^bcréé en additionnant les cotes relatives aux pratiques d'agriculture et d'élevage.

L'âge moyen (DS) des enfants était de 13,8 (4,9) mois. L'âge moyen (DS) des mères était de 27,5 (6,6) ans. La plupart des mères étaient non scolarisées. Plus de la moitié des mères étaient impliquées dans des AGR.

Pratiques d'alimentation de l'enfant

Les pratiques d'alimentation des enfants sont présentées au **tableau 2**.

Tableau 2 : Distribution des enfants suivant les pratiques d'alimentation.

Pratiques d'alimentation	n	%
Utilisation d'aliments pré-lactés avant la mise au sein		
Oui	150	40,0
Non	226	60,0
Allaitement prédominant quand l'enfant avait 0-6 mois d'âge		
Oui	351	93,4
Non	25	6,6
Allaitement en cours		
Oui	368	97,9
Non	8	2,1
Mode d'alimentation de complément		
Utilisation de céréales fortifiées	64	17,0
Utilisation de céréales non fortifiées	221	58,8
Pas d'alimentation de complément	91	24,2

Parmi les enfants, 40% avaient reçu une alimentation pré-lactée avant la mise au sein. Presque tous les enfants étaient toujours allaités. La proportion d'enfants sous alimentation de complément était de 75,8% (représentant 17,0% utilisant des céréales fortifiées et 58,8% utilisant des céréales non fortifiées). Le pourcentage d'introduction en temps opportun de l'alimentation de complément était de 50,7%.

Prévalence de l'émaciation, et facteurs associés au z-score poids pour taille

La prévalence de l'émaciation était de 26,3% (IC à 95% : 21,5-30,5) ; elle était de 22,5% parmi les enfants de 6-11 mois et de 29,1% parmi les enfants de 12-23 mois. La **figure 1** illustre les distributions du ZPT pour la population de référence du NCHS/OMS 1978 et pour la population étudiée. Un décalage à gauche de la courbe des enfants étudiés était observé.

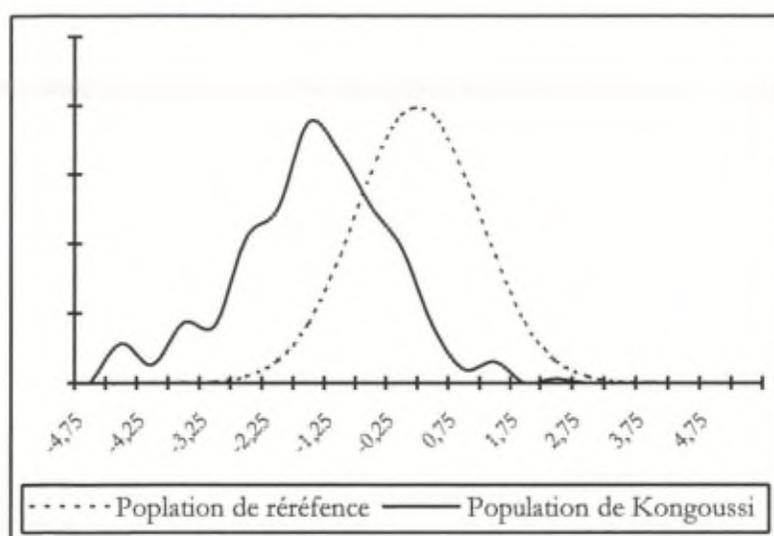


Figure 1 : Distribution du z-score poids pour taille des enfants étudiés et de la population de référence du NCHS/OMS 1978.

Le ZPT moyen (DS) était de $-1,39$ (1,14). Le ZPT était associé à l'âge des enfants, et au statut nutritionnel de la mère. Il était en moyenne plus bas chez les enfants âgés de 12-23 mois que chez les enfants âgés de 6-11 mois ($-1,37$ versus $-1,10$; $p=0,036$). Les enfants de mères en insuffisance pondérale avaient un ZPT plus bas ($-1,46$) en comparaison des enfants de mères ayant un état nutritionnel normal qui avaient un ZPT de $-1,02$ ($p=0,006$). Le ZPT n'était pas associé au mode d'alimentation de complément.

Prévalence du retard de croissance, et facteurs associés au z-score taille pour âge

La prévalence du retard de croissance était de 35,8% (IC à 95% : 29,4-41,1) ; elle était de 18,3% parmi les enfants âgés de 6-11 mois et de 48,7% parmi les enfants âgés de 12-23 mois. La **figure 2** illustre les distributions du ZTA pour la population de référence du NCHS/OMS 1978 et pour la population étudiée. Un décalage à gauche de la courbe des enfants étudiés était observé. Le ZTA moyen (DS) était de $-1,68$ (1,15).

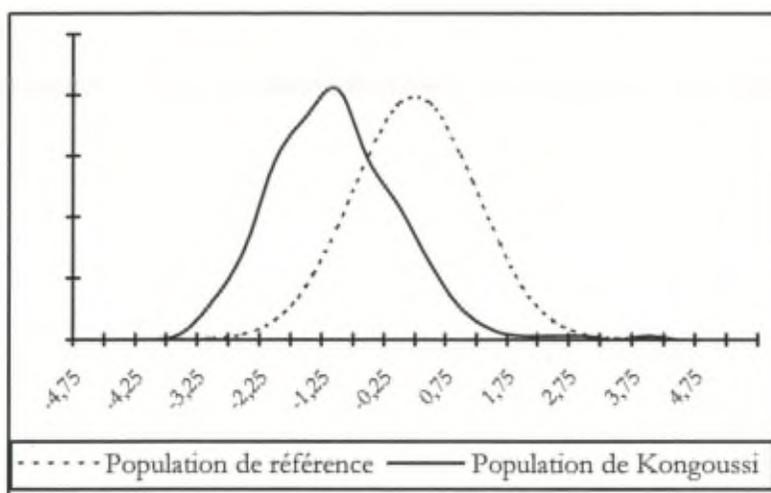


Figure 2: Distribution du z-score taille pour âge des enfants étudiés et de la population de référence du NCHS/OMS 1978.

Le **tableau 3** présente les moyennes ajustées du ZTA.

Tableau 3 : Moyennes (ES) du z-score taille pour âge, par catégories d'âge. Résultats de la régression linéaire multiple.

	Age des enfants					
	6-11 mois			12-23 mois		
	n	Moyenne (ES*)	p	n	Moyenne (ES*)	p
Rang de naissance de l'enfant			0,056			0,057
1	33	-1,86 (0,34)		47	-1,87 (0,36)	
> 1	115	-1,41 (0,28)		159	-1,51 (0,33)	
IMC de la mère			0,045			0,667
≥ 18,5 kg/m ²	129	-1,34 (0,30)		173	-1,64 (0,33)	
< 18,5 kg/m ²	19	-1,93 (0,35)		33	-1,73 (0,38)	
La mère exerce une AGR			0,410			0,017
Oui	81	-1,71 (0,30)		114	-1,88 (0,35)	
Non	67	-1,55 (0,31)		92	-1,49 (0,34)	
Utilisation d'aliments pré-lactés			0,653			0,254
Oui	61	-1,59 (0,31)		84	-1,60 (0,35)	
Non	87	-1,68 (0,30)		122	-1,78 (0,35)	
Allaitement prédominant			0,412			0,894
Oui	143	-1,41 (0,16)		188	-1,67 (0,32)	
Non	5	-1,85 (0,53)		18	-1,70 (0,40)	
Allaitement en cours						0,071
Oui	148	-1,63 (0,29)		200	-2,11 (0,24)	
Non	0	-		6	-1,26 (0,53)	

Tableau 3 (suite)

Mode d'alimentation de complément		0,161		0,018
Utilisation de céréales fortifiées	58	-1,69 (0,32)	4	-1,33 (0,63)
Utilisation de céréales non fortifiées	63	-1,86 (0,30)	146	-1,61 (0,30)
Pas d'alimentation de complément	27	-1,35 (0,35)	56	-2,11 (0,32)
R ²		0,52		0,77

*Standard error

Après ajustement pour les caractéristiques des enfants, des mères et des ménages, et pour les pratiques d'allaitement passées ou en cours, le ZTA restait associé au mode d'alimentation de complément chez les enfants âgés de 12-23 mois ($p=0,018$), mais pas chez les enfants âgés de 6-11 mois ($p=0,136$). Parmi les enfants âgés de 12-23 mois, la moyenne ajustée (erreur standard) du ZTA était de -1,33 (0,63), -1,61 (0,30), et -2,11 (0,32) chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales fortifiées, chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales non fortifiées, et chez les enfants qui ne recevaient pas d'aliments de complément, respectivement ($p=0,018$). La comparaison *a posteriori* montrait une différence significative de ZTA entre les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales non fortifiées, et les enfants qui ne recevaient pas d'aliments de complément ($\Delta=0,50$, $p=0,020$). La différence de ZTA entre les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales fortifiées et les enfants qui ne recevaient pas d'aliments de complément était plus importante, mais non significative statistiquement, en raison du nombre peu élevé d'enfants dans la première catégorie ($\Delta=0,78$, $p=0,558$).

L'AGR de la mère était associée au ZTA parmi les enfants âgés de 6-11 mois.

Discussion

Le ZTA était associé au mode d'alimentation de complément, parmi les enfants âgés de 12-23 mois. Comparés aux enfants n'ayant pas d'aliments de complément, ceux ayant une alimentation de complément avaient un ZTA plus élevé. L'utilisation de céréales fortifiées pour l'alimentation de complément était associée au ZTA le plus élevé. Ces résultats soulignent le besoin crucial d'introduction en temps opportun de l'alimentation de complément, ainsi que l'importance de l'amélioration de la qualité des aliments, pour la réduction de la malnutrition. L'utilisation du *soumbala*, du poisson séché et/ou des arachides grillées a probablement contribué à améliorer le ZTA, en augmentant la teneur des bouillies en nutriments comme les protéines et les micronutriments.

Au Ghana, Lartey *et al.* rapportaient l'importance des aliments de complément fortifiés [14]. Elle a conduit une étude d'intervention en population, pour comparer le Weanimix®, un mélange alimentaire fait de 75% de maïs, 15% de haricots, et 10% d'arachides, à trois autres aliments fortifiés (1. Weanimix® + vitamines et minéraux, 2. Weanimix® + poudre de poisson séché, et 3. bouillie locale + poudre de poisson séché). L'incorporation de la poudre de poisson séché augmentait la teneur en protéines, calcium, fer, zinc, phosphore, et vitamine B12. Dans l'étude du Ghana, les enfants étaient inclus à l'âge de six mois puis suivis pendant six mois. Ils étaient aussi comparés à des enfants alimentés avec des aliments traditionnels et chez lesquels il n'y avait pas d'intervention. Le ZTA et le z-score poids pour âge des enfants inclus dans l'intervention étaient plus élevés que ceux des enfants non inclus. Toutefois, la comparaison entre les groupes d'intervention ne montrait pas d'amélioration de la croissance. L'hypothèse explicative avancée par les auteurs était que l'aliment de contrôle lui-même, c'est-à-dire le Weanimix, avec un allaitement fréquent, était adéquat d'un point de vue nutritionnel. Une autre explication était, soit que les carences en micronutriments dans la population concernée par l'étude n'étaient pas

suffisamment graves pour affecter la croissance, soit que l'effet des micronutriments sur la croissance étaient limités du fait d'autres facteurs comme les fréquentes infections.

Dans le district de Kongoussi, l'amélioration des aliments de complément par l'incorporation de *soumbala*, poisson séché, et/ou d'arachides grillées était associée à un meilleur état de croissance. Toutefois, cette pratique ménagère ne concernait que 17% des enfants ; elle devrait être encouragée, à travers une éducation nutritionnelle, comme le *soumbala* et les arachides sont disponibles toute l'année. Des études approfondies sont nécessaires, pour préciser la valeur nutritionnelle des aliments de complément ainsi améliorés et leur contribution à l'amélioration de l'état nutritionnel. La présente étude n'a pas quantifié la fréquence des repas ; de plus, la morbidité qui est un déterminant important du statut nutritionnel n'a pas été pris en considération [15]. Toutefois, même en dehors de la morbidité, les variables considérées dans le modèle de régression expliquaient environ trois quarts de la variation du ZTA chez les enfants âgés de 12-23 mois ($R^2=0,77$), témoignant de l'importance des ces variables.

Le rôle des AGR dans le statut nutritionnel du jeune enfant devrait être mentionné. Les enfants dont les mères exercent des AGR avaient un ZTA plus bas que les enfants de mères n'ayant pas d'AGR, en particulier chez les enfants âgés de 12-23 mois. Le manque de temps du fait de ces activités pourrait avoir affecté l'environnement familial et la disponibilité alimentaire, et par conséquent les « soins » et la nutrition de l'enfant. L'orpaillage par exemple, mobilise les mères toute la journée sur les sites aurifères, alors que les frères ou soeurs plus âgés avaient la tâche de s'occuper du jeune enfant. Ceci était valable, dans une moindre mesure, pour les autres activités comme le maraîchage, le petit commerce, la coiffure, la couture et la poterie. Le temps est une ressource importante pour les soins de l'enfant. Dans une étude d'observation réalisée à Accra au Ghana, les mères des enfants ayant la meilleure croissance passaient moins de temps aux AGR que les mères des enfants ayant une moins bonne croissance [16].

Parmi les enfants âgés de 12-23 mois, ceux qui n'étaient plus allaités avaient une tendance non significative à avoir un ZTA plus élevé que les enfants toujours allaités. La relation entre l'allaitement prolongé et le statut nutritionnel est discutée. L'étude prospective faite par Fawzi *et al.* concluait que l'association inverse souvent observée dans les études transversales n'était pas causale (autrement dit, ce ne serait pas l'allaitement prolongé qui conduisait à un ZTA plus bas), mais s'expliquerait par une alimentation de complément plus pauvre chez les enfants toujours allaités, en comparaison à ceux qui ne l'étaient plus [17].

Dans le district de Kongoussi, la situation sanitaire des enfants est marquée par une prévalence élevée de malnutrition. L'enquête démographique et de santé (EDS) de 2003, qui concernait un échantillon représentatif à l'échelle nationale, rapportait que la prévalence du retard de croissance était de 10,6% chez les enfants âgés de 6-11 mois, et de 31,7% chez les enfants âgés de 12-23 mois [8]. La prévalence de l'émaciation était de 20,2% chez les enfants de 6-11 mois et de 26,4% chez les enfants de 12-23 mois [8]. Il y avait une différence d'avec les résultats de cette étude qui montrait une prévalence plus élevée de retard de croissance, dans cette population rurale de Kongoussi.

En conclusion, ces résultats soulignent la fréquence élevée de la malnutrition chez les jeunes enfants du district de Kongoussi. L'alimentation de complément, en particulier celle utilisant des farines améliorées à domicile, est un facteur associé à la bonne croissance des jeunes enfants. Toutefois, de telles pratiques d'amélioration des farines impliquent moins du cinquième des enfants. La prévention de la malnutrition chronique dans ce district pourrait se baser sur les pratiques ménagères d'amélioration des aliments de complément, en utilisant des ingrédients disponibles localement. Des recherches plus approfondies sont nécessaires pour spécifier et standardiser les procédures d'utilisation des ingrédients disponibles dans la prévention de la malnutrition.

Références

1. Black RE, Morris SS, Bryce J. Where and why are 10 million children dying every year? *Lancet* 2003; 361: 2226-2234.
2. Lutter C. Meeting the challenge to improve complementary feeding. *SCN News* 2003; 27: 4-9.
3. The World Bank. Repositioning nutrition as central to development. A strategy for large-scale action. Washington DC, The World Bank, 2006.
4. UNICEF. Strategy for improved nutrition of children and women in developing countries. New York, UNICEF policy review, 1990.
5. Martin-Prevel Y. « Soins » et nutrition publique. *Cahiers Sante* 2002; 12: 86-93.
6. WHO. Global strategy for infant and young child feeding practices. Geneva, WHO, 2003.
7. Jones G. How many child deaths can we prevent this year? *Lancet* 2003; 362: 65-71.
8. Measuredhs. Enquête Démographique et de Santé (EDS BF III, 2003). Washington D.C., ORC Macro Int., 2004.
9. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.

10. Ndir B, Lognay G, Whatelet B, Cornelius C, Marlier M, Thonart P. Composition chimique du nétéu, condiment alimentaire produit par fermentation des graines du caroubier Africain *Parkia biglobosa*. *Biotechnol Agron Soc Environ* 2004; 4: 101-105.
11. Barikmo I, Ouattara F, Oshaug A. Food composition table for Mali. Lillestrøm, Akershus University College, 2004.
12. WHO. Report of informal meeting to review and develop indicators for complementary feeding. Geneva: WHO / DCAHD, 2002.
13. Lemeshow S, Robinson D. Surveys to measure programme coverage and impact: a review of a methodology used by the expanded programme on immunisation. *World Health Statist Quart* 1985; 38: 65-75.
14. Lartey A, Manu A, Brown KH, Pearson JM, Dewey KG. A randomised, community-based trial of the effects of improved, centrally processed complementary foods on growth and micronutrient status of Ghanaian infants from 6 to 12 months. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 391-404.
15. Stephenson CB. Burden of infection on growth failure. *J Nutr* 1999; 129: 534S-538S.
16. Arimond M, Ruel MT. Assessing care: progress toward the measurement of selected childcare and feeding practices, and implications for programs. Washington D.C., FANTA project, Academy for Educational Development, 2002.
17. Fawzi WW, Herrera MG, Nestel P, El Amin A, Mohamed KA. A longitudinal study of prolonged breastfeeding in relation to child undernutrition. *Int J Epidemiol* 1998; 27: 255-260.

4.3. Anémie et paludisme

4.3.1. Anémie sévère due à l'infection non fébrile à *Plasmodium falciparum* chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi, Burkina Faso

OUEDRAOGO HZ, ZEBA AN, DRAMAIX-WILMET M, DONNEN P. Severe anaemia due to afebrile *Plasmodium falciparum* infection in children aged 6-23 months from the rural district of Kongoussi, Burkina Faso. *Journal of Tropical Pediatrics* 2008 ; doi:10.1093/tropej/fmn049.

Introduction

L'anémie est un problème de santé publique très répandu, avec des conséquences majeures sur la santé humaine et le développement économique et social [1]. Les enfants âgés de moins de deux ans et les femmes enceintes sont les plus touchés. L'un des effets les plus dramatiques de l'anémie, en particulier de l'anémie sévère, est le risque accru de mortalité chez l'enfant [2]. La carence en fer est la cause principale de l'anémie mais les maladies infectieuses, en particulier le paludisme, sont des facteurs importants contribuant à des prévalences élevées d'anémie dans plusieurs populations [1, 3-5]. La prévalence de l'anémie (taux d'hémoglobine <110 g/L) et de l'anémie sévère (taux d'hémoglobine <80 g/L) parmi les enfants est recommandée comme un indicateur pertinent de la charge de paludisme dans une population, et du progrès des programmes de contrôle du paludisme [6].

Les programmes de lutte contre le paludisme sont basés essentiellement sur la prévention primaire et le traitement efficace des cas. L'efficacité des moustiquaires imprégnées d'insecticide sur l'anémie sévère, en particulier chez les enfants âgés de moins de 36 mois, a été rapportée par des études précédentes [7, 8]. Cependant, les moustiquaires imprégnées d'insecticides ne préviennent pas totalement le paludisme dans la population qui les utilise. La prise en charge du

paludisme à domicile est mise en œuvre en Afrique Sub-Saharienne, principalement dans les régions où l'accès aux services de santé est faible, en vue d'atteindre le maximum de cas traités [9, 10]. Cette stratégie consiste au traitement des cas de paludisme fébrile non compliqués avec des antipaludéens efficaces et la référence des cas compliqués. Le paludisme non fébrile n'est pas pris en considération dans cette stratégie. Ceci pourrait limiter l'effet des interventions basées sur le traitement des cas sur la prévalence de l'anémie parmi les enfants, cette limitation dépendant de la fréquence et de l'effet du paludisme non fébrile sur le taux d'hémoglobine et l'anémie.

Les objectifs de cette étude étaient : 1) de déterminer la prévalence de l'infection fébrile et non fébrile à *Plasmodium falciparum* (PF), et 2) d'analyser l'association entre le taux d'hémoglobine et de l'anémie modérée à sévère avec l'infection fébrile et non fébrile à PF.

Méthodes d'étude

Conception de l'étude

Cette enquête transversale en population a été menée d'août à septembre 2006. Dans chacun des villages retenus, 17 enfants âgés de 6-23 mois (soit 510 enfants) étaient sélectionnés et invités à se présenter au PSP selon un programme pré-établi, pour un examen médical. Le jour de l'examen médical, les 456 enfants (89,4% des enfants sélectionnés) qui se sont présentés ont été examinés ; les 54 enfants restants ne s'étaient pas présentés pour plusieurs raisons : activités agricoles et activités génératrices de revenus de la mère, déplacement de la mère pour une visite aux parents.

Collecte des données

Un questionnaire incluant des données démographiques et socio-économiques, des pratiques d'alimentation et de soins de l'enfant, et la morbidité de l'enfant était adressé aux mères. La scolarisation de la mère se référait à la fréquentation passée de l'école formelle, la mère non scolarisée étant celle n'ayant jamais fréquenté l'école. L'occupation de la mère était classée comme

génératrice de revenus ou non. Le petit commerce, le maraîchage, l'orpaillage, l'emploi domestique, la poterie, la couture, le tissage, et la coiffure étaient considérés comme activités génératrices de revenus (AGR). L'agriculture et le ménage à domicile n'étaient pas considérés dans cette définition parce qu'ils concernaient toutes les mères. L'âge de l'enfant était validé en utilisant son carnet de suivi sanitaire ou le registre des naissances ou celui des vaccinations du PSP. Les mères étaient interviewées sur les pratiques d'allaitement et d'alimentation de complément au cours des dernières 24 heures, ainsi que sur la morbidité de l'enfant (diarrhée, fièvre, toux) au cours des deux semaines ayant précédé l'interview.

Un médecin généraliste examinait la mère à la recherche de goitre, selon les recommandations de l'International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD) [11]. Il examinait aussi les enfants à la recherche de splénomégalie, qui était classifiée selon Hackett [12]. Les mesures anthropométriques ont été réalisées chez la mère et l'enfant par un nutritionniste expérimenté, en accord avec les recommandations de l'OMS [13]. Le poids était mesuré chez des enfants dévêtus, en utilisant une balance électronique ayant une capacité de 16 kg et une précision de 10 g, et chez la mère légèrement habillée sur une balance mécanique de 120 kg de capacité et de 100 g de précision (Seca®, France). Toutes les mesures de la taille chez les enfants ont été faites en position couchée sur une toise fabriquée localement, au mm près, et chez les mères en position debout à 5 mm près en utilisant des toises de fabrication locale. Un prélèvement de sang capillaire était réalisé par un technicien de laboratoire. Une goutte de sang servait à la réalisation du frottis sanguin et une autre était utilisée pour la mesure du taux d'hémoglobine en utilisant un appareil à HemoCue® (Hemocue HB 201+, Angelholm, Sweden), avec une précision d'1g/L. Le frottis sanguin était coloré au Giemsa, et lu au laboratoire de l'hôpital du district. Une double lecture a été réalisée et les frottis discordants ont fait l'objet d'une troisième lecture au laboratoire de l'*Institut de Recherche en Sciences de la Santé* à Ouagadougou. La densité parasitaire moyenne des deux résultats concordants était considérée.

Définitions

Pour l'alimentation de complément, la fréquence des repas était considérée comme adéquate pour l'enfant de 12-23 mois s'il avait eu au moins 3 repas/jour, et pour l'enfant de 6-11 mois s'il avait eu au moins 2 repas/jour [14]. Elle était considérée insuffisante si l'enfant avait reçu moins de repas que le nombre indiqué ci-dessus. Le poids et la taille de l'enfant ont été comparés aux courbes internationales de référence de l'OMS/NCHS 1978 et exprimés en z-score de la taille pour l'âge (ZTA) et z-score du poids pour la taille (ZPT). Le seuil de -2 a été utilisé pour définir le retard de croissance (ZTA <-2) et l'émaciation (ZPT <-2). La fièvre était définie soit par la présence d'une température axillaire au cours de l'examen $\geq 37,5^{\circ}\text{C}$, soit par la présence de fièvre au cours des deux dernières semaines rapportée par la mère, soit les deux. L'infection fébrile au PF était définie comme une densité parasitaire >0 parasites/ μL associée à la fièvre alors que l'infection non fébrile désignait une densité parasitaire >0 parasites/ μL sans fièvre. L'anémie était définie par un taux d'hémoglobine <110 g/L et l'anémie modérée à sévère par un taux d'hémoglobine <80 g/L [6].

Analyses statistiques

Les données ont fait l'objet d'une double saisie suivie de validation sous Epi-info version 6.04dfr (CDC, Atlanta, GA, USA), puis analysées sous SPSS 12.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago IL, USA). En analyse univariée, les pourcentages d'enfants ayant une anémie modérée à sévère ont été comparés en utilisant le test du chi carré de Pearson; les taux d'hémoglobine moyens (DS) ont été comparés en utilisant un test t de Student ou par analyse de variance (ANOVA) qui était suivie d'une comparaison *a posteriori* avec correction de Bonferroni. Un modèle de régression logistique pour analyser l'anémie modérée à sévère et un modèle de régression linéaire pour analyser le taux d'hémoglobine ont été établis. Les variables associées avec une valeur de $p < 0,10$ en analyse univariée étaient inclus dans ces modèles de régression. Les odds-ratios avec leurs intervalles de confiance à 95% (OR (IC à 95%)) étaient dérivés du modèle final de régression

logistique et testés en utilisant le chi carré de Wald. Les coefficients de régression avec les erreurs standard (ES) étaient dérivés du modèle final de régression linéaire et testés par ANOVA. Tous les tests ont été considérés significatifs au seuil de 0,05.

Résultats

Sur les 510 enfants sélectionnés, 456 (soit 89,4%) ont été examinés. L'âge moyen (DS) était de 13,8 (5,1) mois; les enfants âgés de moins de 12 mois représentaient 43,2%. Le sex-ratio était de 1,02. Ces caractéristiques d'âge et de sexe n'étaient pas différentes de celles des enfants qui n'étaient pas examinés.

Le taux d'hémoglobine variait de 40 à 128 g/L, avec une moyenne (DS) de 81,9 (16,2) g/L. L'anémie était présente chez 444 (97,4%) enfants, 194 (42,5%) présentant une anémie modérée à sévère (**figure 1**). L'infection à *PF* était présente chez 240 (52,6%) enfants, 117 (25,6%) étant non fébrile et 123 (27,0%) fébrile (**figure 2**).

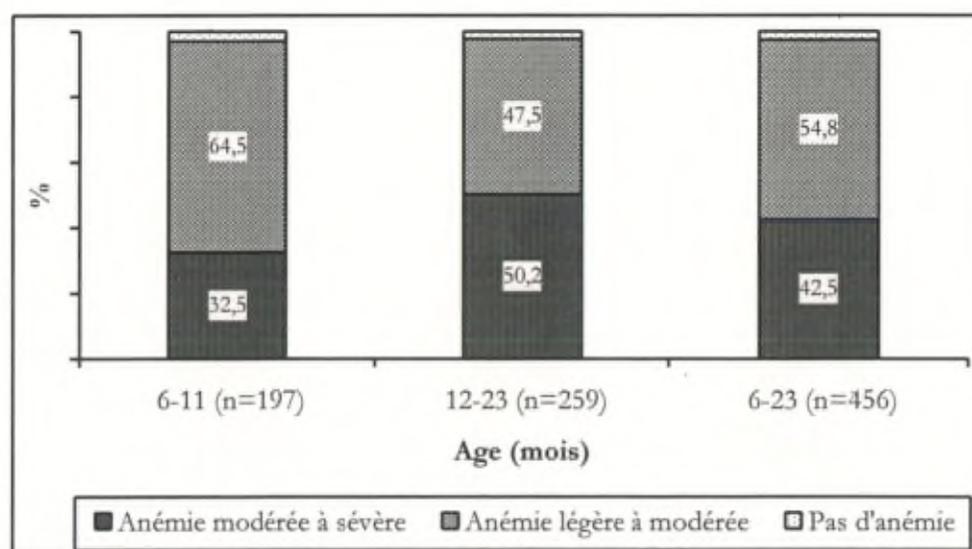


Figure 1 : Prévalence de l'anémie.

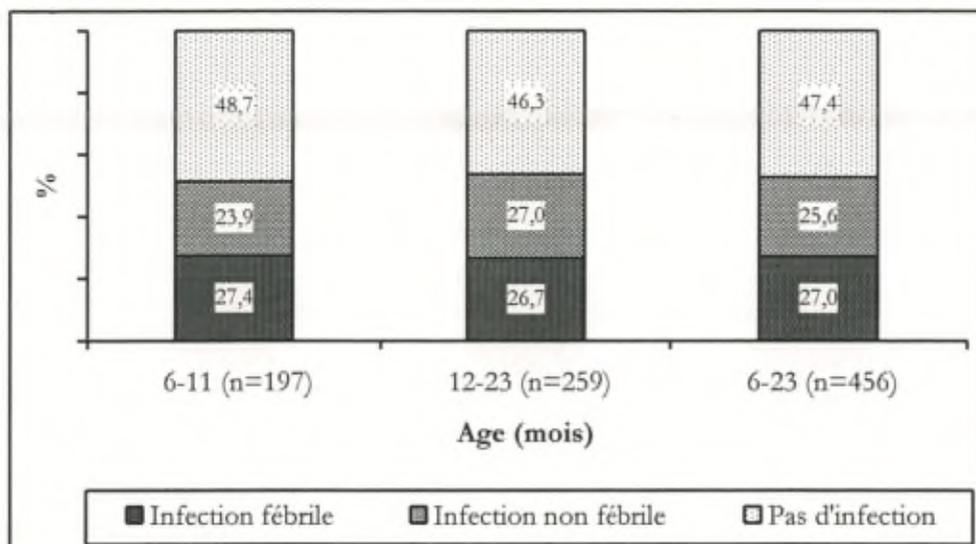


Figure 2 : Prévalence de l'infection à *Plasmodium falciparum*.

L'indice de masse corporelle de la mère présentait une p-valeur $<0,10$ en analyse univariée de l'anémie modérée à sévère, ainsi qu'en analyse univariée du taux d'hémoglobine (tableau 1). De même, l'âge, le sexe, la diarrhée au cours des deux dernières semaines, la toux au cours des deux dernières semaines, la fièvre, la splénomégalie, le retard de croissance, l'émaciation, et la densité parasitaire présentaient une p-valeur $<0,10$ en analyse univariée de l'anémie modérée à sévère, ainsi qu'en analyse univariée du taux d'hémoglobine (tableau 2).

Tableau 1: Taux d'hémoglobine moyen (ES) et proportion d'enfants ayant une anémie modérée à sévère, selon les caractéristiques de la mère.

Caractéristiques des mères	n	Taux d'hémoglobine moyen (ES) g/L	p	Anémie modérée à sévère (n) %	p
Age (ans)			0,24		0,40
≤ 25	220	81,0 (1,01)		(98) 44,5	
> 25	236	82,8 (1,12)		(96) 40,7	
Scolarisation			0,44		0,42
Oui	83	83,2 (1,66)		(32) 38,6	
Non	376	81,7 (0,85)		(162) 43,4	
Activité génératrice de revenus			0,36		0,32
Oui	186	82,8 (1,26)		(74) 39,8	
Non	270	81,4 (0,94)		(120) 44,4	
Indice de masse corporelle			0,07		0,041
≥18,5 (kg/m ²)	406	82,4 (0,77)		(166) 40,9	
<18,5 (kg/m ²)	50	78,1 (2,87)		(28) 56,0	
Présence de goitre visible			0,89		0,88
Non	325	81,9 (0,90)		(139) 42,8	
Oui	131	82,1 (1,41)		(55) 42,0	

Tableau 2 : Taux d'hémoglobine moyen (ES) et proportion d'enfants ayant une anémie modérée à sévère, selon les caractéristiques de l'enfant.

Caractéristiques des enfants	n	Taux d'hémoglobine moyen (ES) g/L	p	Anémie modérée à sévère n (%)	p
Âge			0,004		<0,001
6-11 mois	197	84,5 (1,12)		(64) 32,5	
12-23 mois	259	80,0 (1,01)		(130) 50,2	
Sexe			0,020		0,013
Fille	226	83,7 (1,06)		(83) 36,7	
Garçon	230	80,2 (1,07)		(111) 48,3	
Allaitement en cours			0,93		0,76
Oui	443	81,9 (0,76)		(189) 42,7	
Non	13	82,3 (6,33)		(5) 38,5	
Fréquence des repas			0,92		0,25
Adequate	24	82,0 (2,54)		(10) 41,7	
Insuffisante	323	81,8 (0,90)		(145) 44,9	
Pas de repas	109	82,5 (1,63)		(39) 35,8	
Diarrhée au cours des deux dernières semaines			0,08		0,13
Non	363	82,6 (0,81)		(148) 40,8	
Oui	93	79,3 (1,91)		(46) 49,5	
Toux au cours des deux dernières semaines			0,047		0,022
Non	435	82,3 (0,77)		(180) 41,4	
Oui	21	75,1 (4,18)		(14) 66,7	

Tableau 2 (suite)

Fièvre			<0,001	<0,001
Non	254	84,8 (0,95)	(89)	35,0
Oui	202	78,3 (1,18)	(105)	52,0
Présence de splénomégalie			<0,001	<0,001
Non	406	83,4 (0,79)	(156)	38,4
Oui	50	70,2 (2,03)	(38)	76,0
Z-score poids pour taille			0,16	0,29
≥-2	336	82,5 (0,85)	(139)	41,4
<-2	117	80,1 (1,63)	(55)	47,0
Z-score taille pour âge			0,004	0,027
≥-2	363	83,0 (0,83)	(145)	39,9
<-2	93	77,7 (1,79)	(49)	52,7
Densité parasitaire			<0,001	<0,001
0 PF /μL	216	85,5 (0,99)	(69)	31,9
1-4999 PF /μL	184	80,2 (1,22)	(93)	50,5
≥ 5000 PF /μL	56	73,8 (2,34)	(32)	57,1
Catégorie d'infection à PF			<0,001	<0,001
Absence d'infection	216	85,5 (0,99)	(69)	31,9
Infection non fébrile	117	81,5 (1,45)	(50)	42,7
Infection fébrile	123	76,0 (1,60)	(75)	61,0

¹ PF: *Plasmodium falciparum*

Le **tableau 3** présente les résultats de la régression linéaire du taux d'hémoglobine et de la régression logistique de l'anémie modérée à sévère.

Table 3: Comparaison de l'infection non fébrile et fébrile à l'absence d'infection à *Plasmodium falciparum*. Résultats de l'analyse univariée et de l'analyse multivariées du taux d'hémoglobine et de l'anémie modérée à sévère.

	n	Taux d'hémoglobine (g/L)		Anémie modérée à sévère	
		b (SE)	p	OR (IC à 95%)	p
Analyse univariée					
Absence d'infection	216	0		1	<0,001
Infection non fébrile	117	-4,02 (1,80)	0,08	1,59 (1,00-2,53)	
Infection fébrile	123	-9,49 (1,78)	<0,001	3,33 (2,10-5,28)	
Analyse multivariées ¹					
Absence d'infection	216	0		1	
Infection non fébrile	117	-3,52 (1,74)	0,044	1,86 (1,07-3,23)	0,028
Infection fébrile	123	-7,86 (1,75)	<0,001	2,40 (1,29-4,48)	<0,001

¹Ajusté pour : IMC de la mère, âge, sexe, diarrhée, toux, fièvre, splénomégalie, émaciation, retard de croissance, densité parasitaire.

Les enfants qui avaient une infection non fébrile et ceux qui avaient une infection fébrile à *PF* avaient un taux d'hémoglobine plus bas que les enfants qui n'étaient pas infectés. L'anémie modérée à sévère était significativement associée à l'infection non fébrile et fébrile à *PF*.

Discussion

L'infection non fébrile à *PF* contribue à un taux d'hémoglobine bas et à une prévalence élevée d'anémie modérée à sévère parmi les jeunes enfants du district de Kongoussi. Elle a un effet déterminant sur l'anémie modérée à sévère plus faible que celui de l'infection fébrile, mesurée par l'OR (1,86 *versus* 2,40). Cependant, elle est aussi fréquente que l'infection fébrile (25,6% *versus* 27,0%) fébrile, et pourrait avoir une contribution significative à l'anémie modérée à sévère, et par

conséquent à la mortalité dans cette population. L'infection non fébrile, qui habituellement ne conduit pas à la consultation des services de santé, n'est pas prise en considération dans les interventions de santé publique basées sur le traitement des cas. Les prochaines études de terrain devraient rechercher le moyen d'intégrer le paludisme non clinique dans les stratégies de lutte contre le paludisme.

La prévalence élevée d'infection à *PF* rapportée dans cette étude est comparable avec celle d'autres études d'observation en milieu rural du Burkina Faso [15, 16]. D'autres études ont rapporté l'association entre paludisme et anémie sévère à modérée dans plusieurs régions d'Afrique Sub-Saharienne [17-23].

Bien que la microscopie soit la méthode établie pour la confirmation du paludisme au laboratoire, la détection du paludisme basée sur la « *polymerase chain reaction* » (PCR), qui est plus sensible et plus spécifique [24], pourrait améliorer les estimations faites dans cette étude. Les coefficients de régression et les OR mesurés étaient ajustés pour les autres facteurs potentiels d'anémie comme la malnutrition et les infections autres que le paludisme. Toutefois, l'utilisation d'indicateur du statut en fer comme le taux de ferritine sérique en plus des mesures anthropométriques, ainsi que la prise en compte des helminthiases auraient mieux ajusté les estimations.

En conclusion, ces résultats soulignent la charge élevée à la fois de l'anémie et du paludisme parmi les enfants âgés de 6-23 mois du district de Kongoussi. Les stratégies visant le contrôle de l'anémie due au paludisme et basées sur le traitement des cas, devraient prendre en considération aussi bien l'infection fébrile que l'infection non fébrile pour avoir un meilleur impact. Des investigations supplémentaires sont nécessaires, à la recherche d'outil simple de détection de l'infection non fébrile et utilisable par les agents de santé communautaire.

Références

1. WHO, UNICEF. Focusing on anaemia. Towards an integrated approach for effective anaemia control. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Geneva, WHO, 2004.
2. Brabin J, Premji Z, Verhoeff F. An analysis of anaemia and child mortality. *J Nutr* 2001; 131: 636S-48S.
3. Crawley J. Reducing the burden of anaemia in infant and young children in malaria-endemic countries of Africa: from evidence to action. *Am J Trop Med Hyg* 2004; 71: 25-34.
4. WHO. Iron Deficiency Anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
5. WHO. Iron supplementation of young children in regions where malaria transmission is intense and infectious diseases highly prevalent. Geneva, WHO, 2004.
6. WHO, UNICEF. World malaria report 2005. Geneva, WHO/UNICEF, 2005.
7. Ter Kuile FO, Terlouw DJ, Kariuki SK *et al.* Impact of permethrin-treated bed nets on malaria, anaemia and growth in infants in an area of intense perennial malaria transmission in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 2003; 68: 68-77.

8. Korenromp EL, Armstrong-Schellenberg JRM, Williams BG, Nahlen BL, Snow RW. Impact of malaria control on childhood anaemia in Africa. A quantitative review. *Trop Med Int Health* 2004; 9: 1050-65.
9. WHO. Scaling up of home-based management of malaria: from research to implementation. Geneva, WHO, 2004.
10. WHO. Lessons learned in home management of malaria. Implementation research in four African countries. Geneva, WHO, 2007.
11. Dunn JT, Van Der Haar F. A practical guide to the correction of iodine deficiency disorders. Amsterdam, ICCIDD, 1990.
12. Gentilini M. Médecine tropicale. 5^{ème} édition. Paris, Flammarion Médecine Sciences, 1993.
13. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Geneva, WHO, 1995.
14. Dewey KG, Brown KH. Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programmes. *Food Nutr Bull* 2003; 24: 5-28.
15. Muller O, Traore C, Becher H, Kouyate B. Malaria morbidity, treatment-seeking behaviour, and mortality in a cohort of young children in rural Burkina Faso. *Trop Med Int Health* 2003; 8: 290-296.

16. Stich A, Oster N, Abdel-Aziz IZ *et al.* Malaria in a holoendemic area of Burkina Faso: a cross-sectional study. *Parasitol Res* 2006; 98: 596-599.
17. Cornet M, Le Hesran JY, Fievet N *et al.* Prevalence and risk factors for anaemia in young children in southern Cameroon. *Am J Trop Med Hyg* 1998; 58: 606-611.
18. Stoltzfus RJ, Chwaya HM, Montresor A, Albonico M, Savioli L, Tielsch JM. Malaria, hookworms and recent fever are related to anaemia and iron status indicators in 0- to 5-years old Zanzibari children and these relationships change with age. *J Nutr* 2000; 130: 1724-1733.
19. Asobayire FS, Adou P, Davidson L, Cook JD, Hurrell RF. Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anaemia in population groups with high prevalence of malaria and other infections: a study in Côte d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 2001; 74: 776-782.
20. Desai MR, Terlouw DJ, Kwena AM *et al.* Factors associated with haemoglobin concentration in pre-school children in western Kenya: cross-sectional studies. *Am J Trop Med Hyg* 2005; 72: 47-59.
21. Friedman JF, Kwena AM, Mirel LB *et al.* Malaria and nutritional status among preschool children: results from cross-sectional surveys in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 2005; 73: 698-704.
22. Eliades MJ, Wolkon A, Morgah K *et al.* Burden of malaria at community level in children less than 5 years of age in Togo. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 75: 622-629.

23. Ong'echa JM, Keller CC, Were T *et al.* Parasitemia, anaemia and malarial anaemia in infants and young children in a rural holoendemic *Plasmodium falciparum* transmission area. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 74: 376-385.

24. WHO. New perspectives in malaria diagnosis. Geneva, WHO, 2000.

5. Deuxième partie des résultats : stratégies de prévention de l'anémie

La première partie du travail était consacrée à l'analyse de la situation de l'anémie. Elle a permis de souligner la prévalence élevée de l'anémie, appelant à des interventions nutritionnelles urgentes. Les causes de l'anémie étaient d'ordre nutritionnel d'une part, la malnutrition énergétique et protéique chronique y étant associée. L'indice ZTA, indicateur de malnutrition énergétique et protéique chronique, était lui-même associé à des pratiques alimentaires d'amélioration des aliments de complément au niveau des ménages. Les causes de l'anémie étaient d'ordre sanitaire d'autre part, impliquant les maladies infectieuses, spécifiquement le paludisme, même à un stade sub-clinique.

Dans cette deuxième partie du travail, deux essais ont été réalisés, en vue de tester des interventions intégrées de lutte contre l'anémie chez les jeunes enfants. La première stratégie testée consistait en une supplémentation en micronutriments multiples dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthiases ; les résultats sont présentés au chapitre 5.1. La deuxième stratégie testée incluait, en plus de ces deux composantes, la promotion d'une alimentation de complément améliorée adaptée aux besoins nutritionnels du jeune enfant et utilisable au niveau des ménages (chapitre 5.2).

5.1. Stratégie intégrée de supplémentation en micronutriments multiples et de lutte contre les parasitoses

5.1.1. Effet de la supplémentation en fer ou en micronutriments multiples sur la prévalence de l'anémie chez les jeunes enfants présentant une anémie en milieu d'endémie palustre : un essai en population randomisé en double aveugle.

OUEDRAOGO HZ, DRAMAIX-WILMET M, ZEBAN AN, HENNART P, DONNEN P.
Effect of iron or multiple micronutrient supplements on the prevalence of anaemia among anaemic young children of a malaria-endemic area: a randomized double-blind trial. *Tropical Medicine and International Health* 2008; 13 (10): 1-10.

Introduction

L'anémie, définie comme un taux d'hémoglobine inférieur à un seuil donné, est une affection très répandue dans le monde, en particulier dans les pays en développement [1]. Elle atteint principalement les femmes enceintes et les jeunes enfants. L'anémie est associée à un risque accru de mortalité chez les jeunes enfants [2]. La carence en fer est la principale cause de l'anémie dans la plupart des pays en développement. Les conséquences négatives de l'anémie par carence en fer sur le développement physique et psychique sont aussi préoccupants [3]. D'autres carences en micronutriments comme celles en vitamine B12, acide folique et vitamine A peuvent aussi conduire à l'anémie [1]. L'anémie est un indicateur de malnutrition mais les maladies infectieuses, en particulier le paludisme et les helminthiases sont aussi des facteurs contributifs de prévalence élevée d'anémie dans certaines populations [1, 4]. Une approche intégrée est donc recommandée pour la lutte contre ce problème de santé publique, comprenant au moins la lutte contre les carences nutritionnelles et la prise en charge des maladies infectieuses [1].

Les interventions nutritionnelles visant la lutte contre les carences en micronutriments comprennent les approches alimentaires comme la diversification alimentaire et la fortification, et la supplémentation [5]. La supplémentation en fer est recommandée comme stratégie de contrôle de la carence en fer chez les femmes enceintes et les jeunes enfants [6]. L'OMS recommande que dans les régions où l'alimentation n'inclut pas des aliments fortifiés, ou où la prévalence de l'anémie est sévère parmi les enfants âgés d'environ un an (environ 40%), des suppléments de fer à la dose de 2 mg/kg/jour devraient être donnés à tous les enfants âgés de 6 à 23 mois [6]. Récemment, cette recommandation était discutée, depuis qu'une étude montrait que la supplémentation en routine en fer et acide folique chez les enfants d'âge préscolaire dans une population ayant une prévalence élevée de paludisme, augmentait le risque de morbidité et de mortalité [7]. L'OMS a examiné cette question à Lyon (France) en juin 2006. Les conclusions statuaient que dans les pays où le paludisme est endémique, les stratégies de contrôle de la carence en fer basées sur les suppléments de fer chez les enfants de 6-23 mois devraient être mises en oeuvre dans un contexte de soins de santé efficaces et globaux, incluant un approvisionnement en moustiquaires imprégnées d'insecticide et des mesures de contrôle du vecteur pour la prévention du paludisme, et une détection et traitement rapides des cas avec des antipaludéens efficaces [8].

La coexistence de la carence en fer avec d'autres carences en micronutriments rend pertinente la supplémentation en micronutriments multiples (MM), pour la prévention de l'anémie, mais aussi pour permettre le développement global de l'enfant. Sur initiative de l'UNICEF, la recherche internationale sur la supplémentation chez l'enfant (IRIS I) a été conduite pour tester le supplément de micronutriments multiples composé soit de fer et zinc, soit de fer, zinc et 13 vitamines et autres micronutriments [9]. Dans l'étude IRIS I la supplémentation quotidienne en MM était plus efficace que la supplémentation hebdomadaire en MM et la supplémentation quotidienne en fer pour l'amélioration du statut en micronutriments et la réduction de l'anémie [10]. D'où il a été proposé à l'OMS et à l'UNICEF de formuler des recommandations pour

l'utilisation du supplément de MM pour la prévention de l'anémie chez l'enfant [10]. L'effet de la supplémentation en MM sur l'anémie dans les régions où le paludisme est endémique reste peu étudié. Certains micronutriments peuvent vraisemblablement interagir avec le parasite du paludisme, conduisant à des effets synergiques ou antagonistes sur la morbidité palustre, et ce faisant sur l'évolution du taux d'hémoglobine et la prévalence de l'anémie. La supplémentation en fer est suspectée d'aggraver certains indices malariométriques [7, 11]. Le rôle de la supplémentation en vitamine A et en zinc sur la morbidité palustre n'est pas définitivement établi, montrant dans certains cas un effet bénéfique [12, 13], ou pas d'effet dans d'autres cas [14, 15]. D'autres carences en micronutriments montraient des effets variés dans différentes régions en ce qui concerne la morbidité palustre : exacerbation (vitamine B1), protection (vitamine E), ou à la fois exacerbation ou protection selon les études (riboflavine, vitamine C) [11]. Ainsi, la morbidité palustre pourrait influencer l'effet de la supplémentation en MM sur la réponse du taux d'hémoglobine et l'anémie. Une étude précédente chez des enfants en Tanzanie rapportait l'efficacité d'un supplément en MM combiné au traitement du paludisme sur l'anémie [16]. Toutefois, le supplément de MM testé ne contenait pas certains micronutriments comme le zinc ou la riboflavine, et l'étude ne permettait pas la comparaison avec le supplément de fer seul.

L'anémie est fréquente au Burkina Faso, touchant presque tous les enfants de moins de cinq ans (93,6%) en milieu rural, appelant à un traitement urgent [17]. Cette étude a été entreprise dans cette région où le paludisme est endémique, en vue d'évaluer l'effet du traitement avec un supplément de fer, de fer et zinc, et de MM, combiné avec la prise en charge du paludisme, sur la prévalence de l'anémie parmi les enfants âgés de 6-23 mois présentant une anémie légère à modérée.

Méthodes d'étude

Population et méthodes d'étude

Cet essai en population, randomisé, en double aveugle, a été mené d'août 2006 à février 2007, incluant la période de transmission la plus élevée de paludisme. Pour détecter une différence de 25% d'anémie entre le groupe supplémenté en fer seul et l'un des deux autres groupes à la fin de l'intervention, avec une puissance de 90% et un risque d'erreur alpha de type bilatéral de 5%, nous avons besoin d'inclure 85 enfants dans chaque groupe (espérant une baisse d'anémie de 100% à 50% dans le groupe supplémenté en fer, et de 100% à 25% dans chacun des autres groupes). L'étude IRIS I a rapporté une réduction de 66% et de 53% de la prévalence de l'anémie dans les groupes qui recevaient le supplément de MM et de fer, respectivement [18]. Les caractéristiques des enfants, qui étaient plus âgés, ainsi que le caractère de l'intervention, qui impliquait une dose plus élevée de fer et la détection et le traitement précoce du paludisme, nous ont permis d'espérer au moins le même effet dans le groupe fer, et un effet plus important dans le groupe MM. En effet, ce groupe MM devrait correspondre à plus de fer absorbé du fait de facilitateurs comme l'acide ascorbique et la riboflavine. La taille de l'échantillon a été portée à 102 par groupe, tenant compte de 20% de perdus de vue.

Les critères d'inclusion étaient l'âge de 6-23 mois, le taux d'hémoglobine de 70-109 g/L, et l'absence d'émaciation sévère (z-score poids pour taille < -3, et/ou présence d'oedème). Dans chacun des villages retenus, 17 enfants âgés de 6-23 mois (soit 510 enfants) étaient sélectionnés et invités à se présenter au PSP selon un programme pré-établi, pour un examen médical. Le jour de l'examen médical, les 456 enfants (89,4% des enfants sélectionnés) qui se sont présentés ont été examinés. Les enfants éligibles étaient randomisés en trois groupes, pour recevoir soit le supplément de 15 mg de fer (groupe Fe), soit le supplément de 15 mg de fer et 10 mg de zinc (groupe FZ), soit le supplément de MM (groupe MM, composé de 15 mg de fer, 10 mg de zinc, 375 µg de vitamine A, 5 µg de vitamine D, 6 mg de vitamine E, 0,5 mg de vitamine B1, 0,5 mg de

riboflavine, 6 mg de niacine, 150 μ g d'acide folique, 0,5 mg de vitamine B6, 0,9 mg de vitamine B12, 35 mg de vitamine C, 10 μ g de vitamine K, 50 μ g d'iode, 0,6mg de cuivre). Le fer était sous forme de fumarate ferreux. Le **tableau 1** présente la composition d'une dose quotidienne (c'est-à-dire 18 g) du supplément de MM. Cette composition était similaire à celle du supplément utilisé dans l'étude IRIS I [9], à l'exception de la dose du fer et du zinc qui était de 10 mg et 5 mg, respectivement. Pour cette randomisation individuelle, la mère tirait un ticket d'une enveloppe qui en contenait 306 (102 de chaque groupe) qui indiquait le groupe de son enfant.

Tableau 1: Composition d'une dose quotidienne (18 g) du supplément de micronutriments multiples.

Nutriments	Unités	Quantités
<i>Micronutriments incorporés</i>		
Vitamine A	µg RE	375
Vitamine C	mg	35
Vitamine D	µg	5
Vitamine E	mg	6
Vitamine K	µg	10
Vitamine B1	mg	0,5
Riboflavine	mg	0,5
Vitamine B6	mg	0,5
Vitamine B12	µg	0,9
Acide folique	µg	150
Niacine	mg	6
Fer	mg	15,1
Zinc	mg	10,2
Cuivre	mg	0,7
Iode	µg	59
<i>Nutriments contenus dans le produit de base</i>		
Energie	kcal	97
Protéines	g	2,4
Calcium	mg	40,3
Phosphore	mg	48,6
Potassium	mg	89,9
Magnésium	mg	14,6
Sodium	mg	16,0

Intervention

Prévention et traitement du paludisme et des géohelminthiases

La prise en charge du paludisme a consisté en des mesures préventives et de détection et le traitement des cas. Toutes les mères recevaient une moustiquaire en polyester à 100%, imprégnée de deltaméthrine à activité prolongée (PermaNet® 2.0, Vestergaard Frandsen Disease Control Textiles, Lausanne, Switzerland), et des instructions pour une utilisation efficace au profit de l'enfant. L'agent de santé villageois était chargé d'aider à l'installation de la moustiquaire, de la surveillance régulière de son intégrité, et du remplacement de celle qui était endommagée. Un frottis sanguin visant à détecter le parasite du paludisme était réalisé chez tous les enfants, en début d'intervention, puis tous les mois. Tout enfant présentant un frottis positif était traité immédiatement avec la combinaison artemether+lumefantrine (Coartem®, Novartis Pharma S.A.S., France), y compris les cas d'infection sub-clinique (aucun enfant n'a présenté de paludisme grave). Tout enfant présentant une maladie (y compris de la fièvre ou des antécédents de fièvre) durant l'intervention était référé au centre de santé dont il relève pour une prise en charge de routine. Une dose unique de 200 mg d'albendazole était administrée en début d'intervention à tous les enfants âgés de 12 à 23 mois lors de leur inclusion [6, 19], comme un moyen de contrôle des infestations à géohelminthes [20].

Supplémentation en micronutriments

Les suppléments de micronutriments étaient fabriqués par Nutriset (Malaunay, France) sous forme d'un produit semi-solide, s'apparentant au plumpy-nut, spécifiquement fortifié, présenté dans des boîtes opaques de 90 ml codés A, B et C. Chaque lot de boîtes était contenu dans un carton blanc marqué A, B ou C respectivement. Le produit avait la même consistance, couleur et goût. Les codes étaient tenus secret par le fabricant jusqu'à la fin de l'analyse des données. Pendant 26 semaines, du lundi au vendredi, entre 6 h et 8 h, chaque mère venait avec son enfant au poste de santé de son village. Là, elle recevait 18 g (c'est-à-dire deux cuillérées, prélevées avec

une cuiller standard fournie par le fabricant) du supplément approprié et l'administrait à son enfant, sous la supervision d'un surveillant local. Les mères qui ne se présentaient pas le matin étaient rejointes plus tard à domicile par le surveillant, pour l'administration du supplément. Chaque jour, dans chaque village, et pour chaque groupe, une boîte de supplément était ouverte pour servir tous les enfants du groupe ; la boîte suivante n'était ouverte que lorsque la première était entièrement servie. Une boîte ouverte finissait le même jour et n'était plus utilisée le jour suivant.

Collecte et traitement des données

La collecte des données a consisté à : 1) une interview de la mère lors de l'inclusion, en utilisant un questionnaire, 2) un examen médical de la mère et de l'enfant lors de l'inclusion, 3) un dépistage du paludisme chez l'enfant à l'inclusion et chaque mois, 4) un suivi de l'administration du supplément, en utilisant une fiche de coche.

Le questionnaire comprenait des données démographiques et socio-économiques, ainsi que des données sur les pratiques d'alimentation et de « soins » de l'enfant et la morbidité des deux semaines ayant précédé l'interview (diarrhée, fièvre et toux). La scolarisation de la mère se référait à la fréquentation passée de l'école formelle, la mère non scolarisée étant celle n'ayant jamais fréquenté l'école. L'occupation de la mère était classée comme génératrice de revenus ou non. L'âge de l'enfant était validé en utilisant son carnet de suivi sanitaire ou le registre des naissances ou celui des vaccinations du poste de santé. Les mères étaient interviewées sur la fréquence d'allaitement ou d'alimentation de complément de l'enfant au cours des dernières 24 heures.

Un médecin généraliste examinait la mère à la recherche de goitre, selon les recommandations de l'International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD) [21]. Il examinait aussi les enfants à la recherche de splénomégalie, qui était classifiée selon Hackett [22]. Les mesures anthropométriques ont été réalisées chez la mère et l'enfant par un nutritionniste expérimenté, en accord avec les recommandations de l'OMS [23]. Le poids était mesuré chez des

enfants dévêtus, en utilisant une balance électronique ayant une capacité de 16 kg et une précision de 10 g, et chez la mère légèrement habillée sur une balance mécanique de 120 kg de capacité et de 100 g de précision (Seca®, France). Toutes les mesures de la taille chez les enfants ont été faites en position couchée, sur une toise fabriquée localement, au mm près, et chez les mères en position debout à 5 mm près, en utilisant des toises de fabrication locale. Un prélèvement de sang capillaire était réalisé par un technicien de laboratoire. Une goutte de sang servait à la réalisation du frottis sanguin et une autre était utilisée pour la mesure du taux d'hémoglobine en utilisant un appareil à HemoCue® (Hemocue HB 201+, Angelholm, Sweden), avec une précision d'1g/L. Le frottis sanguin était coloré au Giemsa, et lu au laboratoire de l'hôpital du district. Une double lecture a été réalisée et les frottis discordants ont fait l'objet d'une troisième lecture au laboratoire de l'*Institut de Recherche en Sciences de la Santé* à Ouagadougou. La lecture était réalisée comme recommandée par Trape [24].

Après les vérifications de cohérence sur le terrain, les données ont fait l'objet d'une double saisie suivie de validation sous Epi-info version 6.04dfr (CDC, Atlanta, GA, USA). Les z-scores poids pour taille (ZPT), poids pour âge (ZPA), et taille pour âge (ZTA) ont été calculés en utilisant le module Anthro (WHO, Anthro 2006, Geneva, Switzerland), en considérant la nouvelle population de référence de l'OMS. Les biens possédés par le ménage étaient cotés comme suit : type de maison (mur en ciment = 1, toit en tôles = 1, électricité disponible = 1, eau courante disponible = 1), moyens de transport (bicyclette = 1, motocyclette = 2, cyclomoteur = 3, voiture = 4) et équipement électroménager (radio = 1, télévision = 2, réfrigérateur = 3). Ces cotes ont été additionnées pour créer un indice d'équipement du ménage, qui variait de 0 à 17. L'indice d'équipement était défini comme élevé (9-17), moyen (5-8) et bas (0-4). Ces seuils de définition ont été choisis de manière à obtenir les trois groupes les plus égaux possible. Les données ont été analysées sous SPSS 12.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago IL, USA). L'émaciation, l'insuffisance pondérale, et le retard de croissance étaient définis comme $ZPT < -2$, $ZPA < -2$, et

ZTA < -2, respectivement [23]. L'anémie correspondait à un taux d'hémoglobine < 110 g/L [6]. Pour l'incidence de la parasitémie palustre, les enfants ont été regroupés en trois catégories : pas de lame positive, une lame positive, et deux lames positives sur les six lames de contrôle mensuel (aucun enfant n'avait plus de deux lames positives).

Analyses statistiques

La normalité de la distribution des données quantitatives a été vérifiée visuellement à l'observation du plot normal. Les caractéristiques en début d'intervention (y compris le taux d'hémoglobine) et l'incidence de l'infection à *PF* ont été comparés entre groupes en utilisant l'analyse de variance (ANOVA) suivi d'une comparaison multiple en utilisant le test t de Dunnett, et du test du chi carré pour comparer les proportions.

L'évaluation finale concernait le taux d'hémoglobine et la guérison de l'anémie (taux d'hémoglobine ≥ 110 g/L en fin d'intervention). L'analyse était en intention de traiter. La stratégie d'analyse des données était construite en deux étapes. Premièrement, une analyse univariée a été conduite, et deuxièmement, l'analyse par régression multiple a été faite pour contrôler pour les déséquilibres entre groupes en début d'intervention, ainsi que pour tester l'interaction de l'incidence de l'infection à *PF* sur l'effet de la supplémentation.

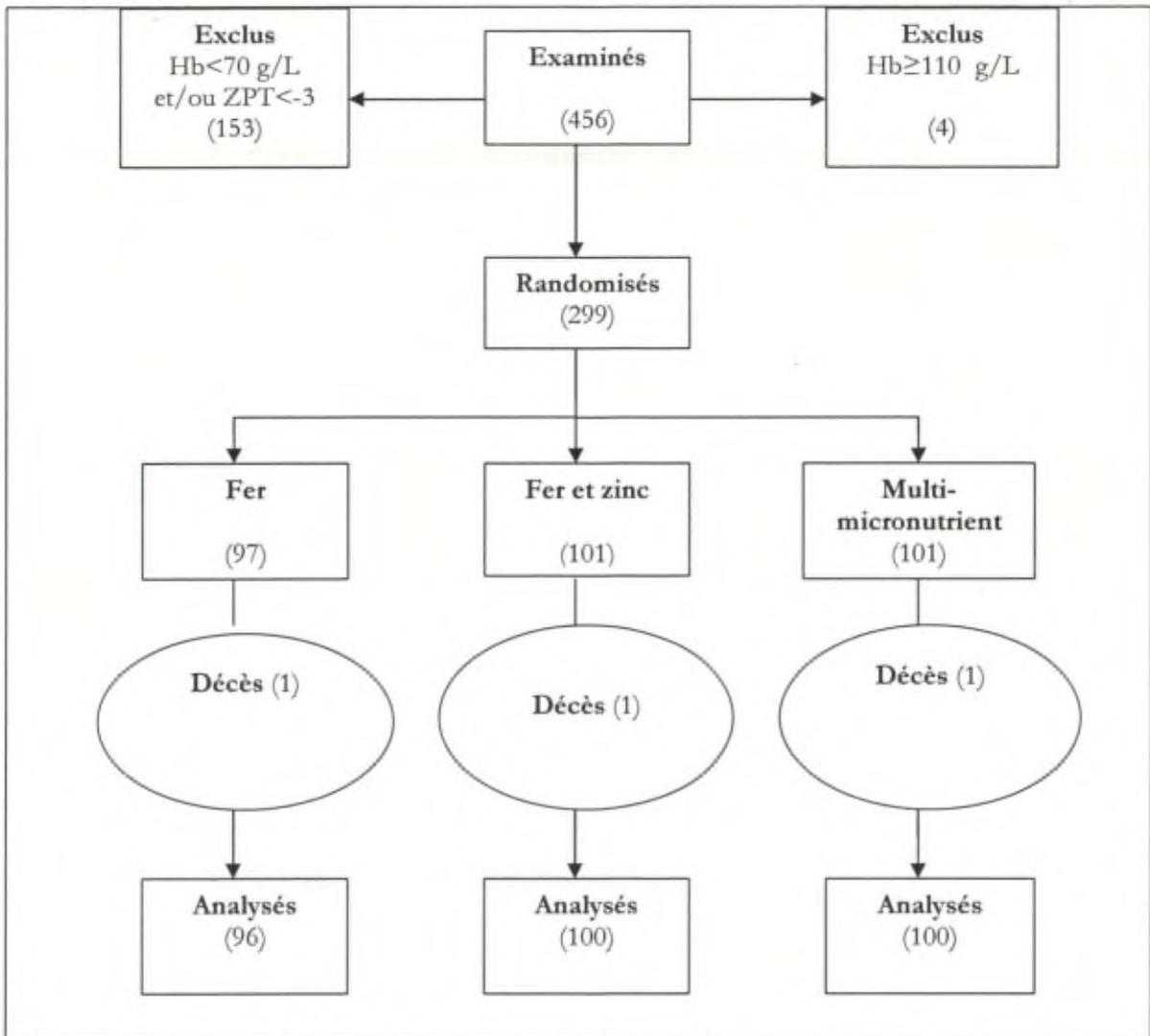
Le test t par paires a été utilisé pour comparer le taux d'hémoglobine en début et en fin d'intervention dans chaque groupe. La comparaison entre groupes du taux d'hémoglobine en fin d'intervention était faite en utilisant l'analyse de variance (ANOVA), et la comparaison entre le groupe fer et chacun des autres groupes était planifiée. Lorsque le test était significatif, une comparaison *a posteriori* du groupe FZ, ou du groupe MM avec le groupe Fe était faite en utilisant le test t de Dunnett. Un modèle de régression linéaire multiple a été établi, incluant les variables qui étaient associées au taux d'hémoglobine en fin d'intervention, c'est-à-dire indice d'équipement du ménage, âge de la mère, activité génératrice de revenu, ZTA en début d'intervention, incidence de la parasitémie palustre, et groupe de supplémentation. Dans le modèle final, seules les

variables qui étaient associées avec une valeur de $p < 0,10$ étaient gardées; les interactions entre le groupe de supplémentation et les autres variables ont été testées.

Les proportions d'enfants guéris de l'anémie en fin d'intervention ont été comparées en utilisant le test du chi carré. Les variables considérées dans le modèle linéaire ont été incluses dans un modèle de régression logistique, comme elles étaient aussi associées à la guérison de l'anémie. Pour catégoriser le taux d'hémoglobine en début d'intervention, la valeur médiane de 90 g/L a été utilisée comme seuil. Les OR ajustés avec leurs intervalles de confiance à 95% OR (IC à 95%) étaient dérivés du modèle final et testés en utilisant le chi carré de Wald. L'adéquation du modèle était testée par le test d' Hosmer et Lemeshow. Les OR (IC à 95%) étaient ensuite convertis en ratios de prévalence (prevalence-rate ratios) [PRR (IC à 95%)] suivant les formules d'Osborn et Cattaruzza [25].

Résultats

Le profil des participants est illustré par la **Figure 1**.



Hb : taux d'hémoglobine ; ZPT : z-score du poids pour la taille

Figure 1 : Profil des participants

Parmi les 456 enfants examinés, les 299 (soit 65,6%) qui étaient éligibles ont été randomisés en trois groupes de supplémentation (97, 101, et 101 enfants dans les groupes Fe, FZ et MM respectivement); les groupes étaient inégaux en nombre, du fait que le nombre désiré de 306 enfants éligibles n'a pas été atteint après l'examen des 456 enfants. Un décès a été observé dans chacun des groupes. La compliance moyenne (DS) à la supplémentation, en %, n'était pas différente entre groupes : 90,4 (12,3), 89,3 (11,5) et 86,3 (13,4) pour les groupes Fe, FZ et MM respectivement. Sur la base du poids et de l'âge des enfants en début d'intervention, les doses

moyennes (DS) de fer, en mg/kg/jour, étaient de 1,9 (0,3), [2,1 (0,3) pour les enfants âgés de 6-11 mois, et 1,7 (0,3) pour les enfants âgés de 12-23 mois].

Les caractéristiques des enfants en début d'intervention sont présentées au **Tableau 2**.

Tableau 2 : Caractéristiques des enfants en début d'intervention, par groupe de supplémentation.

	Fe (n=96)	IZ (n=100)	MM (n=100)	p
Ménages				
Faible indice d'équipement, %	40,6	31,0	31,0	0,21
Mères				
Age (ans), moyenne (DS)	27,4 (6,2)	26,9 (6,8)	27,1 (6,9)	0,86
>25, %	55,2	46,0	53,0	0,40
Non scolarisées, %	81,3	86,0	78,0	0,34
Sans activité génératrice de revenus, %	63,7	61,1	53,9	0,58
Indice de masse corporelle (kg/m ²), moyenne (DS)	20,9 (2,0)	21,2 (2,2)	21,1 (2,6)	0,67
<18,5 kg/m ² , %	9,4	7,0	8,0	0,83
Présence de goitre visible, %	32,3	28,0	31,0	0,80
Enfants				
Age (mois), moyenne (DS)	12,7 (4,9)	13,5 (4,8)	14,0 (5,5)	0,20
6-11, %	51,0	46,0	44,0	0,60
Filles, %	46,9	56,0	53,0	0,43
Ne sont plus allaités, %	3,1	2,0	2,0	0,84
N'ont pas encore d'alimentation de complément	26,0	28,0	24,0	0,56
Couverture vaccinale incomplète, %	11,5	10,0	6,0	0,39
Diarrhée au cours des deux dernières semaines, %	16,7	18,0	14,0	0,74

Tableau 2 (suite)

Fièvre au cours des deux dernières semaines, %	21,9	25,0	33,0	0,19
Toux au cours des deux dernières semaines, %	2,1	2,0	5,0	0,37
Présence de splénomégalie, %	5,2	5,0	6,0	0,95
Parasitémie palustre de 1-4999/ μ L, %	29,2	40,0	42,0	0,20
Parasitémie palustre \geq 5000/ μ L, %	7,3	8,0	11,0	-
ZTA, moyenne (DS)	-1,11 (1,24)	-0,92 (1,12)	-1,18 (1,14)	0,27
<-2, %	22,9	16,0	22,0	0,42
ZPA, moyenne (DS)	-1,58 (1,20)	-1,22 (1,05)	-1,39 (1,02)	0,07
<-2, %	34,4	24,0	27,3	0,26
ZPT, moyenne (DS)	-1,37 (1,16)	-1,02 (1,03)	-1,08 (1,09)	0,06
<-2, %	29,2	19,0	17,2	0,09

Bien que non significatives, il y avait des différences entre groupes, en ce qui concerne l'âge des enfants, la fièvre dans les deux semaines ayant précédé l'interview, la prévalence de l'infection à *PF*, ZPA et ZPT, qui indiquaient une p-valeur <0,20.

Il y avait 22/96 (22,9%), 26/100 (26,0%), et 27/100 (27,0%) enfants qui présentaient une ou deux lames positives à *PF* dans les groupes Fe, FZ et MM respectivement ($p=0,79$).

Le **tableau 3** présente le taux d'hémoglobine en début et en fin d'intervention, par groupe de supplémentation.

Tableau 3 : Taux d'hémoglobine moyen (DS), et évolution entre le début et la fin de l'intervention (g/L).

	Groupes de supplémentation							
	Fe		IZ		MM		p ¹	
	(n=96)	(n=100)			(n=100)			
	Mean (SD)	Mean (SD)	Difference	p ²	Mean (SD)	Difference	p ²	
			(95% CI)			(95% CI)		
En début d'intervention	90,8 (9,1)	89,6 (10,7)	-1,2 (-4,5; 2,1)	-	90,4 (11,4)	-0,4 (-3,7; 2,9)	-	0,71
En fin d'intervention	107,1 (12,9)	106,3 (15,6)	-0,8 (-5,3; 3,6)	0,88	113,2 (13,6)	6,1 (1,6; 10,6)	0,005	0,001
Evolution	16,3 (13,6)	16,6 (15,0)	0,4 (-3,2; 5,0)	0,98	22,8 (14,6)	6,5 (2,0; 11,1)	0,003	0,002
p ³	<0,001	<0,001			<0,001			

¹ test ANOVA pour la comparaison entre groupes ; ² test t de Dunnett t-test pour les comparaisons multiples *a posteriori* ; ³ test t par paires pour la comparaison avant-après dans chaque groupe.

Le taux d'hémoglobine moyen (DS) en début d'intervention était de 90,8 (9,1) g/L, 89,6 (10,7) g/L, et 90,4 (11,4) g/L dans les groupes Fe, FZ et MM respectivement ($p=0,71$). Il augmentait à 107,1 (12,9) g/L dans le groupe Fe ($p<0,001$), à 106,3 (15,6) g/L dans le groupe FZ ($p<0,001$), et à 113,2 (13,6) g/L dans le groupe MM ($p<0,001$). Ceci correspondait à une augmentation moyenne (DS) de 16,3 (13,6) g/L [15,4 (13,7) pour les enfants âgés de 6-11 mois et 17,7 (13,5) pour les enfants âgés de 12-23 mois en début d'intervention, $p=0,55$] dans le groupe Fe, de 16,6 (15,0) g/L [16,9 (14,7) pour les enfants âgés de 6-11 mois et 16,4 (15,3) pour les enfants âgés de 12-23 mois en début d'intervention, $p=0,88$] dans le groupe FZ, et de 22,8 (14,6) g/L [22,0 (13,8) pour les enfants âgés de 6-11 mois et 23,4 (15,3) pour les enfants âgés de 12-23 mois en début d'intervention, $p=0,65$] dans le groupe MM.

La différence entre groupes, du taux d'hémoglobine en fin d'intervention était significative ($p=0,001$). Les comparaisons *a posteriori* indiquaient que la différence (IC à 95%) du taux d'hémoglobine moyen (DS) en fin d'intervention était de 6,1 (1,6; 10,6) g/L entre les groupes MM et Fe ($p=0,005$), et de -0,8 (-5,3; 3,6) entre les groupes FZ et Fe ($p=0,88$). Les résultats de l'analyse par régression linéaire multiple sont présentés au **tableau 4**.

Tableau 4 : Coefficients de régression partiels du taux d'hémoglobine en fin d'intervention.

Résultats de la régression linéaire multiple (n=296).

	b	IC à 95%	p
	(g/L)	(g/L)	
Groupes de supplémentation			
Micronutrients multiples comparé au fer	6.5	2.7; 10.2	<0.001
Fer et zinc comparé au fer	-0.6	-4.4; 3.1	0.74
Taux d'hémoglobine en début d'intervention (g/L)	0.5	0.3; 0.6	<0.001
ZTA en début d'intervention	1.1	-0.2; 2.4	0.10
Incidence de l'infection à PF			
Une lame positive comparée à l'absence de lame positive	-0.5	-4.2; 3.2	0.78
Deux lames positives comparé à l'absence de lame positive	-7.3	-15.3; 0.8	0.08

Les coefficients de régression étaient de 6,5 (2,7; 10,2) g/L ($p < 0,001$) et de -0,6 (-4,4; 3,1) g/L ($p = 0,74$) pour les groupes MM et FZ respectivement, le groupe Fe étant pris comme référence. Les termes d'interaction, que ce soit de l'âge en début d'intervention ($p = 0,58$), du ZTA en début d'intervention ($p = 0,07$), ou de l'incidence de l'infection à PF ($p = 0,54$), avec le type de supplémentation, n'étaient pas significatifs.

Il y avait 39/96 (40,6%), 39/100 (39,0%), et 62/100 (62,0%) enfants guéris de l'anémie dans les groupes Fe, FZ et MM respectivement ($p = 0,001$), (Tableau 5).

Tableau 5 : Ratios de prévalence ajustés et non ajustés (IC à 95%) de la guérison de l'anémie après six mois d'intervention.

	Non ajustés ¹				Ajustés ²	
	n	Guérison (%)	PRR (IC à 95%)	p	PRR (IC à 95%)	p
Groupes de supplémentation				0,001		
Micronutriments multiples	100	62,0	1,53 (1,16; 2,01)		1,62 (1,22; 2,15)	<0,001
Fer et zinc	100	39,0	0,96 (0,65; 1,40)		0,94 (0,65; 1,35)	0,72
Fer seul	96	40,6	1		1	
Incidence de l'infection à <i>PF</i>				0,14		
Sans lame positive	221	48,4	2,66 (1,00; 7,07)		3,36 (1,22; 9,23)	0,019
Une lame positive	64	48,4	2,66 (0,95; 7,45)		3,41 (1,20; 9,66)	0,021
Deux lames positives	11	18,2	1		1	
ZTA en début d'intervention⁴						
≥-2	236	50,4	1,44 (1,03; 2,01)	0,033	1,54 (1,09; 2,19)	0,015
<-2	60	35,0	1		1	
Taux d'hémoglobine en début d'intervention (g/L)						
≥90 g/L	156	56,4	1,52 (1,19; 1,95)	0,001	1,60 (1,24; 2,07)	<0,001
<90 g/L	140	37,1	1		1	

¹Resultats de l'analyse univariée (les odds-ratios ont été convertis en ratios de prévalence (PRR)); ²Resultats de la regression logistique (les odds-ratios ont été convertis en ratios de prévalence (PRR)); ³*PF*, *Plasmodium falciparum*; ⁴ZTA, z-score taille pour âge

Le taux de guérison était plus élevé dans le groupe MM que dans le groupe Fe : PRR (IC à 95%) = 1,62 (1,22 ; 2,15), $p < 0,001$. Les groupes FZ et Fe n'étaient pas différents en ce qui concerne le taux de guérison : PRR (IC à 95%) = 0,94 (0,65 ; 1,35), $p = 0,72$. Aucune des interactions sur l'effet de la supplémentation de l'âge en début d'intervention ($p = 0,13$), du ZTA en début d'intervention ($p = 0,33$), ou de l'incidence de l'infection à *PF* ($p = 0,99$), n'était significative.

Discussion

Le taux d'hémoglobine a augmenté et la prévalence de l'anémie a diminué dans les trois groupes après six mois d'intervention. Cette augmentation du taux d'hémoglobine et cette réduction de la prévalence de l'anémie dans le groupe MM étaient plus fortes que celles du groupe Fe. Cette observation était attendue, comme résultat de l'effet additionnel des autres micronutriments contenus dans le supplément de MM, et qui pourraient renforcer l'hématopoïèse, indirectement en favorisant l'absorption du fer (vitamine C, riboflavine) ou son métabolisme (cuivre, vitamine A, vitamine B12, riboflavine, vitamine C), et/ou indépendamment du fer [26-30].

Dans cette étude, l'augmentation du taux d'hémoglobine atteignait 23,1 g/L dans le groupe MM ; elle était de 11 g/L dans l'étude IRIS I, qui utilisait la même composition en vitamines et minéraux pendant 6 mois [18]. Ceci est dû à des différences dans la population étudiée (enfants plus âgés, avec un taux d'hémoglobine en début d'intervention plus bas dans la présente étude) et dans l'intervention (dose de fer plus élevée, traitement anti-helminthiase, et prévention et traitement du paludisme dans la présente étude). En effet, d'autres études rapportaient que l'administration d'anti-helminthiques et la prise en charge du paludisme étaient associées à une meilleure réponse du taux d'hémoglobine et réduction de l'anémie. Dans l'étude faite par Stoltzfus *et al.*, le traitement au mébendazole réduisait l'anémie chez les enfants de moins de 24 mois avec une infection légère [31]. Korenromp *et al.* rapportaient que la prévention du paludisme à travers les moustiquaires imprégnées d'insecticide, la chimioprophylaxie antipalustre et

L'utilisation de sprays insecticides conduisait à une augmentation du taux d'hémoglobine de 7,6 g/L (IC à 95% : 6,1-9,1) en moyenne, chez les jeunes enfants Africains, et l'impact sur l'anémie était plus important dans les sites ayant au départ une prévalence plus élevée du parasite [32]. L'étude faite par Ekvall *et al.* Montrait que la supplémentation en MM combinée avec le traitement du paludisme contribuait de manière synergique à une augmentation du taux d'hémoglobine de 22 g/L (IC à 95% : 13-30) comparés aux 7 g/L (IC à 95% : 3-10) sans traitement du paludisme combiné [16].

La dose de fer utilisée dans la présente étude, calculée *a posteriori*, apparaît proche de celle recommandée de 2 mg/kg/jour pour les enfants âgés de 6-23 mois présentant une anémie légère à modérée ; elle apparaît être inférieure à cette dose chez les enfants âgés de 12-23 mois, toutefois. Ceci est une première raison qui pourrait limiter l'effet de l'intervention sur le taux d'hémoglobine. La dose de fer utilisée dans la présente étude a été choisie pour être 1,5 fois l'allocation alimentaire recommandée (*recommended dietary allowance* (RDA)), au lieu d'1 RDA utilisé dans l'étude IRIS I [9], pour tenir compte de l'état anémique des enfants. Il est vraisemblable qu'une dose plus élevée de fer aurait pu améliorer davantage le taux de guérison de l'anémie. En effet, l'étude faite par Desai *et al.*, chez des enfants âgés de 2-36 mois avec un taux d'hémoglobine compris entre 70 et 110 g/L qui utilisaient des moustiquaires imprégnées d'insecticide et qui recevaient un traitement antipaludéen et des suppléments de fer (3-6 mg/kg/jour) pendant 12 semaines, montrait 75% de taux de guérison de l'anémie [33]. Le taux de guérison de l'anémie plus élevé pourrait s'expliquer par les doses de fer qui étaient de 1-4 mg/kg/jour (c'est à dire environ 8-32 mg/jour) plus élevées que celles utilisées dans la présente étude. Une deuxième raison qui pourrait limiter l'effet de la supplémentation est la présence du calcium qui était apportée par le véhicule, pouvant contribuer à une réduction de la biodisponibilité du fer [34].

L'interaction de l'incidence de l'infection à *PF* avec le type de supplementation n'était pas significative. Ceci pourrait s'expliquer soit par l'absence d'une influence significative des micronutriments additionnels sur l'incidence du paludisme (la différence entre groupes n'était pas

significative, $p=0,79$), soit par les mesures de détection et de traitement précoces des cas incidents qui ont été mises en oeuvre dans la présente intervention.

Le groupe FZ n'était pas différent du groupe Fe en ce qui concerne l'augmentation du taux d'hémoglobine et la réduction de la prévalence de l'anémie. Cela suggère que l'interaction entre le fer et le zinc au niveau de leur absorption [35-37] ne s'est pas réalisée dans cette étude. Cela pourrait s'expliquer par le véhicule utilisé dans cette étude qui s'apparentait à un aliment; en effet, il n'y a pas d'interaction fer-zinc à l'absorption quand ces micronutriments sont donnés dans un repas [38]. Bien que cette étude soit focalisée sur les micronutriments, l'utilisation de ce produit de base alimentaire apportait un supplément substantiel en énergie. En effet, la dose quotidienne du supplément apportait 97 kcal, soit 16%, 14% et 11% des besoins quotidiens en énergie requis pour les enfants âgés de 6-8 mois, 9-11 mois, et 12-23 mois respectivement (615 kcal, 686 kcal, et 894 kcal pour les enfants de la catégorie d'âge respective) [39]. Ceci pourrait être bénéfique pour ces enfants ayant une prévalence élevée de malnutrition.

Dans cette étude, l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide n'a pas entièrement prémuni contre l'incidence du paludisme, comme dans un précédent essai des moustiquaires imprégnées d'insecticide en milieu rural du Burkina Faso [40]. Pour des raisons éthiques, la présente étude n'a pas permis la comparaison de l'incidence du paludisme dans ces groupes supplémentés avec celle d'un groupe qui n'aurait pas reçu des suppléments de fer ; mais nous pouvons classer la fréquence observée du paludisme dans la présente étude, en deçà de la charge de paludisme rapportée par des études d'observation en milieu rural du Burkina Faso [41-43]. Bien que la microscopie soit la méthode établie pour la confirmation du paludisme au laboratoire, la détection du paludisme basée sur la « *polymerase chain reaction*, PCR » qui est plus sensible et plus spécifique [44] aurait pu améliorer la détection de la parasitémie palustre et par conséquent l'effet de l'intervention sur l'anémie. Il y avait une différence non significative entre groupes, pour ce qui

concerne certaines caractéristiques en début d'intervention. Ceci pourrait être dû à une insuffisance dans la procédure de randomisation. Toutefois, les analyses par régression multiple visaient à contrôler l'effet de la supplémentation pour ces caractéristiques.

En conclusion, dans cette région où le paludisme est endémique, la supplémentation en MM était plus efficace que la supplémentation en fer pour la réduction de la prévalence de l'anémie, lorsque combinée avec la prise en charge du paludisme. L'utilisation de ce supplément de MM, intégrée à la prise en charge du paludisme et au traitement des helminthiases dans les conditions de cette intervention est restée insuffisante pour contrôler entièrement l'anémie. Des investigations sur les facteurs limitant et sur les doses de micronutriments qui pourraient être plus efficaces pour la réduction de l'anémie sont recommandables.

Références

1. WHO, UNICEF. Focusing on anaemia. Towards an integrated approach for effective anaemia control. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Geneva, WHO, 2004.
2. Brabin J, Premji Z, Verhoeff F. An analysis of anaemia and child mortality. *J Nutr* 2001; 131: S636-S648.
3. MI, UNICEF. Vitamins and minerals deficiencies. A global progress report. Ottawa, Micronutrient Initiative, 2004.
4. Crawley J. Reducing the burden of anaemia in infant and young children in malaria-endemic countries of Africa: from evidence to action. *Am J Trop Med Hyg* 2004; 71: 25-34.

5. Allen L, De Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines of food fortification with micronutrients. Geneva, WHO/FAO, 2006.
6. WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
7. Sazawal S, Black RE, Ramsan M *et al.* Effects of routine prophylactic supplementation with iron and folic acid on admission to hospital and mortality in preschool children in a high malaria transmission setting: community-based, randomized, placebo-controlled trial. *Lancet* 2006; 367: 133-143.
8. WHO. Conclusions and recommendations of the WHO consultation on prevention and control of iron deficiency in infants and young children in malaria-endemic areas. *Food Nutr Bull* 2007; 28: S621-S627.
9. International Research on Infant Supplementation (IRIS I) Study Group. IRIS I: A FOODlet-based multiple-micronutrient intervention in 6- to 12-month-old infants at high risk of micronutrient malnutrition in four contrasting populations: Description of a multicenter field trial. *Food Nutr Bull* 2003; 24 (Suppl. 3): 27-33.
10. Allen LH, Shrimpton R. The International Research on Infant Supplementation study: implications for programs and further research. *J Nutr* 2005; 135: S666-S669.
11. Shankar AH. Nutritional modulation of malaria morbidity and mortality. *J Infect Dis* 2000; 182: S37-S53.

12. Shankar AH, Genton B, Baisor M *et al.* Effect of vitamin A supplementation on morbidity due to *Plasmodium falciparum* in young children in Papua New Guinea: a randomised trial. *Lancet* 1999; 354: 203-209.
13. Shankar AH, Genton B, Baisor M *et al.* The influence of zinc supplementation on morbidity due to *Plasmodium falciparum*: a randomised study in preschool children in Papua New Guinea. *Am J Trop Med Hyg* 2000; 62: 663-669.
14. Binka FN, Ross DA, Morris SS *et al.* Vitamin A supplementation and childhood malaria in Northern Ghana. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 853-859.
15. Müller O, Becher H, Van Zweeden AB *et al.* Effect of zinc supplementation on malaria and other causes of morbidity in West African children: randomised double blind placebo controlled trial. *Br Med J* 2001; 322: 1567-1572.
16. Ekvall H, Premji Z, Bjorkman A. Micronutrient and iron supplementation and effective anti-malarial treatment synergistically improve childhood anaemia. *Trop Med Int Health* 2000; 5: 696-705.
17. Measuredhs. Burkina Faso: Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.
18. Smuts CM, Lombard CJ, Benade AJ *et al.* Efficacy of a foodlet-based multiple micronutrient supplement for preventing growth faltering, anaemia, and micronutrient deficiency of infants: the four country IRIS trial pooled data analysis. *J Nutr* 2005; 135: 631-638.

19. WHO. Report of the WHO informal consultation on the use of Praziquantel in pregnancy/lactation and Albendazole/Mebendazole in children under 24 months. Geneva, WHO, 2002.
20. Hall A, Hewitt G, Tuffrey V, De Silva N. A review and meta-analysis of the impact of intestinal worms on child growth and nutrition. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 118-236.
21. Dunn JT, Van Der Haar F. A practical guide to the correction of iodine deficiency disorders. Amsterdam, International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders, 1990.
22. Gentilini M. Médecine tropicale. 5^{ème} édition. Paris, Flammarion Médecine Sciences, 1993.
23. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.
24. Trape JF. Rapid evaluation of malaria parasite density and standardization of thick smear examination for epidemiological investigations. *Trans Royal Soc Trop Med Hyg* 1985; 79: 181-184.
25. Osborn J, Cattaruzza MS. Odds Ratios and Relative Risk for cross-sectional data. *Int J Epidemiol* 2002; 1: 464-465.
26. Allen LH. Iron-ascorbic acid and iron-calcium interactions and their relevance in complementary feeding. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 11-20.

27. Powers HJ. Effects of riboflavin deficiency on the handling of iron. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 36-42.
28. Schultink W, Gross R. The influence of vitamin A on iron status and possible consequences for micronutrient deficiency alleviation programs. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 28-35.
29. Fishman SM, Christian P, West KPJr. The role of vitamins in the prevention and control of anaemia. *Public Health Nutr* 2000; 3: 125-150.
30. Semba RD, Bloem MW. The anaemia of vitamin A deficiency: epidemiology and pathogenesis. *Eur J Clin Nutr* 2002; 5: 271-281.
31. Stoltzfus RJ, Chway HM, Montresor A *et al*. Low dose daily iron supplementation improves iron status and appetite but not anemia, whereas quarterly anthelmintic treatment improves growth, appetite and anemia in Zanzibari preschool children. *J Nutr* 2004; 134: 348-356.
32. Korenromp EL, Armstrong-Schellenberg JRM, Williams BG, Nahlen BL, Snow RW. Impact of malaria control on childhood anaemia in Africa. A quantitative review. *Trop Med Int Health* 2004; 9: 1050-1065.
33. Desai MR, Mei JV, Kariuki SK *et al*. Randomized, controlled trial of daily iron supplementation and intermittent sulfadoxine-pyrimethamine for the treatment of mild childhood anaemia in western Kenya. *J Infect Dis* 2003; 187: 58-66.

35. Dijkhuizen MA, Wieringa FT, West CE, Martuti S, Muhilal. Effects of iron and zinc supplementation in Indonesian infants on micronutrient status and growth. *J Nutr* 2001; 131: 2860-2865.
36. Lind T, Lonnerdal B, Stenlund H *et al.* A community-based randomized controlled trial of iron and zinc supplementation in Indonesian infants: interactions between iron and zinc. *Am J Clin Nutr* 2003; 77: 883-890.
37. Wieringa FT, Berger J, Dijkhuizen M *et al.* Combined iron and zinc supplementation in infants improved iron and zinc status, but interactions reduced efficacy in a multicountry trial in Southeast Asia. *J Nutr* 2007; 137: 466-471.
38. Lonnerdal B. Iron-zinc-copper interactions. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 3-10.
39. 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: 5-28.
40. Müller O, Traoré C, Kouyaté B *et al.* Effects of insecticide-treated bednets during early infancy in an African area of intense malaria transmission: a randomized controlled trial. *Bull World Health Organ* 2006; 84: 120-126.
41. Traore C. Epidemiology of malaria in a holoendemic area of rural Burkina Faso. Heidelberg, University of Heidelberg, 2003.

42. Muller O, Traore C, Becher H, Kouyate B. Malaria morbidity, treatment-seeking behaviour, and mortality in a cohort of young children in rural Burkina Faso. *Trop Med Int Health* 2003; 8: 290-296.

43. Stich A, Oster N, Abdel-Aziz IZ *et al*. Malaria in a holoendemic area of Burkina Faso: a cross-sectional study. *Parasitol Res* 2006; 98: 596-599.

44. WHO. New perspectives in malaria diagnosis. Geneva, WHO, 2000.

5.2. Stratégie intégrée de supplémentation en micronutriments, de lutte contre les parasitoses, et d'amélioration de l'alimentation de complément

Les résultats de cette étude sont présentés en trois volets :

- Le premier volet est consacré à la production d'une farine améliorée et à la préparation d'une bouillie dans des centres de nutrition ouverts dans les villages, pendant les 26 semaines d'intervention ;
- Le deuxième volet est consacré à l'analyse de la participation des enfants au programme d'alimentation dans les centres de nutrition et des ingérés de nutriments à partir de la bouillie améliorée ;
- Le troisième volet présente les résultats de l'étude proprement dite.

5.2.1. Développement d'une bouillie améliorée à base d'ingrédients locaux et transfert de technologie à des ménagères rurales

Introduction

La malnutrition de l'enfant est très fréquente dans les pays en développement, et conduit à une augmentation de la fréquence des maladies et de la mortalité [1]. L'insuffisance des apports alimentaires est une cause majeure de malnutrition au cours du processus de sevrage, où l'enfant passe d'une alimentation basée sur le lait maternel à une alimentation semi-solide puis solide [2]. Les aliments de complément devraient apporter respectivement 202 kcal, 307 kcal, et 548 kcal par jour, soit 32%, 45% et 61% des besoins énergétiques totaux chez les enfants de 6-8 mois, 9-11 mois et de 12-23 mois respectivement, en admettant un niveau moyen d'ingérés à partir du lait maternel [3]. La densité énergétique minimale pour couvrir les besoins nutritionnels requis des aliments de complément chez les jeunes enfants, en deux repas par jour, est de 71, 84 et 112 kcal/100g pour les enfants de 6-8 mois, 9-11 mois et de 12-23 mois respectivement, en admettant un niveau moyen d'apports énergétiques par l'allaitement [3]. Les critères majeurs d'un aliment de complément de bonne qualité incluent aussi une teneur équilibrée en protéines, une teneur adéquate en vitamines et minéraux, et une absence de facteurs antinutritionnels [4]. Le décorticage, le trempage, le séchage, la fermentation et la germination sont des techniques de traitement qui peuvent être appliquées au niveau des ménages pour améliorer la qualité des aliments de complément [4].

La situation nutritionnelle au Burkina Faso, où l'alimentation est basée essentiellement sur les produits d'origine végétale, est marquée par une prévalence élevée de malnutrition, le retard de croissance et l'émaciation touchant respectivement 41,6% et 19,6% des enfants de moins de cinq ans en milieu rural ; les enfants de 6 à 23 mois sont les plus affectés [5]. Chez les nourrissons d'environ 5 mois, l'allaitement apporte en moyenne 835 g de lait maternel par jour, soit 559 kcal

par jour [6]. Les premiers aliments généralement offerts à l'enfant en complément du lait maternel sont des bouillies préparées à partir de farines de céréales produites au niveau des ménages. Ces bouillies sont d'une densité énergétique faible, d'environ 40 kcal/100g, et ne peuvent pas apporter les compléments au lait maternel nécessaires pour couvrir les besoins nutritionnels des jeunes enfants [7].

Plusieurs études ont proposé des technologies d'amélioration des aliments de complément aussi bien au Burkina Faso que dans d'autres pays en développement [8-14]. L'utilisation des traitements enzymatiques qui réduisent la viscosité de bouillies concentrées et leur donne une consistance semi-liquide contribue à de meilleurs ingérés énergétiques chez les jeunes enfants au Burkina Faso et au Congo [8-10]. Dans la préparation d'aliments de complément adéquats, les ingrédients sont sélectionnés sur la base de leur disponibilité au niveau des ménages et de leur acceptabilité culturelle [4].

Quelques unités de production se sont développées au Burkina Faso, s'appropriant ces technologies. Cependant les aliments produits ne sont pas encore accessibles à tous les ménages, particulièrement ceux du milieu rural. Le transfert de technologie aux ménages ruraux, basé sur les aliments locaux, semble une alternative pertinente et durable pour assurer une meilleure nutrition des enfants. Les objectifs de cette étude étaient 1) de développer une bouillie améliorée basée sur des ingrédients locaux et répondant aux besoins nutritionnels des jeunes enfants, et 2) d'évaluer le transfert de technologie aux ménagères rurales.

Méthodologie

Nous avons déterminé la formule de la farine grâce au logiciel Alicom® (UR106/IRD, Montpellier, France) en nous basant sur trois critères : 1) une bouillie de densité énergétique de 100 kcal/100g, avec une teneur en fer et en zinc de 3 mg/100kcal et 1 mg/100kcal respectivement, pour être aussi proche que possible des recommandations internationales [3], 2)

une consistance, mesurée par la distance d'écoulement, de 120 mm/30s, proche de celle des bouillies consommées localement [7]; et 3) une bonne disponibilité des ingrédients dans le district de Kongoussi.

Nous avons recruté et formé 4 ménagères ayant un niveau d'éducation primaire pour la production de la farine. La formation a consisté au traitement des ingrédients et à l'utilisation des mesures ménagères. La **figure 1** illustre les étapes de production de la farine. Le petit mil était vanné, lavé, séché et torréfié. Les haricots étaient vannés, triés, dépêliculés, séchés et torréfiés. Le sorgho rouge était malté suivant une procédure traditionnelle, telle que décrite par Traoré *et al.* [16].

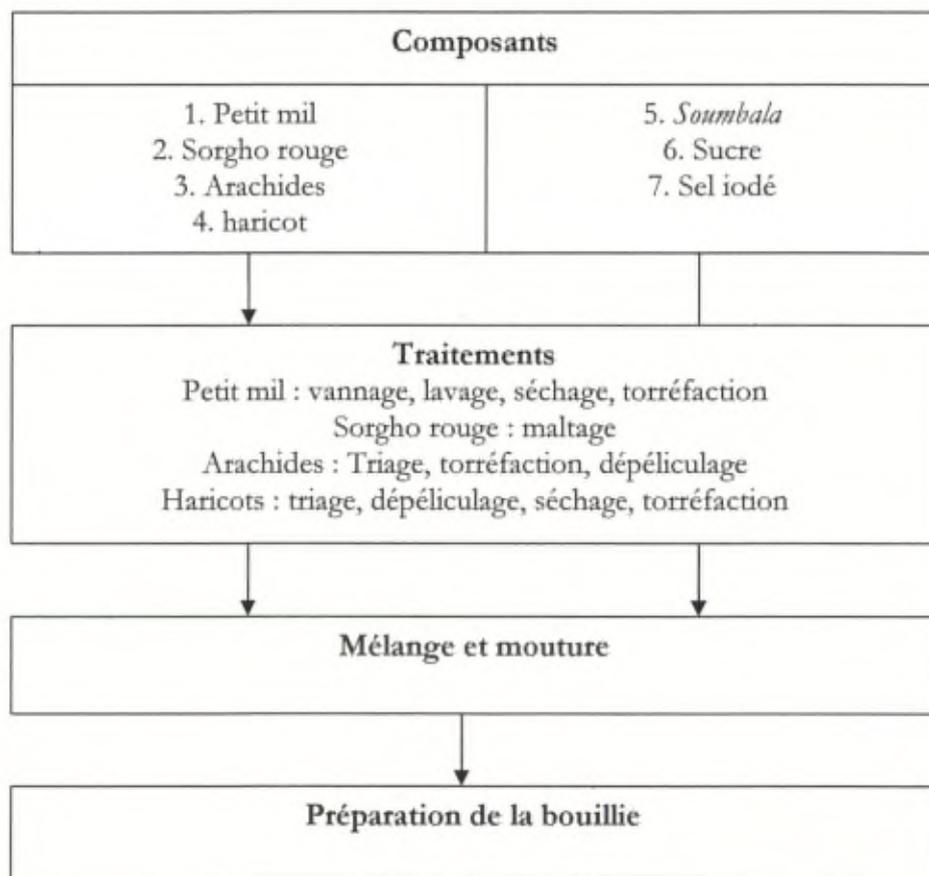


Figure 1 : Etapes de production de la farine et de la bouillie.

Le *soumbala* (un condiment fermenté) était produit à partir des graines de *néré* (*Parkia biglobosa*), selon un procédé traditionnel, illustré par la **figure 2**. Les graines de *néré* étaient nettoyées, bouillies une première fois puis décortiquées, lavées, égouttées, triées, avant de subir une deuxième cuisson. Après cette deuxième cuisson, les graines étaient égouttées puis fermentées et séchées. Tous les ingrédients étaient achetés sur les marchés locaux.

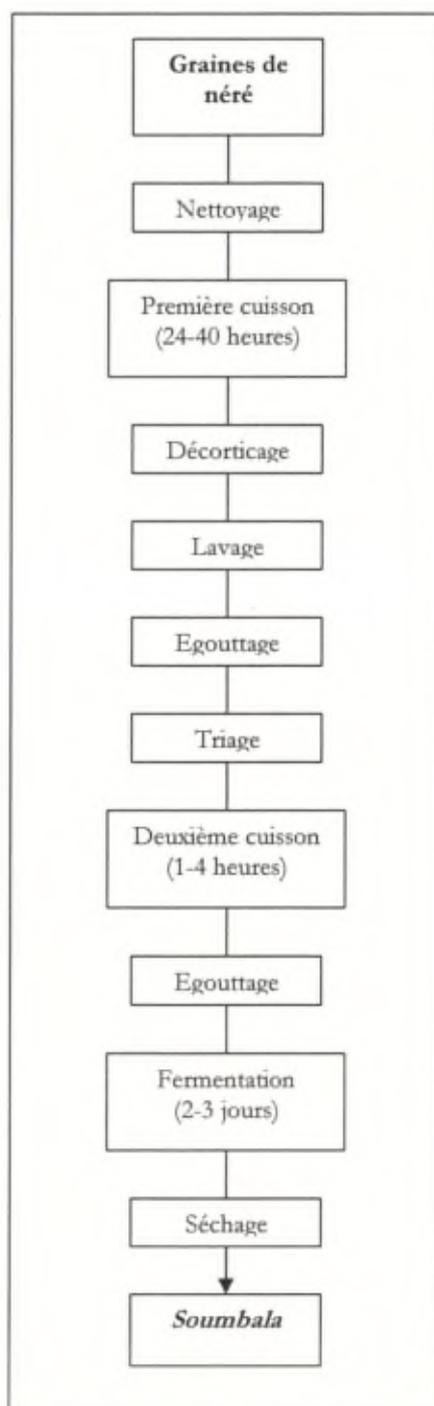


Figure 2 : Etapes du processus de production du *soumbala* à partir des graines de *néré*.

Nous avons évalué par pesées au 10 g près, la quantité d'ingrédients nécessaire à la production de 30 kg de farine, puis converti ces quantités en unités d'ustensiles couramment utilisés dans les ménages (une boîte de 2200 ml, un grand gobelet de 1000 ml, un petit gobelet de 250 ml, un bol de 600 ml, et une louche de 100 ml). Les ménagères se sont exercées à l'utilisation de ces ustensiles, puis nous avons évalué leur capacité à les utiliser adéquatement pour les mesures des ingrédients traités. Pour chaque ustensile, chaque ménagère a effectué dix mesures de chacun des ingrédients. Nous avons ensuite pesé les quantités d'ingrédient obtenues avec chaque ustensile et calculé la variation interne des mesures.

Les ingrédients traités étaient prélevés, mélangés, et passés au moulin pour l'obtention de la farine. Chaque ménagère devait produire 30 kg de farine par semaine, pendant toute la durée de l'intervention, c'est-à-dire 26 semaines.

Nous avons réalisé des travaux de laboratoire visant à standardiser la préparation de la bouillie et à évaluer les indices de qualité de la bouillie. Dix préparations ont été réalisées, chacune étant évaluée pour six indices qui sont : la masse volumétrique, la distance d'écoulement, la teneur en matières sèches, la densité énergétique, la teneur en fer et en zinc, et l'acceptabilité. La procédure de préparation de 200 g de bouillie en utilisant 54 g de farine et 0,210 L d'eau, une marmite en aluminium et un feu au charbon de bois a été retenue. Les prélèvements ont été faits quand la bouillie était à 45°C, température habituelle de consommation [17]. Pour évaluer la masse volumétrique, 100 mL de bouillie ont été pesés à l'aide d'une balance (précision ± 1 g). Pour mesurer la consistance des bouillies nous avons déterminé la distance d'écoulement, c'est-à-dire la distance parcourue en 30 secondes par 100 mL de bouillie à la température habituelle de consommation de 45°C, dans un consistomètre de type Bostwick (CSC Scientific Company Inc., Fairfax, Virginia, USA) [17]. Deux échantillons de bouillie étaient prélevés dans des boîtes opaques en plastique puis conservés en dessous de -20°C jusqu'à l'analyse, pour la détermination de la composition globale au Laboratoire National de Santé Publique (LNSP), et pour la

détermination de la teneur en fer et en zinc au laboratoire du Bureau National des Sols (BUNASOLS). 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, en utilisant de l'éther de pétrole comme solvant d'extraction). Les fibres totales ont été dosées par la méthode gravimétrique et enzymatique [19]. Les cendres totales ont été déterminées par minéralisation au four à 530°C. Les glucides totaux ont été calculés par la différence (100 - protéines - lipides - fibres - cendres). La valeur énergétique a été calculée en prenant respectivement 4, 4 et 9 kcal/g comme coefficients de conversion des protéines, glucides et lipides. Environ 21%, 13%, et 66% de l'énergie provenait des lipides, protides et glucides, respectivement. Les teneurs en fer et en zinc des échantillons de farine ont été déterminées par spectrométrie d'absorption atomique (Varian SpectrAA 200, Victoria, Australie).

Les résultats obtenus sur ces préparations ont permis de définir les équations de régression de la densité énergétique, de la teneur en fer et de la teneur en zinc en fonction des matières sèches et de la distance d'écoulement, comme suit : *Densité énergétique* (kcal/100g) = $2,99 \times \text{teneur en matières sèches (g/100g)} + 0,63 \times \text{distance d'écoulement (mm/30s)} - 50,2$; *Teneur en fer* (mg/100kcal) = $0,14 \times \text{teneur en matières sèches} - 0,04 \times \text{distance d'écoulement} + 3,45$; *Teneur en zinc* (mg/100kcal) = $0,04 \times \text{teneur en matières sèches} - 0,01 \times \text{distance d'écoulement} + 1,76$.

Enfin, nous avons recruté 27 ménagères de niveau d'éducation primaire, et les avons formées à la préparation des bouillies. Pour la préparation de 1,5 kg de bouillie correspondant à la consommation de 7 à 8 enfants en une session, la farine (405 g soit 1 grand gobelet et 2 louches) était versée dans la marmite contenant 1,5 L d'eau, puis remuée, et la marmite mise au feu. La bouillie était remuée constamment à la spatule, et la préparation durait 5 mn après l'apparition des premières bulles. Les ménagères étaient entraînées puis évaluées sur leur capacité à estimer les 5

mn de temps de cuisson. La bouillie était préparée en deux sessions par jour (6 h 00 du matin et 4 h 00 l'après-midi), 6 jours par semaine, pendant 26 semaines.

Un contrôle lors de la formation, puis trois contrôles inopinés aux 4^{ème}, 12^{ème} et 22^{ème} semaines de production de la farine et de préparation de la bouillie, ont été réalisés. A chaque contrôle un prélèvement de bouillie était fait chez chacune des préparatrices. La bouillie était analysée sur place pour la distance d'écoulement, puis au laboratoire pour la teneur en matières sèches. La densité énergétique, la teneur en fer et en zinc étaient ensuite calculées à partir des équations ci-dessus.

Nous avons évalué le coût de production de la farine en prenant en compte uniquement les coûts liés à l'achat des ingrédients.

Les données ont été traitées par SPSS 12.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago IL, USA). Pour ces variables quantitatives une observation visuelle du plot normal a permis d'apprécier la normalité de la distribution. Les analyses statistiques ont consisté en la détermination des valeurs centrales (moyenne, médiane) et des valeurs de dispersion (déviation standard, coefficients de variation, range). La régression linéaire multiple a été utilisée pour déterminer les équations de régression de la densité énergétique, de la teneur en fer et en zinc, en fonction de la teneur en matières sèches et de la distance d'écoulement. Le test t de Student a été utilisé pour comparer les moyennes (teneur en matières sèches, distance d'écoulement, densité énergétique, teneur en fer et en zinc) des mesures faites lors des contrôles, avec les moyennes des mesures faites au laboratoire utilisées comme référence.

Résultats

Le **tableau 1** présente la composition de la farine et les quantités d'ingrédients nécessaires, en unités d'ustensiles ménagers.

Tableau 1: Composition et quantités d'ingrédients traités nécessaires à la production de 30 kg de farine.

Ingrédients traités	%	Quantité	
		kg	unités de mesures ménagères
Petit mil (<i>Pennisetum glaucum</i>)	51,69	15,51	9 boîtes + 1 bol + 2 louches
Sucre (sucrose)	12,72	3,82	2 boîtes
<i>Soumbala</i> (<i>Parkia biglobosa</i>)	9,30	2,79	2 boîtes + 1 bol + 1 louche
Sorgho rouge (<i>Sorghum bicolor</i>)	8,95	2,69	1 boîte + 2 grands gobelets + 1 louche
Haricots (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	8,75	2,63	1 boîte + 1 grand gobelet + 1 louche
Arachides (<i>Arachis hypogaea</i>)	7,81	2,34	1 boîte + 1 grand gobelet + 1 bol
Sel iodé (10-15 mg d'iodure de sodium par kg de sel)	0,78	0,23	1 petit gobelet

Volume de la boîte = 2200 ml ; Volume du grand gobelet = 1000 ml ; Volume du bol = 600 ml ; Volume du petit gobelet = 250 ml ; Volume de la louche = 100 ml

La farine servant à la préparation de la bouillie était composée de petit mil (51,7%), haricots (8,8%), arachide (7,8%), malt de sorgho rouge (9,0%), *soumbala* (9,3%), sucre (12,7%), et de sel iodé (0,8%). Pour la production de 30 kg de farine, 15,5 kg de petit mil étaient nécessaires ; cela correspond au contenu de 9 boîtes, un bol et deux louches.

Les mesures des ingrédients avec les ustensiles ménagers étaient peu variables (**tableau 2**). Les coefficients de variation, dans l'ensemble, étaient de 0,06% (mesure du mil avec la boîte chez la ménagère 4) à 5,86% (mesure des haricots avec la louche chez la ménagère 2). Chez chaque

ménagère les coefficients de variation les plus élevés s'observaient pour les mesures avec la louche, et les coefficients de variation les plus faibles s'observaient pour les mesures avec la boîte.

La masse volumétrique pour les 10 bouillies préparées au laboratoire était en moyenne (DS) de 103 (2.7) g/100 mL. L'évaluation des 27 ménagères pour l'estimation de 5 minutes de temps de cuisson (300 secondes) a indiqué une estimation moyenne (DS) de 328 (52) secondes.

Le **tableau 3** présente les caractéristiques de la bouillie à différentes périodes de prélèvement. La teneur en matières sèches et la densité énergétique obtenue par les ménagères au prélèvement de la 12^{ème} semaine était plus élevée que celles obtenues au laboratoire (27,9 g/100 g et 107,9 kcal/100 g de bouillie respectivement contre 25,9 g/100 g et 103 kcal/100 g de bouillie respectivement, $p < 0,01$). Celles obtenues à la formation, aux 4^{ème} et 22^{ème} semaines n'étaient pas différentes des résultats obtenus au laboratoire. La teneur en zinc obtenue par les ménagères était constante, plus élevée que celle obtenue au laboratoire (1,6 ou 1,7 mg/100 kcal contre 1,2 mg/100 kcal, $p < 0,001$). La distance d'écoulement obtenue par les ménagères aux quatre prélèvements n'était pas différente de celle obtenue au laboratoire. La teneur en fer obtenue par les ménagères à la formation (2,3 mg/100 kcal), aux 4^{ème} (2,3 mg/100 kcal) et 12^{ème} semaine (2,6 mg/100 kcal) était proche de celle obtenue au laboratoire (2,6 mg/100 kcal), bien que non significative il y avait une différence entre la teneur en fer obtenue par les ménagères à la 22^{ème} semaine (1,8 mg/100 kcal).

Le coût de la farine était estimé à 357 francs CFA (0,54 euro) pour 200 g de farine. Ce coût était composé de celui du *sombala* (33,6%), petit mil (18,7%), arachide (16,8%), sucre (14,9%), haricots (6,7%), sorgho rouge (5,6%), et sel iodé (3,7%).

Tableau 2 : Coefficients de variation des quantités obtenues par les ménagères (en kg), en utilisant différentes mesures ménagères et pour différents ingrédients.

	Ménagère 1				Ménagère 2				Ménagère 3				Ménagère 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Petit mil	0,58	-	0,23	0,62	0,69	-	1,21	4,47	0,58	-	0,13	2,17	0,06	-	0,84	0,62
Sucre	1,12	-	-	-	0,62	-	-	-	0,48	-	-	-	0,25	-	-	-
<i>Soumbala</i>	1,24	-	1,86	1,86	1,24	-	2,17	3,26	0,75	-	0,60	1,03	0,49	-	1,44	2,23
Sorgho rouge	0,34	0,51	-	2,82	1,36	0,58	-	3,18	0,32	0,77	-	2,25	0,27	0,42	-	3,73
Haricots	0,09	0,42	-	2,00	1,04	1,24	-	5,86	1,31	0,50	-	0,92	0,39	1,37	-	1,73
Arachides	0,27	0,69	0,55	-	0,43	0,84	0,71	-	0,39	0,29	0,34	-	0,39	0,33	0,38	-

1=boite de 2200 ml ; 2= grand gobelet de 1000 ml ; 3 = bol de 600 ml ; 4 = louche de 100 ml.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques de la bouillie améliorée à différentes étapes du développement et du suivi.

	Période de prélèvement				
	Laboratoire (n=10)	Formation (n=27)	Suivi 1 (n=27)	Suivi 2 (n=27)	Suivi 3 (n=27)
Teneur en matières sèches (g/100g), moyenne (DS)	25,9 (1,8)	26,0 (2,6)	26,1 (2,5)	27,9 (1,4) ^b	25,2 (4,0)
Distance d'écoulement (mm/30s), moyenne (DS)	119,9 (2,6)	120,0 (3,9)	119,9 (4,2)	118,5 (4,3)	120,9 (5,4)
Densité énergétique (kcal/100g), moyenne (DS)	103,0 (5,7)	103,0 (5,6)	103,3 (5,2)	107,9 (11,5) ^b	101,3 (8,7)
Teneur en fer (mg/100kcal), moyenne (DS)	2,6 (0,3)	2,3 (0,5)	2,3 (0,5)	2,6 (0,3)	1,8 (0,8)
Teneur en zinc (mg/100kcal), moyenne (DS)	1,2 (0,1)	1,6 (0,1) ^a	1,6 (0,1) ^a	1,7 (0,1) ^a	1,6 (0,2) ^a

^{a,b}Différence significative en comparaison aux données du laboratoire, ^a p<0,05 ; ^b p<0,01

Discussion

Cette étude montre la possibilité de développer, à partir d'aliments disponibles dans le district de Kongoussi, une farine puis une bouillie améliorée, avec des caractéristiques proches de celle recommandée pour couvrir les besoins nutritionnels des jeunes enfants [3]. Elle a permis de décrire les conditions et les mesures dans lesquelles la production de farine et de bouillie améliorée pouvait être faite. Cette bouillie, qui a une densité énergétique de 103 kcal/100g, pourrait couvrir les besoins énergétiques requis des aliments de complément chez les jeunes enfants en deux repas, à raison de 100 g, 150 g et 275 g de bouillie par repas chez les enfants de 6-8 mois, 9-11 mois et 12-23 mois respectivement. La capacité gastrique des enfants ne serait pas une limite à la consommation de telles quantités de bouillie pour la majorité des enfants. Cependant, la teneur en fer de 2,6 mg/100 kcal reste légèrement en deçà de la teneur recommandée de 3 mg/100 kcal. Avec cette teneur, et aux quantités de consommation indiquées, les enfants de 12-23 mois, mais pas les enfants de 6-11 mois, pourraient couvrir leurs besoins, si la biodisponibilité du fer de la bouillie atteignait 10%. Ceci illustre le problème, discuté par Dewey, du risque d'insuffisance ou d'excès d'ingérés nutritionnels lorsqu'une seule formulation est faite pour les enfants de 6 à 23 mois [20].

Les ingrédients utilisés peuvent être classés en deux catégories : premièrement ceux qui sont produits directement par les ménages (mil, sorgho, haricots, arachides), et ceux qui ne le sont pas (sel iodé, sucre, *soumbala*). Parmi les derniers, le sel iodé, est utilisé en faible quantité pour cette bouillie, et reste financièrement accessible et d'utilisation quotidienne par les ménages. Il faudra simplement s'assurer que le sel utilisé par les ménages est adéquatement iodé. En milieu rural du Burkina Faso, seulement 41,6% des ménages utilisent du sel adéquatement iodé (≥ 15 ppm) pour leur consommation [5]. Au cours de cette étude, les boîtes de sel utilisées (Balcine®, Paris, France) étaient préalablement testées pour leur niveau d'iodation en utilisant des kits pour test rapide (MBI KITS, India). Par contre, le sucre et le *soumbala*, qui doivent aussi être achetés sur les

marchés locaux pourraient constituer une limite à la production des farines au niveau des ménages. Il apparaît peu opportun d'en diminuer les quantités utilisées dans cette bouillie. En effet, la teneur en sucre a un impact sur la consommation de bouillie par les enfants. Vieu *et al.* montraient chez des nourrissons du Burkina Faso que l'amélioration de la consommation énergétique était d'autant plus grande que la teneur en sucre dans la bouillie était élevée, et qu'une teneur en sucre comprise entre 9% et 20% serait optimale [8]. Une alternative au sucre pourrait être de compenser une baisse de teneur par plus d'amidon et donc de mil, et une augmentation contemporaine de l'amylase et donc du sorgho germé, car dans ce type de mélange, quand l'amylase entre en action, il coupe l'amidon en oligosaccharides qui augmentent la saveur [10]. Le *soumbala* intervient pour beaucoup dans la teneur en fer de la bouillie et joue aussi un rôle important dans la qualité organoleptique. Il s'agit du produit fermenté des graines de *nééré*, (*Parkia biglobosa*), utilisé couramment comme condiment dans les sauces. Il est appelé "iru" au Nigeria, "neteton" en Gambie, "kpalugu" au Ghana, "kbinda" en Sierra Leone et "dawadawa" en Afrique du Nord. Il a une teneur en énergie, fer et zinc de 436 kcal/100g, 69,6 mg/100g et 5,1 mg/100g respectivement [21]. Pour que la production en routine de cette farine au niveau des ménages soit possible, il faudrait, soit réduire les quantités de sucre et/ou de *soumbala* à utiliser, tout en conservant les qualités nutritionnelles et organoleptiques, soit trouver des moyens pour rendre ces produits plus accessibles.

Le coût de la farine est comparable à celui des farines proposées par les unités de production semi-industrielles. Toutefois, il est attendu en situation de routine, si les ménages s'approprient cette technologie, que des ingrédients comme les céréales, le haricot et les arachides soient tirés des greniers des ménages ou des réserves provenant du champ de la mère, ce qui réduirait considérablement le coût. Le *soumbala* et le sucre constituent environ la moitié du coût de la farine (48,5%). Un marketing social de ces produits devrait accompagner l'introduction de cette technologie de production de la farine au niveau des ménages.

Cette étude montre aussi la possibilité de transfert de la technologie de production de la farine et de préparation de la bouillie à des ménagères rurales. Elle rend compte de la capacité des ménagères à reproduire de manière standardisée et sur une longue période, les conditions de production de la farine et de préparation de la bouillie. Quelques variations ont été notées à la 12^{ème} semaine pour la teneur en matières sèches et la densité énergétique, et à la 22^{ème} semaine pour la teneur en fer. Les sources potentielles de variation se situent au niveau des ingrédients et de leur traitement, de la mesure des quantités d'ingrédients nécessaires, et du temps de cuisson. Au niveau des ingrédients l'état de torréfaction peut varier, et les caractéristiques nutritionnelles des ingrédients avec. La torréfaction durait jusqu'à apparition d'une couleur dorée et d'une odeur de produit cuit ; ce sont là des critères subjectifs. Il conviendrait de mieux standardiser ce processus par des critères objectifs, comme par exemple le temps de torréfaction selon le type d'ingrédient. Nous avons privilégié l'emploi d'ustensiles d'utilisation courante par les ménagères de la localité, au lieu de balances, pour la mesure des quantités d'ingrédients. Dans la perspective d'une généralisation du processus au niveau des ménages, il était plus indiqué d'utiliser ce type de mesures plutôt que les balances. Il serait impossible de doter le maximum de ménages d'une balance, et toutes les ménagères ne seraient pas capables d'utiliser convenablement une balance. De plus, pour des raisons de pérennité, il était plus pertinent de faire appel à des instruments utilisés dans la pratique quotidienne des ménages.

Nous avons recruté des ménagères ayant au moins un niveau de scolarisation primaire, ce qui n'est pas représentatif des femmes rurales. Ce choix a été fait pour avoir des ménagères capables non seulement de la production de farine et de la préparation des bouillies, mais aussi du suivi de la consommation de bouillies par les enfants à travers des fiches de suivi, dans le cadre de cet essai. Cependant, la formation pourrait être envisagée même avec des ménagères non scolarisées si l'objectif reste uniquement de les amener à produire la farine et à préparer les bouillies, en utilisant les mêmes ustensiles ménagers et les mêmes ingrédients.

Nous n'avons pas évalué la qualité microbiologique de la farine et de la bouillie. Toutefois on peut admettre que le risque de contamination était minimisé. En effet, la formation incluait un module sur les pratiques d'hygiène, et les ménagères étaient régulièrement dotées de produits comme du savon et de l'eau de Javel pour le lavage des ustensiles et de leurs mains avant toute manipulation. De plus, nous avons sélectionné des céréales de la dernière récolte et donc à moindre niveau de contamination, et la farine était prévue pour être conservée durant une semaine maximum dans des récipients propres. Enfin, la torréfaction utilisée ici améliore la durée de conservation en réduisant la contamination microbienne et en déshydratant le produit [4]. D'autres études ont montré une bonne stabilité de la farine obtenue avec des ingrédients traités, indiquant qu'après une conservation de 10 mois à 4°C ou 25°C elle résistait aux attaques microbiennes [13]. Nous n'avons pas évalué la biodisponibilité du fer et du zinc de la bouillie, mais on peut penser que la torréfaction et la germination utilisée dans la présente approche pourrait se traduire par moins de phytates dans la bouillie améliorée et donc plus de biodisponibilité des minéraux comme le fer et le zinc [4].

En conclusion, les stratégies alimentaires de lutte contre les carences nutritionnelles, plus durables que les stratégies de supplémentation, pourraient s'appuyer sur un programme d'éducation nutritionnelle des ménagères à une utilisation plus appropriée des produits locaux. La mise en œuvre d'un tel programme d'éducation devrait s'accompagner de mesures visant une meilleure accessibilité de certains ingrédients. Il pourrait s'agir du marketing social du *soumbala*, ou de la promotion d'autres formes de *soumbala* comme celui produit industriellement à base de graines de *nééré*, ou celui fabriqué à partir des graines de soja.

Références

1. Black RE, Allen LH, Bhutta ZA *et al.* Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008; 371: 243-260.
2. WHO, UNICEF. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva, WHO, 1998.
3. 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.
4. Mensah P, Tomkins A. Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. *Food Nutr Bull* 2003; 24 (1): 104-124.
5. Measuredhs. Burkina Faso: Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.
6. Thiombiano-Coulibaly N, Rocquelin G, Eymard-Duvernay S, Zougmore ON, Traore SA. Effects of early extra fluid and food intake on breastmilk consumption and infant nutritional status at 5 months of age in an urban and a rural area of Burkina Faso. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58: 80-89.
7. Trèche S. Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoerée T, eds. *Proceeding of*

the international colloquium promoting growth and development of under fives. Antwerpen, ITG Press, 2002: pp. 132-148.

8. 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: 213-218.

9. Traoré T, Vieu MC, Traoré SA, Trèche S. 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* 2005; 45: 279-286.

10. Moursi M, Mbemba F, Trèche S. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on the energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr* 2003; 6 (3): 249-257.

11. Mamiro PS, Kolsteren PW, Van Camp JH, Roberfroid DA, Tatala S, Opsomer A. Processed complementary food does not improve growth or hemoglobin status of rural Tanzanian infants from 6-12 months of age in Kilosa district, Tanzania. *J Nutr* 2004; 134: 1084-1090.

12. Oumarou H, Ejoh R, Ndjouenkeu R, Tanya A. Nutrient content of complementary foods based on processed and fermented sorghum, groundnut, spinach, and mango. *Food Nutr Bull* 2005; 26 (4): 385-392.

13. Asma MA, El Fadil EB, El Tinay AH. Development of weaning food from sorghum supplemented with legumes and oil seeds. *Food Nutr Bull* 2006; 27 (1): 26-34.

14. Ejigui J, Savoie L, Marin J, Desrosiers T. Improvement of the nutritional quality of a traditional complementary porridge made of fermented yellow maize (*Zea mays*): Effect of

maize–legume combinations and traditional processing methods. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (1): 23-34.

15. Institut National de la Statistique et de la Démographie. Burkina Faso : la pauvreté en 2003. Ouagadougou, INSD, 2003.

16. Traoré T, Mouquet C, Icard-Vernière C, Traoré AS, 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.

17. Mouquet C, Greffeuille V, Trèche S. Characterization of the consistency of gruels consumed by infants in developing countries: assessment of the Bostwick consistometer and comparison with viscosity measurements and sensory perception. *Int J Food Sci Nutr* 2006; 57 (7/8): 459-469.

18. AFNOR. Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. NF V 03-050, 1970.

19. Prosky 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. Dewey KG. Nutrient composition of fortified complementary foods: should age-specific micronutrient content and ration sizes be recommended? *J Nutr* 2003; 133: 2950S-2952S.

21. Barikmo I, Ouattara F, Oshaug A. Food composition table for Mali. Lillestrøm, Akershus University College, 2004.

5.2.2. Une farine améliorée, à base d'ingrédients locaux traités, pour améliorer les ingérés en énergie, fer et zinc chez les enfants de 6-23 mois : une intervention communautaire.

OUEDRAOGO HZ, TRAORE T, ZEBA AN, DRAMAIX-WILMET M, HENNART P, DONNEN P. A local-ingredient-based, processed flour to improve the energy, iron and zinc intakes of young children: a community-based intervention. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* (in press).

Introduction

La malnutrition est responsable de 2,1 millions de décès d'enfants âgés de moins de cinq ans chaque année (21% des décès d'enfants dans le monde), avec un impact relatif et absolu plus élevé chez les enfants Africains [1]. L'insuffisance des apports alimentaires est une cause majeure de malnutrition au cours du processus de sevrage, où l'enfant passe d'une alimentation basée sur le lait maternel à une alimentation semi-solide puis solide [2]. Les aliments de complément devraient apporter respectivement 202 kcal, 307 kcal, et 548 kcal par jour chez les enfants âgés de 6-8 mois, 9-11 mois et de 12-23 mois respectivement, en admettant un niveau moyen d'ingérés énergétique à partir du lait maternel [3]. La teneur en fer minimale des aliments de complément requise pour couvrir les besoins nutritionnels des jeunes enfants est de 4,5 mg/100 kcal, 3,0 mg/100 kcal, et 1 mg/100 kcal pour les enfants âgés de 6-8 mois, 9-11 mois et de 12-23 mois respectivement [3].

Le retard de croissance affecte 41,6% des enfants âgés de moins de cinq ans en milieu rural du Burkina Faso [4], soulignant de faibles ingérés énergétiques [5], et prédisant de faibles ingérés de zinc, le zinc étant associé à une amélioration de la croissance [6]. La prévalence de l'anémie chez les enfants âgés de 6-59 mois est de 93,6%, prédisant une prévalence élevée de carence en fer, bien que le paludisme soit aussi très fréquent [7]. L'alimentation inadaptée de l'enfant, ainsi que

les maladies infectieuses, en particulier non traitées, sont les causes principales de malnutrition [8]. Bien que l'allaitement soit courant (98,5% des enfants âgés de moins de cinq ans sont ou ont été allaités, et la durée médiane de l'allaitement est de 25,2 mois), l'allaitement exclusif ne concerne que 18,8% des enfants âgés de moins de six mois [4]. L'introduction en temps opportun des aliments de complément est déficiente, seulement 38,0% des enfants âgés de 6-9 mois reçoivent des aliments de complément [4]. Parmi les enfants qui reçoivent des aliments de complément, 26,7% de ceux âgés de 6-11 mois ont deux repas ou plus par jour et 52,2% de ceux âgés de 12-23 mois ont trois repas ou plus par jour [9]. De plus, les bouillies destinées aux enfants ont généralement une densité énergétique faible, de 40 kcal/100 g [10] ; les enfants âgés de 6-23 mois ne consomment en moyenne que 14 g/kg de poids corporel/repas [11].

Les critères majeurs d'un aliment de complément de bonne qualité incluent aussi une teneur équilibrée en protéines, une teneur adéquate en vitamines et minéraux, et une absence de facteurs antinutritionnels [12]. Plusieurs études ont proposé des technologies d'amélioration des aliments de complément [13-16]. Ces technologies consistent essentiellement en l'utilisation d' α -amylase pour assurer une viscosité acceptable tout en augmentant la densité énergétique, et au traitement des ingrédients en vue de réduire les facteurs antinutritionnels, en particulier les phytates qui sont associées à une faible biodisponibilité des minéraux comme le fer et le zinc [12, 16, 17]. Toutefois, alimenter les jeunes enfants avec des aliments ayant une densité énergétique élevée peut conduire au « déplacement » de l'allaitement, c'est-à-dire à une baisse des ingérés de lait maternel [3, 18]. Ceci peut exposer ces enfants à de faibles ingérés de nutriments dont le lait maternel est la source principale, comme la vitamine A et le calcium. La consommation d'une bouillie de densité énergétique élevée (150 kcal/100 g) à raison de 75,2 kcal/kg de poids corporel/jour chez des enfants âgés de 9-18 mois du Bangladesh conduisait à une plus faible fréquence et durée d'allaitement et à des ingérés de lait maternel plus faibles en comparaison aux enfants qui consommaient 35,2 kcal/kg de poids corporel/jour à partir d'une bouillie de densité énergétique faible (40 kcal/100g) [18]. Il est vraisemblable que le « déplacement » de l'allaitement

dépend du niveau des ingérés énergétiques et pourrait être spécifique du contexte. En effet, des ingérés énergétiques moyens de 37 kcal/kg de poids corporel/jour chez des jeunes enfants du Congo n'affectaient pas les ingérés de lait maternel, en comparaison aux enfants qui avaient des ingérés énergétiques de 24 kcal/kg de poids corporel/jour [19].

Si la technologie de production de farine puis de bouillie améliorée semble acquise, la mesure dans laquelle ce type de bouillie peut, en population, satisfaire les besoins nutritionnels les plus importants reste peu étudiée. Cette étude d'intervention nutritionnelle basée sur la consommation d'une bouillie améliorée a été entreprise chez les enfants âgés de 6-23 mois en milieu rural du Burkina Faso, qui étaient invités à se rendre dans un centre de nutrition ouvert dans leur village, pour y être alimentés. Les objectifs de l'étude étaient, 1) de déterminer les quantités de bouillie consommées et les ingérés en énergie, fer et zinc, 2) de déterminer le taux de participation et la contribution de l'intervention aux besoins recommandés en énergie, fer et zinc, et 3) d'évaluer l'effet de la consommation de bouillie sur la fréquence de l'allaitement.

Méthodes

Population et échantillonnage

L'étude a été conduite dans le district de Kongoussi, de janvier à juin 2006. Huit enfants ont été tirés de chacun de 27 villages qui avaient été sélectionnés dans une étude précédente [20]. Les enfants ont été sélectionnés par la méthode adoptée de celle utilisée pour l'évaluation du Programme Elargi de Vaccination [21]. Les critères d'inclusion étaient l'âge de 6-23 mois, l'allaitement en cours, l'alimentation de complément introduite ou l'acceptation de son introduction par les parents, et le consentement des parents à la participation de l'enfant. Ainsi, tous les enfants inclus devaient consommer la bouillie améliorée.

Consommation de bouillie améliorée

Du lundi au samedi, la mère devait se présenter au centre de nutrition ouvert dans son village, le matin (6:00 AM) puis l'après-midi (4:00 PM), pour recevoir la bouillie améliorée, gratuitement, et alimenter son enfant sous supervision. L'option de centraliser la préparation et la distribution de la bouillie dans un centre de nutrition a été choisie pour faciliter le suivi de la consommation réelle de bouillie, comme cet argument est d'importance dans cette évaluation d'efficacité. La bouillie était développée et préparée suivant une procédure standardisée, présentée au chapitre 5.2.1. En bref, nous avons déterminé la formule de la farine grâce au logiciel Alicom® (UR106/IRD, Montpellier, France). La farine servant à la préparation de la bouillie était composée de petit mil (51,7%), haricots (8,8%), arachide (7,8%), sorgho rouge (9,0%), *soumbala* (9,3%), sucre (12,7%), et sel iodé (0,8%). Le petit mil, le haricot et les arachides étaient torréfiés, alors que le sorgho rouge était germé. Les tests de laboratoire ont montré qu'avec une telle composition, la bouillie préparée avec une consistance (mesurée par la distance d'écoulement dans un consistomètre de Bostwick) de 120 mm/30s avait une densité énergétique, une teneur en fer et une teneur en zinc de 103 kcal/100g, 2,6 mg/100 kcal, et 1,2 mg/100 kcal respectivement. Environ 21%, 13%, et 66% de l'énergie provenait des lipides, protides et glucides, respectivement.

Dans quatre des 27 villages, une ménagère a été recrutée et formée à la méthode standard de production de la farine. Dans chacun des 27 villages, une ménagère a été recrutée et formée à la méthode standardisée de préparation de la bouillie, à sa distribution et aux mesures des quantités consommées. Les caractéristiques physiques et biochimiques de la bouillie ont été suivies lors de la formation, ainsi qu'au cours de l'intervention. A cet effet, un prélèvement de bouillie a été réalisé dans chaque village à la 4^{ème}, 12^{ème} et 22^{ème} semaine pour mesurer la densité énergétique et la teneur en fer et en zinc. La densité énergétique moyenne (DS) était de 103,0 (5,6), 103,3 (5,2), 107,8 (11,5), 101,3 (8,7) kcal/100g lors de la formation, et aux 4^{ème}, 12^{ème} et 22^{ème} semaines de

suivi respectivement. La teneur en fer était de 2,3 (0,5), 2,3 (0,5), 2,6 (0,5), et 1,8 (0,8) mg/100 kcal et la teneur en zinc était de 1,6 (0,1), 1,6 (0,1), 1,7 (0,1), et 1,6 (0,2) mg/100 kcal lors de la formation, et aux 4^{ème}, 12^{ème} et 22^{ème} semaines de suivi respectivement.

Pour chaque enfant, le volume de bouillie à administrer par jour a été estimé selon son âge comme recommandé [3]. A chacune des deux sessions quotidiennes, l'enfant devait recevoir 100 kcal, 150 kcal, ou 275 kcal (c'est-à-dire 100, 150, ou 275 mL) s'il était âgé de 6–8 mois, de 9–11 mois, ou de 12–23 mois, respectivement. Ce programme devait permettre de couvrir 86% (100% x 6jours/7jours) des besoins énergétiques requis des aliments de complément si la bouillie était consommée aux quantités souhaitées. Le volume était ajusté chaque mois, à mesure que l'enfant avançait en âge. Pour les enfants qui avaient 12-23 mois à l'inclusion, la quantité recommandée de 275 mL était maintenue au cours du suivi. Pour tous les enfants, à chaque session, lorsque l'enfant avait fini de consommer la quantité souhaitée servie et réclamait plus de bouillie, il lui en était donné à la mesure de son désir. A chaque session, chaque enfant recevait le volume indiqué, dans un gobelet transparent gradué. La mère recevait des conseils pour la poursuite de ses pratiques habituelles d'alimentation de l'enfant.

Collecte des données

La collecte des données a consisté en : 1) une interview de la mère lors de l'inclusion, en utilisant un questionnaire, 2) un examen médical de la mère et de l'enfant lors de l'inclusion, et 3) un suivi des quantités de bouillie consommée, et de l'alimentation en dehors de la bouillie, en utilisant une fiche de suivi individuelle.

Le questionnaire a été administré aux mères, pour collecter des informations sur les caractéristiques sociodémographiques. La scolarisation de la mère se référait à sa fréquentation passée de l'école formelle, la mère non scolarisée étant celle ne l'ayant jamais fréquentée. Les mesures anthropométriques ont été réalisées chez la mère et l'enfant par un nutritionniste

expérimenté, en accord avec les recommandations de l'OMS [22]. Le poids était mesuré chez des enfants dévêtus, en utilisant une balance électronique ayant une capacité de 16 kg et une précision de 10 g, et chez la mère légèrement habillée sur une balance mécanique de 120 kg de capacité et de 100 g de précision ((Seca®), France). Toutes les mesures de la taille chez les enfants ont été faites en position couchée, sur une toise fabriquée localement, au mm près, et chez les mères en position debout à 5 mm près, en utilisant des toises de fabrication locale. Une goutte de sang capillaire a été prélevée chez l'enfant par un technicien de laboratoire, en vue de la mesure du taux d'hémoglobine, qui était faite en utilisant un appareil à HemoCue® (Hemocue HB 201+, Angelholm, Sweden), avec une précision d'1g/L.

La quantité de bouillie améliorée consommée était enregistrée sur la fiche de suivi quotidien de la consommation. Sur la même fiche étaient aussi enregistrés le nombre de repas donnés à l'enfant en dehors de la bouillie améliorée et le nombre de tétées, au cours des dernières 24 heures, sur base de la déclaration de la mère.

Traitement des données

Les données sur les caractéristiques des enfants à l'inclusion ont été saisies sous Epi info 6.04d (CDC, Atlanta, GA, USA). Les z-scores poids pour taille (ZPT) et taille pour âge (ZTA) ont été calculés en utilisant le module Anthro (WHO Anthro 2006, Geneva, Switzerland), en considérant la population de référence de l'OMS 2006. Le seuil de -2 a été utilisé pour définir l'émaciation (ZPT <-2) et le retard de croissance (ZTA <-2) [22]. L'anémie était définie comme un taux d'hémoglobine <110 g/L) et l'anémie sévère comme un taux d'hémoglobine <70 g/L [23]. Les données sur la consommation de la bouillie améliorée, ainsi que celles sur l'alimentation en dehors de la bouillie améliorée ont été saisies, puis les ingérés et les taux de couverture ont été calculés, sous Microsoft Excell (Microsoft Excel, Palisade Corp, Newfield, NY, USA). Toutes les données ont ensuite été analysées sous SPSS 11.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago IL, USA). Pour tous les indicateurs considérés, les calculs ont été faits pour chaque mois de suivi, puis une

moyenne sur les 6 mois de suivi a été obtenue. La proportion de sessions où l'enfant était présent a été définie comme le nombre de fois où l'enfant était présent, rapporté au nombre de sessions réalisées. L'ingéré total de bouillie améliorée était obtenu en additionnant les quantités effectivement consommées à chaque session. L'ingéré total d'énergie, de fer ou de zinc à partir de la bouillie améliorée était calculé comme l'ingéré total de bouillie, multiplié par la densité énergétique ou la teneur en fer ou en zinc respectivement, du mois et du village considéré (ceci ne tenait donc pas compte des ingérés à partir des autres repas pris à domicile et de l'allaitement). L'ingéré quotidien à partir de la bouillie améliorée correspondait à l'ingéré total, rapportée au nombre total de jours du mois considéré. La proportion des besoins couverts a été calculée comme l'ingéré quotidien, rapporté aux besoins quotidiens recommandés, compte tenu de l'âge [3, 24].

Analyses statistiques

L'ingéré total de bouillie, la proportion de sessions où l'enfant était présent, l'ingéré quotidien, la proportion des besoins couverts, et le nombre de tétées ont été considérés pour les analyses statistiques. La normalité de la distribution des données quantitatives était vérifiée visuellement à l'examen du plot normal. Pour les distributions anormales, la médiane (range) a été rapportée. La valeur médiane a été utilisée comme seuil pour catégoriser chacune des variables. Ainsi une proportion de sessions où l'enfant était présent >70% et un nombre de tétées >6 tétées/jour définissaient une participation élevée et une fréquence élevée de tétées, respectivement. La stratégie d'analyse de la participation élevée, puis de la fréquence élevée de tétées a été construite en deux étapes. Premièrement, une analyse univariée a été réalisée et le test du chi carré de Pearson a été utilisé pour comparer les pourcentages. Deuxièmement, un modèle de régression logistique a été construit. Les variables indépendantes introduites dans le modèle pour ajustement ont été choisies du fait de leur association avec la variable dépendante en analyse univariée avec une p-valeur <0,10. Les OR ajustés avec leurs intervalle de confiance à 95% OR (IC à 95%) ont

été dérivés du modèle final et testés en utilisant le chi carré de Wald. L'adéquation du modèle a été testée par le test d'Hosmer et Lemeshow. Les OR (IC à 95%) ont ensuite été convertis en ratios de prévalence (prevalence-rate ratios) [PRR (IC à 95%)] suivant les formules d'Osborn et Cattaruzza [25].

Résultats

Les caractéristiques des enfants à l'inclusion sont présentées au **tableau 1**.

Tableau 1: Caractéristiques des enfants à l'inclusion.

	n	%
Age de la mère (ans)		
≤25	99	47,6
>25	109	52,4
Scolarisation de la mère		
Oui	34	16,3
Non	174	83,7
Indice de masse corporelle de la mère (kg/m ²)		
≥18,5	183	88,0
<18,5	25	12,0
Age de l'enfant (mois)		
6-8	43	20,7
9-11	49	23,6
12-23	116	55,8
Sexe		
Masculin	105	50,5
Féminin	103	49,5
Emaciation ^a		
Non	154	74,8
Oui	52	25,2
Retard de croissance		
Non	146	70,2
Oui	62	29,8
Anémie sévère		
Non	148	71,2
Oui	60	28,8

^a2 cas ont été exclus pour valeurs improbable.

L'âge variait de 6,1 à 25,8 mois, avec une moyenne (DS) de 13,3 (4,5) mois. Il y avait 43 (20,6%) enfants de 6-8 mois, 49 (23,6%) enfants de 9-11 mois, et 116 (55,8%) enfants de 12-23 mois. Environ un quart des enfants présentaient un retard de croissance.

Le **tableau 2** présente les quantités de bouillie consommées par session, selon la catégorie d'âge, le poids et la période d'intervention.

Tableau 2: Quantités de bouillie consommées par session, selon la catégorie d'âge, le poids et la période d'intervention.

	Enfants		Quantités de bouillie consommées			
	n	Poids (kg)	Souhaitées (g)	Réelles		
		moyenne (DS)		(g)	(g/kg) ^a	(%) ^b
					moyenne (DS)	moyenne (DS)
1^{er} mois d'intervention						
âgés de 6-8 mois	43	6,65 (1,02)	100	102 (39)	15,4 (2,6)	102,0
âgés de 9-11 mois	49	7,50 (1,26)	150	133 (24)	20,5 (3,3)	88,7
âgés de 12-23 mois	116	8,58 (1,27)	275	259 (42)	32,8 (4,9)	94,2
2^{ème} mois d'intervention						
âgés de 6-8 mois	27	6,82 (1,08)	100	101 (35)	15,0 (2,6)	101,0
âgés de 9-11 mois	48	7,31 (1,18)	150	136 (23)	21,1 (3,2)	90,7
âgés de 12-23 mois	133	8,69 (1,29)	275	261 (40)	32,3 (4,9)	94,9
3^{ème} mois d'intervention						
âgés de 6-8 mois	15	6,96 (1,12)	100	102 (34)	14,7 (2,6)	102,0
âgés de 9-11 mois	43	7,41 (1,14)	150	132 (24)	20,7 (3,2)	88,0
âgés de 12-23 mois	150	8,73 (1,35)	275	264 (34)	32,3 (5,2)	96,0

Tableau 2 (suite)

4 ^{ème} mois d'intervention						
âgés de 9-11 mois	43	7,26 (1,02)	150	137 (28)	21,2 (3,2)	91,3
âgés de 12-23 mois	165	8,87 (1,36)	275	264 (36)	31,7 (4,8)	96,0
5 ^{ème} mois d'intervention						
âgés de 9-11 mois	27	7,43 (1,08)	150	140 (28)	20,6 (3,3)	93,3
âgés de 12-23 mois	181	8,93 (1,40)	275	267 (31)	31,4 (4,9)	97,1
6 ^{ème} mois d'intervention						
âgés de 9-11 mois	15	7,57 (1,12)	150	152 (30)	20,3 (3,2)	101,3
âgés de 12-23 mois	193	9,05 (1,41)	275	273 (28)	31,2 (5,0)	99,3

^aQuantité consommée divisée par le poids corporel ; ^bpourcentage de la consommation souhaitée.

Les quantités consommées étaient en moyenne de 15, 21 et 33 g/kg de poids corporel/session chez les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois respectivement. Ces valeurs sont restées pratiquement les mêmes au cours de la période d'intervention. Les quantités de bouillie consommée par session correspondaient à environ 102%, 89% et 94% des quantités souhaitées chez les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois respectivement.

L'ingéré énergétique quotidien à partir de la bouillie améliorée variait de 25 à 373 kcal, avec une médiane de 213 kcal. Ceci correspondait à une proportion des besoins énergétiques requis des aliments de complément de 12% à 124% avec une médiane de 57%. L'ingéré quotidien de fer variait de 0,6 à 9,3 mg, avec une médiane de 5,3 mg, correspondant à une proportion des besoins recommandés variant de 3% à 80% avec une médiane de 39%, en admettant une biodisponibilité de 5%, ou de 7% à 161%, avec une médiane de 83%, en admettant une biodisponibilité de 10%. L'ingéré quotidien de zinc variait de 0,3 à 4,1 mg, avec une médiane de 2,3 mg. Le **tableau 3** présente les ingérés quotidiens en énergie, fer et zinc, ainsi que les proportions de besoins couverts, selon l'âge de l'enfant à l'inclusion.

Tableau 3: Ingérés quotidiens en énergie, fer et zinc, et proportions de besoins recommandés couverts à partir de la bouillie améliorée.

	Age à l'inclusion (mois)		
	6-8 (n=43)	9-11 (n=49)	12-23 (n=116)
Ingéré énergétique (kcal/jour)			
Requis des aliments de complément	202	307	548
Réel à partir de la bouillie améliorée	158 (25-250)	184 (44-333)	270 (77-373)
% des besoins requis des aliments de complément	78 (12-124)	60 (14-108)	49 (14-68)
Ingérés en fer (mg/jour)			
Recommandés ^a	18,6	18,6	11,6
Recommandés ^b	9,3	9,3	5,8
Réel à partir de la bouillie améliorée	4,0 (0,6-6,2)	4,6 (1,1-8,3)	6,7 (1,9-9,3)
% des ingérés recommandés ^a	21 (3-34)	25 (6-45)	58 (17-80)
% des ingérés recommandés ^b	43 (7-67)	49 (12-89)	116 (33-161)
Ingérés en zinc (mg/jour)			
Recommandés ^c	8,4	8,4	8,3
Recommandés ^d	4,1	4,1	4,1
Réel à partir de la bouillie améliorée	1,7 (0,3-2,8)	2,0 (0,5-3,7)	3,0 (0,9-4,1)
% des ingérés recommandés ^c	21 (3-33)	24 (6-44)	35 (10-49)
% des ingérés recommandés ^d	42 (7-67)	49 (12-89)	72 (21-100)

^abiodisponibilité de 5% ; ^bbiodisponibilité de 10% ; ^cbiodisponibilité faible ; ^dbiodisponibilité moyenne.

La proportion des besoins énergétiques requis des aliments de complément couverte à partir de la bouillie améliorée était plus élevée chez les enfants âgés de 6-8 mois (78%) comparés aux enfants âgés de 9-11 mois (60%) et aux enfants âgés de 12-23 mois (49%). A l'inverse les proportions des besoins recommandés en fer et en zinc couvertes à partir de la bouillie améliorée étaient plus

élevées chez les enfants plus âgés (12-23 mois) que chez les enfants moins âgés (6-8 et 9-11 mois).

En moyenne, la proportion de sessions où l'enfant était présent (%) était de 69,6 (25,1) pour les sessions du matin, 67,3 (26,3) pour les sessions de l'après-midi, et de 68,0 (25,6) pour toutes sessions confondues. Le **tableau 4** présente les ratios de prévalence ajustés de participation élevée à l'intervention.

Table 4: Ratios de prévalence ajustés de participation élevée à l'intervention.

	n	PRR (95% CI)	p
Age de la mère (ans)			0,007
≤25	99	1	
>25	109	1,47 (1,11-1,95)	
Anémie sévère			0,047
Non	148	1	
Oui	60	1,34 (1,01-1,79)	

En analyse par régression logistique les variables qui restaient significativement associées à la participation étaient l'âge de la mère et l'anémie sévère chez l'enfant. La participation élevée était plus fréquente parmi les enfants de mères âgées de plus de 25 ans que parmi les enfants de mères âgées de 25 ans ou moins [PRR (IC à 95%) : 1,47 (1,11-1,95)]. Elle était plus fréquente chez les enfants présentant une anémie sévère que ceux qui n'en présentaient pas à l'inclusion.

Au cours du suivi, le nombre moyen (DS) de repas en dehors de la bouillie améliorée, et de tétées par 24 heures était de 1,9 (0,7) et de 6,8 (2,6), respectivement. La proportion d'enfants qui

recevaient plus de 2 repas par 24 heures était de 41,2%, celle d'enfants ayant plus de 6 tétées par 24 heures, de 49,3%. Après ajustement pour l'âge et l'éducation de la mère, l'âge de l'enfant, l'émaciation et le nombre moyen de repas en dehors de la bouillie améliorée par jour, la fréquence des tétées restait associée aux ingérés énergétiques à partir de la bouillie améliorée. La fréquence élevée de tétées (>6 tétées/jour) était plus fréquente parmi les enfants qui avaient de faibles ingérés énergétiques (<213 kcal/jour) que parmi les enfants qui avaient des ingérés énergétiques élevés (≥ 213 kcal/jour) [PRR (IC à 95%) : 3,27 (2,30-4,66)].

Discussion

Consommation de la bouillie améliorée

La consommation de la bouillie améliorée était d'environ 15 à 33 g/kg de poids corporel/session, dépendant de l'âge de l'enfant. Ceci correspondait à environ 102%, 89% et 94% de la consommation souhaitée chez les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois, respectivement. Cette consommation était relativement élevée, comparée à la consommation de bouillies traditionnelles qui est en moyenne de 14 g/kg de poids corporel/repas chez les enfants âgés de 6-23 mois du milieu rural [11]. La consommation était aussi élevée, en comparaison aux résultats d'autres études d'intervention qui indiquaient de faibles niveaux de consommation de ce type de bouillie, d'environ 5,8 g/kg de poids corporel/repas [13, 15]. Toutefois ces études ne concernaient que des enfants de 6-9 mois du milieu urbain, en bonne santé.

Ces données illustrent l'acceptabilité de la bouillie ainsi que la capacité de la mère à aider l'enfant à s'alimenter. En effet, les caractéristiques de la bouillie et les comportements de la mère en matière d'alimentation de l'enfant sont des facteurs indépendants qui peuvent influencer les quantités d'aliments de complément consommées [3]. L'acceptabilité de la bouillie améliorée peut être attribuée à la saveur du *soumbala* qui possède une qualité organoleptique importante. Produit à partir des graines fermentées de *nééré* (*Parkia biglobosa*), le *soumbala* est souvent utilisé comme

condiment dans les sauces. En plus du *soumbala*, la teneur de la farine améliorée en sucre était comprise dans les limites souhaitées de 9-20% indiquées par Vieu *et al.* [13]. A cela on peut ajouter qu'au cours de cette intervention, les mères étaient encouragées à prendre le temps et les attitudes nécessaires pour une alimentation optimale.

Un autre résultat est que sur la période d'intervention la consommation ne changeait pas. Une étude précédente avait rapporté, pour une courte période d'observation, qu'une période d'habituation de 10 jours ne changeait pas les quantités consommées et les ingérés énergétiques à partir de ce type de bouillie [15].

Ingérés en énergie, fer et zinc

L'ingéré énergétique médian était de 158, 184 et 270 kcal/jour parmi les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois à l'inclusion, respectivement, c'est-à-dire 78%, 60% et 49% de l'énergie requise des aliments de complément. Ainsi, bien que la bouillie améliorée fût acceptée et consommée aux quantités souhaitées, elle n'a pas couvert les besoins énergétiques requis des aliments de complément, dans les conditions de l'intervention. Les raisons de cette insuffisance sont que le programme ne couvrait que six jours sur sept, et que la participation n'était pas totale. Améliorer la présence aux sessions en levant la contrainte liée au déplacement au centre de nutrition du village, tenir des sessions tous les jours au lieu d'une fréquence de 6 jours par semaine, et/ou ajouter une troisième session par jour pour les enfants plus grands pourrait combler les insuffisances. Ceci ne peut être envisagé que dans les conditions de vie habituelles des ménages, appuyées par une communication pour le changement de comportement et une formation à la production de la farine et à la préparation de la bouillie améliorée. Une étude sur l'éducation nutritionnelle, en milieu rural du Malawi, a montré que plusieurs pratiques étaient bien acceptées et adoptées et étaient associées à de meilleurs ingérés en énergie et autres nutriments à partir de l'alimentation de complément [26]. Dans d'autres études, les mères étaient approvisionnées en farine pour la préparation de la bouillie à domicile. Au Ghana, l'approvisionnement en Weanimix

(une farine faite d'un mélange de maïs torréfié (75%), haricots (15%) et arachides (10%)) conduisait à des ingérés énergétiques moyens à partir de cette bouillie, de 117, 175, 145 et 198 kcal/jour à l'âge de 7, 8, 10 et 12 mois, respectivement [27]. Au Congo, l'approvisionnement en farine contenant de l' α -amylase conduisait à un ingéré énergétique médian de 266 kcal/jour chez des enfants âgés de 4,5 mois [19].

Les ingérés médians en fer à partir de la bouillie améliorée étaient de 4,0, 4,6 et 6,7 mg/jour parmi les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois à l'inclusion, respectivement. En admettant une biodisponibilité du fer de 5% de tels ingérés étaient plus bas que les ingérés recommandés, l'insuffisance étant plus prononcée chez les enfants âgés de 6-11 mois que chez les enfants âgés de 12-23 mois à l'inclusion. En admettant une biodisponibilité du fer de 10% les ingérés de fer étaient suffisants pour la moitié des enfants âgés de 12-23 mois à l'inclusion, mais restaient inadéquats chez les enfants plus jeunes. Ces données illustrent le problème discuté par Dewey [28] : lorsqu'on utilise la même farine chez les enfants âgés de 6-23 mois, ils risquent un déficit ou un excès de certains nutriments. Dans la présente intervention, la teneur en fer de la bouillie améliorée pourrait exposer les enfants de plus de 12 mois à des quantités excessives de fer si la bouillie était consommée à des quantités couvrant les besoins énergétiques requis des aliments de complément (c'est-à-dire 548 kcal), et si la biodisponibilité du fer atteignait 10% : jusqu'à 14,2 mg/jour, donc 2,5 fois l'ingéré recommandé (c'est-à-dire 5,8 mg/j). Toutefois, de tels ingérés chez les enfants de 12-23 mois resteraient 2,8 fois en deçà du niveau d'ingéré toléré, défini à 40 mg/jour pour les enfants Américains en bonne santé [29]. Les ingérés en fer dans la présente intervention étaient plus élevés que ceux observés chez les enfants du Ghana nourris au Weanimix (ingérés moyens à partir de la bouillie de 1,7, 2,4, 2,1 et 2,8 mg/jour à l'âge de 7, 8, 10 et 12 mois, respectivement [27], et parmi les enfants du Malawi sans intervention (1,2, 2,8 et 3,5 mg/jour chez les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois, respectivement) [30] ; ils étaient plus bas que l'ingéré moyen de 6,8 mg/jour observé par Mamiro *et al.* qui approvisionnaient les mères avec une farine faite d'un mélange de céréales et de légumineuses traitées en milieu rural de la

Tanzanie [31]. Pour le zinc, les ingérés étaient bas et inadéquats pour à la fois les enfants âgés de 6-11 mois et ceux âgés de 12-23 mois. Dewey observait que la diversification alimentaire et les techniques traditionnelles de traitement des ingrédients étaient généralement insuffisantes pour combler complètement le gap entre les ingérés et les besoins en fer [32]. Elle conseillait l'utilisation d'aliments de complément fortifiés en fer ou la fortification à domicile pour la plupart des populations dans la nécessité. La teneur en fer de la bouillie améliorée était déterminée principalement par le *soumbala*, qui a une teneur en fer de 69,6 mg pour 100 g [33]. La quantité de *soumbala* à incorporer dans la farine pourrait être augmentée, en vue d'améliorer la teneur en fer de la bouillie améliorée, en veillant à ce que cela ne compromette pas son acceptabilité et son accessibilité.

Participation à l'intervention

Bien que l'intervention se soit déroulée en saison sèche, donc en dehors des occupations agricoles, la participation n'était pas totale. Cela a joué négativement sur les ingérés quotidiens moyens en dépit de la bonne consommation de la bouillie améliorée. La participation était influencée par l'âge de la mère et par l'état de santé de l'enfant. Les explications pourraient être que les mères les plus jeunes habitaient plus loin du centre de nutrition par rapport aux mères les plus âgées. De plus les mères dont les enfants présentaient une anémie sévère provenaient vraisemblablement de ménages plus pauvres, et avaient plus besoin de la bouillie améliorée que les autres mères; en effet, l'anémie sévère chez les enfants est associée au statut socio-économique des ménages [34]. Enfin, la maladie de l'enfant peut être elle-même une motivation supplémentaire pour la participation à l'intervention.

Limites de l'étude

Le fait que la faible fréquence de tétées soit associée aux ingérés énergétiques élevés reste une préoccupation pour ce type d'intervention. Elle pourrait limiter l'adéquation de l'intervention si

cette relative faible fréquence de tétées s'accompagnait faibles ingérés de lait maternel. En plus du manque de données sur les ingérés de lait maternel, la teneur de la bouillie améliorée en d'autres nutriments, ainsi que la qualité et la quantité des aliments consommés en dehors de la bouillie améliorée n'ont pas été évaluées. Ainsi, l'adéquation globale de l'alimentation des enfants au cours de cette intervention ne peut être appréciée.

L'amélioration de la biodisponibilité des minéraux, mêmes modestes, constituent la principale mesure à long terme pour améliorer le statut en fer dans les populations où l'alimentation à l'origine a une faible biodisponibilité [35]. La biodisponibilité réelle du fer et du zinc de la bouillie améliorée n'a pas été mesurée mais compte tenu des améliorations elle devrait être supérieure à 5%. La teneur en phytates peut être réduite de 90% par la fermentation, de 50% à 64% par la germination, et de 47% à 98% par le trempage, dépendant de l'ingrédient et de la méthode utilisée [17]. Dans l'étude faite en Tanzanie, la germination et la torréfaction des haricots et du mil réduisaient les phytates de 34%, augmentant la proportion de fer soluble à 19% [31].

L'inclusion des enfants dans l'intervention était basée sur l'allaitement en cours, ainsi que l'alimentation de complément en cours ou l'acceptation de son introduction par les parents. Finalement, les caractéristiques des enfants étaient similaires à celles d'un échantillon représentatif d'enfants du même district : âge moyen de 13,8 (4,9), et même distribution selon l'âge et le sexe [20]. Ceci pourrait être dû au fait que tous les parents des enfants sélectionnés consentaient à la participation de l'enfant, et que presque tous les enfants âgés de 6-23 mois du district étaient allaités. Les ménagères qui étaient impliquées dans la production de la farine et la préparation de la bouillie avaient un niveau de scolarisation au moins primaire pour assurer le suivi de la consommation de la bouillie ; mais même les ménagères non scolarisées pourraient être formées si l'objectif se limitait au traitement des ingrédients et à la préparation de la bouillie améliorée.

Pour conclure, bien que nous puissions discuter de l'amélioration de la teneur et de la biodisponibilité des nutriments, l'amélioration de la participation apparaît comme un défi majeur

dans l'utilisation de cette bouillie améliorée. D'où, le passage à l'échelle des ménages, avec intégration de l'activité de production de la farine et de préparation de la bouillie améliorée dans la routine de ces ménages, est recommandable pour une meilleure couverture des besoins nutritionnels des jeunes enfants. Cette intégration devrait être obtenue et soutenue par un programme de formation et d'éducation nutritionnelles.

Références

1. Black RE, Allen LH, Bhutta ZA *et al.* Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008; 371: 243–260.
2. WHO, UNICEF. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva, WHO, 1998.
3. 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.
4. Measuredhs. Burkina Faso: Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.
5. Briend A. Should we add oil to complementary foods for breastfed children in developing countries? *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2005; 41:12–13.

6. Brown KH, Pearson JM, Rivera J, Allen LH. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2002; 75: 1062–1071.
7. Ouédraogo HZ, Zèba AN, Dramaix-Wilmet M, Donnen P. Severe anaemia due to afebrile *Plasmodium falciparum* infection in children aged 6-23 months from the rural district of Kongoussi, Burkina Faso. *J Trop Pediatr* 2008; doi:10.1093/tropej/fmn049.
8. Ouédraogo HZ. Analyse complémentaire de la situation nutritionnelle au Burkina Faso. Ouagadougou, Direction de la Nutrition / Banque Mondiale, 2006.
9. Sawadogo PS, Martin-Prevel Y, Savy M *et al.* An Infant and Child Feeding Index Is Associated with the Nutritional Status of 6- to 23-Month-Old Children in Rural Burkina Faso. *J Nutr* 2006; 136: 656–663.
10. Trèche S. Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoérée T, eds. *Proceeding of the international colloquium promoting growth and development of under fives*. Antwerpen, ITG Press, 2002: pp. 132-148.
11. Noukpoape A. Etude des pratiques alimentaires et de la valeur nutritionnelle des aliments de complément du jeune enfant en milieu rural au Burkina Faso. Montpellier, Université de Montpellier II, 1997.
12. Mensah P, Tomkins A. Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. *Food Nutr Bull* 2003; 24 (1): 104-124.

13. 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: 213-218.
14. Traoré T, Mouquet C, Icard-Vernière C, Traoré AS, 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. Traoré T, Vieu MC, Traoré SA, Trèche S. 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* 2005; 45: 279-286.
16. Traoré T, Mouquet-Rivier C, Icard-Vernière C, Rochette I, Treche 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). *Int J Food Sci Nutr* 2007; 58: 63-76.
17. Gibson RS, Perlas L, Hotz C. Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *Proc Nutr Soc* 2006; 65: 160-168.
18. Islam MM, Peerson JM, Ahmed T, Dewey KG, Brown KH. Effect of varied energy density of complementary foods on breast-milk intakes and total energy consumption by healthy, breastfed Bangladeshi children. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 851-858.
19. Moursi M, Mbemba F, Trèche S. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on the energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr* 2003; 6: 249-257.

20. Ouédraogo HZ, Nikiéma L, Somé I, Sakandé J, Dramaix M, Donnen P. Home-based practices of complementary foods improvement are associated with better height-for-age z-score in 12-23 months-old children from a rural district of Burkina Faso. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 2008; 8: 204-218.
21. Leshow S, Robinson D. Surveys to measure programme coverage and impact: a review of a methodology used by the expanded programme on immunisation. *World Health Statist Quart* 1985; 38: 65-75.
22. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.
23. WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
24. WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.
25. Osborn J, Cattaruzza MS. Odds Ratios and Relative Risk for cross-sectional data. *Int J Epidemiol* 2002; 1: 464-465.
26. Hotz C, Gibson RS. Participatory nutrition education and adoption of new feeding practices are associated with improved adequacy of complementary diets among rural Malawian children: a pilot study. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59: 226-237.

27. Lartey A, Manu A, Brown KH, Peerson JM, Dewey KG. 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. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 391–404.
28. Dewey KG. Nutrient composition of fortified complementary foods: should age-specific micronutrient content and ration sizes be recommended? *J Nutr* 2003; 133: 2950S-2952S.
29. National Institute of Health, Office of Dietary Supplements. Dietary supplement fact sheet: Iron. Washington DC, NIH, 2007. <http://dietary-supplements.info.nih.gov/factsheets/iron.asp>.
30. Hotz C, Gibson RS. Complementary feeding practices and dietary intakes from complementary foods amongst weanlings in rural Malawi. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 841–849.
31. Mamiro PS, Kolsteren PW, Van Camp JH, Roberfroid DA, Tatala S, Opsomer A. Processed complementary food does not improve growth or hemoglobin status of rural Tanzanian infants from 6-12 months of age in Kilosa district, Tanzania. *J Nutr* 2004; 134: 1084-1090.
32. Dewey KG. Increasing iron intake of children through complementary foods. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 595S-609S.
33. Barikmo I, Ouattara F, Oshaug A. Food Composition Table for Mali. Lillestrøm: Akershus University College, 2004.

34. Ngnie-Teta I, Receveur O, Kuate-Defo B. Risk factors for moderate to severe anaemia among children in Benin and Mali: Insights from a multilevel analysis. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 76-89.
35. Hoppe M, Hulthen L, Hallberg L. The importance of bioavailability of dietary iron in relation to the expected effect from iron fortification. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61: 1032-1034.

5.2.3. Effet d'une bouillie améliorée, administrée avec ou sans supplément de micronutriments multiples, sur le taux d'hémoglobine chez les enfants de 6-23 mois : essai en population, randomisé.

Introduction

Les interventions nutritionnelles visant la lutte contre les carences en micronutriments comprennent les approches alimentaires comme la diversification alimentaire et la fortification, et la supplémentation [1]. Parmi ces options, qui visent à accroître le niveau des ingérés en micronutriments, les programmes de supplémentation conduisent souvent à une amélioration plus rapide du statut en micronutriments des populations ciblées [1]. La supplémentation en fer est recommandée dans le cadre de la lutte contre l'anémie par carence en fer chez les femmes enceintes et les jeunes enfants [2]. La coexistence de la carence en fer avec d'autres carences en micronutriments rend pertinente la supplémentation en micronutriments multiples, pour la prévention de l'anémie, mais aussi pour permettre le développement global de l'enfant.

La fortification des aliments tend à avoir un impact moins immédiat que la supplémentation mais plus large et soutenu ; la diversification alimentaire prend le plus de temps à se mettre en place, mais elle est généralement considérée comme l'option la plus désirable et la plus durable [1]. La fortification des aliments de complément au niveau des ménages est associée à une augmentation du taux d'hémoglobine et à une réduction de la prévalence de l'anémie [3, 4]. Un autre intérêt est qu'elle pourrait permettre l'utilisation de suppléments contenant du fer sans risque dans les pays à endémicité palustre. En effet, le supplément de fer étant associé à une morbidité palustre et une mortalité plus élevées chez les enfants dans ces pays, ce type de supplément n'est recommandé que lorsqu'il est accompagné d'aliments [5]. Toutefois, l'un des inconvénients de cette fortification à domicile pourrait être la dépendance des ménages vis-à-vis des produits utilisés, ceci pouvant compromettre la pérennité de la stratégie.

Les techniques de traitement des ingrédients, comme le décorticage, le trempage, le séchage, la fermentation et la germination, peuvent être appliquées au niveau des ménages pour améliorer la qualité des aliments de complément [6]. L'Afrique Sub-saharienne abonde de variétés d'aliments traditionnels qui pourraient être exploités pour améliorer les aliments de complément à travers une diversification alimentaire. Toutefois, l'insuffisance d'information sur la valeur nutritionnelle des aliments traditionnels locaux limite leur utilisation [7]. Certaines études ont proposé des technologies d'amélioration des aliments de complément aussi bien au Burkina Faso [8, 9] que dans d'autres pays en développement [10-13]. L'amélioration de la bouillie consommée par les enfants par l'incorporation d'ingrédients comme le poisson séché, les arachides grillées ou le *soumbala* est associée à un meilleur état nutritionnel chez les jeunes enfants en milieu rural du Burkina Faso [14].

Cette étude vise à évaluer l'effet d'une bouillie améliorée basée sur des ingrédients locaux, consommée avec ou sans suppléments de micronutriments sur le taux d'hémoglobine chez les jeunes enfants.

Méthodes

Type d'étude et sélection des participants

Cet essai randomisé, en population, a été mené de janvier à juin 2006. Les critères d'inclusion étaient l'âge de 6-23 mois, le taux d'hémoglobine de 80-109 g/L, la CRP plasmatique < 10 mg/L, l'absence d'émaciation sévère (z-score poids pour taille < -3), l'allaitement en cours, l'alimentation de complément introduite ou l'acceptation de son introduction par les parents, et le consentement des parents à la participation de l'enfant. Au total, 215 enfants ont été sélectionnés dans 27 villages (8 enfants par village), et ont été invités à se présenter au poste de santé du village à un jour préalablement fixé pour un examen médical. Les enfants éligibles étaient randomisés

par blocs de 20, en groupe « bouillie améliorée sans supplément de micronutriments (BA) » et en groupe « bouillie améliorée avec supplément de micronutriments multiples (BAM) », sur base individuelle. La mère tirait un ticket d'une enveloppe qui en contenait 20 (10 de chaque groupe) qui indiquait le groupe de son enfant ; le contenu de chaque enveloppe finissait avant que la prochaine enveloppe ne soit entamée.

La taille d'échantillon a été calculée pour détecter une différence de taux d'hémoglobine en fin d'intervention de 7 g/L entre les deux groupes, avec une erreur alpha de 5% et une puissance de 80%, en admettant une déviation standard de 13 g/L. Dans l'étude IRIS I le taux d'hémoglobine en fin d'intervention était de 117 g/L dans le groupe qui recevait le supplément de micronutriments multiples et de 110 g/L dans le groupe placebo, soit une différence de 7 g/L [15]. Bien que le supplément de micronutriments comporte moins de vitamines et de minéraux et que les doses de fer et de zinc soient moins importantes dans notre étude, nous attendions une différence aussi importante que 7 g/L compte tenu des caractéristiques des enfants, qui présentaient de l'anémie. Une étude précédente avait rapporté que parmi les enfants de 6-23 mois, sans émaciation sévère, la distribution du taux d'hémoglobine présentait une déviation standard de 13 g/L. La taille d'échantillon minimale était de 53 enfants par groupe pour analyser le taux d'hémoglobine en fin d'intervention, le critère principal d'évaluation dans cette étude. En prévision d'environ 20% de perdus de vue, 63 enfants par groupe ont été recrutés dans chaque groupe.

Intervention

Elle a duré 26 semaines et comportait trois volets :

Consommation de bouillie améliorée

Du lundi au samedi, la mère devait se présenter à un centre de nutrition ouvert dans le village, le matin (6:00 AM) puis l'après-midi (4:00 PM), pour recevoir gratuitement une bouillie améliorée et alimenter son enfant sous supervision. Les données sur la préparation et la consommation de bouillie améliorée ont été détaillées aux chapitres 5.2.1 et 5.2.2.

Prévention et traitement du paludisme et des helminthiases

La prise en charge du paludisme a consisté en des mesures préventives et de détection et traitement des cas. Toutes les mères recevaient une moustiquaire en polyester à 100%, imprégnée de deltaméthrine à activité prolongée (PermaNet® 2.0, Vestergaard Frandsen Disease Control Textiles, Lausanne, Switzerland), et des instructions pour une utilisation efficace au profit de l'enfant. L'agent de santé villageois était chargé d'aider à l'installation de la moustiquaire, de surveiller régulièrement l'intégrité et de la remplacer si elle était endommagée. Un frottis sanguin visant à détecter le parasite était réalisé chez tous les enfants, au recrutement, puis tous les mois. Tout enfant présentant un frottis positif était traité immédiatement avec la combinaison artemether+luméfantrine (Coartem®, Novartis Pharma S.A.S., France), y compris les cas d'infection sub-clinique (aucun enfant ne présentait de paludisme grave). Tout enfant présentant une maladie (y compris de la fièvre ou des antécédents de fièvre) durant l'intervention était référé au centre de santé dont il relève pour une prise en charge de routine. Une dose unique de 200 mg d'albendazole a été administrée à tous les enfants âgés de 12 à 23 mois lors de leur inclusion [16], comme un moyen de contrôle des infestations aux géohelminthes [17].

Supplémentation en micronutriments

Le supplément de micronutriments était produit sous forme de prémix par Fortitech (Fortitech Europe APS, Gadstrup, Denmark), et conditionné sous forme de gélules opaques, par le laboratoire U-Pharma® (Institut de Recherche en Sciences de la Santé, Ouagadougou, Burkina Faso) qui

est un laboratoire collaborateur de l'Université Libre de Bruxelles. Une gélule contenait 8 mg de fer élément (sous forme de fumarate ferreux), 5 mg de zinc (gluconate de zinc), 300 µg de vitamine A (acétate de rétinol), 30 mg d'acide ascorbique, et 60 µg d'iodure de potassium. Pour éviter la dégradation des micronutriments, le supplément était ajouté après que la bouillie ait été préparée et servie, prête à la consommation, comme recommandé [18]. Les mères étaient entraînées à mélanger le contenu d'une gélule à une petite quantité de bouillie prélevée dans une cuillère à soupe, qui était entièrement et immédiatement administrée à l'enfant. Le supplément était administré à tout enfant du groupe BAM, une fois par jour, au moment de la distribution de la bouillie améliorée du matin, ou de l'après-midi si l'enfant ne venait pas le matin. Les enfants du groupe BA ne recevaient que la bouillie améliorée, qui était administrée de la même façon pour tous les enfants participant à l'étude.

Collecte des données

La collecte des données a consisté en: 1) une interview de la mère lors de l'inclusion, en utilisant un questionnaire, 2) un examen médical de la mère et de l'enfant lors de l'inclusion, 3) un dépistage du paludisme à l'inclusion et chaque mois, 4) un suivi des quantités de bouillie consommée, et de l'administration du supplément, en utilisant une fiche de suivi individuelle.

Le questionnaire comprenait des données démographiques et socio-économiques, ainsi que des données sur les pratiques d'alimentation et de soins de l'enfant et la morbidité de l'enfant des deux semaines ayant précédé l'interview (diarrhée, fièvre et toux). Un échantillon de sel consommé au niveau du ménage, apporté par la mère, a été testé pour le niveau d'iodation en utilisant des kits pour test rapide (MBI KITS, India). La scolarisation de la mère se référait à la fréquentation passée de l'école formelle, la mère non scolarisée étant celle ne l'ayant jamais fréquentée. L'âge de l'enfant était validé en utilisant son carnet de suivi sanitaire ou le registre des naissances ou celui des vaccinations du poste de santé. Les mères étaient interviewées sur la

fréquence d'allaitement ou d'alimentation de complément de l'enfant au cours des dernières 24 heures.

Un médecin généraliste examinait la mère à la recherche de goitre, selon les recommandations de l'International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD) [19]. Il examinait aussi les enfants à la recherche de splénomégalie, qui était classifiée selon Hackett [20]. Les mesures anthropométriques ont été réalisées chez la mère et l'enfant par un nutritionniste expérimenté, en accord avec les recommandations de l'OMS [21]. Un prélèvement de sang capillaire était réalisé par un technicien de laboratoire. Une goutte de sang servait à la réalisation du frottis sanguin et une autre était utilisée pour la mesure du taux d'hémoglobine en utilisant un appareil à HemoCue® (Hemocue HB 201+, Angelholm, Sweden), avec une précision d'1g/L. Lorsque le taux d'hémoglobine était compris entre 80 et 110 g/L, un prélèvement de 5 ml de sang veineux était réalisé à la seringue puis transféré dans un tube hépariné. Après centrifugation à 2000 tours/min pendant 10 min, le plasma était séparé et transféré dans un microtube qui était conservé en dessous de -20% à l'hôpital du district, puis transporté à Ouagadougou pour y être analysé. L'analyse était réalisée au « *Laboratoire privé d'analyses médicales du Centre, LAMC* », pour la détermination de l'albumine et de la CRP par turbidimétrie (Roche Cobas Integra 400).

Le frottis sanguin était coloré au Giemsa, et lu au laboratoire de l'hôpital du district. Une double lecture a été réalisée et les frottis discordants pour le résultat positif ou négatif ont fait l'objet d'une troisième lecture au laboratoire de l'« *Institut de Recherche en Sciences de la Santé* » à Ouagadougou.

La quantité de bouillie améliorée consommée était enregistrée sur la fiche de suivi quotidien de la consommation. Sur la même fiche étaient aussi enregistrés le nombre de repas donnés à l'enfant en dehors de la bouillie améliorée et le nombre de tétées, au cours des dernières 24 heures, sur base de la déclaration de la mère.

Analyse des données

Après les vérifications de cohérence sur le terrain, les données ont fait l'objet d'une double saisie suivie de validation sous Epi-info version 6.04dfr (CDC, Atlanta, GA, USA). Les z-scores poids pour taille (ZPT), poids pour âge (ZPA), taille pour âge (ZTA), et indice de masse corporelle pour âge (ZIA) ont été calculés en utilisant le module Anthro (WHO Anthro 2006, Geneva, Switzerland), en considérant la population de référence de l'OMS 2006. Les données ont été analysées sous SPSS 12.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago IL, USA). Pour tous les indicateurs de consommation de la bouillie définis, les calculs ont été faits pour chaque mois de suivi, puis une moyenne sur les 6 mois de suivi a été obtenue. Les méthodes de calcul ont été détaillées au chapitre 5.2.2. La compliance aux suppléments de micronutriments était définie pour les enfants du groupe BAM comme la proportion de jours où le supplément a été administré parmi les jours d'ouverture des centres de nutrition.

La normalité de la distribution des données quantitatives était vérifiée visuellement à l'examen du plot normal. Les caractéristiques en début d'intervention, ainsi que les caractéristiques en cours d'intervention ont été comparées entre groupes en utilisant le test t de Student pour les moyennes, le test de Mann Whitney pour les médianes, et le test du chi carré de Pearson pour les proportions. Le taux d'hémoglobine (critère principal), ainsi que le poids, la taille et les z-scores (critères secondaires) en fin d'intervention ont été analysés. Cette analyse était en intention de traiter. La stratégie d'analyse des données était construite en deux étapes. Premièrement, une analyse univariée a été réalisée, en utilisant le test t de Student pour comparer les moyennes entre groupes en fin d'intervention, et le test t par paires pour comparer dans chaque groupe les moyennes en début et en fin d'intervention. Deuxièmement, une analyse par régression linéaire multiple a été réalisée pour chacun des critères d'évaluation (variables dépendantes), en vue d'ajuster pour les facteurs de confusion éventuels et de tester les interactions entre le traitement et l'âge à l'inclusion d'une part, le taux d'hémoglobine à l'inclusion et l'incidence de l'infection à PF d'autre part. Les variables indépendantes testées pour inclusion dans chacun des modèles

étaient celles qui étaient associées à la variable dépendante avec une p-valeur $<0,10$ en analyse univariée. La méthode de sélection pas à pas a été utilisée. L'analyse des résidus et la recherche de colinéarité ont permis de vérifier les conditions d'application.

Résultats

Caractéristiques des enfants en début d'intervention

La **figure 1** illustre le profil des enfants ayant participé à l'intervention.

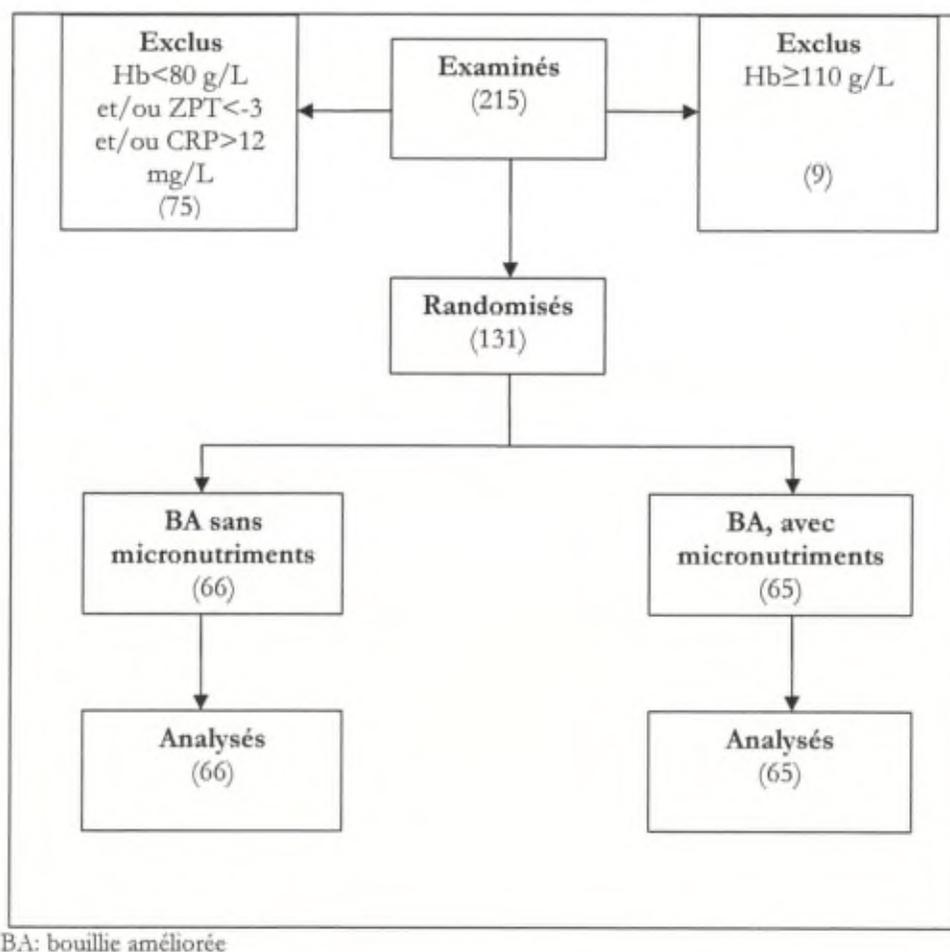


Figure 1 : Profil des enfants ayant participé à l'intervention.

Parmi les 215 enfants qui ont été examinés, les 131 (60,9%) éligibles ont été randomisés en deux groupes (66 et 65 enfants dans les groupes BA et BAM, respectivement). Aucun décès ou perdu de vue n'a été observé.

Les caractéristiques des enfants en début d'intervention sont présentées au **tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques des enfants en début d'intervention.

	Groupes		
	BA (n=66)	BAM (n=65)	p
Sel du ménage non iodé, %	19,7	21,5	0,48
Mère non scolarisée, %	80,3	81,5	0,52
Indice de masse corporelle de la mère (kg/m ²), moyenne (DS)	20,5 (2,1)	21,1 (2,5)	0,10
Taux d'hémoglobine de la mère (g/L), moyenne (DS)	110,1 (14,1)	112,7 (12,1)	0,27
Age (mois), moyenne (DS)	13,9 (4,2)	13,9 (4,6)	0,95
Sexe, %M/F	57,6/42,4	53,8/46,2	0,40
Poids de naissance (g), moyenne (DS)	2826 (317)	2802 (413)	0,70
Non allaité, %	3,0	1,5	0,51
Morbidité dans les deux semaines précédentes, %	30,3	29,2	0,52
Prévalence de l'infection à <i>Plasmodium falciparum</i> , %	37,9	47,7	0,17
ZPT, moyenne (DS)	-1,18 (1,03)	-0,92 (1,07)	0,17
ZPA, moyenne (DS)	-1,51 (1,02)	-1,35 (1,14)	0,42
ZTA, moyenne (DS)	-1,24 (0,92)	-1,28 (1,29)	0,82
CRP (mg/L), moyenne (DS)	3,0 (2,7)	3,2 (2,8)	0,63
Albumine sérique (g/L), moyenne (DS)	35,6 (4,7)	36,0 (5,2)	0,69

Les groupes étaient comparables en ce qui concerne les caractéristiques des enfants en début d'intervention.

La compliance moyenne (DS) aux suppléments de micronutriments pour les enfants du groupe BAM était de 85,3 (19,2%). La proportion d'enfants ayant présenté au moins une lame positive à *Plasmodium falciparum* était de 28,8% et de 30,8% dans les groupes BA et BAM, respectivement ($p=0,48$). Le **tableau 2** présente les caractéristiques des enfants au cours de l'intervention.

Tableau 2 : Taux de présence aux sessions, et pratiques d'alimentation des enfants au cours de l'intervention.

	Groupes		
	BA (n=66)	BAM (n=65)	p
Taux de présence aux sessions (%)			
médiane (min-max)	68 (18-100)	58 (14-100)	0,35
Consommations de bouillie			
g, moyenne (DS)	252 (46)	245 (54)	0,40
g/kg de poids corporel, moyenne (DS)	29 (4)	28 (6)	0,28
% de la quantité souhaitée, moyenne (DS)	108 (18)	105 (10)	0,29
Ingérés énergétique			
kcal/jour, médiane (min-max)	226 (43-371)	192 (25-373)	0,37
kcal/kg de poids corporel, médiane (min-max)	27 (5-55)	23 (3-53)	0,23
% des besoins requis des AC, médiane (min-max)	47 (12-68)	40 (8-68)	0,29
Ingérés en fer			
mg/jour, médiane (min-max)	5,1 (1,1-9,3)	4,8 (0,6-9,3)	0,35
% des besoins recommandés, médiane (min-max) ^a	81 (12-160)	81 (7-161)	0,52
% des besoins recommandés, médiane (min-max) ^b	39 (6-80)	34 (3-80)	0,56
Ingérés en zinc			
mg/jour, médiane (min-max)	2,2 (0,5-4,1)	2,1 (0,3-4,1)	0,35
% des besoins recommandés, médiane (min-max) ^c	54 (12-100)	52 (7-100)	0,36
% des besoins recommandés, médiane (min-max) ^d	27 (6-49)	25 (3-49)	0,36
Nombre de tétées par jour			
médiane (min-max)	5,0 (3,8-17,0)	6,7 (2,0-15,3)	0,010
Nombre de repas à domicile par jour			
médiane (min-max)	2,0 (1,0-4,9)	2,0 (1,0-4,7)	0,86

^abiodisponibilité de 5% ; ^bbiodisponibilité de 10% ; ^cbiodisponibilité faible ; ^dbiodisponibilité moyenne.

Bien que la différence soit non significative, le taux de présence, la consommation de bouillie améliorée, les ingérés énergétiques, en fer et en zinc étaient plus élevés dans le groupe BA que dans le groupe BAM. L'ingéré énergétique médian (min-max) à partir de la bouillie améliorée était de 27 (5-55) kcal/kg de poids corporel dans le groupe BA contre 23 (3-53) kcal/kg de poids corporel dans le groupe BAM ($p=0,23$). Le nombre de tétées par jour était moins élevé dans le groupe BA que dans le groupe BAM ($p=0,010$).

Le **tableau 3** présente les moyennes (DS) du taux d'hémoglobine et des mesures anthropométriques et leur évolution dans les deux groupes.

Tableau 3 : Moyennes (DS) du taux d'hémoglobine et des mesures anthropométriques en début et en fin d'intervention, par groupe.

	Début			Fin			Evolution		
	BA	BAM	p	BA	BAM	p	BA	BAM	p
	(n=66)	(n=65)		(n=66)	(n=65)		(n=66)	(n=65)	
Taux d'hémoglobine (g/L),									
moyenne (DS)	89,2 (6,5)	90,3 (8,4)	0,42	104,1 (11,4) ^a	107,6 (14,7) ^a	0,13	14,8 (11,8)	17,3 (15,8)	0,31
Poids (kg), moyenne (DS)	8,23 (1,37)	8,32 (1,38)	0,73	9,47 (1,46) ^a	9,57 (1,27) ^a	0,67	1,23 (0,61)	1,25 (0,66)	0,86
Taille (cm), moyenne (DS)	73,6 (5,2)	73,2 (5,1)	0,67	79,1 (4,8) ^a	79,1 (4,6) ^a	0,96	5,5 (1,8)	5,9 (2,2)	0,23
ZPT, moyenne (DS)	-1,18 (1,03)	-0,92 (1,07)	0,17	-0,97 (1,11) ^b	-0,79 (0,94)	0,32	0,21 (0,80)	0,13 (0,77)	0,59
ZPA, moyenne (DS)	-1,51 (1,02)	-1,35 (1,14)	0,42	-1,50 (1,03)	-1,34 (0,99)	0,37	0,01 (0,60)	0,02 (0,65)	0,95
ZTA, moyenne (DS)	-1,24 (0,92)	-1,28 (1,29)	0,82	-1,57 (0,70) ^a	-1,43 (1,00) ^b	0,40	-0,33 (0,70)	-0,19 (0,75)	0,28
ZIA, moyenne (DS)	-1,05 (1,07)	-0,72 (1,16)	0,09	-0,78 (1,22) ^b	-0,56 (0,94)	0,25	0,27 (0,92)	0,15 (0,90)	0,47

^aTest t par paires pour la comparaison début-fin d'intervention avec $p < 0,001$; ^bavec $p < 0,05$.

Le taux d'hémoglobine était, en début d'intervention, de 89,2 (6,5) g/L et 90,3 (8,4) g/L dans les groupes BA et BAM, respectivement ($p=0,42$). En fin d'intervention, il s'élevait à 104,1 (11,4) g/L dans le groupe BA ($p<0,001$), et à 107,6 (14,7) g/L dans le groupe BAM ($p<0,001$). Ceci correspondait à une augmentation du taux d'hémoglobine de 14,8 (11,8) g/L [10,4 (11,3) pour les enfants âgés de 6-11 mois et 17,4 (11,5) pour les enfants âgés de 12-23 mois en début d'intervention, $p=0,020$] dans le groupe BA, et de 17,3 (15,8) g/L [19,3 (17,0) pour les enfants âgés de 6-11 mois et 16,2 (15,2) pour les enfants âgés de 12-23 mois en début d'intervention, $p=0,47$] dans le groupe BAM. La différence entre les deux groupes, du taux d'hémoglobine en fin d'intervention, soit 3,5 (-1,0 ; 8,1) g/L n'était pas significative ($p=0,13$). Cette différence ne changeait pas après analyse par régression linéaire multiple. Les termes d'interaction que ce soit entre l'âge en début d'intervention ($p=0,51$), le taux d'hémoglobine en début d'intervention ($p=0,30$), ou l'incidence de l'infection à PF ($p=0,56$) et le type d'intervention n'étaient pas significatifs. La prévalence de l'anémie en fin d'intervention était de 67,9% et de 55,6% dans les groupes BA et BAM, respectivement ($p=0,13$).

En fin d'intervention, les groupes n'étaient pas différents en ce qui concerne les mesures anthropométriques. Le gain pondéral n'était pas différent entre les deux groupes ($p=0,86$). La croissance en taille n'était pas différente entre les deux groupes, ($p=0,23$). De même, les indices moyens ZPT, ZPA, ZTA, et ZIA n'étaient pas différents entre les deux groupes ($p=0,59$, $p=0,95$, $p=0,28$ et $p=0,47$, respectivement).

Considérant l'ensemble des enfants ayant participé à l'intervention, les ingérés énergétiques médians (min-max) chez les enfants âgés de 6-8 mois, 9-11 mois, et 12-23 mois en début d'intervention étaient de 142 (25-248), 178 (43-326) et 242 (51-373) kcal/jour. Les ingérés en fer étaient de 3,5 (0,6-6,2), 4,4 (1,1-8,2) et 6,0 (1,3-9,3) mg/jour, et les ingérés en zinc de 1,6 (0,3-2,7), 2,0 (0,5-3,6) et 2,7 (0,6-4,1) mg/jour. En moyenne le taux d'hémoglobine, l'indice ZPT et l'indice ZIA augmentaient significativement entre le début et la fin de l'intervention ($p<0,001$, $p=0,014$,

et $p=0,009$, respectivement), alors que l'indice ZPA était stable ($p=0,77$), et que l'indice ZTA diminuait ($p<0,001$) (tableau 4). Il y avait 35,9%, 50,0%, et 43,8% de réduction de la prévalence de l'anémie, de l'émaciation (ZPT <-2) et de l'insuffisance pondérale (ZIA <-2).

Table 4: Taux d'hémoglobine moyens (DS) et prévalence de l'anémie, mesures anthropométriques moyennes (DS) et prévalence de la malnutrition en début et en fin d'intervention parmi les enfants ayant participé à l'intervention.

	Début (n=131)	Fin (n=131)	Evolution	p
Taux d'hémoglobine (g/L), moyenne (DS)	89,8 (7,5)	105,8 (13,2)	16,1 (14,0)	<0,001
% <110 (% de la valeur de début)	100	64,1	35,9 (35,9)	<0,001
Poids (kg), moyenne (DS)	8,28 (1,37)	9,52 (1,36)	1,24 (0,63)	<0,001
Taille (cm), moyenne (DS)	73,4 (5,2)	79,1 (4,7)	5,7 (2,1)	<0,001
ZPT, moyenne (DS)	-1,05 (1,06)	-0,88 (1,03)	0,17 (0,78)	0,014
% <-2 (% de la valeur de début)	21,4	10,7	10,7 (50,0)	0,004
ZPA, moyenne (DS)	-1,43 (1,08)	-1,42 (1,01)	0,02 (0,62)	0,77
% <-2 (% de la valeur de début)	26,0	23,7	2,3 (8,8)	0,65
ZTA, moyenne (DS)	-1,24 (1,09)	-1,50 (0,90)	-0,26 (0,72)	<0,001
% <-2 (% de la valeur de début)	24,0	28,1	-4,1 (-17,1)	0,38
ZIA, moyenne (DS)	-0,88 (1,12)	-0,67 (1,09)	0,21 (0,90)	0,009
% <-2 (% de la valeur de début)	17,6	9,9	7,7 (43,8)	0,031

Discussion

Le taux d'hémoglobine augmentait dans les deux groupes d'intervention ; il n'était pas différent entre les deux groupes en fin d'intervention. Ainsi, le supplément de micronutriments n'a pas eu d'effet additionnel significatif sur le taux d'hémoglobine chez ces jeunes enfants présentant une anémie légère à modérée. Ce résultat était inattendu. En effet, plusieurs études ont rapporté un impact positif de la supplémentation en micronutriments multiples sur le taux d'hémoglobine, en comparaison à un placebo [15, 22, 23]. La dose de fer, de 8 mg, utilisée dans la présente étude était inférieure à celle utilisée dans certaines des études ci-dessus citées, où elle était de 10 mg, mais identique à celle utilisée dans l'étude faite par Thu *et al.* L'absence d'impact significatif dans la présente étude pourrait vraisemblablement être attribuée à la consommation concomitante de bouillie améliorée. L'amélioration de la bouillie a consisté essentiellement, 1) à la combinaison des légumineuses avec les céréales, diversifiant ainsi les nutriments apportés, 2) au traitement de ces ingrédients par la torréfaction, le dépelliculage et le maltage, réduisant la teneur en facteurs antinutritionnel comme les phytates, et 3) à l'incorporation du *soumbala*, comme source de fer ; il a une teneur en fer de 69,6 mg/100 g [24]. Une telle bouillie améliorée en elle-même contribuerait à l'amélioration du taux d'hémoglobine de façon substantielle. En effet, l'augmentation du taux d'hémoglobine de 14,8 g/L dans le groupe qui a reçu la bouillie améliorée est proche de celle observée avec la supplémentation en fer lors de notre essai précédent qui a concerné la même population [25]. Les enfants du groupe qui ont reçu le supplément de fer étaient âgés en moyenne (DS) de 12,7 (4,9) mois et avaient un taux moyen (DS) d'Hb de 90,8 (9,1) g/L en début d'intervention ; ils avaient reçu 15 mg de fer par jour, cinq jours par semaine, pendant six mois, ainsi que des mesures de prévention et de traitement du paludisme et des helminthiases identiques à celles de la présente étude. Le taux d'Hb a augmenté en moyenne (DS) de 16,3 (13,6) g/L. L'ingéré quotidien effectif de fer dans cette précédente étude pouvait être estimée à 9,6 mg/jour (soit 15 mg/jour x 5/7 jours x 90% de complianc aux suppléments), donc pourtant

plus élevée que l'ingéré de 5,1 mg/jour au cours de la présente étude. Cela suggère que le fer consommé avec la bouillie améliorée était plus opérant que le fer administré sous forme de supplément, probablement du fait de la présence de facilitateurs du métabolisme du fer et/ou de l'hémoglobine contenus dans la bouillie. D'autres études portant sur des aliments de complément améliorés soit en incorporant des vitamines et minéraux soit en procédant au traitement des ingrédients, soit encore en combinant les deux méthodes ont déjà fait la preuve de leur efficacité sur le taux d'hémoglobine [26-28].

Comme pour le taux d'hémoglobine, les indices anthropométriques en fin d'intervention n'étaient pas différents entre groupes. De nouveau on peut suggérer que l'absence d'impact du supplément de micronutriments multiples pourrait être attribuée à la consommation de bouillie améliorée, quoique l'impact sur la croissance des suppléments de micronutriments multiples reste variable selon les études. La méta-analyse faite par Ramakrishnan *et al.* indiquaient un impact significatif sur la taille [29], alors que l'étude IRIS I ne montrait pas d'impact sur les mesures anthropométriques, à l'exception du gain de poids [15].

Ces données permettent de suggérer qu'une farine puis une bouillie améliorée produite à partir d'ingrédients disponibles localement pourrait être satisfaisante pour couvrir les besoins nutritionnels requis des aliments de complément, si elle est consommée aux quantités recommandées, et pourrait dispenser de suppléments additionnels de micronutriments. Ceci est concordant avec une étude faite au Ghana, dans laquelle, l'incorporation de micronutriments multiples dans la farine infantile Weanimix® n'apportait pas d'effet additionnel sur le taux d'hémoglobine [30]. Les auteurs avaient formulé entre autres l'hypothèse explicative que la consommation de cette farine infantile sans micronutriments multiples, accompagnée d'un allaitement fréquent était déjà satisfaisante en micronutriments. Les ingérés de fer observés dans notre étude étaient plus élevés que ceux observés parmi les nourrissons nourris au Weanimix®

(ingérés moyens à partir de la farine infantile de 1,7, 2,4, 2,1 et 2,8 mg/jour à l'âge de 7, 8, 10 et 12 mois, respectivement) [30], et parmi les jeunes enfants du Malawi en dehors d'intervention (1,2, 2,8 et 3,5 mg/jour chez les enfants âgés de 6-8, 9-11 et 12-23 mois, respectivement) [31].

Bien que l'intervention ait permis une réduction substantielle de l'anémie et de la malnutrition, la prévalence de l'anémie est restée à 64,1%, et celle du retard de croissance est passée à 28,1%. Deux raisons pourraient expliquer cette insuffisance. Premièrement, l'utilisation de moustiquaires imprégnées n'a pas entièrement empêché la survenue de l'infection à *PF*, ceci étant en cohérence avec un précédent essai d'efficacité de moustiquaire imprégnée au Burkina Faso [32]. Mamiro *et al.* attribuaient l'échec d'une intervention basée sur un aliment de complément amélioré à ramener le taux d'hémoglobine à la normale par l'effet indépendant de la réinfection continue par le paludisme en dépit du prompt traitement des cas [33]. Deuxièmement, les ingérés énergétiques, de fer et de zinc étaient plus bas que ce qui était souhaité, du fait d'une insuffisance de participation malgré une bonne acceptabilité de la bouillie. En effet, la consommation de bouillie à chaque session était en moyenne de 28 ou 29 g/kg de poids corporel/repas, correspondant à 105 ou 108% de la consommation souhaitée, alors que le taux de participation n'était que de 58 ou 68%, selon le groupe.

En conclusion, le supplément de micronutriments multiples n'a pas accru l'effet de la bouillie améliorée sur le taux d'hémoglobine et les indices anthropométriques. Des études plus approfondies sont requises pour déterminer le processus de traitement des ingrédients pouvant conduire à la meilleure teneur et biodisponibilité en fer et en zinc. L'amélioration de la participation apparaît comme un défi dans l'utilisation effective de la bouillie améliorée. Pour augmenter la consommation de la bouillie et améliorer les ingérés en nutriments, l'activité de production de la farine et de préparation de la bouillie devraient être intégrées dans la routine des ménages. Cette intégration devrait être obtenue et soutenue par un programme de formation et

d'éducation nutritionnelles. Ceci pourrait être un point de départ vers la mise en œuvre de l'approche basée sur les aliments à composants multiples, qui recommande une utilisation des sources traditionnelles de nutriments comme moyen pour couvrir les besoins nutritionnels des communautés en particulier en Afrique Sub-saharienne [34].

Références

1. Allen L, De Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines of food fortification with micronutrients. Geneva, WHO/FAO, 2006.
2. WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.
3. Adu-Afarwuah S, Lartey A, Brown KH, Zlotkin S, Briend A, Dewey KG. Randomized comparison of 3 types of micronutrient supplements for home fortification of complementary foods in Ghana: effects on growth and motor development *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 412-420.
4. Dewey KG, Adu-Afarwuah S. Systematic review of the efficacy and effectiveness of complementary feeding interventions in developing countries. *Maternal child nutr* 2008; 4: 24-85.
5. WHO. Conclusions and recommendations of the WHO consultation on prevention and control of iron deficiency in infants and young children in malaria-endemic areas. *Food Nutr Bull* 2007; 28: S621-S627.
6. Mensah P, Tomkins A. Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. *Food Nutr Bull* 2003; 24: 104-124.

7. Smith IF, Eyzaguirre PB, Matig OE, Johns T. Managing biodiversity for food and nutrition security in West Africa: building on indigenous knowledge for more sustainable livelihoods. *SCN News* 2006; 33: 22–26
8. 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: 213-218.
9. Traoré T, Vieu MC, Traoré SA, Trèche S. 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* 2005; 45: 279-286.
10. Moursi M, Mbemba F, Trèche S. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on the energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr* 2003; 6: 249-257.
11. Oumarou H, Ejoh R, Ndjouenkeu R, Tanya A. Nutrient content of complementary foods based on processed and fermented sorghum, groundnut, spinach, and mango. *Food Nutr Bull* 2005; 26: 385-392.
12. Asma MA, El Fadil EB, El Tinay AH. Development of weaning food from sorghum supplemented with legumes and oil seeds. *Food Nutr Bull* 2006; 27: 26-34.
13. Ejigui J, Savoie L, Marin J, Desrosiers T. Improvement of the nutritional quality of a traditional complementary porridge made of fermented yellow maize (*Zea mays*): Effect of maize–legume combinations and traditional processing methods. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 23-34.

14. Ouédraogo HZ, Nikiéma L, Somé I, Sakandé J, Dramaix M, Donnen P. Home-based practices of complementary foods improvement are associated with better height-for-age z-score in 12-23 months-old children from a rural district of Burkina Faso. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 2008; 8: 204-218.
15. Smuts CM, Lombard CJ, Benade AJ *et al.* Efficacy of a foodlet-based multiple micronutrient supplement for preventing growth faltering, anaemia, and micronutrient deficiency of infants: the four country IRIS trial pooled data analysis. *J Nutr* 2005; 135: 631-638.
16. WHO. Report of the WHO informal consultation on the use of Praziquantel in pregnancy/lactation and Albendazole/Mebendazole in children under 24 months. Geneva, WHO, 2002.
17. Hall A, Hewitt G, Tuffrey V, De Silva N. A review and meta-analysis of the impact of intestinal worms on child growth and nutrition. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 118-236.
18. Nestel P, Briend A, De Benoist B *et al.* Complementary food supplements to achieve micronutrient adequacy for infants and young children. *J Paediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 36: 316-28.
19. Dunn JT, Van Der Haar F. A practical guide to the correction of iodine deficiency disorders. Amsterdam, International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders, 1990.
20. Gentilini M. Médecine tropicale. 5^{ème} édition. Paris, Flammarion Médecine Sciences, 1993.

21. WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.
22. Thu BD, Schultink W, Dillon D, Gross R, Leswara ND, Khoi HH. Effect of daily and weekly micronutrient supplementation on micronutrient deficiencies and growth in young Vietnamese children. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 80-86.
23. Berger J, Ninh NX, Khan NC *et al*. Efficacy of combined iron and zinc supplementation on micronutrient status and growth in Vietnamese infants. *Eur J Clin Nutr* 2006; 60: 443-454.
24. Barikmo I, Ouattara F, Oshaug A. Food Composition Table for Mali. Lillestrøm, Akershus University College, 2004.
25. Ouédraogo HZ, Dramaix-Wilmet M, Zèba AN, Hennart P, Donnen P. Effect of iron or multiple micronutrient supplements on the prevalence of anaemia among anaemic young children of a malaria-endemic area: a randomized double-blind trial. *Trop Med Int Health* 2008; 13 (10): 1-10
26. Faber M, Kvalsvig JD, Lombard CJ, Benadé AJS. Effect of a fortified maize-meal porridge on anaemia, micronutrient status, and motor development of infants. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 1032-1039.
27. Owino VO, Kasonka LM, Sinkala MM *et al*. Fortified complementary foods with or without alpha-amylase treatment increase haemoglobin but do not reduce breastmilk intake of 9-mo-old Zambian infants. *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 1094-103.

28. Lutter CK, Rodriguez A, Fuenmayor G, Avila L, Sempertegui F, Escobar J. Growth and micronutrient status in children receiving a fortified complementary food. *J Nutr* 2008; 138: 379-388.
29. Ramakrishnan U, Aburto N, McCabe G, Martorell R. Multimicronutrient interventions but not vitamin A or iron interventions alone improve child growth : results of 3 meta-analyses. *J Nutr* 2004; 134: 2592-602.
30. Lartey A, Manu A, Brown KH, Peerson JM, Dewey KG. A randomised, community-based trial of the effects of improved, centrally processed complementary foods on growth and micronutrient status of Ghanaian infants from 6 to 12 months. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 391-404.
31. Hotz C, Gibson RS. Complementary feeding practices and dietary intakes from complementary foods amongst weanlings in rural Malawi. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 841-849.
32. Müller O, Traoré C, Kouyaté B *et al.* Effects of insecticide-treated bednets during early infancy in an African area of intense malaria transmission: a randomized controlled trial. *Bull World Health Organ* 2006; 84: 120-126.
33. Mamiro PS, Kolsteren PW, Van Camp JH, Roberfroid DA, Tatala S, Opsomer A. Processed complementary food does not improve growth or hemoglobin status of rural Tanzanian infants from 6-12 months of age in Kilosa district, Tanzania. *J Nutr* 2004; 134: 1084-1090.
34. Zotor FB, Amma P. The food multimix concept: new innovative approach to meeting nutritional challenges in Sub-Saharan Africa. *Proc Nutr Soc* 2008; 67: 98-104.

6. Synthèse et conclusion générale

6.1. Rappel des hypothèses

Les hypothèses que nous avons formulées au départ de ce travail étaient les suivantes :

- La prévalence de l'anémie est élevée parmi les jeunes enfants ;
- L'anémie est multifactorielle, impliquant aussi bien la carence en fer et en d'autres nutriments, que des causes infectieuses comme le paludisme ;
- Des pratiques ménagères d'alimentation de complément inadéquates sont à l'origine des carences nutritionnelles ;
- Une stratégie de lutte contre l'anémie intégrant l'amélioration des pratiques ménagères d'alimentation de complément, la supplémentation en micronutriments multiples et des mesures de contrôle des parasitoses est efficace dans la réduction de la prévalence de l'anémie.

6.2. Rappel des objectifs

Les objectifs généraux de l'étude étaient de :

1. Analyser la situation de l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi ;
2. Tester l'efficacité de stratégies intégrées de lutte contre l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois du district rural de Kongoussi.

6.3. Synthèse des principaux résultats

6.3.1. Prévalence de l'anémie et facteurs associés

Les enquêtes transversales ont rapporté les principaux résultats suivants :

- L'anémie sévit à une fréquence très élevée parmi les jeunes enfants du district de Kongoussi. Elle touchait la quasi-totalité des enfants de 6-23 mois, c'est-à-dire 98,8% (IC à 95% : 97,6-99,9) d'entre eux. L'anémie sévère se retrouvait chez environ un tiers des enfants de 6-23 mois, c'est-à-dire 29,5% (IC à 95% : 23,9-35,0) d'entre eux. Cette prévalence très élevée appelle à des interventions urgentes.
- Parmi les enfants présentant une anémie, 65,1% avaient une anémie hypochrome. Ce résultat, sans donner vraiment la proportion d'anémie attribuable à la carence en fer, suggère qu'au moins 34,9% des anémies ont d'autres origines que la carence en fer.
- Les enfants ne présentant pas de retard de croissance avaient un taux moyen (ES) d'hémoglobine plus élevé que les enfants présentant un retard de croissance : 81,1 (2,6) contre 77,2 (2,8) g/L, ($p=0,026$)
- La prévalence du retard de croissance était de 35,8% (IC à 95% : 29,4-41,1). Le retard de croissance était associé aux pratiques d'alimentation de complément chez les enfants âgés de 12-23 mois. L'indice ZTA était en moyenne (DS) de -1,33 (0,63), -1,61 (0,30), et -2,11 (0,32) chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales fortifiées, chez les enfants pour lesquels étaient utilisées des céréales non fortifiées, et chez les enfants qui ne recevaient pas d'aliments de complément, respectivement ($p=0,018$).
- L'infection à *Plasmodium falciparum* était présente chez 52,6% des enfants, 25,6% étant non fébrile et 27,0% fébrile. En comparaison aux enfants non infectés, les enfants ayant une infection fébrile, mais aussi ceux ayant une infection non fébrile avaient un taux

d'hémoglobine plus faible, les différences (ES) étant de 7,86 (1,75) g/L avec $p < 0,001$ et de 3,52 (1,74) g/L avec $p = 0,044$, respectivement.

6.3.2. Stratégies de prévention de l'anémie

Les essais d'intervention montraient que :

- Dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthoses, la supplémentation en fer pendant 6 mois a conduit à une augmentation moyenne (DS) du taux d'hémoglobine de 16,3 (13,6) g/L ($p < 0,001$), alors que cette augmentation a été de 22,8 (14,6) g/L ($p < 0,001$) pour la supplémentation en micronutriments multiples, soit une différence (IC à 95%) de 6,5 (2,0; 11,1) avec $p = 0,003$. La supplémentation en fer a conduit à une réduction de la prévalence de l'anémie de 40,6%, alors que cette réduction a été de 62,0% avec la supplémentation en micronutriments multiples, soit un ratio de prévalences ajusté (PRR (IC à 95%)) de 1,62 (1,22 ; 2,15), $p < 0,001$.
- A partir d'ingrédients disponibles localement, la farine destinée à la préparation de bouillie améliorée était composée de petit mil (51,7%), haricots (8,8%), arachide (7,8%), malt de sorgho rouge (9,0%), *soumbala* (9,3%), sucre (12,7%), et de sel iodé (0,8%). La bouillie préparée avec une telle farine avec une consistance de 120 mm/30 s (distance d'écoulement de Bostwick) avait une densité énergétique de 103 kcal/100 g, une teneur en fer de 2,6 mg/100 kcal, et une teneur en zinc de 1,2 mg/100 kcal. La production de la farine et la préparation de la bouillie étaient reproductibles par les ménagères.
- Les ingérés énergétiques, de fer et de zinc à partir de la bouillie améliorée étaient bas par rapport à ce qui était souhaité, du fait d'une insuffisance de participation malgré une bonne acceptabilité de la bouillie. En effet, la consommation de bouillie à chaque session était en moyenne de 28 ou 29 g/kg de poids corporel/repas, correspondant à 105 ou

108% de la consommation souhaitée, alors que le taux de participation au programme n'était que de 58 ou 68%, selon le groupe d'intervention.

- Dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthoses la consommation de la bouillie améliorée sans supplément de micronutriments (groupe BA) conduisait à une augmentation du taux d'hémoglobine de 14,8 (11,8) g/L ($p < 0,001$), et la consommation de la bouillie améliorée avec des suppléments de micronutriments multiples (groupe BAM) entraînait une augmentation de 17,3 (15,8) g/L ($p < 0,001$), soit une différence (IC à 95%) non significative de 3,5 (-1,0 ; 8,1) g/L ($p = 0,13$). La prévalence de l'anémie en fin d'intervention était de 67,9% et de 55,6% dans les groupes BA et BAM, respectivement ($p = 0,13$)

6.4. Conclusion générale

6.4.1. Défis liés à la prévention de l'anémie

Le premier défi à relever est la situation d'urgence. Il est nécessaire de mettre en place des mesures permettant de réduire rapidement la prévalence de l'anémie chez les enfants âgés de 6-23 mois. La stratégie de supplémentation en micronutriments multiples combinée à la prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthoses est la stratégie à préférer. Celle-ci permet une réduction importante et rapide de la prévalence de l'anémie.

Toutefois, bien qu'en produisant une réduction importante et rapide de la prévalence de l'anémie, cette stratégie ne permet pas d'enrayer l'anémie, probablement du fait de l'insuffisance de la dose des micronutriments contenus dans le supplément), du fait de la persistance du paludisme, et du fait d'un état de malnutrition chronique déjà présent à cet âge.

Pour avoir un impact plus important au cours de cette première phase de la lutte contre l'anémie chez les jeunes enfants du district, qui vise à lever l'urgence, une augmentation de la dose du fer doit être envisagée pour cette population d'enfants qui souffrent presque tous d'anémie. Une détection active et un traitement précoce des cas de paludisme, même les cas sub-cliniques, comme cela a été fait dans cette étude, ne semblent pas réalistes dans des conditions de routine. Le renforcement des mesures de prévention du paludisme reste donc également un défi important. Enfin, la prévention du retard de croissance intra-utérin et de celui survenant au cours des six premiers mois de vie, donc les mesures de protection de la grossesse et de promotion de l'allaitement exclusif au cours des six premiers mois de vie semblent d'importance dans le cadre de la prévention de l'anémie chez les enfants de 6-23 mois.

La supplémentation en micronutriments multiples pourrait être relayée par la stratégie basée sur une alimentation de complément améliorée au niveau des ménages, toujours dans un contexte de prise en charge préventive et curative du paludisme et des géohelminthiases. Intégrés dans la routine des ménages et soutenus par une formation et une éducation nutritionnelles, les procédés de production de farine puis de bouillie améliorée devraient avoir plus de portée sur la prévention de l'anémie à moyen et long terme. La contrainte de cette stratégie pourrait être l'accessibilité des ingrédients, même s'ils sont disponibles localement, ainsi que la nécessité d'un programme d'éducation nutritionnelle ciblant les ménagères.

Idéalement donc, la prévention de l'anémie chez les enfants de 6-23 mois, devrait comprendre des actions *globales*, prenant en compte le couple mère enfant depuis la conception, *continues*, couvrant la période de la grossesse et des six premiers mois de vie, et *intégrées*, considérant l'amélioration des pratiques d'alimentation et le contrôle des infections à partir de l'âge de six mois. Clairement, apparaît l'impérieuse nécessité d'intégration des programmes de santé, bien souvent cloisonnés au sein d'un même système sanitaire visant pourtant le même bien-être de

l'enfant. Les programmes de santé reproductive, de nutrition de l'enfant, de lutte contre le paludisme et d'éradication des vers intestinaux, devraient faire converger leurs ressources vers cet idéal.

6.4.2. *Recommandations*

❖ *Aux institutions chargées de la recherche en santé*

Pour améliorer les stratégies de lutte contre l'anémie, des investigations supplémentaires devraient être entreprises, en vue de :

- Déterminer les dosages et les combinaisons de micronutriments dont la supplémentation conduit au meilleur impact sur la réduction de la prévalence de l'anémie ;
- Déterminer la combinaison des ingrédients disponibles localement conduisant au meilleur impact sur la réduction de la prévalence de l'anémie ;
- Déterminer le processus de traitement des ingrédients disponibles localement conduisant à la meilleure teneur et biodisponibilité des micronutriments ;
- Tester l'intégration des procédés de production de farine et de préparation de bouillie améliorées au niveau des ménages et son efficacité sur la réduction de la prévalence de l'anémie ;
- Déterminer les conditions d'utilisation efficace des moustiquaires imprégnées permettant d'améliorer la prévention du paludisme ;
- Identifier un outil simple de détection de l'infection non fébrile à *PF* et utilisable par les agents de santé communautaire.

❖ *Aux autorités en charge de la santé*

Pour le contrôle de l'anémie chez les jeunes enfants en milieu rural du Burkina Faso, il est recommandé :

- De renforcer les programmes de lutte contre les carences nutritionnelles en prenant en compte la supplémentation en micronutriments multiples tout en instituant une formation et une éducation nutritionnelles des femmes centrées sur l'utilisation adéquate des produits locaux pour l'alimentation de complément de l'enfant ;
- De renforcer les mesures de prévention du paludisme ;
- Susciter la concertation entre le programme de lutte contre les carences nutritionnelles, le programme de lutte contre le paludisme et le programme de lutte contre les parasitoses intestinales en vue d'intégrer les activités pouvant converger vers un meilleur impact sur la prévalence de l'anémie chez le jeune enfant.

7. Références

Adu-Afarwuah S, Lartey A, Brown KH, Zlotkin S, Briend A, Dewey KG. Randomized comparison of 3 types of micronutrient supplements for home fortification of complementary foods in Ghana: effects on growth and motor development *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 412–420.

AFNOR. Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. NF V 03-050, 1970.

Allen L, De Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines of food fortification with micronutrients. Geneva, WHO/FAO, 2006.

Allen LH, Shrimpton R. The International Research on Infant Supplementation study: implications for programs and further research. *J Nutr* 2005; 135: S666-S669.

Allen LH. Iron-ascorbic acid and iron-calcium interactions and their relevance in complementary feeding. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 11-20.

Arimond M, Ruel MT. Assessing care: progress toward the measurement of selected childcare and feeding practices, and implications for programs. Washington D.C., FANTA project, Academy for Educational Development, 2002.

Asma MA, El Fadil EB, El Tinay AH. Development of weaning food from sorghum supplemented with legumes and oil seeds. *Food Nutr Bull* 2006; 27: 26-34.

Asobayire FS, Adou P, Davidsson L, Cook JD, Hurrell RF. Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anemia in population groups with high prevalences of malaria and other infections: a study in Côte d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 2001; 74: 776-782.

Barikmo I, Ouattara F, Oshaug A. Food composition table for Mali. Lillestrøm, Akershus University College, 2004.

Berger J, Dillon JC. Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement. *Cahiers Santé* 2000; 12: 22-30.

Berger J, Ninh NX, Khan NC, Nhien NV, Lien DK, Trung NQ *et al.* Efficacy of combined iron and zinc supplementation on micronutrient status and growth in Vietnamese infants. *Eur J Clin Nutr* 2006; 60: 443-454.

Biesalski HK, Erhardt JG. Diagnosis of nutritional anaemia : laboratory assessment of iron status. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 37-43.

Binka FN, Ross DA, Morris SS *et al.* Vitamin A supplementation and childhood malaria in Northern Ghana. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 853-859.

Black R. Micronutrient deficiency: an underlying cause of morbidity and mortality. *Bull World Health Organ* 2003; 81: 79.

Black RE, Allen LH, Bhutta ZA *et al.* Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008; 371: 243-260.

Black RE, Morris SS, Bryce J. Where and why are 10 million children dying every year? *Lancet* 2003; 361: 2226-2234.

Brabin J, Premji Z, Verhoeff F. An analysis of anaemia and child mortality. *J Nutr* 2001; 131: 636S-648S.

Briend A. Should we add oil to complementary foods for breastfed children in developing countries? *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2005; 41:12-13.

Brooker S, Clements ACA, Bundy DAP. Global epidemiology, ecology and control of soil-transmitted helminth infections. *Adv Parasitol* 2006; 62: 221-261.

Brown KH, Peerson JM, Rivera J, Allen LH. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2002; 75: 1062-1071.

Burkina Faso, Ministère de la santé, Programme national de lutte contre le paludisme. Directives nationales pour la prise en charge du paludisme au Burkina Faso. Ouagadougou, PNL, 2005.

Burkina Faso, Ministère de la Santé. Annuaire statistique. Ouagadougou, DEP, 2007.

Burkina Faso, Ministère de la Santé. Document d'analyse de la situation sanitaire nationale. Ouagadougou, MS, 2000.

Burkina Faso, Ministère de la santé. Rapports des Journées Nationales de Vaccination. Ouagadougou, MS, 2003.

Centre National pour la Nutrition, UNICEF. Enquête épidémiologique d'évaluation du programme de lutte contre l'avitaminose A dans 8 provinces du Burkina Faso. Ouagadougou, CNN/UNICEF, 1999.

Cornet M, Le Hesran JY, Fievet N *et al.* Prevalence and risk factors for anaemia in young children in southern Cameroon. *Am J Trop Med Hyg* 1998; 58: 606-611.

Crawley J. Reducing the burden of anaemia in infant and young children in malaria-endemic countries of Africa: from evidence to action. *Am J Trop Med Hyg* 2004; 71: 25-34.

Desai MR, Mei JV, Kariuki SK *et al.* Randomized, controlled trial of daily iron supplementation and intermittent sulfadoxine-pyrimethamine for the treatment of mild childhood anaemia in western Kenya. *J Infect Dis* 2003; 187: 58-66.

Desai MR, Terlouw DJ, Kwena AM *et al.* Factors associated with haemoglobin concentration in pre-school children in western Kenya: cross-sectional studies. *Am J Trop Med Hyg* 2005; 72: 47-59.

Devoucoux R, Hurpin C, Baudon D *et al.* Population genetics of abnormal hemoglobins in Burkina Faso, West Africa. *Ann Hum Biol* 1991; 18: 295-302.

Dewey KG, Adu-Afarwuah S. Systematic review of the efficacy and effectiveness of complementary feeding interventions in developing countries. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 24-85.

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.

Dewey KG. Increasing iron intake of children through complementary foods. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 595S-609S.

Dewey KG. Nutrient composition of fortified complementary foods: should age-specific micronutrient content and ration sizes be recommended? *J Nutr* 2003; 133: 2950S-2952S.

Dijkhuizen MA, Wieringa FT, West CE, Martuti S, Muhilal. Effects of iron and zinc supplementation in Indonesian infants on micronutrient status and growth. *J Nutr* 2001; 131: 2860-2865.

Dillon JC. Prévention de la carence en fer et des anémies ferriprives en milieu tropical. *Med Trop* 2000; 60: 83-91.

Dorosz P. Vitamines, sels minéraux et oligo-éléments. 2^{ème} édition. Paris, Maloine, 2002.

Dunn JT, Van Der Haar F. A practical guide to the correction of iodine deficiency disorders. Amsterdam, ICCIDD, 1990.

Ejigui J, Savoie L, Marin J, Desrosiers T. Improvement of the nutritional quality of a traditional complementary porridge made of fermented yellow maize (*Zea mays*): Effect of maize-legume combinations and traditional processing methods. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (1): 23-34.

Ekvall H, Premji Z, Bjorkman A. Micronutrient and iron supplementation and effective anti-malarial treatment synergistically improve childhood anaemia. *Trop Med Int Health* 2000; 5: 696-705.

Ekvall H. Malaria and anemia. *Current Opinion Haematol* 2003; 10: 108-114.

Eliades MJ, Wolkon A, Morgah K *et al.* Burden of malaria at community level in children less than 5 years of age in Togo. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 75: 622-629.

Faber M, Kvalsvig JD, Lombard CJ, Benadé AJS. Effect of a fortified maize-meal porridge on anaemia, micronutrient status, and motor development of infants. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 1032-1039.

Fawzi WW, Herrera MG, Nestel P, El Amin A, Mohamed KA. A longitudinal study of prolonged breastfeeding in relation to child undernutrition. *Int J Epidemiol* 1998; 27: 255-260.

Fishman SM, Christian P, West KP Jr. The role of vitamins in the prevention and control of anaemia. *Public Health Nutr* 2000; 3: 125-150.

Friedman JF, Kwena AM, Mirel LB *et al.* Malaria and nutritional status among preschool children: results from cross-sectional surveys in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 2005; 73: 698-704.

Gentilini M. Médecine tropicale. 5^{ème} édition. Paris, Flammarion Médecine Sciences, 1993.

Gerbouin-Rerolle P, Dupin H. Aliments et valeur nutritionnelle. Paris, Centre International de l'Enfance, 1993.

Gibson RS, Perlas L, Hotz C. Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *Proc Nutr Soc* 2006; 65: 160-168.

Grenier B. Pédiatrie en poche. Paris, Doins Editeurs, 1990.

Hall A, Hewitt G, Tuffrey V, De Silva N. A review and meta-analysis of the impact of intestinal worms on child growth and nutrition. *Maternal Child Nutr* 2008; 4: 118-236.

Hershko C, Bar-Or D, Gaziel Y, *et al.* Diagnosis of iron deficiency anaemia in a rural population of children. Relative usefulness of serum ferritin, red cell protoporphyrin, red cell indices, and transferrine saturation determinations. *Am J Clin Nutr* 1981; 39: 1600-1610.

Hoppe M, Hulthen L, Hallberg L. The importance of bioavailability of dietary iron in relation to the expected effect from iron fortification. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61: 1032-1034.

Hotz C, Gibson RS. Complementary feeding practices and dietary intakes from complementary foods amongst weanlings in rural Malawi. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 841-849.

Hotz C, Gibson RS. Participatory nutrition education and adoption of new feeding practices are associated with improved adequacy of complementary diets among rural Malawian children: a pilot study. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59: 226-237.

Institut National de la Statistique et de la Démographie. Burkina Faso : la pauvreté en 2003. Ouagadougou, INSD, 2003.

Institut National de la Statistique et de la Démographie. Recensement général de la population et de l'habitat 1996. <http://www.insd.bf>

International Research on Infant Supplementation (IRIS I) Study Group. IRIS I: A FOODlet-based multiple-micronutrient intervention in 6- to 12-month-old infants at high risk of

micronutrient malnutrition in four contrasting populations: Description of a multicenter field trial. *Food Nutr Bull* 2003; 24 (Suppl. 3): 27-33.

Islam MM, Peerson JM, Ahmed T, Dewey KG, Brown KH. Effect of varied energy density of complementary foods on breast-milk intakes and total energy consumption by healthy, breastfed Bangladeshi children. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 851-858.

Jackson AA. Anaemia in severe undernutrition. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 215-230.

Jones G. How many child deaths can we prevent this year? *Lancet* 2003; 362: 65-71.

Katsir J. Hemoglobinopathies in Upper Volta. *J Trop Pediatr Environ Child Health* 1971; 17: 65-66.

Korenromp EL, Armstrong-Schellenberg JRM, Williams BG, Nahlen BL, Snow RW. Impact of malaria control on childhood anaemia in Africa. A quantitative review. *Trop Med Int Health* 2004; 9: 1050-1065.

Labie D, Richin C, Pagnier J *et al.* Hemoglobins S and C in Upper Volta. *Hum Genetics* 1984; 65: 300-302.

Lartey A, Manu A, Brown KH, Peerson JM, Dewey KG. A randomised, community-based trial of the effects of improved, centrally processed complementary foods on growth and micronutrient status of Ghanaian infants from 6 to 12 months. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 391-404.

Lemeshow S, Robinson D. Surveys to measure programme coverage and impact: a review of a methodology used by the expanded programme on immunisation. *World Health Statist Quart* 1985; 38: 65-75.

Lind T, Lonnerdal B, Stenlund H *et al.* A community-based randomized controlled trial of iron and zinc supplementation in Indonesian infants: interactions between iron and zinc. *Am J Clin Nutr* 2003; 77: 883-890.

Lönnerdal B, Kelleher S. Iron metabolism in infants and children. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (4): S491-S499.

Lonnerdal B. Iron-zinc-copper interactions. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 3-10.

Lozoff B. Iron deficiency and child development. *Food Nutr Bull* 2007; 28 (4): S560-S571.

Lutter C. Meeting the challenge to improve complementary feeding. *SCN News* 2003; 27: 4-9.

Lutter CK, Rodriguez A, Fuenmayor G, Avila L, Sempertegui F, Escobar J. Growth and micronutrient status in children receiving a fortified complementary food. *J Nutr* 2008; 138: 379-388.

Lynch S. Iron metabolism. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 59-76.

Mamiro PS, Kolsteren PW, Van Camp JH, Roberfroid DA, Tatala S and Opsomer A. Processed complementary food does not improve growth or hemoglobin status of rural Tanzanian infants from 6-12 months of age in Kilosa district, Tanzania. *J Nutr* 2004; 134: 1084-1090.

Martin-Prevel Y. « Soins » et nutrition publique. *Cahiers Sante* 2002; 12: 86-93.

McLean E, Egli I, De Benoist B, Wojdyla D. Worldwide prevalence of anaemia in pre-school aged children, pregnant women and non-pregnant women of reproductive age. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 1-12.

Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 1993. Washington DC, ORC Macro Int, 1993.

Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 1998-1999 (EDS-BF II). Washington DC, ORC Macro Int, 1999.

Measuredhs. Burkina Faso : Enquête Démographique et de Santé 2003-2004 (EDS-BF III). Washington DC, ORC Macro Int, 2004.

Menendez C, Fleming AF, Alonso PL. Malaria-related anaemia. *Parasitol Today* 2000; 16: 469-476.

Mensah P, Tomkins A. Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. *Food Nutr Bull* 2003; 24 (1): 104-124.

MI, UNICEF. Vitamins and minerals deficiencies. A global progress report. Ottawa, The Micronutrient Initiative, 2004.

Miller LH, Baruch DI, Marsh K, Doumbo OK. The pathogenic basis of malaria. *Nature* 2002; 415: 673-679.

Mouquet C, Greffeuille V, Trèche S. Characterization of the consistency of gruels consumed by infants in developing countries: assessment of the Bostwick consistometer and comparison with viscosity measurements and sensory perception. *Int J Food Sci Nutr* 2006; 57 (7/8): 459-469.

Moursi M, Mbemba F, Trèche S. Does the consumption of amylase-containing gruels impact on the energy intake and growth of Congolese infants? *Public Health Nutr* 2003; 6 (3): 249-257.

Müller O, Becher H, Van Zweeden AB *et al.* Effect of zinc supplementation on malaria and other causes of morbidity in West African children: randomised double blind placebo controlled trial. *Br Med J* 2001; 322: 1567-1572.

Muller O, Traore C, Becher H, Kouyate B. Malaria morbidity, treatment-seeking behaviour, and mortality in a cohort of young children in rural Burkina Faso. *Trop Med Int Health* 2003; 8: 290-296.

Muller O, Traoré C, Jahn A, *et al.* Severe anaemia in West African children: malaria or malnutrition? *Lancet* 2003; 361: 86-87.

Müller O, Traoré C, Kouyaté B *et al.* Effects of insecticide-treated bednets during early infancy in an African area of intense malaria transmission: a randomized controlled trial. *Bull World Health Organ* 2006; 84: 120-126.

National Institute of Health, Office of Dietary Supplements. Dietary supplement fact sheet: Iron. Washington DC, NIH, 2007. <http://dietary-supplements.info.nih.gov/factsheets/iron.asp>.

Ndir B, Lognay G, Whatelet B, Cornelius C, Marlier M, Thonart P. Composition chimique du nététu, condiment alimentaire produit par fermentation des graines du caroubier Africain *Parkia biglobosa*. *Biotechnol Agron Soc Environ* 2004; 4: 101-105.

Nestel P, Briend A, De Benoist B *et al.* Complementary food supplements to achieve micronutrient adequacy for infants and young children. *J Paediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 36: 316-328.

Ngnie-Teta I, Receveur O, Kuate-Defo B. Risk factors for moderate to severe anemia among children in Benin and Mali: Insights from a multilevel analysis. *Food Nutr Bull* 2007; 28: 76-89.

Noukpoape A. Etude des pratiques alimentaires et de la valeur nutritionnelle des aliments de complément du jeune enfant en milieu rural au Burkina Faso. Montpellier, Université de Montpellier II, 1997.

Nusseblatt V, Mukasa G, Metzger A, Ndeezi G, Eisinger W, Semba RD. Relationships between carotenoids and anaemia during acute uncomplicated *Plasmodium falciparum* malaria in children. *J Health Pop Nutr* 2002; 20: 205-214.

Nussenblatt V, Semba RD. Micronutrient malnutrition and the pathogenesis of malarial anaemia. *Acta Tropica* 2002; 82: 321-337.

Olivares M, Hertrampf E, Uauy R. Copper and zinc interactions in anaemia: a public health perspective. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 99-109.

Ong'echa JM, Keller CC, Were T *et al*. Parasitemia, anaemia and malarial anaemia in infants and young children in a rural holoendemic *Plasmodium falciparum* transmission area. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 74: 376-385.

Osborn J, Cattaruzza MS. Odds Ratios and Relative Risk for cross-sectional data. *Int J Epidemiol* 2002; 1: 464-465.

Ouédraogo HZ, Dramaix-Wilmet M, Zèba AN, Hennart P, Donnen P. Effect of iron or multiple micronutrient supplements on the prevalence of anaemia among anaemic young children of a malaria-endemic area: a randomized double-blind trial. *Trop Med Int Health* 2008; 13 (10): 1-10

Ouédraogo HZ, Kouanda S, Dramaix M *et al*. Etude de la couverture de la prise en charge de la malnutrition aiguë sévère dans le district sanitaire de Kongoussi. *Science et technique* 2003; 1: 33-40.

Ouédraogo HZ, Nikièma L, Somé I, Sakandé J, Dramaix M, Donnen P. Home-based practices of complementary foods improvement are associated with better height-for-age z-score in 12-23 months-old children from a rural district of Burkina Faso. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 2008; 8: 204-218.

Ouédraogo HZ, Zèba AN, Dramaix-Wilmet M, Donnen P. Severe anaemia due to afebrile *Plasmodium falciparum* infection in children aged 6-23 months from the rural district of Kongoussi, Burkina Faso. *J Trop Pediatr* 2008; doi:10.1093/tropej/fmn049.

Ouedraogo HZ, Savadogo LGB, Kouanda S *et al.* Héméralopie et facteurs non alimentaires dans un groupe d'enfants du district sanitaire de Kongoussi au Burkina Faso. *Science et technique* 2004; 1: 1-7.

Ouédraogo HZ. Analyse complémentaire de la situation nutritionnelle au Burkina Faso. Ouagadougou, Direction de la Nutrition / Banque Mondiale, 2006.

Oumarou H, Ejoh R, Ndjouenkeu R, Tanya A. Nutrient content of complementary foods based on processed and fermented sorghum, groundnut, spinach, and mango. *Food Nutr Bull* 2005; 26 (4): 385-392.

Owino VO, Kasonka LM, Sinkala MM, Wells JK, Eaton S, Darch T *et al.* Fortified complementary foods with or without alpha-amylase treatment increase haemoglobin but do not reduce breastmilk intake of 9-mo-old Zambian infants. *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 1094-103.

Parent G, Zagré NM, Ouédraogo A *et al.* Les grands hydro-aménagements au Burkina Faso contribuent-ils à l'amélioration des situations nutritionnelles des enfants ? Ouagadougou, Textes de communication, colloque international « impact sanitaire et nutritionnel des hydro-aménagements en Afrique », 2000.

Powers HJ. Effects of riboflavin deficiency on the handling of iron. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 36-42.

Prosky 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.

Ramakrishnan U, Aburto N, McCabe G, Martorell R. Multimicronutrient interventions but not vitamin A or iron interventions alone improve child growth : results of 3 meta-analyses. *J Nutr* 2004; 134: 2592-602.

Sawadogo PS, Martin-Prevel Y, Savy M *et al.* An Infant and Child Feeding Index Is Associated with the Nutritional Status of 6- to 23-Month-Old Children in Rural Burkina Faso. *J Nutr* 2006; 136: 656–663.

Sazawal S, Black RE, Ramsan M *et al.* Effects of routine prophylactic supplementation with iron and folic acid on admission to hospital and mortality in preschool children in a high malaria transmission setting: community-based, randomized, placebo-controlled trial. *Lancet* 2006; 367: 133-143.

Schultink W, Gross R. The influence of vitamin A on iron status and possible consequences for micronutrient deficiency alleviation programs. In International Life Sciences Institute eds. *Micronutrients interactions: impact on child health and nutrition*. Washington DC, ILSI press, 1998: pp. 28-35.

Scott JM. Nutritional anaemia: B-vitamins. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 111-132.

Sebahoun G. Erythroïèse. In Sebahoun G, eds. *Hématologie clinique et biologique*. Rueil Malmaison Cedex, Arnette, 1998: pp. 19-28.

Semba RD, Bloem MW. The anaemia of vitamin A deficiency: epidemiology and pathogenesis. *Eur J Clin Nutr* 2002; 5: 271-281.

Semba RD. Sélénium. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 189-197.

Shankar AH, Genton B, Baisor M *et al*. Effect of vitamin A supplementation on morbidity due to *Plasmodium falciparum* in young children in Papua New Guinea: a randomised trial. *Lancet* 1999; 354: 203-209.

Shankar AH, Genton B, Baisor M *et al*. The influence of zinc supplementation on morbidity due to *Plasmodium falciparum*: a randomised study in preschool children in Papua New Guinea. *Am J Trop Med Hyg* 2000; 62: 663-669.

Shankar AH. Nutritional modulation of malaria morbidity and mortality. *J Infect Dis* 2000; 182: S37-S53.

Simpore J, Pignatelli S, Barlati S *et al*. Modification in the frequency of Hb C and Hb S in Burkina Faso: an influence of migratory fluxes and improvement of patients health care. *Hemoglobin* 2002; 26: 113-20.

Smith IF, Eyzaguirre PB, Matig OE, Johns T. Managing biodiversity for food and nutrition security in West Africa: building on indigenous knowledge for more sustainable livelihoods. *SCN News* 2006; 33: 22–26

Smuts CM, Lombard CJ, Benade AJ *et al.* Efficacy of a foodlet-based multiple micronutrient supplement for preventing growth faltering, anaemia, and micronutrient deficiency of infants: the four country IRIS trial pooled data analysis. *J Nutr* 2005; 135: 631-638.

Snow RW, Craig MH, Newton CRJC, Steketee RW. The public health burden of *Plasmodium falciparum* malaria in Africa: Deriving the numbers. Bethesda, Maryland, Working Paper No. 11, Disease Control Priorities Project, Fogarty International Center, National Institutes of Health, 2003.

Stephenson CB. Burden of infection on growth failure. *J Nutr* 1999; 129: 534S-538S.

Stich A, Oster N, Abdel-Aziz IZ *et al.* Malaria in a holoendemic area of Burkina Faso: a cross-sectional study. *Parasitol Res* 2006; 98: 596-599.

Stoltzfus RJ, Chway HM, Montresor A *et al.* Low dose daily iron supplementation improves iron status and appetite but not anemia, whereas quarterly anthelmintic treatment improves growth, appetite and anemia in Zanzibari preschool children. *J Nutr* 2004; 134: 348-356.

Stoltzfus RJ, Chwaya HM, Montresor A, Albonico M, Savioli L, Teilsch JM. Malaria, hookworms and recent fever are related to anaemia and iron status indicators in 0- to 5-y old Zanzibari children and these relationships change with age. *J Nutr* 2000;130: 1724-1733.

Ter Kuile FO, Terlouw DJ, Kariuki SK *et al.* Impact of permethrin-treated bed nets on malaria, anaemia and growth in infants in an area of intense perennial malaria transmission in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 2003; 68: 68-77.

The World Bank. Repositioning nutrition as central to development. A strategy for large-scale action. Washington DC, The World Bank, 2006.

Thiombiano-Coulibaly N, Rocquelin G, Eymard-Duvernay S, Zougmore ON, Traore SA. Effects of early extra fluid and food intake on breastmilk consumption and infant nutritional status at 5 months of age in an urban and a rural area of Burkina Faso. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58: 80-89.

Thu BD, Schultink W, Dillon D, Gross R, Leswara ND, Khoi HH. Effect of daily and weekly micronutrient supplementation on micronutrient deficiencies and growth in young Vietnamese children. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 80-86.

Thurnham DI, Northrop-Clewes C. Infection and the etiology of anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 231-256.

Traber MG, Kamal-Eldin A. Oxidative stress and vitamine E in anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 155-187.

Traore C. Epidemiology of malaria in a holoendemic area of rural Burkina Faso. Heidelberg, University of Heidelberg, 2003.

Traoré T, Mouquet C, Icard-Vernière C, Traoré AS, 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.

Traoré T, Mouquet-Rivier C, Icard-Vernière C, Rochette I, Treche 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). *Int J Food Sci Nutr* 2007; 58: 63-76.

Traoré T, Vieu MC, Traoré SA, Trèche S. 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* 2005; 45: 279-286.

Trape JF. Rapid evaluation of malaria parasite density and standardization of thick smear examination for epidemiological investigations. *Trans Royal Soc Trop Med Hyg* 1985; 79: 181-184.

Trèche S. Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement. In Kolsteren P, Hoérée T, eds. *Proceeding of the international colloquium promoting growth and development of under fives*. Antwerpen, ITG Press, 2002: pp. 132-148.

UN/SCN. 5th report on the world nutrition situation: Nutrition for improved development outcome. Washington DC, ACC/SCN, 2004.

UNICEF. Strategy for improved nutrition of children and women in developing countries. New York, UNICEF policy review, 1990.

United Nations Development Programme. Human Development Report 2006.

<http://www.undp.org>

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: 213-218.

West KP Jr, Gernand AD, Sommer A. Vitamin A in nutritional anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sight and life press, 2007: pp. 133-154.

WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. 2nd edition. Geneva, WHO, 2004.

WHO, UNICEF. Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge. Geneva, WHO, 1998.

WHO, UNICEF. Focusing on anaemia. Towards an integrated approach for effective anaemia control. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Geneva, WHO, 2004.

WHO, UNICEF. World malaria report 2005. Geneva, WHO/UNICEF, 2005.

WHO. Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.

WHO. Conclusions and recommendations of the WHO consultation on prevention and control of iron deficiency in infants and young children in malaria-endemic areas. *Food Nutr Bull* 2007; 28: S621-S627.

WHO. Global strategy for infant and young child feeding practices. Geneva, WHO, 2003.

WHO. Iron Deficiency Anaemia. Assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. Geneva, WHO, 2001.

WHO. Iron supplementation of young children in regions where malaria transmission is intense and infectious diseases highly prevalent. Geneva, WHO/CAH/NTD/NHD/RBM, 2004.

WHO. Lessons learned in home management of malaria. Implementation research in four African countries. Geneva, WHO, 2007.

WHO. New perspectives in malaria diagnosis. Geneva, WHO, 2000.

WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. *WHO Techn Rep Ser* 1995; 854: 1-459.

WHO. Report of informal meeting to review and develop indicators for complementary feeding. Geneva: WHO / DCAHD, 2002.

WHO. Report of the WHO informal consultation on the use of Praziquantel in pregnancy/lactation and Albendazole/Mebendazole in children under 24 months. Geneva, WHO, 2002.

WHO. Scaling up of home-based management of malaria: from research to implementation. Geneva, WHO, 2004.

Wieringa FT, Berger J, Dijkhuizen M *et al.* Combined iron and zinc supplementation in infants improved iron and zinc status, but interactions reduced efficacy in a multicountry trial in Southeast Asia. *J Nutr* 2007; 137: 466-471.

Zagre N, Delisle H, Tarini A. Evolution des apports en vitamine A à la suite de la promotion d'huile de palme rouge chez les enfants et les femmes au Burkina Faso. *Cahiers Santé* 2000; 12: 38-44.

Zimmermann MB. Interactions between iron and vitamin A, riboflavin, copper, and zinc in the aetiology of anaemia. In Kraemer K, Zimmermann MB. *Nutritional anaemia*. Basel, Sigh and life press, 2007: pp. 199-213.

Zotor FB, Amma P. The food multimix concept: new innovative approach to meeting nutritional challenges in Sub-Saharan Africa. *Proc Nutr Soc* 2008; 67: 98-104.

8. Annexes

8.1. Annexes A: Vitamines, minéraux et oligo-éléments d'intérêt nutritionnel

Annexe A1: Vitamines liposolubles : rôles, signes de carence et sources alimentaires.

Vitamines	Rôles	Signes de carence	Sources alimentaires
Vitamine A (Rétinol)	Facteur de croissance et de renouvellement des cellules de la peau et des muqueuses, Vision, Protection contre les infections, Formation de certaines hormones	Xérophtalmie	Fruits et légumes à chair orangée (courge, carotte, patate à chair orange, papaye, mangue, pulpe de néré), Feuilles vertes, Foie, jaune d'œuf, lait enrichi, petit poisson entier
Vitamine D (Calciférol)	Facilite l'absorption du calcium Facilite la fixation du calcium au niveau des os et des dents	Rachitisme (enfant) Ostéomalacie (adulte)	Fabrication endogène au niveau de la peau sous exposition aux rayons UV du soleil Précurseur (ergostérol) retrouvé dans les céréales et l'huile de foie de poisson
Vitamine E (Tocophérol)	Propriétés hypocholestérolémiantes et cardioprotectrices, Améliore la fertilité, Propriétés anti oxydantes (protection des globules rouges et contre les cancers)	Anémie hémolytique (rare), Troubles neurologiques (rares)	Huiles végétales (arachide, soja), Germe de céréales (maïs et blé), noix de coco, légumes verts, graines oléagineuses
Vitamine K (Phylloquinone ou Phytoménadione)	Nécessaire à la formation par le foie des facteurs II, VII, IX et X de la coagulation du sang	Hémorragies	Légumes (épinards, chou), foie, lait, œuf, farines de poisson

Annexe A2 : Vitamines hydrosolubles : rôles, signes de carence et sources alimentaires.

Vitamines	Rôles	Signes de carence	Sources alimentaires
Vitamine B1 (Thiamine ou Aneurine)	Métabolisme des glucides, Fonctionnement du système nerveux	Béri Béri, Troubles neuro-psychiques	Levure (de bière, de boulanger), pois et haricots secs, lentilles
Vitamine B2 (Riboflavine)	Dégradation et utilisation des protéines pour la production d'énergie	Ariboflavinose (lésions de la peau, des muqueuses et des yeux)	Levure de bière, foie, germes de céréales (soja et blé), fruits secs
Vitamine B3 ou PP (Niacine)	Précurseur d'enzymes nécessaires au métabolisme des protéines, glucides et lipides	Pellagre (troubles cutanés, puis digestifs et psychiques)	Endogène à partir du tryptophane Exogène : levure de bière, foie, cacahuètes, germes de céréales, fruits secs
Vitamine B5 (Acide pantothénique)	Coenzyme A : métabolisme des protéines, glucides et lipides	Rare	Levure de bière, jaune d'œuf, foie, germes de céréales, fruits et légumes secs
Vitamine B6 (Pyridoxine)	Indispensable à l'action de nombreuses enzymes du métabolisme des protéines et des acides aminés	Anémie, Troubles cutanés, neurologiques	Levure de bière, jaune d'œuf, foie, germes de céréales, fruits et légumes secs, avocats
Vitamine B8 ou H (Biotine)	Coenzyme du métabolisme des protéines, glucides et lipides	Troubles digestifs, cutanés, neurologiques	Levure de bière, foie, œuf entier, lentilles, épinards, haricots verts, banane
Vitamine B9 ou Bc (Acide folique ou acide ptéroyl glutamique)	Croissance et division cellulaire	Anémie	Levure de bière, haricots, germes de blé, foie, lentilles, épinards, salade, chou, oranges, courgettes, banane
Vitamine B12 (Cyanocobalamine)	Maturation des globules rouges Intégrité du système nerveux	Anémie, Glossite, Atteinte neurologique	Uniquement d'origine animale : abats, viande de bœuf, œuf entier
Vitamine C (Acide ascorbique)	Réactions d'oxydoréduction, Métabolisme de plusieurs constituants de l'organisme	Scorbut (fatigue, hémorragies des gencives et de la peau)	Fruits : pain de singe, jujube, citron, orange, goyave, mangue

Annexe A3 : Principaux sels minéraux et oligo-éléments : rôles, signes de carence et sources alimentaires.

Oligo-éléments	Rôles	Signes de carence	Sources alimentaires
Fer	Constituant de l'hémoglobine, de la myoglobine et d'enzymes d'oxydoréduction	Anémie ferriprive	Viande rouge, foie, légumes et fruits secs, graine de néré, épinards, feuille de baobab
Iode	Constitution des hormones thyroïdiennes	Goitre endémique	Sel iodé, grain de soja, farines de poisson, haricots verts, ail
Zinc	Constituant de nombreux enzymes, Synthèse des protéines	Retard de croissance, Troubles cutanés	Viandes et abats, poissons, coquillages, jaune d'œuf, ail, oignon
Cuivre	Synthèse des protéines, Absorption du fer, Formation des globules rouges	Anémie (rare)	Foie, coquillages, légumes secs, viandes, poissons, cacao
Calcium	Constituant des os et des dents, Fonctionnement des nerfs et muscles, Coagulation sanguine	Hypocalcémie (troubles neuromusculaires), Rachitisme ou ostéomalacie	Laits et produits laitiers, feuilles vertes, légumineuses
Phosphore	Constitution des os	Rare	Cacao, jaune d'œuf, légumes secs, fruits secs, viandes et poissons
Sodium	Hydratation des cellules, Equilibre acido-basique	Rare	Sel, viandes et poissons fumés
Potassium	Perméabilité des membranes cellulaires, Utilisation des protéines et glucides	Hypokaliémies	Levure de bière, cacao, légumes secs, fruits secs, avocats, cacahuètes
Magnésium	Transmission nerveuse, Formation des anticorps	Hypomagnésémie	Cacao, germes de blé, fruits secs, cacahuètes, haricots

Annexe A4 : Besoins quotidiens recommandés en micronutriments

	Age de l'enfant		
	0-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Vitamine A (Rétinol), µg ER	375	400	400
Vitamine D (Calciférol), µg	5	5	5
Vitamine E (Tocophérol), µg α-TE	2,7	2,7	5,0
Vitamine K (Phylloquinone ou Phytoménadione), µg	5	10	15
Vitamine B1 (Thiamine ou Aneurine), mg	0,2	0,3	0,5
Vitamine B2 (Riboflavine), mg	0,3	0,4	0,5
Vitamine B3 ou PP (Niacine), mg NE	2	4	6
Vitamine B5 (Acide pantothénique), mg	1,7	1,8	2
Vitamine B6 (Pyridoxine), mg	0,1	0,3	0,5
Vitamine B8 ou H (Biotine), µg	5	6	8
Vitamine B9 (Acide folique ou acide ptéroyl glutamique), µg	80	80	150
Vitamine B12 (Cyanocobalamine), µg	0,4	0,7	0,9
Vitamine C (Acide ascorbique), mg	25	30	30
Fer, mg			
Biodisponibilité de 15%	0	6,2	3,9
Biodisponibilité de 12%	0	7,7	4,8
Biodisponibilité de 10%	0	9,3	5,8
Biodisponibilité de 5%	0	18,6	11,6
Iode, µg	90	90	90
Zinc, mg			
Biodisponibilité élevée	1,1	0,8-2,5	2,4
Biodisponibilité modérée	2,8	4,1	4,1
Biodisponibilité faible	6,6	8,4	8,3
Calcium (mg)	300-400	400	500
Magnésium (mg)	26-36	54	60
Sélénium (µg)	6	10	17

8.2. Annexes B : Données sur la situation nutritionnelle au Burkina Faso

Annexe B1 : Pratiques d'alimentation du nourrisson et conséquences nutritionnelles.

Auteur / Institution :	SAWADOGO P. / IRD
Description :	
Objectif	Décrire l'alimentation de toutes les catégories d'âge de la population dans la province de la Gnagna, et identifier les problèmes nutritionnels qui y sont potentiellement associés
Lieu	District de Bogandé
Période	Janvier-Mars 2002
Population	0-59 mois
Echantillonnage	Sondage en grappes
Nombre de sujets	3058
Indicateur	ZTPA, ZPPA, ZTPA
Résultats	<p>Malnutrition (%)</p> <ul style="list-style-type: none">- RC : 43- IP : 46- EM : 13 <p>Allaitement chez les moins de 4 mois (%)</p> <ul style="list-style-type: none">- Exclusif : 21- Prédominant : 67 <p>Introduction de l'alimentation de complément</p> <ul style="list-style-type: none">- Age médian (en mois)<ul style="list-style-type: none">o Bouillies : 8,6o Plat familial : 11,1o Tout type : 9,5- Nombre de prises ≥ 3 (dernières 24 h)<ul style="list-style-type: none">o 6-9 mois : 49o 9-12 mois : 57o 12-18 mois : 68- Composition<ul style="list-style-type: none">o Céréales : mil (55%), Sorgho (39%), riz (4,8%)o Autres : poisson (19,8%), saccharose (15,5%), arachide (7,9), ...
Référence :	Sawadogo PS, Martin-Prevel Y, Savy M, Kameli Y, Traissac P, Traore AS, et al. 2006. An infant and child feeding index is associated with the nutritional status of 6- to 23-month-old children in rural Burkina Faso. <i>J Nutr</i> 136: 56-63.

Annexe B2 : La vulnérabilité structurelle à la sécurité alimentaire en milieu rural (Burkina Faso).

Auteur / Institution :	PAM
Description :	
Objectif	Cerner les déterminants de la vulnérabilité structurelle des ménages.
Lieu	23 provinces « vulnérables »
Période	Mai-Juin 2004
Population	Enfants de 0-59 mois
Echantillonnage	Sondage en grappes à deux degrés : premièrement tirage systématique des villages par province, deuxièmement tirage aléatoire stratifié des ménages par village (ménages à fort potentiel de production, ménage à faible potentiel de production, ménages non agricoles).
Indicateurs	Z scores PPT, TPA, PPA
Résultats	Prévalence (%) : Émaciation (12,3) ; Retard de croissance : (44,6) Morbidité (2 semaines précédentes, en %) : Diarrhée : (36) ; Fièvre : (21,2) Causes et effets explicatifs de la malnutrition <ul style="list-style-type: none">- Composition de la diète (nombre de fois les dernières 24 h) : les enfants qui souffrent d'émaciation mangent plus souvent de la bouillie de céréales ((1,23 vs 0,84 fois) mais moins de protéines animales (0,69 vs 0,82 fois) et de protéines végétales (0,36 vs 0,31), que les enfants non émaciés.- Le niveau d'instruction de la mère : les enfants dont la mère ont un niveau secondaire présentent moins souvent d'émaciation (3,8%), que ceux de mère ayant un niveau primaire (9%), ou non instruites (14,2%)- La morbidité : la proportion d'enfants ayant présenté une maladie les deux semaines précédant l'enquête était de 75,3% chez les enfants émaciés contre 52,1% chez les enfants non émaciés- Source d'eau de boisson : les enfants émaciés boivent plus l'eau d'une source non protégée que les enfants non émaciés. Vulnérabilité alimentaire et composition de la diète des ménages (nombre de fois les deux semaines précédentes) : <ul style="list-style-type: none">- Céréales : très vulnérable (3,0) ; non vulnérable (2,9)- Légumes et fruits : très vulnérable (0,6) ; non vulnérable (0,9)- Protéines animales : très vulnérable (0,8) ; non vulnérable (1,2)- Protéines végétales : très vulnérable (0,8) ; non vulnérable (0,8)
Référence :	PAM-BURKINA FASO. La vulnérabilité structurelle à la sécurité alimentaire au Burkina Faso. Ouagadougou 2004; 37p.

Annexe B3: Hydro-aménagements et situations nutritionnelles des enfants.

Auteur / Institution :	PARENT G. / IRD
Description :	
Objectif	Rassembler des données aussi bien environnementales que démographiques, sanitaires, comportementales, sociologiques ou économiques
Lieu	Districts de Tenkodogo (barrage de Bagré) et de Tougan (vallée du Sourou)
Période	Bagré : 1994-1995 Sourou : 1999
Population	Enfants de 0-59 mois
Echantillonnage	Bagré : 3 strates (Amont, Aval, Témoin) Sourou : 4 strates (Récent, Ancien, Autochtone, Témoin)
Nombre de sujets	Bagré : 2833 Sourou : 1170
Mesure du statut nutritionnel	Malnutrition : ZTPA, ZPPA, ZPPT Anémie : Taux d'hémoglobine par colorimétrie (technique de Drabkin)
Résultats	Malnutrition (%) <ul style="list-style-type: none">- Bagré<ul style="list-style-type: none">o RC : 38,0 ± 1,8o IP : 36,6 ± 1,6o EM : 12,3 ± 1,2- Sourou<ul style="list-style-type: none">o RC : 26,4 ± 2,0o IP : 33,3 ± 2,0o EM : 13,3 ± 1,6 Anémie en % (Taux d'hémoglobine < 110 mg/L) <ul style="list-style-type: none">- Bagré : 88,8- Sourou : 88,4
Référence :	PARENT G, ZAGRE NM, OUEDRAOGO A, BEAL C, KAMBIRE R, COMPAORE IP, GUIGUEMDE R. Les grands hydro-aménagements au Burkina Faso contribuent-ils à l'amélioration des situations nutritionnelles des enfants ? Ouagadougou 2000, Textes de communication, colloque international « impacts sanitaire et nutritionnel des hydro-aménagements en Afrique ».

Annexe B4 : Enquête sur la santé scolaire dans la zone de Kayao.

Auteur / Institution :	Save the Children-US/FDC
Description :	
Objectif	Evaluer l'état sanitaire, nutritionnel et les performances académiques des enfants scolarisés des écoles formelles et des écoles communautaires.
Lieu	Département de Kayao, province du Bazèga
Population	Enfants scolarisés
Echantillonnage	Tirage au hasard dans chaque école du nombre requis par école, au prorata du nombre de filles et de garçons
Nombre de sujets	21 écoles, 376 écoliers de 5-16 ans
Indicateurs	Z scores PPT, TPA, PPA (pour la malnutrition), HemoCue (pour l'anémie), Clinique (pour le goitre), Kit test MBI KITS (pour la teneur en iode du sel de cuisine) ; Examen de selles par la méthode de Kato-Katz (pour les vers intestinaux), Examen des urines (pour la bilharziose urinaire)
Résultats	Prévalence de la malnutrition (%) : <ul style="list-style-type: none">- Émaciation : 2,0- Retard de croissance : 16,9 Carence en iode <ul style="list-style-type: none">- Goitre (total) : 31,3%- Teneur en iode du sel de cuisine (≥ 25 ppm) : 44,7% Avitaminose A <ul style="list-style-type: none">- Cécité nocturne : 0,3%- Tâches de Bitot : 0,0% Anémie <ul style="list-style-type: none">- Légère : 62,5%- Modérée à sévère : 0,0% Infections parasitaires <ul style="list-style-type: none">- Bilharzioses urinaires : 22,3%- Vers intestinaux : Ankylostomes (71,8%) ; Ascaris (0,0%) ; Hymenolepis nana (5,6) ; Shistosoma Mansoni (1,9%).
Référence :	FDC/BF. Enquête de base sur la santé scolaire dans la zone de Kayao, province du Bazèga. Ouagadougou 2002 ; 58p.

Annexe B5 : Enquête sur les conditions de vie des ménages.

Auteur / Institution :	INSD																																																																														
Description :																																																																															
Objectif	Evaluer l'état nutritionnel des enfants																																																																														
Lieu	National																																																																														
Période	10 Mai – 15 Juillet																																																																														
Population	Enfants de 0-4 ans																																																																														
Echantillonnage	Stratification selon la région et le milieu de résidence (20 sous ensembles indépendants), sélection des zones de dénombrement dans chaque sous ensemble, sélection de 20 ménages dans chaque zone de dénombrement																																																																														
Indicateurs	ZPPT, ZTPA, ZPPA																																																																														
Résultats	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Emaciation</th> <th>Retard de croissance</th> <th>Insuffisance pondérale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ensemble</td> <td>19,0</td> <td>44,5</td> <td>44,2</td> </tr> <tr> <td>Milieu de résidence</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Urbain</td> <td>18,7</td> <td>29,7</td> <td>27,0</td> </tr> <tr> <td> Rural</td> <td>19,1</td> <td>46,8</td> <td>44,5</td> </tr> <tr> <td>Région</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> Boucle du Mouhoun</td> <td>17,4</td> <td>39,4</td> <td>41,0</td> </tr> <tr> <td> Centre</td> <td>21,8</td> <td>31,7</td> <td>31,9</td> </tr> <tr> <td> Centre Sud</td> <td>18,1</td> <td>50,6</td> <td>45,5</td> </tr> <tr> <td> Plateau Central</td> <td>14,1</td> <td>52,2</td> <td>47,0</td> </tr> <tr> <td> Centre Est</td> <td>30,9</td> <td>41,4</td> <td>52,2</td> </tr> <tr> <td> Centre Nord</td> <td>15,5</td> <td>39,6</td> <td>36,8</td> </tr> <tr> <td> Centre Ouest</td> <td>15,4</td> <td>44,7</td> <td>38,0</td> </tr> <tr> <td> Est</td> <td>25,2</td> <td>59,9</td> <td>56,1</td> </tr> <tr> <td> Nord</td> <td>22,1</td> <td>46,1</td> <td>43,5</td> </tr> <tr> <td> Cascades</td> <td>14,2</td> <td>48,9</td> <td>34,8</td> </tr> <tr> <td> Hauts Bassins</td> <td>14,7</td> <td>38,8</td> <td>36,4</td> </tr> <tr> <td> Sahel</td> <td>19,6</td> <td>50,0</td> <td>45,7</td> </tr> <tr> <td> Sud Ouest</td> <td>10,4</td> <td>45,6</td> <td>34,4</td> </tr> </tbody> </table>				Emaciation	Retard de croissance	Insuffisance pondérale	Ensemble	19,0	44,5	44,2	Milieu de résidence				Urbain	18,7	29,7	27,0	Rural	19,1	46,8	44,5	Région				Boucle du Mouhoun	17,4	39,4	41,0	Centre	21,8	31,7	31,9	Centre Sud	18,1	50,6	45,5	Plateau Central	14,1	52,2	47,0	Centre Est	30,9	41,4	52,2	Centre Nord	15,5	39,6	36,8	Centre Ouest	15,4	44,7	38,0	Est	25,2	59,9	56,1	Nord	22,1	46,1	43,5	Cascades	14,2	48,9	34,8	Hauts Bassins	14,7	38,8	36,4	Sahel	19,6	50,0	45,7	Sud Ouest	10,4	45,6	34,4
	Emaciation	Retard de croissance	Insuffisance pondérale																																																																												
Ensemble	19,0	44,5	44,2																																																																												
Milieu de résidence																																																																															
Urbain	18,7	29,7	27,0																																																																												
Rural	19,1	46,8	44,5																																																																												
Région																																																																															
Boucle du Mouhoun	17,4	39,4	41,0																																																																												
Centre	21,8	31,7	31,9																																																																												
Centre Sud	18,1	50,6	45,5																																																																												
Plateau Central	14,1	52,2	47,0																																																																												
Centre Est	30,9	41,4	52,2																																																																												
Centre Nord	15,5	39,6	36,8																																																																												
Centre Ouest	15,4	44,7	38,0																																																																												
Est	25,2	59,9	56,1																																																																												
Nord	22,1	46,1	43,5																																																																												
Cascades	14,2	48,9	34,8																																																																												
Hauts Bassins	14,7	38,8	36,4																																																																												
Sahel	19,6	50,0	45,7																																																																												
Sud Ouest	10,4	45,6	34,4																																																																												
Référence :	INSD. Analyse des résultats de l'enquête Burkinabé sur les conditions de vie des ménages. Rapport final. Ouagadougou 2003 : 223p.																																																																														

Annexe B6 : Héméralopie et facteurs non alimentaires chez les enfants du district sanitaire de Kongoussi.

Auteur / Institution :	OUEDRAOGO HZ / IRSS																																																																																															
Description :																																																																																																
Objectif	Déterminer la prévalence de la cécité nocturne, Identifier les facteurs associés à la cécité nocturne.																																																																																															
Lieu	District sanitaire de Kongoussi.																																																																																															
Période	Mars - Mai 1999																																																																																															
Population	Enfants de 2-14 ans																																																																																															
Echantillonnage	Villages de Plan-Burkina																																																																																															
Nombre de sujets	3597 enfants de 2-14 ans																																																																																															
Indicateurs	Cécité nocturne pour la carence en vitamine A, examen parasitologique des selles et des urines, anthropométrie (pour la malnutrition), Examen clinique pour le goitre et la splénomégalie																																																																																															
Résultats	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Age (ans)</th> <th colspan="2">Malnutrition</th> <th colspan="2">Parasitose</th> <th colspan="2">Goitre</th> <th colspan="2">Splénomégalie</th> </tr> <tr> <th colspan="2">globale</th> <th colspan="2">intestinale</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>%</th> <th>n</th> <th>%</th> <th>n</th> <th>%</th> <th>n</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 - 3</td> <td>69</td> <td>30,4</td> <td>70</td> <td>18,6</td> <td>70</td> <td>0,0</td> <td>70</td> <td>12,9</td> </tr> <tr> <td>4 - 5</td> <td>204</td> <td>28,9</td> <td>210</td> <td>26,2</td> <td>210</td> <td>5,2</td> <td>210</td> <td>21,0</td> </tr> <tr> <td>6 - 7</td> <td>443</td> <td>23,5</td> <td>448</td> <td>26,1</td> <td>446</td> <td>7,8</td> <td>446</td> <td>15,2</td> </tr> <tr> <td>8 - 9</td> <td>748</td> <td>29,3</td> <td>747</td> <td>30,0</td> <td>749</td> <td>15,1</td> <td>749</td> <td>11,2</td> </tr> <tr> <td>10 - 11</td> <td>954</td> <td>29,1</td> <td>951</td> <td>31,8</td> <td>954</td> <td>17,3</td> <td>954</td> <td>8,5</td> </tr> <tr> <td>12 - 14</td> <td>1164</td> <td>41,2</td> <td>1157</td> <td>35,3</td> <td>1163</td> <td>19,8</td> <td>1164</td> <td>6,0</td> </tr> <tr> <td>Ensemble</td> <td>3582</td> <td>32,3</td> <td>3583</td> <td>31,2</td> <td>3582</td> <td>15,4</td> <td>3593</td> <td>9,9</td> </tr> </tbody> </table>								Age (ans)	Malnutrition		Parasitose		Goitre		Splénomégalie		globale		intestinale						n	%	n	%	n	%	n	%	2 - 3	69	30,4	70	18,6	70	0,0	70	12,9	4 - 5	204	28,9	210	26,2	210	5,2	210	21,0	6 - 7	443	23,5	448	26,1	446	7,8	446	15,2	8 - 9	748	29,3	747	30,0	749	15,1	749	11,2	10 - 11	954	29,1	951	31,8	954	17,3	954	8,5	12 - 14	1164	41,2	1157	35,3	1163	19,8	1164	6,0	Ensemble	3582	32,3	3583	31,2	3582	15,4	3593	9,9
Age (ans)	Malnutrition		Parasitose		Goitre		Splénomégalie																																																																																									
	globale		intestinale																																																																																													
	n	%	n	%	n	%	n	%																																																																																								
2 - 3	69	30,4	70	18,6	70	0,0	70	12,9																																																																																								
4 - 5	204	28,9	210	26,2	210	5,2	210	21,0																																																																																								
6 - 7	443	23,5	448	26,1	446	7,8	446	15,2																																																																																								
8 - 9	748	29,3	747	30,0	749	15,1	749	11,2																																																																																								
10 - 11	954	29,1	951	31,8	954	17,3	954	8,5																																																																																								
12 - 14	1164	41,2	1157	35,3	1163	19,8	1164	6,0																																																																																								
Ensemble	3582	32,3	3583	31,2	3582	15,4	3593	9,9																																																																																								
	Bilharziose urinaire : 19,7%																																																																																															
	Cécité nocturne																																																																																															
	<ul style="list-style-type: none"> - Prévalence <ul style="list-style-type: none"> o Enfants de 2-6 ans : 1,4% o Enfants de 2-14 ans : 2,4% - Facteurs associés : <ul style="list-style-type: none"> o Ascarirose : 4,01 [2,06-7,80] o Amibiase : 1,88 [1,06-3,35] o Teniase : 2,54 [1,21-5,30] o Autres parasitoses : 2,59 [1,08-6,22] o Splénomégalie : 3,04 [1,79-5,19] 																																																																																															
Référence :	OUEDRAOGO HZ, SAVADOGO LGB, KOUANDA S, DRAMAIX M, SONDO B, HENNART P, DONNEN P. Héméralopie et facteurs non alimentaires dans un groupe d'enfants du district sanitaire de Kongoussi au Burkina Faso. <i>Science et technique</i> 2004 ; 1 : 27-35.																																																																																															

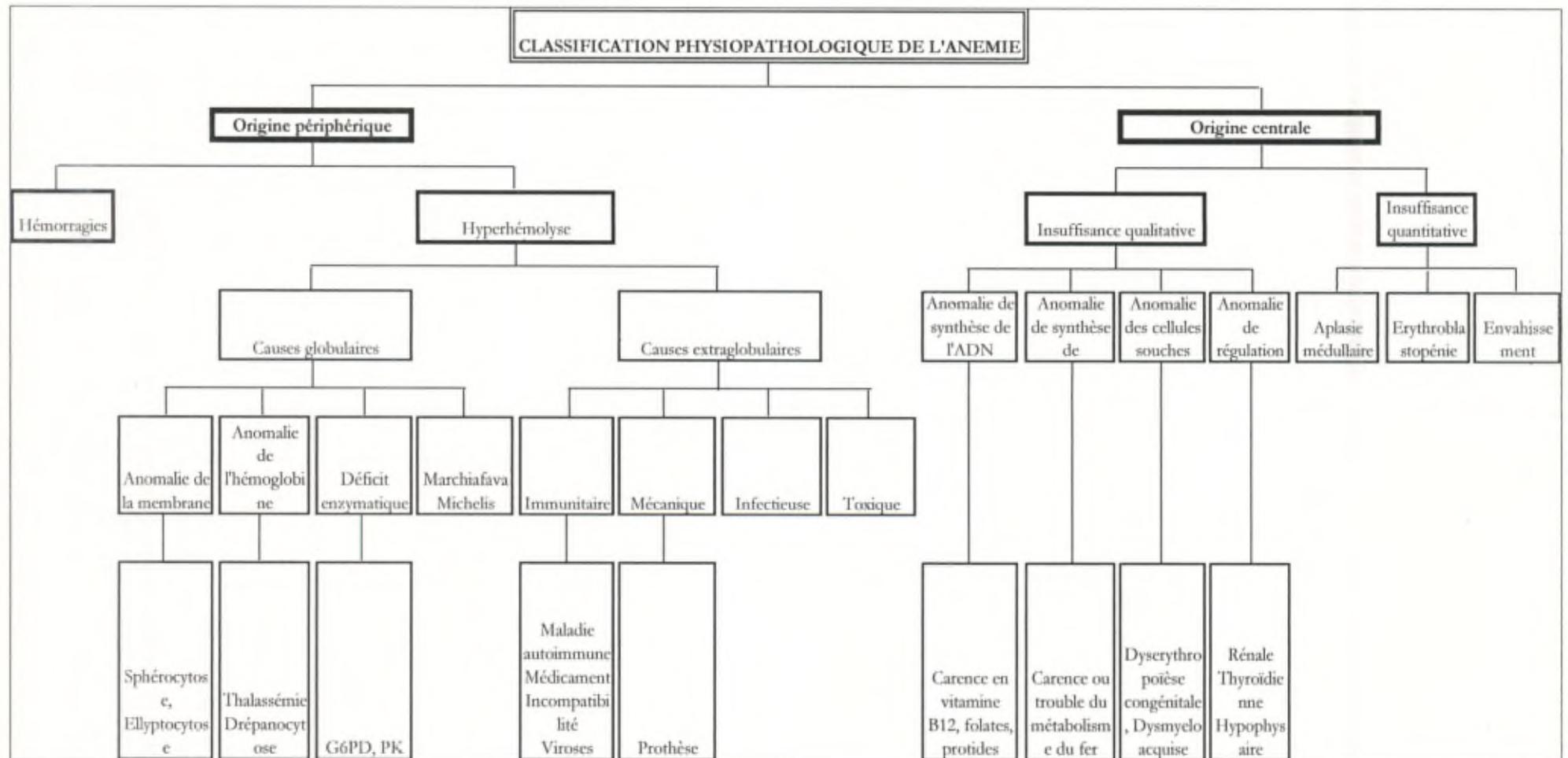
Annexe B7 : Volet nutritionnel des Journées Nationales de Vaccination (JNV).

Auteur / Institution :	Centre National pour la Nutrition
Description :	
Objectif des JNV	Prévenir et contrôler la carence en vitamine A ;
Lieu	National
Période	1998- (une fois par an en Novembre – Décembre)
Type d'intervention	Supplémentation en vitamine A
Résultats	Couverture en vitamine A des enfants de 6-59 mois : <ul style="list-style-type: none">- 1998 : 97%- 1999 : 99%- 2000 : 117%- 2001 : 110%- 2002 : 107%- 2003 : 108%
Observations	<p>Les JNV rapportent une couverture dépassant 100% à partir de 2000. Ceci pourrait s'expliquer soit par le fait que soit le numérateur inclut des enfants à qui l'administration a été faite et qui ne font pas partie de la catégorie d'âge, soit que la population cible au dénominateur a été sous-estimée ;</p> <p>Une enquête en population, parallèle aux données des rapports des JNV, a rapporté en 2000 une couverture de 94%.</p>
Partenariat	CNN, UNICEF, HKI, OMS, Plan, SCF/Pays Bas
Référence :	DPV/MS. Rapports des Journées Nationales de Vaccination.

Annexe B8 : Journées Nationales Micronutriments (JNM).

Auteur / Institution :	HKI
Description :	
Objectif	<ul style="list-style-type: none">- Administrer une dose de vitamine A à au moins 80% des enfants de 6-59 mois ;- Administrer une dose préventive de vitamine A à au moins 80% des femmes en post partum ;- Fournir au maximum de femmes enceintes trois mois de suppléments de fer/folate pendant le second et le troisième trimestre de la grossesse- Administrer du lipiodol aux femmes en âge de procréer dans les districts sanitaires disposant d'un reliquat en lipiodol- Promouvoir la consommation des aliments riches en vitamine A et en fer ainsi que la consommation de sel iodé à travers des activités d'IEC.
Lieu	Régions sanitaires de Fada, Dédougou, Kaya, Tenkodogo, Dori, Ouahigouya, Koudougou, Banfora, Ouagadougou.
Période	Années 2001, 2002, 2003 (un passage par an en Juin Juillet)
Type d'intervention	<ul style="list-style-type: none">- Supplémentation en micronutriments- Education nutritionnelle
Type d'évaluation	Avant/après
Résultats	Couverture en vitamine A des enfants de 6-59 mois : <ul style="list-style-type: none">- 2001 : 75%- 2002 : 69%- 2003 : 80,5%
Observations	<p>Les JNM permettent de délivrer une deuxième dose de vitamine A après celle des JNV, en vue d'assurer la couverture recommandée de 2 à 3 doses par an tous les 4 à 6 mois chez les enfants de 6 mois-5 ans.</p> <p>Les JNM sont conçues pour couvrir l'ensemble du pays, mais dans la réalité n'ont pas toujours atteint toutes les régions.</p>
Partenariat	CNN, UNICEF, HKI, OMS, Plan, SCF/Pays Bas, SCF/Etats Unis
Référence :	HKI. Les journées nationales Micro-nutriments (JNM) au Burkina Faso. Bulletin HKI N°024, Janvier 2004 : 4p.

8.3. Annexe C : Classification physiopathologique de l'anémie



8.4. Annexes D : Outils de collecte des données

Annexe D1 : Questionnaire

Etude d'efficacité de la supplémentation en micronutriments sur l'anémie des enfants de 6-23 mois dans le district de Kongoussi.

Village : _____

N° Enfant : [_____]

Date de l'interview : ____/____/____

A – CARACTERISTIQUES DE L'ENFANT

Date de naissance : ____/____/____/

Sexe : M ; F

Poids à la naissance : [_____] g

Taille de la fratrie utérine : [_____]

Rang de l'enfant : [_____]

B – CARACTERISTIQUES DU MENAGE

1. Nombre de personnes : [_____]

Hommes > 15 ans : [_____]

femmes > 15 ans : [_____]

Enfants de moins d'1 an : [_____]

enfants 1-4 ans : [_____]

2. Age de la mère : [_____] ans

3. Niveau d'instruction de la mère : pas été scolarisée ; primaire ; 1^{er} cycle ; 2^{ème} cycle ; supérieur

4. Profession principale de la mère : _____

La mère a-t-elle une activité génératrice de revenu ? oui ; non

Si oui, quel genre de travail fait-elle ? artisanat ; maraîchage ; élevage ; tissage ; coiffure ; orpaillage ; commerce ; servante/employée domestique ; autre _____

5. Age du père : [_____] ans

6. Niveau d'instruction du père : pas été scolarisé ; primaire ; premier cycle ; second cycle ; supérieur

7. Profession principale du père : _____

Le père a-t-il une activité génératrice de revenu ? oui ; non

Si oui, quel genre de travail fait-il ? artisanat ; maraîchage ; élevage ; tissage ; coiffure ; orpaillage ; commerce ; servante/employée domestique ; autre _____

C – NIVEAU SOCIO ECONOMIQUE

1. Habitat (du chef de ménage) :

Type : bâtiment : banco ; dur

toit : en paille ; en tôle ; en bois damé

propriétaire du bâtiment ? oui ; non

Equipement : électricité [___] ; eau courante [___] (noter 1 = oui, 0 = non)

2. Possessions dans le ménage (mère ou père) :

- Un élevage de moutons/chèvre : oui ; non si oui : combien : [___]
- Un élevage de bœufs : oui ; non si oui : combien : [___]
- Une charrue : oui ; non si oui : type de traction : âne ; bœufs ; cheval/chameau
- Un moyen de déplacement : non ; oui si oui : vélo ; cyclomoteur ; motocyclette ; charrette ; voiture ; autre ; préciser autre : _____
- Un poste radio ; téléviseur ; réfrigérateur ; réchaud ; cuisinière
- Source principale d'eau de boisson : robinet ; forage ; puits moderne ; puits traditionnel ; marigot
- Possédez-vous des latrines : non ; oui si oui : dans la cour ; à l'intérieur de la maison

D - SOINS DE L'ENFANT

1. L'enfant est-il allaité actuellement ? oui ; non

si oui, indiquez le nombre de tétées des dernières 24 heures : [_____]

2. L'enfant reçoit-il des aliments de complément ? oui ; non

si oui, indiquez le nombre de repas au cours des dernières 24 heures : [_____]

3. Statut vaccinal : Polio 0 ; BCG ; DTCP1 ; DTCP2 ; DTCP3 ; Rouvax ;

Anti-Amaril ; Méningo A+C ; Autres

4. L'enfant a-t-il reçu de la vitamine A au cours des 6 derniers mois ? oui ; non ; nsp

5. L'enfant a-t-il reçu du fer au cours des 3 derniers mois ? oui ; non ; nsp

6. L'enfant a-t-il reçu un anthelminthique au cours des 3 derniers mois ? oui ; non ; nsp

7. L'enfant a-t-il reçu un antipaludéen au cours des 3 derniers mois ? oui ; non ; nsp

8. L'enfant a-t-il été malade au cours des deux dernières semaines ? oui ; non ; nsp

Si oui a-t-il souffert des signes suivants : diarrhée ; fièvre ; toux

**Etude d'efficacité de la supplémentation en micronutriments sur l'anémie des enfants de 6-23
mois dans le district de Kongoussi**

FICHE D'EXAMEN

Village : _____

N° Enfant : [_____]

Date : ____/____/____

MERE

1. Enceinte : oui ; non
2. Examen des conjonctives : colorées ; peu colorées ; pâles ; très pâles
3. Fièvre : déclarée ; non déclarée Température (au thermomètre) : [____],[____] °C
4. Recherche de goitre : absence ; présence Si présence de goitre : type : [_____]
5. Anthropométrie : Poids : [____],[____] kg ; Taille : [____],[____] m ; Tour de bras : [____] mm
6. Biologie
Taux d'hémoglobine : [____],[____] g/dL
Goutte épaisse : négative ; positive ; densité : [_____] /ml
7. Test du sel de cuisine : adéquatement iodé ; faiblement iodé ; non iodé non testé

ENFANT

1. Examen des conjonctives : colorées ; peu colorées ; pâles ; très pâles
2. Fièvre : déclarée ; non déclarée Température (au thermomètre) : [____],[____]°C
3. Recherche de splénomégalie : présence ; absence Si présence, type : [_____]
4. Anthropométrie
Poids : [____],[____] kg Tour de bras : [____] mm
Taille : [____],[____] cm Type de mesure [____] (1=couché ; 2=debout)
5. Biologie
Taux d'hémoglobine : [____],[____] g/dL
Goutte épaisse : négative ; positive densité : [_____] /ml
6. Prélèvement de sang effectué : oui ; non
Résultat CRP : [____]
Résultat Albumine : [____]

FICHE DE COCHE (ESSAI I)

Village :

N° de l'enfant : [_____]

	Mois de :																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prise du médicament																																
Diarrhée (nb selles liquides)																																
Toux																																
Fièvre																																

Noter pour la prise du médicament : **0** si le médicament n'a pas été pris

1 si le médicament a été pris

Noter pour la diarrhée : le nombre de selles liquides la veille (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ...)

Noter pour la toux et la fièvre :

0 si pas de signe la veille

1 si présence de signe la veille

FICHE DE COCHE 1 (ESSAI II)

Village :

N° de l'enfant : [_____]

Age : [____] mois

Quantité de bouillie : [_____] ml

	Mois de :																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Bouillie enrichie (matin)																																
Micronutriments																																
Nombre d'autres repas d'hier																																
Nombre de tétées d'hier																																
Bouillie enrichie (soir)																																

Noter pour la prise de la bouillie enrichie : la quantité en millilitres

Noter pour les micronutriments : **0** si le micronutriment n'a pas été pris

1 si le micronutriment a été pris

Noter pour autre repas d'hier : le nombre de repas (bouillie ou plat familial) que l'enfant a pris hier (les 24 dernières heures) en dehors de la bouillie enrichie donnée au centre (0, 1, 2, 3, ...)

Noter pour tétées d'hier : le nombre de fois que l'enfant a tété hier (les 24 dernières heures)

FICHE DE COCHE 2 (ESSALI)

Village :

N° de l'enfant : [.....]

	Mois de :																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Diarrhée (nb selles liquides)																																
Toux																																
Fièvre																																

Noter pour la prise du médicament : **0** si le médicament n'a pas été pris

1 si le médicament a été pris

Noter pour la diarrhée : le nombre de selles liquides la veille (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ...)

Noter pour la toux et la fièvre : **0** si pas de signe la veille

1 si présence de signe la veille

Définition du goître

La glande thyroïde est localisée à la face antérieure du cou, entre le cartilage cricoïde et la fourchette sternale. La glande thyroïde normale est non palpable ou à peine palpable. Par convention et pour des raisons de standardisation des observations, on recommande d'utiliser la définition suivante du goître : "Une thyroïde dont les lobes latéraux ont un volume supérieur à celui de la phalange terminale du pouce de la personne examinée".

Estimation et classification du volume du goître

L'examen clinique est la méthode la plus utilisée et reste la technique de base. L'examen clinique de la thyroïde comprend l'inspection du patient en position normale et cou en extension (de face et de profil), et la palpation de la glande (le patient tournant le dos à l'examineur).

La méthode clinique d'estimation du volume du goître est bien standardisée selon les recommandations de l'OMS :

type 0 = pas de goître

type I a = goître décelable uniquement à la palpation invisible et même lorsque le cou est en extension

type I b = goître palpable mais visible uniquement si le cou est en extension, ou goître nodulaire même s'il est invisible

type II = goître visible lorsque le cou est en position normale (la palpation n'est pas nécessaire au diagnostic)

type III = goître visible à une distance considérable (>5m)

VILLAGES SELECTIONNES POUR L'ETUDE

Département	Village	CSPS	Dist. du CSPS	Dist. de Kongoussi	Enquêteur
BOURZANGA	Bassé	Namsiguia	19	60	MAIGA Boukaré
	Kourao	Namsiguia	7	60	BADINI Issiaka
	Nafo	Nafo	-	60	OUEDRAOGO Moustapha
	Zana	Namsiguia	12	60	KONFE Wahab
	Bourzanga	Bourzanga	-	40	OUEDRAOGO Daniel
GUIBARE	Sindri	Guibaré	5	35	OUEDRAOGO Souleymane
	Niangouèla	Niangouèla	-	52	SAWADOGO Issa
	Tontenga	Koundoula	-	50	SAWADOGO Boukaré
KONGOSSI	Kora	Kongoussi	8	-	SAWADOGO Mathieu
	Niénéga	Kongoussi	8	-	SAWADOGO Honoré
	Sanrgo	Kongoussi	5	-	SAWADOGO Siméon
	Zoura	Kongoussi	8	-	OUEDRAOGO Roger
	Temnaoré	Temnaoré	-	25	OUEDRAOGO Seydou
	Secteur 1	Kongoussi	-	-	OUEDRAOGO Ahmed
	Secteur 4	Kongoussi	4	-	SANFO Moumouni
	Secteur 7	Kongoussi	10	-	SAWADOGO Saturnin
NASSERE	Sillalléba	Nasséré	3	25	SAWADOGO Gaston
ROLLO	Barkana	Rollo	8	45	MAIGA Alassane
	Gondekoubé	Rollo	15	45	KAFANDO Seydou
	Toessin	Kiella	5	40	SORE Moussa
ROUKO	Rouko	Rouko	-	30	OUEDRAOGO Luc
SABCE	Secteur 4	Sabcé	2	15	OUEDRAOGO Elie
	Koukoundi	Sabcé	15	15	BOLLY Tidiane
	Zandkom	Sabcé	10	15	SAWADOGO Amadé
TIKARE	Boubou	Manegtaba	4	40	SAWADOGO Emmanuel
	Koulniérou	Tikaré	8	25	KINDA François
	Tamiga	Tikaré	8	25	OUEDRAOGO Jean Baptiste
ZIMTENZA	Sogodin	Zimtenga	2	35	OUEDRAOGO Mahamoudou
	Komsilga	Zimtenga	10	35	SAWADOGO Benjamin
	Singa	Zimtenga	45	35	SAWADOGO Abdoulaye

9. Brève présentation de l'auteur

Hermann Ouédraogo est né le 05 Mai 1968 à Ouagadougou (Burkina Faso). Il est sorti médecin de l'université de Ouagadougou en 1998 avec la mention Très honorable et Félicitations du Jury. Après six mois d'exercice professionnel dans le district sanitaire de Kongoussi, il s'est engagé dans la formation en Santé publique, obtenant en 2000 le Diplôme d'études Spécialisées avec Grande distinction, puis en 2001 le Diplôme d'études Approfondies avec Grande Distinction, à l'Université Libre de Bruxelles (Belgique).

En 2001, il a été engagé au Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (Burkina Faso) où il travaille comme chercheur pour l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé jusqu'au moment de la présentation de ce travail. Il a été inscrit en 2005 sur les listes d'aptitudes aux fonctions de chargé de recherche par le Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur (CAMES). Il a au cours de l'exercice de sa fonction de chercheur, apporté son appui à la réalisation de travaux portant sur la nutrition de l'enfant au Burkina Faso, en collaborant avec des institutions gouvernementales comme la Direction de la Nutrition, non-gouvernementales comme HKI, CRS, Axios foundation, et internationales comme le PAM et la Banque Mondiale. Il a participé à plusieurs congrès/conférences scientifiques internationales contribuant à certains sous forme de présentation de poster ou sous forme de communication orale.

