

HALIMATOU ALAOFÈ

**ÉVALUATION D'UNE INTERVENTION
NUTRITIONNELLE VISANT À PRÉVENIR L'ANÉMIE
FERRIPRIVE CHEZ DES ADOLESCENTES
PENSIONNAIRES AU BÉNIN**

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat en nutrition
pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DES ALIMENTS ET DE NUTRITION
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2008

© Halimatou Alaofè, 2008

RÉSUMÉ

Des prélèvements sanguins et de selles, un questionnaire sur la fréquence de consommation des aliments riches en fer et en vitamine C, un questionnaire général portant sur les aspects socio-économiques et sanitaires, ainsi que sur les connaissances nutritionnelles ont été administrés à 180 adolescentes béninoises âgées de 12 à 17 ans pensionnaires au lycée Toffa 1^{er} (n=80) et au CEG1 de Ouidah (n=100). La prévalence d'anémie, de carence en fer et d'anémie ferriprive était respectivement de 50,6, 31,7 et 23,9%. Les connaissances nutritionnelles et la consommation d'aliments riches en fer et en vitamine C étaient faibles. L'anémie ferriprive était plus élevée chez les adolescentes issues d'une famille >5 personnes et dont la mère occupait un travail manuel. Des 180 adolescentes sélectionnées précédemment, 34 filles du lycée Toffa 1^{er} souffrant d'anémie ferriprive légère ont constitué le groupe d'intervention et ont été soumises à une intervention nutritionnelle comprenant 4 leçons d'éducation nutritionnelle et un menu riche en fer biodisponible à la cafétéria scolaire (apport médian cible de 1,90 mg) pendant 22 semaines, tandis que le groupe témoin a continué à s'alimenter de façon habituelle (n=34, CEG1 de Ouidah). Des prélèvements sanguins et de selles, ainsi que des rappels de 48 heures ont été effectués en pré et en post-intervention. Le groupe témoin a bénéficié d'une formule sanguine après 11 semaines afin d'éliminer les sujets souffrant d'anémie ferriprive modérée ou sévère. En post-intervention, le groupe d'intervention avait des apports plus élevés en fer et en vitamine C ($P<0,05$) et des meilleurs scores de connaissances nutritionnelles ($P<0,001$). Le taux d'hémoglobine et la ferritine sérique étaient significativement plus élevés dans le groupe d'intervention (122,5 vs. 113,1 g/L; $P=0,0002$; 31,7 vs. 18,8 $\mu\text{g/L}$; $P=0,04$) comparativement au groupe témoin, tandis que l'anémie ferriprive était plus faible (26,5 vs. 55,9%; $P=0,04$). Aucune différence significative n'a été observée pour les infections parasitaires entre les 2 groupes à la fin de l'étude. Ces résultats indiquent que l'anémie ferriprive représente un problème de santé publique chez les adolescentes étudiées et qu'une éducation nutritionnelle combinée à des modifications alimentaires visant à améliorer la teneur en fer absorbable peut réduire l'anémie ferriprive.

ABSTRACT

Blood and faecal samples, a questionnaire on the frequency of consumption of iron and vitamin C rich foods, a general questionnaire on socio-economic and sanitary characteristics, as well as nutritional knowledge were obtained in 180 Beninese adolescent girls aged 12-17 years boarding at lycée Toffa 1^{er} (n=80) and CEG1 of Ouidah (n=100). The prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia (IDA) was respectively 50.6, 31.7 and 23.9%. Nutritional knowledge and consumption of iron and vitamin C rich foods were low. Iron deficiency anemia was higher in adolescent girls coming from a family >5 individuals and whose mother was a manual worker. From the 180 adolescent girls selected above, 34 girls of lycée Toffa 1^{er} suffering from mild iron deficiency anemia constituted the intervention group and were submitted to a nutrition intervention including 4 weeks of nutrition education and a high bioavailable iron menu at the school cafeteria (target median intake of 1.90 mg) for 22 weeks, while the control group continued eating as usual (n=34, CEG1 of Ouidah). Blood and faecal samples, and 48-hour recalls were performed in pre and post intervention. The control group benefited from an additional blood test after 11 weeks to eliminate subjects suffering from moderate or severe IDA. At the end of the study, the intervention group had a higher iron and vitamin C intake ($P<0.05$) and better nutrition knowledge scores ($P<0.001$). Haemoglobin and serum ferritin values were significantly higher in the intervention group compared to the control group (122.5 vs. 113.1 g/L; $P=0.0002$; 31.7 vs. 18.8 $\mu\text{g/L}$; $P=0.04$), whereas the prevalence of IDA was lower (26.5 vs. 55.9%; $P=0.04$). No significant difference was observed in parasitic infections between both groups at the end of the study. These findings indicate that iron deficiency anemia represents a public health problem in these adolescent girls and show that nutrition education combined with dietary changes improving available dietary iron can reduce iron deficiency anemia.

AVANT-PROPOS

Ce travail s'articule autour de trois grandes parties. Dans la première partie, après l'introduction générale, nous présentons une revue de littérature qui nous permettra de dégager les hypothèses de travail et les objectifs de l'étude (chapitres 1, 2 et 3). La seconde partie est constituée de six chapitres, présentés sous forme d'articles, dans lesquels nous exposons les résultats de ce travail ainsi que leur analyse. La dernière partie de ce travail est consacrée à la conclusion générale, aux limites et aux perspectives d'avenir issues de cette étude.

Plus précisément, le premier article décrit l'environnement alimentaire et sanitaire dans lequel vivaient les 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans pensionnaires dans les deux lycées choisis (chapitre 4). Les résultats présentés dans le deuxième article portent essentiellement sur l'impact de la consommation des promoteurs et des inhibiteurs de l'absorption du fer sur le risque d'anémie ferriprive chez les sujets étudiés (chapitre 5). Dans le troisième article, nous avons identifié les facteurs de risque des infections parasitaires intestinales et déterminé leur impact sur le statut en fer des adolescentes étudiées (chapitre 6). Le quatrième article traite de la relation entre les caractéristiques socio-économiques et sanitaires et l'anémie ferriprive (chapitre 7). L'identification des différents facteurs de risque susceptibles d'affecter le statut en fer des 180 participantes était essentielle et a permis de développer des stratégies d'intervention appropriées. Enfin, les deux derniers articles (chapitres 8 et 9) traitent de l'impact de l'intervention nutritionnelle sur les apports alimentaires, le niveau de connaissance et l'état nutritionnel en fer des 34 adolescentes du groupe d'intervention comparativement aux 34 adolescentes du groupe témoin. Tous ces articles ont été publiés ou soumis pour publication dans des revues scientifiques. Les deuxième, troisième et cinquième articles ont été présentés lors des sessions d'affiches respectivement aux congrès de la FASEB (Federation of American Societies for Experimental Biology) 2007, du FANUS (Federation of African Nutrition Societies) 2007 et de la FASEB 2008. De plus, en collaboration avec le département de nutrition et sciences alimentaires de l'Université d'Abomey Calavi (Bénin) et du Campus Numérique Francophone de Cotonou (Bénin), une session de travail d'une demi-journée, destinée aux autorités gouvernementales et aux différents intervenants en nutrition et faisant état des principaux résultats obtenus

lors de l'intervention nutritionnelle, a été organisée à la Maison de la Francophonie au Bénin en Janvier 2008.

Ce projet de recherche n'aurait pu être réalisé sans la contribution de ma directrice de recherche, madame Huguette Turgeon O'Brien, de mon co-directeur, monsieur John Zee et de mon responsable scientifique au Bénin, monsieur Romain Dossa qui m'ont guidée au cours de toutes les étapes de mes études de doctorat. Pour ma part, j'ai participé à l'élaboration du protocole de recherche et du matériel d'intervention. J'ai effectué le recrutement des participantes et les prélèvements sanguins et de selles chez les 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans sélectionnées. J'ai administré un questionnaire qualitatif de fréquence alimentaire et un questionnaire général portant sur les aspects socio-économiques, sanitaires et sur les connaissances nutritionnelles à tous les sujets. J'ai également interviewé les maîtresses qui s'occupaient des adolescentes, ainsi que les infirmiers des deux écoles choisies, afin de recueillir des informations alimentaires et sanitaires sur les deux établissements scolaires. Enfin, j'ai sélectionné parmi les 180 adolescentes provenant des deux lycées, celles qui souffraient d'anémie ferriprive légère et procédé à l'intervention nutritionnelle d'une durée de 22 semaines (n=34 dans chacun des deux lycées). J'ai amélioré la teneur en fer absorbable du menu de la cafétéria du lycée d'intervention et supervisé le personnel de la cafétéria lors de l'implantation et du suivi du nouveau menu. J'ai administré les 4 leçons d'éducation nutritionnelle au groupe d'intervention et effectué tous les rappels alimentaires chez les adolescentes des deux groupes (136 rappels de 24 heures et 136 rappels de 48 heures). J'ai également effectué les prélèvements sanguins chez les adolescentes des deux groupes en post-intervention et après 11 semaines dans le groupe témoin afin d'éliminer les adolescentes souffrant d'anémie ferriprive modérée ou sévère. Enfin, j'ai effectué les analyses statistiques, l'interprétation des résultats de même que la rédaction des six articles scientifiques précités.

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance à ma directrice de thèse, madame Huguette Turgeon O'Brien, mon co-directeur de recherche, monsieur John Zee et mon responsable scientifique au Bénin, monsieur Romain Dossa pour leur accompagnement tout au long de ce travail, la confiance qu'ils m'ont témoignée et leur soutien. Merci pour votre encadrement, vos riches contributions et votre ouverture qui ont été les moteurs de ma réflexion et de cette expérience. Ce fut un privilège d'apprendre à vos côtés.

Je tiens à remercier les Proviseurs, mesdames Anne-Marie Pierrette et Mouniratou Taffa et monsieur Syllas Babalola, et toutes les participantes de l'étude, ainsi que tout le personnel du lycée Toffa 1^{er} de Porto-Novo et du collège d'enseignement général 1 (CEG1) de Ouidah sans lesquels la réalisation de ce projet aurait été impossible. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à messieurs Francis Loko, Falilou Adebo, Aurélien Kanfon, Eustache Aclinou, Moudjibou Bouraïma pour leur collaboration et leur aide précieuse. Merci aussi à monsieur Éric Houngbetode pour sa disponibilité et ses encouragements constants. Merci également à mesdames Jean Françoise Kayibanda et Hélène Crépeau pour leur aide indispensable lors des analyses statistiques.

Je voudrais également remercier les personnes suivantes: Edward-James O'Brien, Marie-Pascale Koffi, Léon et Hermine Biaou, Germain Hougbédji et Luc Béhanzin, pour leur appui et leur soutien moral. Je ne saurais oublier le personnel du département des sciences des aliments et de nutrition, en particulier mesdames Thérèse Desrosiers, Isabelle Galibois, Hélène Bissonnette et Christiane Héroux, ainsi que tous les étudiants et amis des deuxième et troisième cycles en nutrition pour leur soutien constant. Je dois aussi cette réussite au soutien de Franck Adékambi qui a montré une patience et une tolérance inégalables pendant ces longues années d'étude. Un merci spécial à ma famille, en particulier à mes parents dont l'affection et le soutien permanent m'ont été des plus précieux malgré la distance qui nous sépare.

Enfin, je tiens à remercier l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), le Fonds Jean-Paul Houle, le Bureau International et le Bureau des bourses et de l'aide financière de l'Université Laval pour leur contribution financière indispensable à la réalisation de ce travail.

A *mes parents,*
ux adolescentes Béninoises

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	I
ABSTRACT	II
AVANT-PROPOS	III
REMERCIEMENTS	V
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES	XIII
CHAPITRE 1: INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 2: REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
2.1 ANÉMIE PAR CARENCE EN FER: IMPORTANCE DU PROBLÈME	3
2.1.1 Le fer dans l'organisme	3
2.1.1.1 Distribution et rôles du fer dans l'organisme	3
2.1.1.2 Métabolisme du fer	4
2.1.2 Prévalence de l'anémie ferriprive en Afrique de l'Ouest et ses conséquences pour la santé et le développement des populations.....	7
2.2. ÉTIOLOGIE MULTIFACTORIELLE DE L'ANÉMIE FERRIPRIVE	9
2.2.1 Facteurs physiologiques	10
2.2.1.1 Besoins en fer	10
2.2.1.2 Apports alimentaires en fer et biodisponibilité	11
2.2.2 Facteurs pathologiques	15
2.2.2.1 Infections parasitaires	15
2.2.2.2 Autres déficits nutritionnels	16
2.2.2.3 Hémoglobinopathies héréditaires	17
2.2.2.4 Inflammation et maladies chroniques	17
2.2.3 Déterminants des comportements alimentaires et sanitaires.....	18
2.2.3.1 Déterminants endogènes ou biologiques.....	18
2.2.3.2 Disponibilité et qualité des ressources alimentaires	20
2.2.3.3 Déterminants économiques et socio-culturels	23
2.2.3.4 Déterminants psycho-culturels	24
2.2.3.5 Automédication et système de santé.....	24
2.3 ÉVALUATION DE L'ÉTAT NUTRITIONNEL EN FER	26
2.3.1 Évaluation des apports alimentaires	26
2.3.1.1 Méthodes d'évaluation des apports alimentaires.....	26
2.3.1.2 Estimation du fer absorbable.....	28
2.3.1.3 Prévalence d'apports inadéquats en fer.....	30
2.3.2 Diagnostic biologique de l'anémie et de la carence en fer	31
2.3.2.1 Étapes de développement de l'anémie par carence en fer	31
2.3.2.2 Paramètres biochimiques de l'anémie par carence en fer	32
2.3.2.3 Critères multiples dans l'évaluation du statut en fer	35
2.3.3 Mesures anthropométriques	37
2.3.4 Diagnostic clinique de l'anémie par carence en fer.....	38
2.3.5 Facteurs écologiques.....	38

2.4 STRATÉGIES DE CONTRÔLE DE LA CARENCE EN FER	39
2.4.1 Supplémentation en fer	40
2.4.2 Enrichissement en fer des aliments	41
2.4.3 Biofortification	42
2.4.4. Diversification et modification des alimentaires.....	43
2.4.4.1 Stratégies de diversification et de modification alimentaires.....	44
2.4.4.2 Conception et mise en œuvre des stratégies.....	46
2.4.5 Education nutritionnelle.....	49
2.4.6 Mesures de santé publique	50
2.5 BÉNIN	51
2.5.1 Présentation générale.....	51
2.5.1.1 Géographie	51
2.5.1.2 Indices socio-démographiques	52
2.5.1.3 Économie.....	53
2.5.2 Situation alimentaire et nutritionnelle	54
2.5.2.1 Consommation alimentaire	54
2.5.2.2 Anémie par carence en fer.....	55
CHAPITRE 3: HYPOTHESES ET OBJECTIFS	62
3.1 HYPOTHÈSES.....	62
3.2 OBJECTIF GÉNÉRAL	63
3.3 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	63
3.3.1 Statut en fer d'adolescentes pensionnaires dans deux lycées au Bénin.....	63
3.3.2 Intervention nutritionnelle: phase préparatoire	64
3.3.3 Intervention nutritionnelle proprement dite.....	64
CHAPITRE 4: FOOD AND HEALTH ENVIRONMENT RELATED TO IRON DEFICIENCY ANEMIA AMONG BENINESE ADOLESCENT GIRLS.	66
4.1 RÉSUMÉ.....	67
4.2 ABSTRACT.....	68
4.3 INTRODUCTION.....	69
4.4 SUBJECTS AND METHODS	70
4.5 RESULTS.....	72
4.6 DISCUSSION.....	83
4.7 IMPLICATIONS FOR RESEARCH AND PRACTICE	86
4.8 REFERENCES	86
CHAPITRE 5: IRON STATUS OF ADOLESCENT GIRLS FROM TWO BOARDING SCHOOLS IN SOUTHERN BENIN.....	89
5.1 RÉSUMÉ.....	90
5.2 ABSTRACT.....	91
5.3 INTRODUCTION.....	92
5.4 SUBJECTS AND METHODS	93
5.5 RESULTS.....	97

5.7 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	109
5.8 REFERENCES	110

CHAPITRE 6: INTESTINAL PARASITIC INFECTIONS IN ADOLESCENT GIRLS FROM TWO BOARDING SCHOOLS IN SOUTHERN BENIN..... 114

6.1 RÉSUMÉ.....	115
6.2 ABSTRACT.....	116
6.3 INTRODUCTION.....	117
6.4 METHODS.....	118
6.5 RESULTS.....	121
6.4 DISCUSSION.....	130
6.5 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	134
6.6 REFERENCES	135

CHAPITRE 7: IMPACT OF SOCIOECONOMIC AND HEALTH RELATED FACTORS ON THE IRON STATUS OF ADOLESCENT GIRLS FROM TWO BOARDING SCHOOLS IN SOUTHERN BENIN..... 139

7.1 RÉSUMÉ.....	140
7.2 ABSTRACT.....	141
7.3 INTRODUCTION.....	142
7.4 SUBJECTS AND METHODS	143
7.5 RESULTS.....	146
7.6 DISCUSSION.....	153
7.7 LITERATURE CITED.....	156

CHAPITRE 8: EFFECT OF A NUTRITION EDUCATION PROGRAM AND DIET MODIFICATION IN BENINESE ADOLESCENT GIRLS SUFFERING FROM MILD IRON DEFICIENCY ANEMIA..... 158

8.1 RÉSUMÉ.....	159
8.2 ABSTRACT.....	160
8.3 INTRODUCTION.....	161
8.4 SUBJECTS AND METHODS	162
8.5 RESULTS.....	168
8.6 DISCUSSION.....	176
8.7 REFERENCES	179

CHAPITRE 9: IMPROVING ABSORBABLE IRON INTAKES TO TREAT MILD IRON DEFICIENCY ANEMIA IN ADOLESCENT GIRLS FROM TWO BOARDING SCHOOLS IN SOUTHERN BENIN..... 182

9.1 RÉSUMÉ.....	183
9.2 ABSTRACT.....	184
9.3 INTRODUCTION.....	185
9.4 SUBJECTS AND METHODS	186
9.5 RESULTS.....	193
9.6 DISCUSSION.....	205
9.7 REFERENCES	210

CHAPITRE 10: DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES.....	215
10.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS.....	216
10.1.1. Anémie ferriprive chez les adolescentes pensionnaires et facteurs de risque associés.....	216
10.1.1.1 Composition des menus offerts dans les cafétérias scolaires des deux lycées.....	217
10.1.1.2 Éducation nutritionnelle et sanitaire dispensée dans les deux lycées.....	218
10.1.1.3 Carence en fer et anémie ferriprive chez les adolescentes des deux lycées et facteurs étiologiques.....	220
10.1.2 Intervention nutritionnelle.....	221
10.2 PORTÉE DE L'ÉTUDE.....	225
10.4.1 Santé et bien-être des individus et des populations.....	225
10.4.2 Pratique professionnelle.....	226
10.4.3 Élaboration des politiques et établissement des recommandations en nutrition.....	228
10.4.4 Avancement des connaissances en nutrition.....	229
10.3 LIMITES DE L'ÉTUDE.....	231
10.4 PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	232
10.5 CONCLUSION GENERALE.....	232
CHAPITRE 11: RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	234
ANNEXES.....	263
ANNEXE 1: Carte d'Afrique.....	263
ANNEXE 2: Carte générale du Bénin.....	264
ANNEXE 3: Formulaire de consentement (Parents).....	265
ANNEXE 4: Formulaire de consentement (Adolescentes).....	270
ANNEXE 5: Questionnaire général.....	275
ANNEXE 6: Questionnaire d'information.....	293
ANNEXE 7: Évaluation du projet.....	302

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: De la carence en fer à l'anémie: déroulement chronologique.....	32
Tableau 2.2 : Classification de l'état nutritionnel des adolescentes âgées de 2 à 20 ans basée sur la méthode des percentiles d'indice de masse corporelle (IMC) en fonction de l'âge (NCHS, 2002).....	37
Tableau 2.3: Détermination de l'apport médian cible du fer absorbable pour obtenir 10% de prévalence d'apports inadéquats chez des adolescentes (IOM, 2003).....	48
Tableau 2.4: Classification des aliments sur la base de leur teneur en fer.....	59
Tableau 2.5: Aliments riches en vitamine C.....	59
Table 4.1: Subjects characteristics (%).....	78
Table 4.2: Dietary consumption of meat, poultry, fish, and substitutes during the week preceding the interview.....	79
Table 4.3: Boarding schools cafeterias' menus (numbers of meals).....	80
Table 4.4: Knowledge related to anemia, iron deficiency and sources of iron and vitamin C (%).....	81
Table 4.5: Information on health and disease (%).....	82
Table 5.1: Subjects characteristics (%).....	101
Table 5.2: Iron status indices and C-reactive protein (CRP) concentration by boarding school.....	102
Table 5.3: Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia using multiple criteria (%).....	103
Table 5.4: Association of food consumption with iron deficiency*.....	104
Table 5.5: Association of food consumption with iron deficiency anemia*.....	105
Table 6.1: Subject and household characteristics.....	124
Table 6.2: Prevalence of iron deficiency, iron deficiency anaemia and anaemia.....	126
Table 6.3: Prevalence and intensity of intestinal parasitic infections in girls from two boarding schools in southern Benin.....	127
Table 6.4: Association between intestinal parasitic infections and socioeconomic factors.....	128
Table 6.5: Association between intestinal parasitic infection and iron status.....	129
Table 7.1: Subjects and family characteristics.....	148
Table 7.2: Health and health-related factors.....	149
Table 7.3: Prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia using multiple criteria (%).....	150
Table 7.4: Association between serum ferritin, haemoglobin and risk factors.....	151
Table 7.5: Risk factors for iron deficiency anemia.....	152
TABLE 8.1: Dietary recommendations for menus in the intervention boarding school.....	170
TABLE 8.2: Baseline health and socio-economic characteristics for the intervention and control groups (%).....	171
TABLE 8.3: Comparison of baseline and post-intervention nutrition knowledge scores within the intervention and control groups.....	172
TABLE 8.4: Values for iron status indicators in the intervention and control groups at baseline and post-intervention*.....	173
TABLE 8.5: Post-intervention prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia in the intervention and control groups*.....	174
TABLE 8.6: Post-intervention prevalence of malaria and intestinal parasitic infections for the intervention and control groups*.....	175

TABLE 9.1. Average daily intakes of dietary iron, absorbable iron and vitamin C at baseline, during and post-intervention*	198
TABLE 9.2. Average daily dietary intakes of energy and certain nutrients at baseline, during and post-intervention*	201
TABLE 9.3: Prevalence of low concentrations of iron status indicators in the intervention and control groups at baseline and post-intervention (%)*	203

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Maintien de l'homéostasie du fer dans l'organisme.	5
Figure 2.2: Contribution relative des différentes interventions à la réduction de la carence en fer	39
FIG. 9.1. Comparison of baseline, mid and post- intervention dietary iron intakes with in the control and the intervention groups.	199
FIG. 9.2. Comparison of baseline, mid and post- intervention absorbable iron intakes within the control and the intervention groups	200
FIG. 9.3. Comparison of baseline and post-intervention knowledge scores within groups	202
FIG. 9.4. Comparison of the prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia between both groups in post-intervention	204

Chapitre 1

Introduction générale

La carence en fer constitue un problème majeur de santé publique, notamment dans les pays en développement. Elle touche environ 2 milliards d'individus dans le monde, principalement les femmes en âge de procréer et les enfants (Engmann et al. 2008; Pasricha et al. 2008). Chez les adolescentes, elle se traduit par une diminution de la capacité physique et des performances intellectuelles, ainsi qu'une moindre résistance aux infections (Murray-Kolb et Beard, 2007). Cependant, il est à noter que la carence en fer induit peu de symptômes visibles facilement identifiables par les individus qui ne réalisent pas la gravité du problème et ses conséquences sur la santé (Espanel et al. 2007). Néanmoins, les conséquences physiologiques dévastatrices et les implications économiques de la carence en fer justifient la mise en œuvre d'interventions durables et efficaces de contrôle de ce problème nutritionnel (Thompson, 2007).

Le Bénin ne fait pas exception. Deux études effectuées à la fin des années quatre-vingt (Hercberg et al. 1987; 1988) mettent en évidence une prévalence de la carence en fer de 34,3 à 41% chez les femmes en âge de procréer et de 73% chez les femmes enceintes. Un rapport récent publié par l'Initiative pour les micronutriments (MI) et l'UNICEF (2006) indique que 65% des femmes béninoises âgées de 15 à 49 ans souffrent d'anémie par carence en fer. De plus, la faible teneur en fer de la diète et sa biodisponibilité réduite semblent constituer les causes majeures de la carence en fer dans cette population (Hercberg et al. 1986; Alaofè et al. 2007; Mitchikpè, 2007). Des apports insuffisants et/ou une faible biodisponibilité du fer alimentaire sont répandus au Bénin du fait des régimes alimentaires généralement monotones constitués principalement d'aliments d'origine végétale avec de faibles quantités de produits animaux et d'aliments riches en vitamine C (Sodjinou, 2006; Sodjinou et al. 2007). Des liens hautement significatifs ont été observés entre la biodisponibilité du fer alimentaire et les paramètres biochimiques du statut en fer chez un groupe d'adolescentes béninoises âgées de 14 à 16 ans (Alaofè et al. 2007).

Parmi les stratégies mises en œuvre pour lutter contre la carence en fer, il apparaît évident que la stratégie d'intervention nutritionnelle qui simultanément améliore l'apport et la

biodisponibilité du fer dans les diètes est requise de façon urgente au Bénin. L'éducation nutritionnelle constitue une partie importante de cette stratégie et un moyen important de promouvoir la consommation d'aliments riches en fer dans le cadre d'une alimentation variée, adéquate et saine (Müller et Krawinkel, 2005). Amani et Soflaei (2006) et Kafatos et al. (2007) ont montré l'effet positif significatif sur les habitudes alimentaires, mais surtout sur les apports alimentaires et l'état nutritionnel des sujets étudiés, d'une campagne d'éducation nutritionnelle basée sur des messages de santé.

Cependant, l'amélioration des pratiques alimentaires est souvent critiquée parce qu'elle est jugée trop difficile ou parce qu'elle constitue une stratégie à long terme (Delisle, 2003). Néanmoins, deux études réalisées chez des femmes adultes en âge de procréer, une par Heath et al. (2001) en Nouvelle-Zélande (n=22) et l'autre par Patterson et al. (2001) en Australie (n=22), indiquent qu'une diète riche en fer combinée à des conseils nutritionnels améliore l'apport et le statut en fer des sujets. À notre connaissance, une seule étude a été réalisée chez des adolescentes, soit celle de Creed-Kanashiro et al. (2000) au Pérou. Ces auteurs indiquent qu'une campagne d'éducation nutritionnelle effectuée dans le cadre des cuisines communautaires combinée à la promotion des meilleures sources alimentaires de fer a permis de réduire de 1,8% la prévalence d'anémie chez les 65 adolescentes du groupe d'intervention comparativement à celles du groupe témoin. Cependant, les travaux effectués dans d'autres pays ne sont pas nécessairement applicables au Bénin à cause des différences dans la disponibilité des aliments locaux riches en fer et en vitamine C et dans les habitudes alimentaires des individus.

L'objectif de la présente étude consistait donc à évaluer l'impact d'une intervention nutritionnelle visant à augmenter les apports et la biodisponibilité du fer sur la prévalence de l'anémie par carence en fer chez des adolescentes béninoises pensionnaires. Trente quatre adolescentes constituant le groupe d'intervention ont bénéficié de 4 leçons d'éducation nutritionnelle et d'un menu riche en fer biodisponible à la cafétéria scolaire pendant 22 semaines, alors que les 34 adolescentes du groupe témoin ont continué à s'alimenter de façon habituelle. Les apports et le niveau de connaissances nutritionnelles de même que le statut en fer et l'incidence des infections parasitaires ont été comparés entre les deux groupes d'adolescentes.

Chapitre 2

Revue de la littérature

2.1 ANÉMIE PAR CARENCE EN FER: IMPORTANCE DU PROBLÈME

2.1.1 Le fer dans l'organisme

2.1.1.1 Distribution et rôles du fer dans l'organisme

Bien que présent en très faible quantité dans l'organisme (0,005% du poids corporel), le fer est un élément indispensable à son bon fonctionnement (Ghosh, 2006; IOM, 2006). Il existe sous deux formes: environ les deux tiers sont sous forme hémique et un tiers sous forme non hémique (McLean et al. 2007; Wrighting et Andrews, 2008). Entre 60 et 70% du fer total contenu dans l'organisme (4 g chez l'homme adulte; 2,5 g chez la femme adulte) se retrouvent liés à l'hème dans la structure de l'hémoglobine. Environ 10% du fer total sont présents dans la myoglobine et les enzymes hémoprotéiques (Cadet et al. 2005). L'hémoglobine constitue le pigment respiratoire des globules rouges qui assure les échanges gazeux avec le milieu extérieur, et la myoglobine est la forme de réserve de l'oxygène du muscle (Ghosh, 2006; Andrews et Schmidt, 2007). Les cytochromes sont des enzymes hémoprotéiques qui participent au transport d'électrons dans la chaîne respiratoire des mitochondries et sont essentiels à la production d'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP) (Fontenay et al. 2006). Enfin, le fer hémique est incorporé dans la myéloperoxydase qui possède une activité bactéricide dans les neutrophiles (Ghosh, 2006).

Quant au fer non hémique, il correspond aux formes de réserves et de transport du fer, de même qu'il est présent dans certaines enzymes. Environ 30% du fer total de l'organisme sont stockés dans les tissus: 20% sous forme de ferritine et 10% sous forme d'hémosidérine (Taketani, 2005). Les réserves en fer de l'organisme sont localisées au niveau du système histiocytaire (réticulo-endothélial), notamment dans la rate, la moelle osseuse, les muscles squelettiques et dans le parenchyme hépatique. Environ 0,1% du fer total se retrouve en circulation lié à une protéine appelée transferrine (ou sidérophiline). Celle-ci distribue le fer à travers le corps où il est requis (Taketani, 2005; Philpott, 2006). Enfin, le fer non hémique agit comme cofacteur d'enzymes nécessaires au bon fonctionnement des cellules. Ces

enzymes jouent différents rôles, entre autres dans la conversion de la bêta-carotène en vitamine A, lors de la synthèse de l'ADN et du métabolisme des catécholamines (Philpott, 2006; Gleason et Scrimshaw, 2007).

2.1.1.2 Métabolisme du fer

L'originalité du métabolisme du fer tient au fait qu'il s'effectue quasiment en circuit fermé (Handelman et Levin, 2008). Seulement 5% du fer nécessaire à l'organisme provient de l'alimentation et 95% du recyclage du fer à partir de la lyse des globules rouges sénescents (Cadet et al. 2005). La stabilité du pool de fer dans l'organisme résulte d'une régulation de l'absorption intestinale qui équilibre la quantité de fer absorbé quotidiennement avec les pertes. En effet, les pertes quotidiennes de fer sont normalement extrêmement faibles, de l'ordre de 1 mg par jour. Cependant, la compensation de ces pertes est fondamentale car en cas de non compensation par les apports alimentaires, il y a un risque de déséquilibre de la balance en fer qui peut conduire à des carences ou bien des surcharges en fer. L'absorption intestinale du fer constitue donc une étape capitale qui doit être finement régulée; l'organisme humain ne possédant pas de moyens de contrôler son excrétion (Cadet et al. 2005; Zimmermann et Hurrell, 2007). La régulation de cette absorption est elle-même influencée par le contenu total en fer de l'organisme, l'activité érythropoïétique, la teneur en fer et la composition du régime alimentaire (Cadet et al. 2005; Wrighting et Andrews, 2008).

L'absorption du fer alimentaire s'effectue au niveau de la partie proximale de l'intestin grêle par les entérocytes matures des villosités duodénales (Delaby et al. 2007) (Figure 2.1). Le fer non hémique (fer inorganique) qui correspond au fer minéral provenant des végétaux, au fer de contamination des aliments et au fer d'enrichissement est présent sous forme de fer trivalent (Fe^{3+}). Sa captation nécessite une étape de réduction préalable qui est sous la dépendance de l'activité ferriréductase du cytochrome b réductase 1 (Cybrd1) (antérieurement nommé duodénum cytochrome b-like (Dcytb)) au niveau du pôle apical de l'entérocyte et du pH acide du flux gastrique. Le fer divalent (Fe^{2+}) alors obtenu est transféré dans le cytoplasme grâce au transporteur transmembranaire des cations divalents le divalent metal transporter 1 (DMT1), aussi appelé natural resistance associated

macrophage protein (Nramp 2) qui peut transporter d'autres métaux compétiteurs (Andrews et Schmidt, 2007; Gropper et al. 2009).

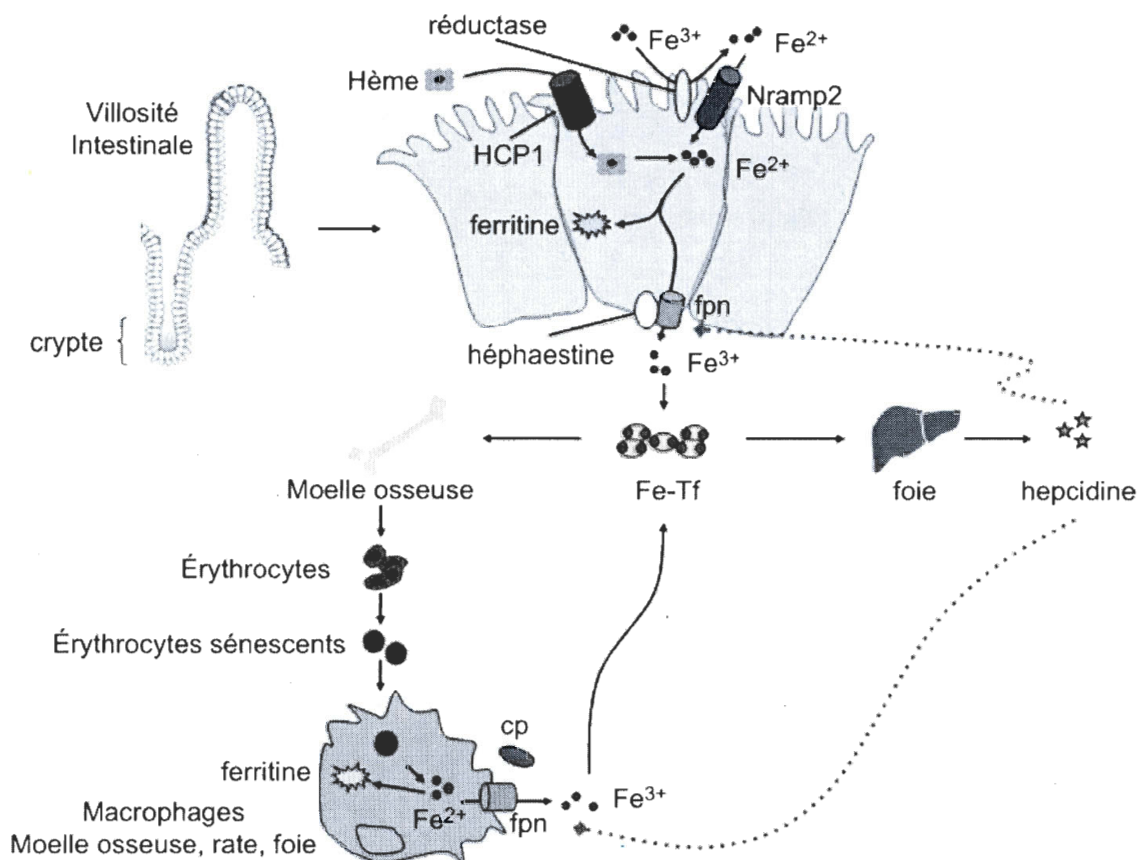


Figure 2.1: Maintien de l'homéostasie du fer dans l'organisme (Delaby et al. 2007).

Quant au fer hémique dérivé de l'hémoglobine et de la myoglobine de la viande (viande, volaille, poisson), il est endocyté via un récepteur de l'hème, l'hème carrier protein 1 (HCP 1), le fer étant secondairement relargué de l'hème sous l'action d'une hème oxygénase (Shayeghi et al. 2005; Nemeth et Ganz, 2006; Andrews et Schmidt, 2007) (Figure 2.1). L'absorption du fer hémique est par conséquent moins affectée par les autres éléments présents dans les aliments que celle du fer non hémique (IOM, 2006). Le fer ainsi libéré du complexe rejoint le fer non hémique dans le pool de fer connu sous le nom d'intracellular calcein-chelatable iron pool (ICIP). Une partie du fer absorbé est ensuite soit stocké dans la ferritine (ou l'hémosidérine), soit exporté au pôle basolatéral de l'entérocyte par l'action coordonnée de la ferroportine et de l'héphaestine, voire de la céruloplasmine pour rejoindre

la circulation sanguine. La ferroportine assure le transport du fer ferreux de l'intérieur de la cellule vers la circulation sanguine et l'héphaestine permet l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique qui sera pris en charge par la transferrine, principale protéine de transport plasmatique du fer (Cadet et al. 2005; Andrews et Schmidt, 2007).

Du fait de sa réactivité, le fer circulant plasmatique est pris en charge par la transferrine dont le coefficient de saturation est augmenté en cas de surcharge en fer et diminué en cas de carence martiale ou d'inflammation. L'internalisation de la transferrine liée au fer (holo-Tf) est conditionnée par la présence d'un récepteur transmembranaire spécifique (TfR1). Ce fer est principalement utilisé pour la synthèse de l'hémoglobine, et le reste du fer est partagé entre les divers autres sites d'utilisation (myoglobine..) et les sites de stockage (macrophages et hépatocytes) (Cadet, 2005). Il est important de noter que le fer circulant provient à 5% de l'absorption intestinale (entérocytes) et 95% du recyclage du fer provenant des érythrocytes sénescents. Les érythrocytes sénescents subissent en effet une érythrophagocytose par les macrophages de la rate, de la moelle osseuse, et dans une moindre mesure par les cellules de Kupffer. Le catabolisme intracellulaire de l'hème par le complexe enzymatique formé par la NADPH cytochrome c (P450) réductase, l'hème oxygénase-1 (HO-1) et la biliverdine réductase conduit à la libération de biliverdine, de monoxyde de carbone (CO) et de fer. Le fer est ensuite stocké sous forme de ferritine ou exporté par l'action coordonnée de la ferroportine et de la céruloplasmine (Figure 2.1), permettant ainsi de satisfaire les besoins érythropoïétiques journaliers (Andrews et Schmidt, 2007; Gropper et al. 2009).

Parmi les nombreux mécanismes qui concourent au maintien de l'homéostasie du fer, trois phénomènes semblent particulièrement importants. Dans un premier temps, nous avons l'absorption du fer par les entérocytes qui s'adapte jusqu'à un certain niveau aux pertes quotidiennes et contrôle les réserves en fer de l'organisme. La protéine HFE (H pour hémochromatose et Fe pour fer) et l'hepcidine seraient impliquées dans cette régulation; la première assurerait la réception et la transmission d'un signal reflétant le niveau de réserves en fer de l'organisme aux sites hépatocytaires de synthèse de l'hepcidine. D'autres molécules présentes dans l'hépatocyte joueraient un rôle analogue à celui de la protéine HFE. Il s'agit de l'hémojuvéline et du récepteur 2 de la transferrine (TfR2) (Nemeth et

Ganz, 2006; Delaby et al. 2007; Kanamaru, 2008). Libérée dans le sang, l'hepcidine inhibe l'absorption intestinale du fer alimentaire et le recyclage du fer hémique des macrophages. L'action de l'hepcidine passerait par l'inhibition des transporteurs DMT1 ainsi que de la ferroportine conduisant respectivement au contrôle de l'entrée du fer dans l'entérocyte et son passage dans le sang. L'expression de l'hepcidine est augmentée par un régime riche en fer et par l'inflammation (chronique ou aiguë), alors qu'elle est au contraire réprimée par l'hypoxie, la carence en fer et l'anémie (Zimmermann et Hurrell, 2007; Viatte et Vaulont, 2007; Ganz, 2008; Nemeth, 2008).

Le deuxième mécanisme est assuré par le système *Iron Responsive Element/Iron Regulatory Protein* (IRE/IRP) qui permet à chaque cellule de maîtriser la quantité de fer qui y pénètre et de l'orienter, si nécessaire, vers la ferritine afin de protéger la cellule d'un effet délétère d'un excès de fer cytosolique. Enfin, l'érythrophagocytose et le recyclage du fer des érythrocytes sénescents permettent la remise à disposition, dans le plasma, du fer à l'ensemble des cellules et assurent donc la biodisponibilité du fer présent dans l'organisme. Cependant, peu de données sont actuellement disponibles sur le mécanisme ou la régulation de ce phénomène (Cadet et al. 2005; Delaby et al. 2007; Muckenthaler et al. 2008).

2.1.2 Prévalence de l'anémie ferriprive en Afrique de l'Ouest et ses conséquences pour la santé et le développement des populations

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la carence en fer est le désordre nutritionnel le plus répandu dans le monde, affectant deux milliards d'individus (WHO, 2008). Elle concernerait 50% à 60% des femmes enceintes dans les pays en développement (Schneider et al. 2005; Kara et al. 2006). Malheureusement, très peu d'études ont été effectuées chez les adolescentes (Leenstra et al. 2004; Keskin et al. 2005). Par exemple au Togo, un rapport publié par l'Initiative pour les micronutriments (MI) et l'UNICEF (2006) indique que 70% des femmes de 15 à 49 ans sont anémiées et 45% souffrent d'anémie par carence en fer. Au Mali, l'anémie (Hb <110 g/L) était présente chez 47% d'entre elles (Ayoya et al. 2006). La carence en fer concernerait 41 à 63% des femmes en âge de procréer en Côte d'Ivoire, tandis que l'anémie ferriprive serait présente chez 20 à 39% des femmes (Asobayire et al. 2001).

La carence en fer affecte non seulement la santé et le bien-être des sujets atteints, mais elle a également des répercussions sociales et économiques importantes (WHO, 2008). Les conséquences cliniques et subcliniques de l'anémie et de la carence en fer sont multiples et affectent négativement les capacités physiques et intellectuelles ainsi que la santé et le bien-être des individus (Lozoff et al. 2006; Gleason et Schrimshaw, 2007; McCann et Ames, 2007). Des études de supplémentation en fer chez des individus présentant une déplétion des réserves en fer ont montré une amélioration de leur performance physique (Agarwal, 2007; Hinton et Sinclair, 2007). Aussi, dans une étude récente effectuée chez des femmes carencées en fer avec ou sans anémie, une augmentation de la ferritine sérique a été associée à une amélioration de leur capacité d'attention, de mémorisation et d'apprentissage (Sen et Kanani, 2006; Kurniawan et al, 2006; Murray-Kolb et Beard, 2007).

La carence en fer réduit également la résistance aux infections, tant par la diminution du nombre des lymphocytes T, que par la réduction de leur capacité à sécréter des lymphokines. La carence en fer amène également une diminution du pouvoir bactéricide, car le fer est un cofacteur de certaines enzymes intervenant dans la bactéricidie intracellulaire (Coutinho et al. 2005; Hashizume et al. 2005; Beard et al. 2006). Le fer étant un élément important de l'immunocompétence, il n'est donc pas surprenant que la carence en fer soit associée à des prévalences élevées de morbidité chez les sujets étudiés (Agarwal, 2007). De plus, dans l'étude de Devaki et al. (2007), la supplémentation en fer a été associée à l'amélioration des paramètres immunologiques des adolescentes carencées en fer. Enfin, l'anémie ferriprive affecterait la thermorégulation et constituerait un facteur de risque de complications cardio-vasculaires (Helfand et al. 2006; Gleason et Schrimshaw, 2007).

Les conséquences néfastes de la carence en fer et de l'anémie sur la santé des individus ont des répercussions économiques et sociales en raison des pertes directes de productivité, des pertes indirectes causées par un fonctionnement cognitif déficient, des déficits scolaires et des pertes dues aux coûts élevés des soins de santé (Horton et Ross, 2003; MI/UNICEF, 2006; Nojilana et al. 2007; Tolentino et Friedman, 2007). Il n'existe pas d'estimations précises basées sur des données régionales. Cependant, les coûts de santé et le fardeau social qu'impose l'octroi de soins à des millions de personnes souffrant de ce problème

nutritionnel sont probablement exorbitants. Pensons par exemple aux dépenses médicales liées au traitement des grossesses à problème et des accouchements de femmes anémiques ou de poids insuffisant, et aux soins des enfants atteints gravement, et à répétition, par la malaria, la pneumonie, la diarrhée ou la rougeole parce que leur organisme et leur système immunitaire sont affaiblis par la faim et la carence en fer (MI/UNICEF, 2006; Nojilana et al. 2007; Tolentino et Friedman, 2007). Notons également que la carence en fer coûte la vie à plus de 60 000 jeunes femmes enceintes ou en couches par an (MI/UNICEF, 2006).

Les coûts directs que représente la perte de productivité et de revenus attribuable aux décès prématurés, aux incapacités, à l'absentéisme scolaire et aux occasions manquées de s'instruire et de travailler sont importants (Nojilana et al. 2007; Tolentino et Friedman, 2007). Selon un rapport récent de MI/UNICEF (2006), les carences en fer chez l'adulte sont si répandues qu'elles font baisser la productivité des pays, avec des pertes aussi lourdes que 2% du produit national brut dans les pays les plus affectés. Soulignons enfin le coût des interventions en matière de nutrition à savoir la supplémentation et l'enrichissement en fer (Lechtig et al. 2006; Fiedler et al. 2008). Cependant, afin de définir des politiques ou de choisir des interventions appropriées pour combattre ou prévenir la carence en fer, il est essentiel de connaître avec précision, la situation nutritionnelle et ses causes qui constituent des étapes nécessaires du processus de planification.

2.2. ÉTIOLOGIE MULTIFACTORIELLE DE L'ANÉMIE FERRIPRIVE

Les causes de l'anémie par carence en fer sont multiples et peuvent être physiologiques et/ou pathologiques (Clark, 2008). Les causes physiologiques concernent les besoins augmentés liés à l'âge et au sexe (croissance et menstruation) et l'insuffisance d'apports ou d'absorption du fer (Zimmermann et Hurrell, 2007; Tupe et al. 2008). Plusieurs pathologies peuvent affecter l'absorption du fer ou son transport ou conduire à des pertes de fer contribuant ainsi à la survenue de la carence en fer: infections parasitaires, déficits nutritionnels (acide folique, vitamine A ou B₁₂ et cuivre), hémoglobinopathies et maladies chroniques (Lynch, 2007; Calis et al. 2008; Winichagoon, 2008). Enfin, l'étiologie de l'anémie par carence en fer dépend également des déterminants des comportements alimentaires et sanitaires qui peuvent affecter les apports et le statut en fer: déterminants endogènes, disponibilité et qualité des ressources alimentaires, déterminants économiques,

socio-culturels, psycho-culturels, automédication et système de santé (Dubost, 2005; FAO, 2006; Tupe et al. 2008).

2.2.1 Facteurs physiologiques

2.2.1.1 Besoins en fer

Les besoins en fer correspondent aux quantités nécessaires pour compenser les pertes et répondre aux circonstances particulières de la vie. De ce fait, les besoins en fer chez les adolescentes sont augmentés par la conjonction de deux phénomènes: la croissance et l'apparition des règles (Alton, 2005; Tupe et al. 2008). Le gain de poids maximum chez la fille nécessite 280 mg de fer environ pour maintenir constant le taux d'hémoglobine (Apfelbaum et al. 2004). Le début des règles suit habituellement la poussée de croissance maximale de l'adolescente. La déperdition menstruelle moyenne est de 30 ml environ par menstruation chez la fille de 15 ans et elle correspond à une perte nette d'environ 175 mg de fer par an. Il y a toutefois d'importantes variations d'une adolescente à l'autre, celles qui perdent le plus de sang étant bien sûr les plus exposées au risque de carence en fer (Apfelbaum et al. 2004).

Les pertes en fer de l'organisme constituent un phénomène obligatoire lié à la desquamation des cellules des différentes surfaces du corps humain. Chez l'homme adulte, les pertes basales journalières sont faibles, de l'ordre de 1 mg de fer par jour et ce, dans les selles, par la desquamation des muqueuses et par la peau (Cadet et al. 2005). Chez la femme en âge de procréer, il faut ajouter 0,3 à 0,4 mg de fer par jour pour compenser les pertes menstruelles (Zimmermann et Hurrell, 2007). Cependant, il existe des écarts importants: 10% des femmes ont des pertes menstruelles de plus de 80 ml/mois. En ce qui concerne les pertes quotidiennes totales en fer lors des menstruations, 50% des femmes ont des pertes >1,3 mg, 10% >2,1 mg, et 5% >2,4 mg (Cooper et al. 2006). De plus, de nombreux facteurs tels que l'hérédité, l'âge, le poids, la taille et la parité ont une influence sur le volume des règles. Mais le facteur majeur correspond à l'utilisation de certains modes de contraception. Les contraceptifs oraux peuvent diminuer de 50% le volume des règles, alors qu'une augmentation de plus de 100% peut être observée chez les femmes utilisatrices d'un dispositif intra-utérin (Harvey et al. 2005; IOM, 2006). Ainsi, bon nombre

de femmes en âge de procréer ont des pertes en fer 2 fois plus importantes que celles observées chez les hommes augmentant leurs besoins et les plaçant à risque élevé de carence en fer (Harvey et al. 2005).

2.2.1.2 Apports alimentaires en fer et biodisponibilité

Pour faire face à ses besoins, l'organisme doit recevoir de l'alimentation la quantité de fer nécessaire. Mais plus que la quantité de fer présente dans l'alimentation, c'est la qualité de ce fer qui constitue le facteur déterminant pour la couverture des besoins (Cadet et al. 2005; Zimmermann et Hurrell, 2007). Le fer hémique est présent dans la viande, volaille et poisson où il représente environ 40% du fer total. Il présente la meilleure biodisponibilité (23 à 35 %) et son absorption est peu influencée par les différents constituants du repas et les réserves en fer de l'individu (Monsen et al. 1978). Quant au fer non hémique présent dans les aliments d'origine animale et végétale, mais aussi dans le fer de contamination et d'enrichissement, il représente l'essentiel du fer alimentaire consommé dans les pays en développement où l'alimentation est en bonne partie d'origine végétale. Sa biodisponibilité est nettement plus faible (3 à 20%) et est fortement influencée par les composants du repas et l'état des réserves en fer (Monsen et al. 1978; Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Ainsi, les apports en fer hémique et en fer absorbable expliquent mieux les indicateurs du statut en fer que les apports en fer total comme il a été observé dans plusieurs études (Zimmermann et al. 2005, Alaofè et al. 2007, Gunnarson et al. 2007; Vitolo et Bortolini, 2007; Pasricha et al. 2008).

Promoteurs de l'absorption du fer

La vitamine C est considérée comme l'un des meilleurs promoteurs de l'absorption du fer non hémique (Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). En effet, elle améliore l'acidité de l'estomac. Ensuite, elle réduit le fer ferrique en fer ferreux prévenant ainsi la formation d'hydroxyde ferrique insoluble. Enfin, la vitamine C peut agir comme ligand en liant le fer ferrique dans l'estomac et en le maintenant soluble dans l'environnement alcalin du petit intestin (Engle-Stone et al. 2005; IOM, 2006). L'effet promoteur de la vitamine C est cependant relié à la teneur en vitamine C de chacune des prises alimentaires. Les aliments riches en vitamine C doivent donc être consommés en même temps que ceux qui

contiennent du fer non hémique. De plus, la vitamine C augmente le taux d'absorption du fer dans une relation dose-réponse. Une relation linéaire positive a été observée entre l'absorption du fer et l'apport en acide ascorbique jusqu'à 100 mg au cours d'une prise alimentaire (IOM, 2006). Par exemple, l'ajout de 25 mg de vitamine C à un repas double l'absorption du fer non hémique et augmente de 3 à 6 fois lorsque l'apport atteint 50 mg pendant le repas (Allen et Ahluwalia, 1997). Enfin, l'effet promoteur de la vitamine C est plus important en présence d'inhibiteurs de l'absorption du fer non hémique tels les phytates et les polyphénols (IOM, 2006).

Un facteur présent dans la viande, la volaille et le poisson (VVP) augmente de trois fois environ le taux d'absorption du fer non hémique (Bach Kristensen et al. 2005; Reddy et Hurrell, 2006; Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). L'effet promoteur de ce facteur est présent même si le repas contient des inhibiteurs de l'absorption du fer non hémique (Hurrell et al. 2006). Des études révèlent en effet que le taux d'absorption du fer non hémique est de 6% environ lors d'un repas riche en phytates composé de riz, de sauce tomate, de pois verts et de pain à grains entiers (62 mg de phosphore lié aux phytates) et contenant peu de vitamine C (7 mg), tandis qu'il augmente de 44-57% avec l'ajout de 50-75 g de porc (Baech et al. 2003; Bach Kristensen et al. 2005). Selon Swain et al. (2002), Huh et al. (2004) et Reddy et al. (2006), l'effet promoteur du facteur VVP serait dû soit à la stimulation de la sécrétion gastrique améliorant la solubilité du fer non hémique, ou la libération de peptides de faible poids moléculaire qui se lieraient au fer non hémique pour former des composés solubles, ou la réduction du fer ferrique en fer ferreux par des composés présents dans les tissus animaux. Très récemment, la L-alpha-glycerophosphocholine, un composé présent dans les tissus animaux, a été associée à leur effet promoteur (Armah et al. 2008).

Inhibiteurs de l'absorption du fer

Les polyphénols réduisent l'absorption du fer non hémique et leur effet inhibiteur serait attribuable à la formation dans la lumière intestinale de complexes insolubles avec le fer non hémique réduisant ainsi son absorption (Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Ils se retrouvent dans une grande variété d'aliments dont le thé, le café, le cacao, les tisanes, le vin rouge, les lentilles brunes, les haricots mungo, le sorgho rouge, les noix et les

épinards (Manach et al. 2004; Yun et al. 2004; Ito et al. 2005; Tuntipopipat et al. 2006). Des travaux indiquent que 50g de noix (amandes, arachides, noisettes) réduisent l'absorption du fer non hémique de 73%, alors que 1,5g d'orégano amènent une diminution de 69%. Également, les polyphénols présents dans le thé réduisent l'absorption du fer non hémique de 70-80% environ (Zijp et al. 2000; Fidler et al. 2003). L'effet inhibiteur du café est légèrement moindre, soit de l'ordre de 60-70% environ (Fidler et al. 2003). L'action des composés phénoliques est dose dépendante, ce qui signifie que plus le thé ou le café est fort et plus il est consommé en grande quantité, plus faible est l'absorption du fer non hémique (Layrisse et al. 2000). L'effet inhibiteur du thé et du café sur l'absorption du fer non hémique est le même que ces breuvages soient consommés au moment des repas, ou jusqu'à une heure après les repas. Ainsi, les sujets carencés en fer ou anémiques, ou encore à risque de carence en fer, devraient éviter de prendre du thé ou du café immédiatement avant, pendant ou jusqu'à une heure après les repas (Nelson et Poulter, 2004). Il est préférable d'attendre plus d'une heure, de préférence deux heures, avant de consommer ces breuvages.

L'effet inhibiteur des fibres sur l'absorption du fer varie selon le type de fibres: la cellulose ne semble pas inhiber l'absorption du fer, alors que l'hémicellulose la réduit (Fairbanks, 1998; Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Cependant, l'effet inhibiteur des fibres dépend surtout de leur contenu en phytates (Hashizume et al. 2004; Yun et al. 2004). Les aliments riches en fibres tels que les produits à grains entiers, le son, le soja et les produits dérivés du soja, les légumineuses et les graines oléagineuses (ex: graines de colza, de sésame, de tournesol, de lin) contiennent des phytates riches en groupements phosphates qui possèdent une grande affinité pour le fer (López et Martos, 2004; Bohn et al. 2008). Certains travaux indiquent que les phytates réduisent l'absorption du fer non hémique de 50% à 70% environ (Skoglund et al. 1999; Glahn et al. 2002). Le facteur viande, volaille et poisson ainsi que la vitamine C réduisent l'effet inhibiteur des phytates (Baech et al. 2003; IOM, 2006). Par exemple, l'ajout de 75 g de porc à un repas riche en phytates (62 mg de phytates) réduit leur effet inhibiteur de 50% environ. La vitamine C a un effet plus important, l'ajout de 150 ml de jus d'orange (\approx 60 mg de vitamine C) permet de neutraliser complètement l'effet inhibiteur d'une quantité de 40 à 50 mg de phytates (Siegenberg et al. 1991).

Le calcium est le seul élément qui inhibe à la fois l'absorption du fer non hémique et celle du fer hémique (Roughead et al. 2005; Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Selon certains auteurs, le calcium entre en compétition avec le fer lors de son transport à travers les entérocytes et/ou lors de son transfert à travers la membrane basolatérale des entérocytes vers le plasma (Hallberg et al. 1991; Roughead et al. 2002). Plus récemment, d'autres auteurs ont cependant émis l'hypothèse que le calcium inhibait plutôt le passage du fer de la lumière intestinale vers le cytoplasme des entérocytes (Roughead et al. 2005). L'effet inhibiteur du calcium sur l'absorption du fer au cours d'un repas unique est bien établi. Par exemple, la consommation de 165 mg à 300 mg de calcium sous forme de chlorure de calcium, de lait ou de fromage réduit l'absorption du fer hémique et non hémique de 40% à 60% environ, alors qu'une dose de 600 mg de calcium a sensiblement le même effet qu'une dose de 300 mg (Whiting, 1995; Hallberg, 1998). Enfin, même si l'effet inhibiteur du calcium sur l'absorption du fer semble évident au cours d'un repas unique, les suppléments en fer n'ont aucun effet négatif sur l'état nutritionnel en fer des individus à long terme (Harris, 2002; Molgaard et al. 2005).

État des réserves en fer des individus

L'absorption intestinale du fer constitue une étape capitale qui doit être finement régulée; l'organisme humain ne possédant pas de moyens de contrôler son excrétion (Cadet et al. 2005; Zimmermann et Hurrell, 2007). La régulation de cette absorption est elle-même influencée par l'activité érythropoïétique, le contenu en fer et la nature de l'alimentation, mais aussi par les réserves en fer de l'organisme (Cadet et al. 2005). En effet, l'absorption du fer augmente en fonction des besoins. Ainsi, le taux d'absorption est inversement proportionnel à la concentration de ferritine sérique, indicateur des réserves en fer de l'organisme. On estime que 1 µg/L de ferritine sérique correspond à 10 mg de fer de réserve (Gibson, 2005). Chez les femmes dont les réserves en fer sont épuisées, le taux d'absorption du fer hémique est estimé à 35% comparativement à 23% chez les femmes dont les réserves sont adéquates (Monsen et al. 1978). Parallèlement, le taux d'absorption du fer non hémique double lorsque les réserves en fer sont épuisées passant de 5 à 10% pour un repas de biodisponibilité moyenne (quantité de viande, volaille et poisson comprise entre 30 et 90 g ou celle de la vitamine C entre 25 à 75 mg). Aussi, la carence en fer,

l'anémie et l'hypoxie diminuent la production de l'hepcidine dont le rôle est d'inhiber l'absorption intestinale du fer alimentaire et le recyclage du fer hémique provenant des macrophages (Zimmermann et Hurrell, 2007; Viatte et Vulont, 2007; Ganz, 2008).

2.2.2 Facteurs pathologiques

2.2.2.1 Infections parasitaires

Si la consommation insuffisante de fer et la perte de sang pendant la menstruation sont des facteurs étiologiques de la carence en fer, les infections parasitaires comme les vers intestinaux et le paludisme peuvent également occasionner ou aggraver l'anémie par carence en fer (Olney et al. 2007; Calis et al. 2008). En effet, les helminthiases notamment l'ankylostomiase, la trichocéphalose et la bilharziose, de par les saignements qu'elles entraînent, sont un facteur majeur dans la non-couverture des besoins en fer d'une large fraction de la population des régions tropicales (Taylor-Robinson et al. 2007). Une forte association inverse entre l'intensité de l'infection par les ankylostomes (*Ancylostoma duodenale* et *Necator americanus*) et les niveaux d'hémoglobine a été observée, mais seulement pour des niveaux d'infestation plus grands que 2000 oeufs/gramme de selles (Loukas et al. 2005; Ranjit et al. 2006). Des infections sévères du trichocéphale *Trichuris trichiura* provoquent des inflammations et la dysenterie qui risquent encore d'augmenter les pertes de sang (Hong et al. 2006; Diniz-Santos et al. 2006). Enfin, des études montrent que le degré de morbidité associée à *Schistosoma haematobium*, agent de la bilharziose urogénitale, et *Schistosoma mansoni*, agent de la bilharziose intestinale, est relié à l'intensité de l'infection (Van der Werf et al. 2003; Kabatereine et al. 2004).

Le paludisme ou malaria est une maladie parasitaire qui touche environ 500 millions d'individus et provoque la mort d'un à deux millions d'entre eux par an. La malaria est due à un protozoaire de type *Plasmodium falciparum malariae*, *vivax* ou *ovale* et est transmise à l'homme par un moustique, anophèle femelle hématophage (WHO, 2007). À la différence des helminthiases, il ne cause pas de spoliation sanguine, mais il affecte l'utilisation du fer dans l'organisme (Prentice et al. 2007; Alusala et al. 2008; Doherty et al. 2008). En effet, lorsque le Plasmodium sous forme de mérozoïte a pénétré à l'intérieur du globule rouge, il baigne dans une mer d'hémoglobine qu'il utilise pour assurer sa propre croissance. Le

parasite ingère l'hémoglobine par une structure appelée cytotome et l'introduit dans sa vacuole qui est à pH acide (Ahiboh et al. 2008; Doherty et al. 2008). Par ses hydrolases, le parasite décompose l'hémoglobine en globine qui apporte des acides aminés, et en hème qui apporte le fer lequel est transformé en hémozoïne par une hème-polymérase. Lors de la destruction du globule rouge, l'hémozoïne est libérée dans la circulation et captée par des macrophages (Prentice et al. 2007; Ahiboh et al. 2008; Doherty et al. 2008). Ainsi, le paludisme s'accompagne d'une hémolyse qui provoque régulièrement une anémie déterminant son caractère de gravité. Cependant, la plus grande partie du fer libéré est récupérée et réutilisée pour la synthèse de nouvelles molécules d'hémoglobine. Enfin, l'inflammation induite par le paludisme est à l'origine de la séquestration anormale de la ferritine dans les macrophages réduisant ainsi la disponibilité du fer aux érythroblastes (Prentice et al. 2007; Ahiboh et al. 2008; Doherty et al. 2008).

2.2.2.2 Autres déficits nutritionnels

La carence en fer peut être aggravée par un mauvais état nutritionnel, notamment lorsqu'elle est associée à des carences en acide folique, en vitamines A ou B₁₂, comme c'est fréquemment le cas dans les populations qui vivent dans les pays en développement (Winichagoon, 2008). L'acide folique et la vitamine B₁₂ interviennent dans la synthèse de l'hémoglobine et par conséquent leur carence peut contribuer à l'anémie par carence en fer (Koury et Ponka, 2004; Schneider et al. 2007). Quant à la vitamine A, dans l'étude de Gargari et al. (2006) réalisée en Iran, l'absorption du fer était 2,62 fois plus élevée lorsque le pain était enrichi en vitamine A. Bien que les mécanismes exacts de l'interaction entre le fer, la vitamine A et le β -carotène n'ont pas été clairement identifiés, il semble qu'ils agissent comme agents chélateurs en gardant le fer soluble et en l'empêchant de former des complexes insolubles avec les phytates et les tannins (García-Casal, 2006; Leenstra et al. 2007). Cette hypothèse ne fait cependant pas encore l'unanimité dans le cas de la vitamine A (Garcia-Casal et al. 2000), bien que l'on reconnaisse malgré tout qu'un état nutritionnel sous-optimal en vitamine A puisse avoir des effets négatifs sur l'absorption du fer (Walczyk et al. 2003; Davidsson et al. 2003). Enfin, le cuivre est un cofacteur de la céruloplasmine qui intervient dans l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique. Cette activité ferroxidasique favorise la captation du fer par la transferrine et l'utilisation du fer dans la

synthèse de l'hémoglobine. Ceci explique qu'une déficience en cuivre puisse entraîner une anémie (Gropper et al. 2009; Schneider et al. 2007).

2.2.2.3 Hémoglobinopathies héréditaires

Les hémoglobinopathies, principalement constituées par les thalassémies et la drépanocytose, sont des affections héréditaires qui compromettent le transport de l'oxygène dans l'organisme (Thurlow et al. 2005; Sanchaisuriya et al. 2006). La drépanocytose se caractérise par une modification de la forme des hématies qui, normalement biconcaves, prennent une forme de croissant ou de faucille. Moins élastiques, les hématies falciformes peuvent obstruer les petits vaisseaux sanguins et bloquer la circulation sanguine. Elles vivent moins longtemps, ce qui entraîne une anémie dite anémie falciforme (Thurlow et al. 2005; Sanchaisuriya et al. 2006). Les thalassémies sont aussi des anomalies héréditaires du sang et les sujets atteints ne produisent pas des quantités suffisantes d'hémoglobine adulte ou fœtale ou les deux: ainsi tous les syndromes thalassémiques sont caractérisés par une anémie hypochrome (Thurlow et al. 2005; Sanchaisuriya et al. 2006).

On estime qu'il naît chaque année dans le monde, et en majorité dans les pays à revenu faible ou moyen, plus de 300 000 enfants présentant une forme grave d'hémoglobinopathie. Environ 5% de la population mondiale sont porteurs d'un gène drépanocytaire ou thalassémique; ce pourcentage atteint 25% dans certaines régions (OMS, 2006). Ces pathologies sont surtout répandues dans les régions tropicales; elles se sont toutefois étendues à la majorité des pays du fait des migrations de population. C'est en Asie, dans le bassin méditerranéen et au Moyen-Orient que les thalassémies sont les plus fréquentes. La drépanocytose touche principalement l'Afrique (OMS, 2006). Enfin, les hémoglobinopathies ont une fréquence maximale dans les pays à forte endémie paludéenne car les porteurs hétérozygotes semblent protégés contre les formes graves de paludisme (Modiano et al. 2008; Veenemans et al. 2008). On s'attend donc à une augmentation de leurs prévalences si l'incidence du paludisme n'est pas réduite.

2.2.2.4. Inflammation et maladies chroniques

L'anémie par carence en fer est souvent associée à l'anémie des maladies chroniques qui peut être causée par les troubles suivants: infections chroniques (tuberculose, abcès

pulmonaire et endocardite); maladies auto-immunes ou maladies inflammatoires (polyarthrite rhumatoïde, lupus, rectocolite hémorragique, maladie de Crohn, artérite temporale (ou maladie de Horton); cancers (maladie de Hodgkin, cancer du poumon, cancer du sein) (Weiss et Goodnough, 2005; Lynch, 2007). En effet, les syndromes inflammatoires induits par ces maladies interfèrent sur la signification des paramètres d'évaluation du statut en fer (Andrews et Schmidt, 2007; Matsumura et Kanakura, 2008). Dans un premier temps, des cytokines (interleukine-1) sont libérées par les macrophages ou les monocytes activés par l'infection et l'inflammation. Ensuite, le fer est séquestré dans les macrophages de la moelle osseuse, du foie et de la rate (système histiocytaire) possiblement à cause de l'augmentation de la synthèse de l'apoferritine sous l'influence des cytokines (interleukine-1). Enfin, il s'ensuit une réduction modérée de la durée de vie des globules rouges possiblement à cause de l'augmentation de l'activité phagocytaire des macrophages (Cadet et al. 2005; Clark, 2008).

Ainsi, la réponse altérée de la moelle osseuse à l'anémie sous l'influence de plusieurs cytokines et une diminution de la synthèse de l'érythropoïétine (hormone qui stimule la production des globules rouges) ou une réponse altérée à l'érythropoïétine sont des phénomènes importants dans l'étiologie de l'anémie des syndromes inflammatoires et infectieux (Cadet et al. 2005; Clark, 2008). La proportion du fer mis en réserve dans les macrophages augmente au détriment du fer remis en circulation, entraînant un effondrement du fer sérique. Les paramètres biochimiques de l'inflammation tels la protéine C-réactive et la ferritine sérique sont augmentés (Spivak, 2002; Balla et al. 2007). Lors d'un état inflammatoire ou infectieux, il peut y avoir présence simultanée d'une carence en fer. Il y a donc lieu d'augmenter la limite inférieure de normalité de la ferritine sérique à 50 ug/L (Hinderaker et al. 2002; Cook et al. 2003).

2.2.3 Déterminants des comportements alimentaires et sanitaires

2.2.3.1 Déterminants endogènes ou biologiques

Interviennent dans les choix d'aliments des individus, divers déterminants biologiques à savoir le code génétique, le sexe, l'âge, l'état de santé et la dépense énergétique. Comme il a été mentionné précédemment, le niveau des besoins en fer, variable au cours de la vie,

conditionne en grande partie le risque de carence en fer. Les besoins en fer sont augmentés chez les femmes en âge de procréer du fait des pertes liées aux hémorragies menstruelles (Alton, 2005; Tupe et al. 2008). Selon certains auteurs, il existe une influence génétique sur le statut en fer des sujets de race noire (WHO/UNICEF/UNU, 2001; Denic et Agarwal, 2007). Dans des études réalisées aux Etats-Unis, les noirs américains avaient un taux d'hémoglobine inférieur à celui des individus blancs ou hispaniques, cependant cette différence ne serait pas associée à la carence en fer mais serait attribuable à des facteurs génétiques (Zacharski et al. 2000; WHO/UNICEF/UNU, 2001). Ceci a motivé l'ajustement des seuils pour les populations d'origine africaine. Cependant, une étude récente effectuée respectivement chez 1,938 et 1,616 hommes blancs et noirs sélectionnés dans le cadre de l'enquête NHANES indique que les hommes de race noire se caractérisent par des taux plus élevés de ferritine sérique et des taux plus faibles d'hémoglobine comparativement aux hommes de race blanche (Pan et Jackson, 2008). Selon les auteurs, les différences observées entre les deux groupes seraient dues à plusieurs facteurs dont l'état de santé et de nutrition, le fonctionnement hépatique et la présence de paramètres biochimiques indiquant une anémie de type inflammatoire chez les hommes de race noire (faible taux d'hémoglobine, réduction de la capacité totale de fixation du fer par la transferrine et taux élevé de ferritine sérique).

Certaines pathologies ou comportements peuvent être responsables d'une augmentation des besoins en fer. Toutes les causes de saignements chroniques, quelle que soit leur origine, entraînent des pertes supplémentaires en fer. Épistaxis (saignement de nez), hématuries, métrorragies (hémorragie utérine survenant en dehors des règles) ou saignements du tractus digestif, notamment lorsqu'ils sont répétés favorisent un déséquilibre du bilan en fer. De nombreuses pathologies peuvent être ainsi impliquées: fibrome utérin, endométriose, varices œsophagiennes, hernie hiatale, ulcère, polypes et tumeurs digestives... (Apfelbaum et al. 2004). Certaines pathologies telles que les hémorroïdes, la prise de certains médicaments (aspirine, et à un moindre degré anticoagulants, anti-inflammatoires...) ou les dons du sang (surtout lorsqu'ils sont répétés plusieurs fois dans l'année) doivent être pris en compte (Apfelbaum et al. 2004). Pour ce dernier, un don de sang de 500 ml augmente les besoins en fer absorbable d'environ 0,6 mg/jour (IOM, 2006). De même, des dons réguliers

de sang sont associés à de faibles réserves en fer et par conséquent, à des risques élevés d'anémie par carence en fer (Djalali et al. 2006; Mittal et al. 2006; Norashikin et al. 2006).

Aussi, le traitement prolongé de la dyspepsie et de l'ulcère gastro-duodéal affecterait l'absorption du fer non hémique. En effet, certains médicaments qui réduisent l'acidité gastrique tels que les antiacides et les inhibiteurs de la pompe à protons diminuent l'absorption du fer, l'acidité gastrique jouant un rôle important dans l'absorption du fer non hémique (Andrews et Schmidt, 2007; Hershko et al. 2007; Hutchinson et al. 2007). L'utilisation abusive de ces médicaments fournit en fait un environnement favorable à la prolifération des bactéries, en particulier la bactérie *Helicobacter pylori* souvent impliquée dans l'étiologie de la carence en fer (Shimada et Hiraishi, 2008). Enfin, l'absorption du fer non hémique peut être réduite quand des suppléments de zinc sont consommés simultanément (Hutchinson et al. 2007; Clark, 2008). Le zinc entre en compétition avec le fer lors de son transport à travers les entérocytes et/ou lors de son transfert à travers la membrane basolatérale des entérocytes vers le plasma (Schneider et al. 2007; Wieringa et al. 2007).

En ce qui concerne la dépense énergétique, il semble qu'une activité physique intense serait liée à un faible statut en fer. En effet, le statut en fer des femmes qui pratiquent régulièrement une activité physique intense est souvent marginal ou inadéquat; leurs besoins en fer pouvant être de 30 à 70% plus élevés comparativement à celles qui ne pratiquent pas d'activité soutenue (IOM, 2006). Une étude effectuée chez les femmes militaires de l'armée américaine révèle des prévalences de carence en fer et d'anémie ferriprive élevées suite à la période d'entraînement, contrairement aux prévalences observées chez les nouvelles recrues. (McClung et al. 2006). Des pertes sanguines au niveau gastrointestinal et fécal et une hémolyse légère d'ordre mécanique (causée par les sauts) peuvent expliquer ce phénomène.

2.2.3.2 Disponibilité et qualité des ressources alimentaires

Les choix d'aliments que font les individus et leur état nutritionnel sont directement conditionnés par leur environnement alimentaire. La révolution industrielle a fait en sorte que l'environnement alimentaire est maintenant en grande partie tributaire de

l'approvisionnement national. Dans une population, le niveau de production et de consommation des denrées alimentaires ainsi que les échanges commerciaux qui sont effectués avec l'extérieur déterminent le volume et la qualité des ressources alimentaires disponibles (Dubost, 2005; FAO, 2006). Ainsi, l'état de l'économie d'une population, ses politiques gouvernementales et son organisation sociale influent sur le pouvoir d'achat individuel, lequel constitue un important déterminant des comportements alimentaires. Ces facteurs socio-économiques ont aussi une incidence sur l'approvisionnement alimentaire d'une population. Il en va de même du niveau de développement technologique, ainsi que de l'étendue des activités agricoles, elles-mêmes influencées par de nombreux facteurs environnementaux (qualité du sol, climat, proximité des cours d'eau, etc.) (Dubost, 2005; FAO, 2006).

D'où l'importance de la notion de sécurité alimentaire qui comporte quatre dimensions: disponibilité de la nourriture en quantité suffisante; stabilité de l'approvisionnement; accessibilité physique et économique des denrées et qualité et sécurité sanitaire des aliments. La sécurité alimentaire se définit comme l'accès permanent de tous aux denrées alimentaires nécessaires pour mener une vie saine et active (FAO, 2006). Si l'on tient compte de cette définition, la réalisation de la sécurité alimentaire reste un défi majeur à relever en Afrique sub-saharienne dont la situation géographique est présentée à l'annexe 1. L'analyse de la situation et des perspectives sur la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne montre en effet un écart croissant entre les besoins de consommation et de nutrition et les disponibilités alimentaires au niveau global des pays, des ménages et des individus (FAO, 2006).

Aujourd'hui, près de 33% de la population d'Afrique subsaharienne, soit environ 200 millions de personnes, sont sous-alimentées, dont 60% dans des pays en conflit. La sous-alimentation chronique sévit dans toute la région, mais ces dix dernières années, le nombre de sous-alimentés a principalement augmenté dans les pays en conflit souvent bien pourvus en ressources minérales, ce qui constitue très souvent d'ailleurs une des raisons du conflit (ex.: Soudan, Burundi). Au contraire, dans d'autres pays d'Afrique subsaharienne comme par exemple le Ghana, l'Angola et le Malawi, on constate une amélioration générale de la disponibilité et de la qualité des ressources alimentaires, quoique celle-ci soit irrégulière et

lente (FAO, 2006). La région reste, dans l'ensemble, fréquemment exposée à la famine et aux crises alimentaires, facilement déclenchées par la moindre sécheresse, inondation, invasion de ravageurs, récession économique ou situations de conflit. L'Afrique subsaharienne est la seule région du monde où l'on prévoit une aggravation du problème de la faim au cours des vingt prochaines années si des mesures radicales ne sont pas prises pour instaurer la paix, améliorer la gouvernance et parvenir au développement économique nécessaire pour inverser la tendance actuelle (FAO, 2004; 2006).

Les céréales, les racines et les tubercules jouent un rôle essentiel dans les sources d'approvisionnement en Afrique subsaharienne, mais leur production ne suit pas le rythme de la croissance démographique. Les pays qui ont été en mesure d'accroître leur production de céréales et d'exporter des produits agricoles sont généralement ceux où la sécurité alimentaire s'est améliorée (FAO, 2006). Pour satisfaire la demande de denrées alimentaires, les pays d'Afrique subsaharienne ont été obligés d'importer davantage: 25% des céréales consommées sont actuellement importées (contre 5% à la fin des années 1960) (FAO, 2006). Cette proportion est bien plus forte dans les pays pauvres présentant un solde commercial négatif et un fort endettement et pour lesquels ces importations ne sont pas viables à long terme. L'aide alimentaire, en forte augmentation dans les années soixante-dix, s'est maintenant stabilisée à 3% en moyenne de la consommation de céréales. Dans certains pays, elle est cependant devenue une source régulière d'approvisionnement et peut représenter jusqu'à 20% des céréales consommées, ce qui rend ces pays tributaires de l'aide extérieure (FAO, 2006).

En Afrique subsaharienne, divers facteurs entravent l'accès des ménages à la nourriture: incapacité des pays à produire les ressources nécessaires pour l'importation de produits vivriers, niveau de pauvreté élevé et en constante augmentation (50% en 2003) dû à une dépendance excessive vis-à-vis de l'agriculture de subsistance, accès limité aux emplois non agricoles, développement timide des centres urbains et répartition inégale des revenus (BAD, 2004; World Bank, 2005; FAO, 2006). Par ailleurs, en raison de carences en matière d'infrastructures commerciales et de transport, les denrées n'atteignent pas ceux qui en ont le plus besoin, ou bien leur parviennent à des prix extrêmement élevés. Dans pas moins de 17 pays de la région, la circulation des produits alimentaires a en outre été gênée par des

conflits et la distribution alimentaire aurait même été utilisée, dans certains cas, pour s'assurer la soumission des populations (Kristiansen, 2003; FAO, 2006).

2.2.3.3 Déterminants économiques et socio-culturels

Les conditions de vie peuvent influencer les achats alimentaires et donc l'état nutritionnel des individus. En effet, différentes conditions de vie (revenu, emploi, scolarité et logement) ont été associées à l'apport en fer et à la présence d'anémie et de carence en fer. Au Bangladesh, le revenu du ménage a été positivement relié à la consommation de viande, volaille et poisson (Bhargava et al. 2001). Chez des adolescentes indiennes, des associations significatives ont été observées entre la sévérité de l'anémie et un faible niveau socio-économique (Choudhary et al. 2006; Gawarika et al. 2006). Dans une étude effectuée en Iran, les apports en fer de source animale étaient plus élevés chez les femmes instruites ou qui avaient un emploi et dans les familles comprenant moins de 6 personnes (Djazayery et al. 2001). Des études ont également montré que l'occupation des parents, aussi bien celle du père que de la mère, était associée à l'état de nutrition de leurs enfants (Jain et al. 2005; Ngnie-Teta et al. 2007). Enfin, dans l'étude de Ngnie-Teta et al. (2007) effectuée au Bénin et au Mali, la carence en fer était plus fréquente dans les zones rurales qui sont souvent caractérisées par un niveau socio-économique plus faible.

Soulignons l'influence des facteurs socio-culturels sur les apports alimentaires des individus. Les habitudes alimentaires de la famille et des pairs de même que les valeurs alimentaires qu'ils véhiculent conditionnent les choix des individus (Mirmiran et al. 2007). En contrôlant l'environnement alimentaire de leurs enfants et en leur transmettant leurs croyances, les parents exercent une influence certaine sur les habitudes alimentaires de ces derniers et ces influences continuent de s'exercer à l'âge adulte (Dubost, 2005). Aussi comme l'ont observé Gould et al. (2006) et Nelson et al. (2007) en Angleterre, les repas offerts dans les écoles affectent les choix et les apports alimentaires des adolescents. Enfin, on ne peut plus nier l'impact que la publicité peut avoir sur les choix alimentaires des individus. En Arabie Saoudite, en Afrique du Sud et au Canada, les principales sources d'information en nutrition et en santé sont respectivement la télévision, les magazines et les journaux (Al-Almaie, 2005); les magazines, les livres et l'internet (Marquis et al. 2005); les

medias particulièrement la radio, la télévision suivies par la famille et les amis (Charlton et al. 2004).

2.2.3.4 Déterminants psycho-culturels

Les facteurs psycho-culturels (connaissances, croyances religieuses, tradition, tabous) ont aussi un impact sur les choix d'aliments des individus et les quantités qu'ils ingèrent (Jarrah et al. 2007; Mirmiran et al. 2007). En Malaisie, de bonnes connaissances nutritionnelles ont été associées à de bonnes pratiques alimentaires et sanitaires (Pon et al. 2006). Pirouznia (2000) a également observé l'impact des connaissances nutritionnelles sur les comportements alimentaires d'enfants américains. Ati et al. (2008) ont remarqué que des pratiques traditionnelles inappropriées (pica et consommation de thé après le repas) étaient associées avec une prévalence plus élevée d'anémie ferriprive chez des femmes en âge de procréer tunisiennes. Selon ces auteurs, le pica touche près de la moitié des femmes vivant dans le sud-ouest de la Tunisie et semble être, comme l'ont noté plusieurs auteurs, une conséquence de l'anémie ferriprive. Le pica est un besoin irrésistible de manger certaines substances comestibles ou non.

2.2.3.5 Automédication et système de santé

L'automédication, qu'il s'agisse de la médecine moderne ou traditionnelle, demeure le premier recours dans l'itinéraire thérapeutique des individus et ce, avant d'avoir recours aux services d'un professionnel de la santé ou de se rendre dans un centre de santé ou à l'hôpital. Plusieurs auteurs ont montré la barrière que constitue le coût des médicaments et des services professionnels pour les utilisateurs des soins et services de santé, et ont mis en évidence la situation particulière des indigents qui deviennent des exclus, tant au Bénin que dans d'autres pays (Ouendo et al. 2005; Bennett et Gilson 2007; Mills et al. 2007). Les gens incapables de payer les médicaments et les soins prodigués par les professionnels de la santé sont exclus du système de santé moderne. Ils se tournent alors vers l'automédication, ou ne se soignent pas du tout (Waelkens, 1999). Dans ces conditions, ils ont tendance à traiter les symptômes qu'ils perçoivent et se préoccupent moins des causes du problème de santé qui les afflige et qui pourrait être, dans certains cas, lié à la malnutrition et particulièrement à la carence en fer.

L'utilisation de l'automédication traditionnelle comme premier recours en Afrique peut s'expliquer du fait que l'utilisation des recettes traditionnelles est un phénomène culturel important. De plus, la prolifération des vendeurs et prescripteurs ambulants de médicaments "modernes" constitue également un facteur en émergence dans toutes les contrées (Ouendo et al. 2005). Une étude réalisée au Ghana montre en effet que les sujets étudiés ont recours aux médicaments disponibles sur le marché privé et les principaux avantages qui y sont reliés sont le coût inférieur de ces médicaments et le fait qu'ils peuvent être achetés en petites quantités ou à l'unité (Waelkens, 1999). Au Niger, le premier recours en cas de maladie est aussi l'automédication à domicile (Jaffré et Olivier de Sardan, 2001).

On note également que le système public de santé perd progressivement sa crédibilité. En effet, les longues listes d'attente, l'accueil non chaleureux réservé aux utilisateurs, le rançonnement, le clientélisme, etc. minent le système de santé. Il est donc aisé de conclure que ces situations provoquent la réticence des malades à utiliser les centres de santé. La recherche menée dans cinq capitales d'Afrique de l'Ouest par l'équipe de Jaffré et Olivier de Sardan (2001) est assez évocatrice à ce sujet. Elle met en évidence les dysfonctionnements des systèmes de soins du point de vue des comportements des professionnels de la santé, des structures de santé, de l'environnement économique, politique et administratif. La corruption qui s'est installée dans les systèmes de santé de la plupart des pays de la sous-région ouest africaine rend presque prohibitif l'accès des indigents à certains centres de santé publics (Blundo et Olivier de Sardan, 2001).

Cet examen rapide des facteurs qui affectent la balance en fer de l'organisme permet de comprendre pourquoi la carence en fer est particulièrement prévalente dans les pays en développement et pourquoi certains groupes d'individus, comme les femmes en âge de procréer, sont particulièrement exposés. Elle permet de mieux orienter l'évaluation de leur état nutritionnel et fournit également le cadre conceptuel des interventions à mettre en œuvre.

2.3 ÉVALUATION DE L'ÉTAT NUTRITIONNEL EN FER

Nous avons précédemment montré que la carence en fer a de multiples causes qui s'influencent réciproquement, et par conséquent, sa solution exige que l'on intervienne dans plusieurs secteurs. Idéalement, l'évaluation de l'état nutritionnel comporte un aspect clinique, soit l'histoire médicale et l'examen clinique, qui est complété par l'évaluation des apports alimentaires, le dosage de marqueurs biologiques de la carence en fer, l'étude de la composition corporelle et l'utilisation d'indices multiparamétriques qui en évalueront la sévérité (Gibson, 2005; Espanel et al. 2007). Cependant, aucune méthode d'évaluation nutritionnelle prise isolément ne permet de diagnostiquer l'état nutritionnel des individus. Seule une approche globale interprétée de façon adéquate peut fournir une information éclairée (Gibson, 2005).

2.3.1 Évaluation des apports alimentaires

2.3.1.1 Méthodes d'évaluation des apports alimentaires

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation des apports alimentaires dont le rappel alimentaire de 24 ou de 48 heures, le questionnaire de fréquence, le journal alimentaire, la diète répliquée et l'histoire diététique. Les principales méthodes utilisées dans le cadre d'études épidémiologiques sont le rappel de 24 heures et le questionnaire de fréquence alimentaire (Kaaks et Ferrari, 2006; Blanchet, 2008).

Rappel de 24 et de 48 heures

Ces méthodes consistent à déterminer l'apport alimentaire du sujet au cours des dernières 24 ou 48 heures. Une description détaillée de tous les aliments et boissons consommés, incluant les méthodes de préparation et de cuisson et la prise de suppléments doivent être notés, de même que les quantités consommées. Des modèles d'aliments, des modèles de grosseur de portions, des photographies d'aliments sont souvent utilisés afin de faciliter la quantification des apports (Gibson, 2005; Caire-Juvera et al. 2007). Il y a souvent une sous-estimation des apports reliés aux oublis, par exemple les collations. Les femmes, les personnes plus âgées et les personnes ayant un surplus de poids ou désirant perdre du poids ont tendance à sous-estimer leurs apports (Howarth et al. 2006). Le principal avantage du

rappel de 24 heures est sa simplicité et sa rapidité, ce qui rend cette méthode plus facilement utilisable sur de grands échantillons. Elle donne en général un taux élevé de réponse; elle est relativement peu coûteuse et nécessite un personnel d'enquête moins qualifié, contrairement à d'autres techniques d'estimation des apports alimentaires (Gibson, 2005). Il est important que tous les jours de la semaine soient représentés afin d'inclure les effets des jours de fin de semaine sur les apports (Gibson, 2005; Hatzis et al. 2006). Lorsque l'objectif est de vérifier le lien entre l'alimentation et les maladies ou d'estimer la prévalence d'apports inadéquats, l'utilisation de plusieurs rappels de 24 heures est recommandée afin d'obtenir l'apport usuel des individus. De 6 à 8 rappels de 24 heures ont été requis afin d'obtenir la vraie moyenne des apports alimentaires en fer selon un niveau de confiance statistique préétabli pour un groupe d'individus issus d'une population française (Mennen et al. 2002) ou américaine (Basiotis et al. 1987). Plus le nombre de rappels est élevé, plus les données recueillies sont représentatives des apports habituels des sujets interrogés. À cet effet, le rappel de 48 heures a été utilisé pour évaluer les habitudes alimentaires et pour déterminer la relation entre le régime alimentaire et les maladies (McNaughton et al. 2005; Mikkilä et al. 2007).

Questionnaire de fréquence

Le questionnaire de fréquence comprend une liste d'aliments et des catégories de fréquence d'utilisation. Cette méthode sert à déterminer la fréquence de consommation de certains aliments ou groupes d'aliments sur une base quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle (Gibson, 2005). Elle permet donc d'obtenir des données qualitatives et une description des profils de consommation alimentaire. Le questionnaire de fréquence est simple pour le répondant (Petkeviciene et al. 2007). Il est utile lorsqu'on veut étudier les associations entre les habitudes alimentaires et les maladies, ou pour classer les sujets selon qu'ils ont des apports faibles, moyens ou élevés (Gibson, 2005). Pour des raisons de coût et de logistique, le questionnaire de fréquence est la méthode d'évaluation des apports alimentaires la plus utilisée dans les études nutritionnelles épidémiologiques (Bhakta et al. 2005; Jaceldo-Siegl et al. 2008). Sa principale limite est liée à la liste d'aliments qui tend à sous-estimer les apports si elle est restreinte (Olafsdottir et al. 2006). De plus, le questionnaire de fréquence permet de cibler certains nutriments en particulier, mais ne permet pas d'obtenir l'apport

total en énergie et autres nutriments, à moins d'évaluer la consommation alimentaire globale. En effet, il a été remarqué que l'apport énergétique médian est sous-estimé de 30 à 40% avec le questionnaire de fréquence versus 10-20% pour le rappel de 24 heures. Les apports en protéines sont sous-estimés de 30% pour le questionnaire de fréquence et de 10% pour le rappel alimentaire de 24 heures. Enfin, selon Schatzkin et al. (2003) et Subar et al. (2003), les corrélations sont meilleures avec les rappels alimentaires de 24 heures qu'avec le questionnaire de fréquence.

2.3.1.2 Estimation du fer absorbable

Plus que la quantité de fer présente dans l'alimentation, c'est la qualité de ce fer qui constitue le facteur déterminant pour la couverture des besoins (Cadet et al. 2005; Zimmermann et Hurrell, 2007). En effet, la biodisponibilité du fer dépend de sa forme chimique et de la présence d'autres nutriments dans le régime qui affecte son absorption; d'où l'importance d'évaluer les apports en fer absorbable en tenant compte des promoteurs et des inhibiteurs de l'absorption du fer. Au Canada et aux États-Unis, un taux d'absorption de 18% est utilisé pour déterminer les besoins en fer des adultes (IOM, 2001). En Afrique, l'OMS propose quatre niveaux de biodisponibilité selon la diversité des aliments et la quantité de viande, volaille et poisson dans la diète (WHO/FAO, 2004). Des taux de 12 à 15% sont recommandés pour des repas de type occidental. Pour des repas à faible teneur en viande, un taux de 5% est recommandé lorsque la teneur en phytates est élevée, contre 10% pour des repas à faible teneur en phytates.

Le premier modèle d'estimation des apports en fer absorbable a été développé par Monsen et al. (1978) qui ont pris en considération les réserves en fer des individus et les deux principaux facteurs alimentaires promoteurs de l'absorption du fer non hémique, soit le facteur VVP et l'acide ascorbique. D'après ce modèle, selon que les réserves en fer soient élevées ou faibles, le taux d'absorption du fer hémique peut varier de 15 à 35% respectivement. Le fer non hémique varie de 2 à 20% en fonction des réserves en fer et de la composition des repas. Ensuite, le modèle de Monsen a été modifié par plusieurs chercheurs (Monsen et Balintfy, 1982; Tseng et al. 1997; Du et al. 2000; Bhargava et al. 2001). Dans le modèle de Monsen et Balintfy (1982), le facteur d'absorption du fer non

hémique a été remplacé par une formule qui prend en considération les promoteurs de l'absorption présents dans un repas, tandis que les autres modèles ci-haut mentionnés tenaient compte des facteurs inhibiteurs (thé et phytates). Deux autres algorithmes ont été développés pour estimer la biodisponibilité du fer et sont basés sur les nutriments qui non seulement facilitent mais aussi inhibent l'absorption du fer. Reddy et al. (2000) ont développé une méthode basée sur les tissus animaux, l'acide phytique et l'acide ascorbique, pendant que l'algorithme d'Hallberg et Hulthén (2000) est basé sur le contenu des repas en phytates, polyphénols, acide ascorbique, viande, calcium, œufs, protéine de soja et alcool.

Beard et al. (2007) ont comparé ces différents algorithmes et ont remarqué que les taux d'absorption estimés par les algorithmes de Monsen et Balintfy (7,3%) et de Hallberg et Hulthén (6,1%) étaient très bien corrélés ($r=0,92$), en dépit du fait que le modèle de Hallberg et Hulthén est beaucoup plus complexe. Lorsque Beard et al. (2007) ont comparé le taux d'absorption du fer en tenant compte des changements dans les niveaux de ferritine sérique chez 114 religieuses des Philippines, ils ont observé que l'absorption médiane était de 17,2%. Comme Beiseigel et al (2007), ils ont donc conclu qu'aucun des algorithmes développés ne peut être universellement utilisé pour la détermination du fer absorbable. De plus, les fichiers américains et canadiens d'éléments nutritifs ne fournissent pas la teneur en phytates et en polyphénols des aliments, ce qui limite l'utilisation de ces différentes méthodes. Néanmoins, des liens hautement significatifs ont été observés entre les apports en fer absorbable estimés par exemple avec le modèle de Monsen et plusieurs paramètres biochimiques du statut en fer comme les niveaux d'hémoglobine, d'hématocrite et le nombre de globules rouges chez des enfants québécois âgés de 12 à 20 mois (Laverdière et Turgeon O'Brien, 1997) et chez des adolescentes béninoises âgées de 14 à 16 ans (Alaofè et al. 2007). Dans le but de surmonter ces problèmes, Conway et al. (2007) ont mis au point un algorithme basé sur les aliments (ex: fromage, tissus animaux, fruits et jus riches en vitamine C) plutôt que sur les constituants (polyphénols, vitamine C). Cet algorithme aurait une efficacité similaire à ceux basés sur les constituants et serait plus facile d'utilisation. Cependant, il n'a pas encore été vérifié avec des données autres que celles utilisées pour sa création.

2.3.1.3 Prévalence d'apports inadéquats en fer

L'évaluation de l'alimentation à l'échelle d'un groupe consiste généralement à comparer les apports habituels de nutriments aux besoins nutritionnels de manière à évaluer la prévalence d'une consommation insuffisante au sein du groupe (Gibson, 2005). Les besoins en fer sont présentés dans les apports nutritionnels de référence (ANREF) qui sont un ensemble de valeurs nutritionnelles de référence destinées à des populations en bonne santé et, qui peuvent servir à l'évaluation nutritionnelle et à la planification de l'alimentation. Le fer est un nutriment possédant, selon les groupes d'âge, les quatre types de valeurs de référence: besoin moyen estimatif (BME), apport nutritionnel recommandé (ANR), apport suffisant (AS) et apport maximal tolérable (AMT). Le BME est utilisé dans une équation pour évaluer les apports nutritionnels des individus et l'ANR sert d'apport cible pour la planification de l'alimentation des individus. Le BME est recommandé pour évaluer la prévalence d'apports inadéquats et pour planifier une prévalence acceptable d'apports insuffisants dans un groupe (IOM, 2006).

L'estimation des besoins en fer est basée sur le maintien d'une concentration fonctionnelle normale et sur des réserves minimales en fer. De plus, les besoins en fer varient en fonction de l'âge, du sexe, de l'état physiologique et des réserves en fer (IOM, 2001; WHO/FAO, 2004). Pour ce faire, les besoins en fer des femmes en âge de procréer ont été déterminés à partir des pertes basales et des pertes dues aux menstruations. Ainsi, leur besoin médian en fer absorbable a été estimé à 1,5 mg (Zimmermann et Hurrell, 2007). En utilisant un taux d'absorption de 18%, le BME et l'ANR sont évalués à 7,9 et 15 mg chez l'adolescente menstruée non végétarienne âgée de 14 à 18ans. Chez l'adolescente végétarienne, le taux d'absorption est estimé à 10% et le BME et l'ANR sont estimés respectivement à 14,2 mg et 27 mg (IOM, 2001). Selon l'OMS, les apports nutritionnels recommandés sont fonction des niveaux de biodisponibilité. Par exemple, pour un taux d'absorption de 10%, l'ANR d'une adolescente de 15 ans est de 31mg. Malheureusement, l'OMS ne propose pas de BME pour le fer (WHO/FAO, 2004).

Deux méthodes ont été mises au point pour évaluer la prévalence de consommation insuffisante au sein d'un groupe: l'approche probabiliste et l'approche de seuil du BME. La première est une méthode fondée sur les probabilités, qui consiste à déterminer le risque de

consommation insuffisante pour chaque individu du groupe et à additionner les probabilités (moyenne pondérée du risque de consommation insuffisante). Cette approche doit être utilisée lorsque les besoins en un nutriment ne sont pas distribués normalement comme c'est le cas pour le fer chez les femmes menstruées (IOM, 2006; Murphy et al. 2006). Quant à la méthode du seuil du BME, le pourcentage d'individus dont les apports usuels en un nutriment sont inférieurs au BME indique la prévalence d'apports inadéquats. Son utilisation requiert, notamment, que la distribution des besoins soit symétrique. Dans le cas de l'énergie, on établit un besoin énergétique estimatif (BEE) plutôt qu'un BME (IOM, 2006; Murphy et al. 2006).

2.3.2 Diagnostic biologique de l'anémie et de la carence en fer

2.3.2.1 Étapes de développement de l'anémie par carence en fer

Lorsque l'apport alimentaire en fer d'un individu est insuffisant, que l'absorption est diminuée ou que l'organisme subit des pertes trop abondantes de fer, les besoins physiologiques ne sont plus satisfaits et la carence nutritionnelle s'installe. La déficience en fer se développe graduellement et dans un ordre séquentiel bien défini qui inclut trois phases principales qui se chevauchent (Tableau 2.1). Les trois étapes de la carence en fer peuvent être détectées par différents paramètres biochimiques (Gibson, 2005; Clark, 2008).

La première phase de la carence en fer correspond à l'épuisement des réserves en fer, principalement liées à la ferritine et à l'hémosidérine; ce qui a pour effet d'augmenter la capacité d'absorption intestinale du fer. À ce stade, la carence est prélatente et l'apport de fer au niveau de la moelle osseuse est suffisant pour couvrir l'érythropoïèse (Gibson, 2005; Clark, 2008). Dans la deuxième phase, la capacité totale de fixation du fer par la transferrine (CTFT) augmente, puis le fer sérique et, par conséquent, le coefficient de saturation de la transferrine (CST) s'abaissent. Ainsi, l'apport de fer aux précurseurs de l'hémoglobine diminue, ce qui entrave l'érythropoïèse. La protoporphyrine, qui ne peut se lier au fer pour former l'hémoglobine, se trouve en quantité élevée et à l'état libre dans les globules rouges. La carence en fer est alors latente (Gibson, 2005; Clark, 2008). La troisième étape correspond à l'anémie ferriprive. Les taux d'hémoglobine et d'hématocrite s'abaissent. Le volume des globules rouges diminue (microcytose) et la concentration

globulaire moyenne en hémoglobine s'abaisse (hypochromie). L'anémie ferriprive est alors manifeste (Gibson, 2005; Clark, 2008).

Tableau 2.1: De la carence en fer à l'anémie: déroulement chronologique

Paramètres	Normal	Épuisement des réserves	Erythropoïèse déficiente en fer	Anémie ferriprive
Fer de la moelle osseuse	2-3 ^a	0-1 ^a	0	0
CTFT (µmol/L)	330±30	360	390	410
Ferritine sérique (µg/L)	100±60	20	10	<10
Absorption du fer (%)	5-10	10-15	10-20	10-20
Fer sérique (µg/L)	115±50	115	<60	<40
CST (%)	35±15	30	<15	<15
Protoporphyrines érythrocytaires libres (µmol/L)	30	30	100	200
Erythrocytes (n)	Normal	Normal	Normal	Microcytique hypochromique
Récepteurs de la transferrine	Normal	Élevé	Très élevé	Très élevé

^a Réserves en fer dans la moelle osseuse: 0=absence de fer; 1=diminution du fer; 2-3= quantité normale de fer. (Source: Clark, 2008).

2.3.2.2 Paramètres biochimiques de l'anémie par carence en fer

L'utilisation de bons indicateurs d'évaluation du statut en fer est essentielle pour apprécier l'importance de la carence en fer, sa distribution dans une population, et ainsi mettre en place des mesures de santé publique efficaces. Plusieurs indicateurs biochimiques caractéristiques de chaque étape peuvent être utilisés pour déterminer la présence et la sévérité de la carence en fer (Gibson, 2005; Clark, 2008; Ozawa, 2008). La ferritine sérique permet de mettre en évidence les réserves en fer, soit la première étape de la carence en fer. Le fer sérique, le coefficient de saturation de la transferrine, la capacité totale de fixation du fer par la transferrine, les protoporphyrines érythrocytaires libres et les récepteurs de la transferrine sont des paramètres susceptibles de déterminer la deuxième étape de la carence en fer. Le taux d'hémoglobine, l'hématocrite, le volume globulaire moyen et la

concentration globulaire moyenne en hémoglobine sont les indicateurs de la troisième étape de la carence en fer, soit l'anémie ferriprive (Gibson, 2005; Clark, 2008; Ozawa, 2008).

Déplétion des réserves en fer

Présente dans l'intestin, le foie, la rate, la moelle osseuse et le plasma sanguin, la ferritine sérique permet d'évaluer l'état des réserves en fer de l'organisme (Gorstein et al. 2007). En effet, une faible proportion de ferritine sérique circule dans le sang et celle-ci est corrélée avec la quantité de fer en réserve dans l'organisme. L'immunodosage de la ferritine sérique n'est pas toujours envisageable sur le terrain en Afrique surtout en raison du coût élevé des réactifs et du manque de personnel. Une méthode plus simple, soit le dosage à l'aide d'une goutte de sérum séché sur papier-filtre, a été développée et validée par Ahluwalia et al. (1998, 2002, 2005) au Sri Lanka et au Guatemala. Cette méthode requiert une quantité minimale de sang et est fortement corrélée avec la méthode traditionnelle de dosage de la ferritine sérique.

Chez un adulte, 1 µg/L de ferritine sérique indique approximativement la présence de 10 mg de fer en réserve (Gibson, 2005). Quand la concentration de ferritine sérique est inférieure à 12 µg/L, les réserves en fer sont complètement épuisées (Gibson, 2005). Les seuils de ferritine sérique utilisés dans la littérature pour indiquer une déplétion des réserves en fer chez des adultes en santé varient habituellement entre 12 et 30 µg/L (Patterson et al. 2001; Cook et al. 2003; Clark, 2008). Cependant, un taux élevé de ferritine n'est pas tributaire de réserves adéquates en fer puisque la ferritine est une protéine de phase aiguë dont le taux sanguin augmente rapidement en présence d'infections, de syndromes inflammatoires, de cancers et de maladies du foie. La ferritine n'est donc pas un indicateur du statut en fer approprié dans les populations ayant des taux élevés d'inflammation et d'infections (Beard et al. 2006; Loffeld, 2007). Dans ce cas, la mesure d'autres protéines telles que la protéine C-réactive, l'haptoglobine, l'orosomucoïde et le fibrinogène permet de détecter un syndrome inflammatoire ou infectieux (Killip et al. 2007; Carriere et al. 2008). La protéine la plus utilisée est la protéine C-réactive qui augmente très rapidement dès la 6ème heure en cas d'inflammation. Quant aux autres protéines, elles augmentent à partir du 2ème jour pour atteindre un maximum au 5ème jour (WHO/CDC, 2004). Ainsi, certains auteurs suggèrent également d'augmenter le seuil de ferritine sérique à 30 ou 50 µg/L pour

identifier la déplétion des réserves lorsque la protéine C-réactive indique la présence d'inflammation ($CRP \geq 10 \text{ mg/L}$) (Hinderaker et al. 2002; Cook et al. 2003). Le dosage des protéines de la phase tardive de l'inflammation est trop coûteux et la plupart du temps non disponibles, particulièrement dans les pays en développement, pour faire partie des examens de routine (WHO/CDC, 2004).

Érythropoïèse déficiente en fer

Le fer sérique, le coefficient de saturation de la transferrine, la capacité totale de fixation du fer par la transferrine, les protoporphyrines érythrocytaires libres et les récepteurs de la transferrine sont des paramètres susceptibles de déterminer l'érythropoïèse déficiente en fer. Cependant, le fer sérique et le coefficient de saturation de la transferrine sont très labiles. Le taux de fer sérique varie au cours de la journée chez un même individu de 13 à 20% environ et diminue très rapidement en présence de fièvre, d'infection et d'inflammation (Dale et al. 2002). Le coefficient de saturation de la transferrine varie d'un jour à l'autre de 30 à 40% environ, même lorsque les mesures sont effectuées à la même heure le jour suivant. Un coefficient de saturation de la transferrine de 20 à 25% permet toutefois d'exclure la déficience en fer (Cook, 1982). La capacité totale de fixation du fer par la transferrine est moins affectée par les variations biologiques d'un individu et reste dans les limites normales ou est légèrement diminuée en présence d'un syndrome inflammatoire, phénomène qui permet de déterminer si l'anémie est causée par un syndrome inflammatoire ou par une déficience en fer où elle est augmentée (Wians et al. 2001; Gibson, 2005).

Ainsi, des valeurs inférieures à 10 ou 11 $\mu\text{mol/L}$ pour le fer sérique (Patterson et al. 2001; Pagana et Pagana, 2002) et un coefficient de saturation de la transferrine inférieur à 15 ou 16% (Pagana et Pagana, 2002; Gibson, 2005; McClung et al. 2006) associés à une capacité totale de fixation du fer par la transferrine >68 à $82 \mu\text{mol/L}$ traduisent une érythropoïèse déficiente en fer (Cook et Skine, 1990; Patterson et al. 2001; Pagana et Pagana, 2002). Quant aux deux derniers paramètres biochimiques, des taux élevés de protoporphyrines érythrocytaires libres et des récepteurs de la transferrine sont aussi caractéristiques de l'érythropoïèse déficiente en fer. Cependant, bien que non affectés par les infections, les récepteurs de la transferrine semblent plus spécifiques que les protoporphyrines

érythrocytaires libres. Malheureusement, leur dosage est trop coûteux et la plupart du temps non disponibles, particulièrement dans les pays en développement, pour faire partie des examens de routine (Metzgeroth et al. 2005; Kleven et al. 2007; Das et Philip, 2008).

Anémie

La diminution du taux d'hémoglobine (Hb), d'hématocrite, du volume globulaire moyen (VGM) et de la concentration globulaire moyenne en hémoglobine (CGMH) correspond à un stade avancé de la carence en fer, soit la troisième et dernière étape (Gibson, 2005). Un taux d'hémoglobine <120 g/L indique la présence d'anémie chez les femmes en âge de procréer et une concentration d'hémoglobine <70 g/L caractérise une anémie sévère, alors qu'un taux d'Hb <100 g/L représente une anémie modérée (WHO/UNICEF/UNU, 2001). En plus de diminuer le nombre de globules rouges produits, une anémie par carence en fer entraîne une diminution de la taille des érythrocytes qui deviennent plus petits (microcytiques) et plus pâles (hypochromiques). Ces caractéristiques sont identifiables par le volume globulaire moyen (VGM) et une concentration globulaire moyenne en hémoglobine (CGMH) abaissés qui diminuent lorsque l'anémie est à un stade avancé (Andrews, 2004).

Enfin, l'étiologie de l'anémie étant multifactorielle, la détermination des paramètres biochimiques du statut en fer caractéristiques de l'épuisement des réserves en fer et de l'érythropoïèse déficiente en fer est essentielle au diagnostic de l'anémie ferriprive. En effet, le taux d'hémoglobine est affecté par certains facteurs comme l'altitude, le tabagisme, la race (Stang et Story, 2005) et peut être abaissé en présence d'une carence en acide folique ou en vitamine B₁₂, d'un syndrome inflammatoire ou d'une infection chronique (Cook, 2005; Gisbert et Gomollon, 2008), et ce indépendamment du statut en fer de l'individu. De même, la diminution du VGM et de la CGMH survient également dans d'autres conditions, particulièrement dans les thalassémies (Cook, 2005).

2.3.2.3 Critères multiples dans l'évaluation du statut en fer

La méthode la plus simple et la plus souvent utilisée pour déterminer la prévalence de la carence en fer est fondée sur l'existence d'un indice biochimique anormal de l'état nutritionnel en fer. Cependant, aucun paramètre ne permet à lui seul de couvrir l'ensemble

des phases de la carence en fer, ni, à l'exception de la ferritine sérique, d'assurer un diagnostic certain de la phase de la carence qu'il est censé évaluer. L'utilisation de plusieurs indices de la carence en fer permet une évaluation plus exacte de l'état nutritionnel en fer de l'individu (Gibson, 2005). En effet, l'utilisation d'un modèle à critères multiples diminue les erreurs de classification, car elle minimise l'effet de chevauchement des valeurs normales et anormales des paramètres du statut en fer utilisés séparément. Actuellement, il n'existe pas de consensus quant au meilleur modèle à critères multiples à utiliser pour définir la déficience en fer. Les modèles les plus souvent utilisés consistent en un ensemble de trois paramètres représentant différents stades de la carence en fer dont au moins deux doivent être anormaux pour déterminer la présence d'une déficience en fer (Gibson, 2005; Ferreira et al. 2007).

Deux modèles à critères multiples ont été utilisés afin d'évaluer la prévalence de la carence en fer aux Etats-Unis. Le premier modèle comprenait la ferritine sérique, le coefficient de saturation de la transferrine et les protoporphyrines érythrocytaires libres et dans le deuxième modèle, le VGM remplaçait la ferritine sérique (Gibson, 2005; Hashizume et al. 2005). Plus récemment, l'inclusion des récepteurs de la transferrine dans des modèles à critères multiples a permis de mieux distinguer l'anémie des maladies chroniques de l'anémie ferriprive. L'utilisation des modèles à indices biochimiques multiples comprenant les récepteurs de la transferrine est à privilégier chez les populations présentant des taux élevés d'infection ou de maladies chroniques mais malheureusement en raison de leur coût, leur dosage ne constitue pas un examen de routine dans ces régions (Gibson, 2005, Dólka et al. 2007; Killip et al. 2007). Enfin, d'autres modèles à indices biochimiques multiples comprennent 4 paramètres du statut en fer. Par exemple, Patterson et al. (2001) ont utilisé un modèle où la déficience en fer était définie par une ferritine sérique indiquant une déplétion des réserves ($FS < 15 \text{ ug/L}$), ou de faibles réserves en fer ($FS = 15-20 \text{ ug/L}$), plus au moins deux indicateurs anormaux parmi les trois suivants: le fer sérique, le coefficient de saturation de la transferrine et la capacité totale de fixation du fer par la transferrine.

2.3.3 Mesures anthropométriques

L'anthropométrie constitue une technique universellement applicable, peu coûteuse et non invasive, qui permet d'évaluer la corpulence, les proportions et la composition du corps humain. Les mesures anthropométriques sont le reflet de l'état nutritionnel, mais peuvent aussi être utilisées pour prévoir l'état de santé et la survie (NCHS, 2002; De Onis et al. 2007). En effet, l'obésité est associée aux maladies chroniques (Hart et al. 2007; Bjørge et al. 2008; Denney-Wilson et al. 2008; Ringbäck Weitoft et al. 2008) et une perte des réserves adipeuses et de la masse musculaire peut s'expliquer par la présence de malnutrition (Ghosh et Bala, 2006; Nething et al. 2007). La malnutrition désigne un état pathologique causé par la déficience ou l'excès d'un ou de plusieurs nutriments dont le fer (Bhutta, 2008; Anderson et al. 2008).

L'indice de masse corporelle (IMC) qui est le rapport du poids (kg) sur le carré de la taille (m) est la mesure de la composition corporelle la plus utilisée dans les études épidémiologiques. Il constitue en effet un indicateur de risque pour la santé associé à un poids insuffisant, à l'excès de poids et à l'obésité (Kamadjeu et al. 2006; McCreary et al. 2006). Chez les adolescentes âgées de 2 à 20 ans, des courbes en percentiles portant sur l'indice de masse corporelle en fonction de l'âge sont utilisées (NCHS, 2002; De Onis et al. 2007). Ainsi, les courbes d'IMC font appel aux valeurs limites et à la terminologie suivante pour classer des poids corporels anormaux susceptibles de poser des risques médicaux (Tableau 2.2):

Tableau 2.2. Classification de l'état nutritionnel des adolescentes âgées de 2 à 20 ans basée sur la méthode des percentiles d'indice de masse corporelle (IMC) en fonction de l'âge (NCHS, 2002)

IMC par rapport à l'âge $\geq 95^{\text{ème}}$ percentile	Obésité
$85^{\text{ème}}$ percentile \leq IMC par rapport à l'âge $< 95^{\text{ème}}$ percentile	Embonpoint
IMC par rapport à l'âge $< 5^{\text{ème}}$ percentile	Maigreux

2.3.4 Diagnostic clinique de l'anémie par carence en fer

L'hémoglobine est une protéine contenant du fer qui intervient dans le transport de l'oxygène des poumons vers les cellules du corps entier. Au stade de carence martiale sans anémie on peut retrouver, à l'interrogatoire, une asthénie isolée. L'anémie ferriprive est très progressive permettant ainsi une adaptation physiologique à l'hypoxie. Ceci explique une tolérance clinique parfois remarquable, malgré des valeurs de l'hémoglobine extrêmement basses (Brutsaert et al. 2003; Alton, 2005; Espanel et al. 2007). Ainsi, chez un adulte sain sans facteur de comorbidité tel que le donneur de sang, la symptomatologie est souvent fruste et peut être réduite à une pâleur cutanéomuqueuse, une fatigabilité intellectuelle ou une asthénie. Des signes cliniques tels qu'une tachycardie, une dyspnée, des vertiges, des acouphènes peuvent survenir lors d'une activité physique représentant des situations hypoxémiantes majorant la symptomatologie. Les troubles cutanéomuqueux comme la fragilité des phanères, la glossite atrophique traduisent une carence ancienne et non traitée. Un diagnostic préliminaire peut être fait, par l'examen de la conjonctive de la paupière inférieure. On peut comparer la rougeur de la conjonctive du sujet avec celle d'une personne normale (Brutsaert et al. 2003; Alton, 2005; Espanel et al. 2007).

2.3.5 Facteurs écologiques

En raison de la complexité des facteurs qui peuvent occasionner ou aggraver l'anémie par carence en fer, une évaluation complète comprend également la revue des facteurs de risque précédemment cités et qui sont connus pour influencer l'état nutritionnel des individus ou des populations. Ces facteurs incluent des données socio-économiques et démographiques (composition des familles, niveau d'instruction, ethnie, religion, revenu, occupation, utilisation de l'eau potable, accès aux services de santé, etc) (Apfelbaum et al. 2004; Ouendo et al. 2005; Djalali et al. 2006; McClung, 2006; Denic et Agarwal, 2007; Clark, 2008). Des données sur les habitudes alimentaires, les pratiques et les comportements alimentaires, les disponibilités alimentaires de même que les prix alimentaires et les réseaux de distribution peuvent être recueillies (Gibson, 2005; Dubost, 2005; FAO, 2006).

2.4 STRATÉGIES DE CONTRÔLE DE LA CARENCE EN FER

La carence en fer affecte non seulement la santé et le bien-être des sujets atteints, mais elle a également des répercussions sociales et économiques importantes (WHO, 2008). De ce fait, il y a un besoin urgent de développer et de mettre en application des stratégies appropriées, rentables et efficaces pour réduire le fardeau humain et économique de ce problème nutritionnel. Les approches préconisées impliquent la combinaison des interventions suivantes comportant chacune plusieurs avantages et inconvénients: la supplémentation en fer, l'enrichissement en fer des aliments incluant la biofortification, l'amélioration des pratiques alimentaires et l'éducation nutritionnelle (Huma et al. 2007; Ma et al. 2008). Ces interventions sont d'autant plus efficaces lorsqu'elles intègrent des mesures de santé publique, comme le contrôle des infections, et qu'elles sont couplées à des programmes de contrôle d'autres carences en micronutriments (Figure 2.2) (WHO, 2008; Sadighi et al. 2008).

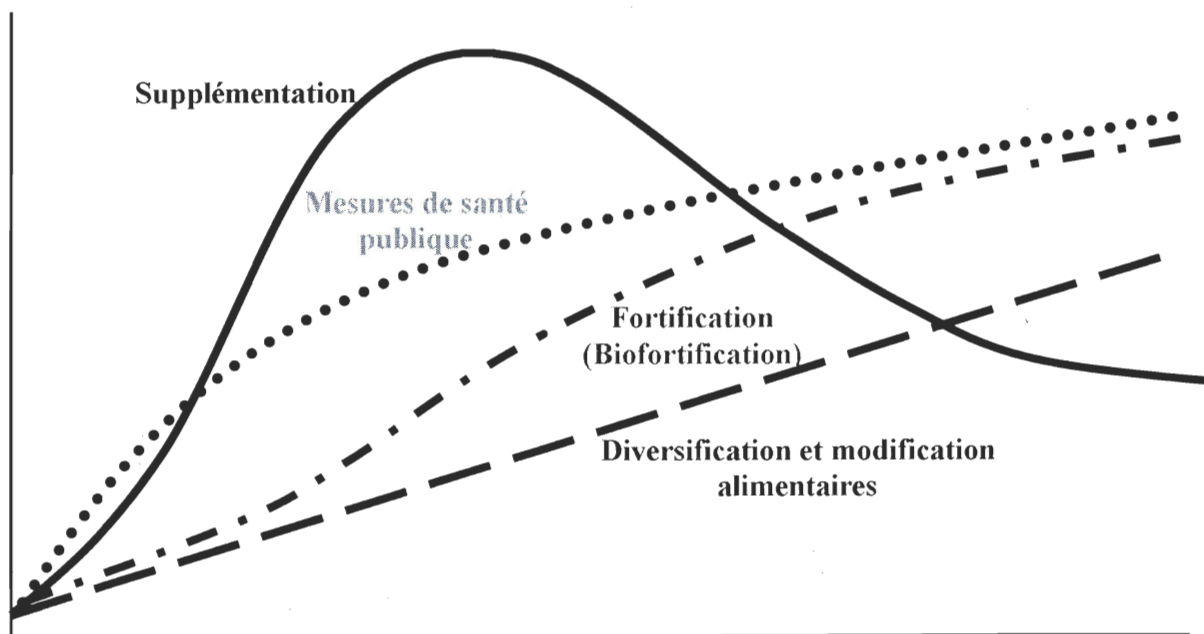


Figure 2.2: Contribution relative des différentes interventions à la réduction de la carence en fer (MI, 2007)

2.4.1 Supplémentation en fer

Disponibles sous forme de comprimés, de capsules, de solutions injectables et de sirops, les suppléments en fer constituent un moyen efficace et nécessaire pour corriger rapidement la carence en fer surtout si elle est sévère, mais supposent l'existence de structures de distribution et d'une logistique d'approvisionnement adéquate (Berger et Dillon, 2002; Huma et al. 2007; Lutsey et al. 2008). De plus, le fer médicamenteux, pour être réellement efficace, doit avoir une biodisponibilité optimale, ce qui justifie l'utilisation préférentielle des sels ferreux (sulfate, fumarate et gluconate ferreux) mieux absorbés que les sels ferriques (Dos Santos et al. 2007; Melamed et al. 2007). Enfin, les règles d'administration du fer médicamenteux sont bien standardisées. Chez les adolescentes, on préconise une supplémentation de 60 mg de fer élémentaire et 400 µg d'acide folique par jour (INACG et al. 1998).

Bien que la supplémentation en fer, aussi bien quotidienne qu'hebdomadaire, soit efficace chez les adolescentes (Ahmed et al. 2005; Horjus et al. 2005; Angeles-Agdeppa et al. 2005; Ruivard et al. 2006), les résultats des programmes de supplémentation sont, dans l'ensemble, décevants. Dans la majorité des cas, cette supplémentation, délivrée par les services de santé des pays, n'a pas d'impact en termes de santé publique du fait d'une couverture insuffisante des populations à risque, de l'absence d'engagement politique et de support financier, d'insuffisances dans l'approvisionnement et la distribution des suppléments aux centres de santé, des croyances et pratiques culturelles tant des pourvoyeurs que des récipiendaires des suppléments, de la formation inadéquate des pourvoyeurs, de l'éducation des récipiendaires, de la présentation et des caractéristiques des suppléments, des effets collatéraux indésirables (Berger et Dillon, 2002, Mora, 2002; Schauer et Zlotkin, 2003; Davidson et al. 2005; Melamed et al. 2007; Seck et Jackson, 2008; Lutsey et al. 2008).

De plus, l'efficacité de l'utilisation des suppléments contenant plusieurs vitamines et minéraux est remise en question à cause des interactions possibles entre les différents éléments nutritifs, ou de l'interférence au niveau de leur absorption (ex.: calcium, zinc) (Christian et al. 2003; Dijkhuizen et al. 2003). Par ailleurs, Dewey et al. (2002) et Held et

al. (2006) ont remarqué qu'un apport très élevé en fer par les suppléments favorise la croissance et la prolifération des agents pathogènes. A cet égard, la supplémentation universelle en fer de 24 076 enfants âgés de 1 à 3 ans vivant à Zanzibar, zone caractérisée par un taux très élevé de paludisme (environ 405 piqûres infectées) et l'absence de programmes structurés de traitement de la malaria, a montré une aggravation des risques de morbidité et de mortalité chez les enfants non carencés en fer (Sazawal et al. 2006). Au contraire, la supplémentation universelle n'a produit aucun effet négatif chez 25 490 enfants vivant au Népal où la prévalence de malaria est plus faible (Tielsch et al. 2006). L'OMS a néanmoins recommandé d'abandonner la supplémentation universelle en fer chez les enfants dans les zones endémiques pour la malaria et décrété l'urgence de développer des interventions appropriées pour ces régions (De Benoist et Fontaine, 2007; Allen et al. 2008).

2.4.2 Enrichissement en fer des aliments

L'enrichissement en fer des aliments consiste à introduire le fer dans l'un des aliments consommés régulièrement par la population. Les aliments véhicules les plus souvent utilisés sont les céréales (farine de blé, de maïs, éventuellement le riz); parfois, on a recours aux condiments comme la sauce de poisson ou la poudre de curry, éventuellement au sucre, voire au sel (WHO/FAO, 2006; Huma et al. 2007; CDC, 2008; Sadighi et al. 2008; Seal et al. 2008). L'enrichissement des aliments est une stratégie efficace qui a fait ses preuves dans les pays du Nord (Lynch, 2005; Sun et al. 2007; Seal et al. 2008). En effet, il est employé depuis plus de 50 ans aux Etats-Unis, au Canada et en Suède et c'est à son emploi que l'on attribue la réduction spectaculaire de la prévalence de l'anémie ferriprive dans ces pays. Son avantage principal est qu'il permet de toucher une large partie de la population et ce, à faible coût. De plus, il ne présente pas les risques d'excès de fer et les effets secondaires gastro-intestinaux qu'occasionnent parfois les suppléments de fer. Enfin, la consommation d'aliments enrichis en plusieurs micronutriments est efficace (Yeudall et al. 2002; Delisle, 2003; Ahmed et al. 2008).

L'enrichissement en fer des aliments constitue probablement l'approche la plus rentable, viable et optimale dans la lutte contre la carence en fer dans les pays en développement.

Cependant, peu de pays africains ont actuellement des stratégies nationales d'enrichissement en fer des aliments (Miglioranza et al. 2003; Zlotkin et al. 2004). De plus, des infrastructures industrielles qui permettent l'adjonction contrôlée de fer sans augmentation du prix de vente du produit enrichi sont requises et les aliments enrichis doivent être accessibles, mais surtout bien acceptés par la population visée (Mehansho, 2006; Imhoff-Kunsch et al. 2007). Malheureusement, le développement des industries alimentaires en Afrique de l'Ouest est relativement récent. Le choix de la source de fer pose des problèmes difficiles car, si les sels existants sur le marché sont nombreux (sulfate, fumarate, gluconate, saccharate, lactate, pyrophosphate, poudre de fer élémentaire), peu d'entre eux répondent aux deux conditions que l'on est en droit d'attendre de ces composés, à savoir une bonne biodisponibilité et, simultanément, une absence de réactivité avec l'aliment-véhicule (Mehansho, 2006; Greiner, 2007; Lynch, 2007). Un composé paraît à cet égard posséder les qualités recherchées: c'est un complexe entre le fer et un ligand, l'EDTA (*ethylene diamine tetracetic acid*), sous la forme Na-Fe EDTA (*sodium- iron- EDTA*) qui dans la farine de blé n'entraîne aucune modification organoleptique après une période de stockage de deux années. En outre, il est stable à la chaleur, en particulier lors de la cuisson du pain, mais son coût est élevé (Van Thuy et al. 2005; Van Stuijvenberg et al. 2006; Watanapaisantrakul et al. 2006; Andang'o et al. 2007).

2.4.3 Biofortification

Malgré des efforts majeurs de la communauté internationale, la réduction de la carence en fer reste un véritable problème de santé publique dans les pays en développement. On dépense en effet plus d'un milliard de dollars chaque année en supplémentation et/ou fortification, autrement dit en distribuant des pilules ou en ajoutant des vitamines ou du fer aux aliments vendus ou distribués dans les pays pauvres. Et c'est très loin d'être suffisant, comme le démontrent les chiffres de la malnutrition dans ces pays (Mayer et al. 2008). Le problème avec ces pays, c'est que l'alimentation n'apporte pas suffisamment de micronutriments car elle est basée sur un aliment, comme par exemple le riz. La biofortification qui vise à produire des variétés enrichies (notamment en fer, zinc et vitamine A) est une solution rentable et durable puisque les variétés restent sur le marché et/ou dans les champs des agriculteurs pendant de nombreuses années, alors que les autres approches

dépendent de fonds extérieurs et de systèmes de distribution non pérennes. De plus, les populations des milieux défavorisés pourront en bénéficier de même que tous les membres de la famille. Il est aussi possible d'améliorer la teneur en plusieurs micronutriments sans interactions entre les différents nutriments (Stein et al. 2008; Botha et Viljoen, 2008).

Bien qu'elle constitue une stratégie prometteuse, la biofortification est encore à l'étape de développement de variétés nouvelles enrichies en microéléments. À notre connaissance, une seule étude réalisée par l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) a montré l'impact d'une telle stratégie sur le statut en fer; une variété de riz biofortifié a permis d'augmenter de 17% le taux de ferritine sérique de religieuses des Philippines comparativement au riz commercial (Haas et al. 2005). Dans le programme Harvest Plus qui se déroule dans des laboratoires du groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, des variétés de plantes de culture contenant davantage de fer, de zinc et de vitamine A sont en train d'être produites. Dans une première phase, le riz, le maïs, le manioc, la patate douce et le haricot feront l'objet de ces recherches, puis suivront d'autres espèces, dont certaines plus locales (Bouis, 2007). La fondation de Bill et Melinda Gates finance un programme baptisé «Grand Challenges in Global Health». Les teneurs en micronutriments seront améliorées pour différentes espèces: banane, manioc, sorgho et riz. Le riz sera enrichi en bêta-carotène, en vitamine E, en fer et en zinc (Graham et al. 2001). Enfin, des études sont en cours pour observer les effets de trois types de stratégies de biofortification en fer, séparément ou en combinaison: augmentation du contenu en fer, diminution des inhibiteurs d'absorption du fer et augmentation des promoteurs de son absorption. Il importe de vérifier si une concentration plus élevée en micronutriments dans la plante se traduit bien par une plus grande absorption et une meilleure utilisation par l'organisme, avec les effets positifs espérés (Cockell, 2007).

2.4.4. Diversification et modification du régime alimentaire

La diversification et la modification du régime alimentaire est une stratégie qui vise à augmenter la disponibilité et l'utilisation d'aliments à haute teneur en fer absorbable (Delisle, 2003; Huma et al. 2007). Il existe quatre stratégies principales dont la mise en

œuvre efficace requiert l'utilisation d'une recherche formative et la planification de l'alimentation de la population considérée.

2.4.4.1 Stratégies de diversification et de modification alimentaires

Les quatre stratégies de diversification et de modification alimentaires ont pour but de changer les comportements concernant la sélection des aliments ainsi que les méthodes traditionnelles de préparation des aliments locaux. Mais le choix de la stratégie dépend de la population et de l'âge des individus, du contexte et des ressources disponibles. Ces stratégies peuvent inclure les éléments suivants: 1. Accroître la production et la consommation d'aliments à haute teneur et biodisponibilité du fer, tels que les viandes, volailles et poissons; 2. Réduire le contenu en phytate des aliments de base de type céréales ou légumineuses de manière à augmenter l'absorption du fer; 3. Accroître la consommation d'aliments connus pour leur capacité à favoriser l'absorption du fer et 4. Optimiser les procédés de transformation, de préservation et de commercialisation d'une grande variété d'aliments riches en fer (Delisle, 2003; Müller et Krawinkel, 2005; Huma et al. 2007).

Les choix d'aliments faits par les individus et leur état nutritionnel étant directement conditionnés par leur environnement alimentaire, il est important d'augmenter la production et la consommation d'aliments à haute teneur en fer. Dans de nombreuses études, l'augmentation des aliments riches en fer a été associée à l'amélioration du statut en fer (Patterson et al. 2001; Yeudall et al. 2005; Grillenberger et al. 2007). Cette stratégie peut être réalisée en augmentant par exemple, la production et la consommation de petit bétail tels que volaille, lapin et petits ruminants (soit chèvre ou mouton). Des efforts devraient être déployés afin de s'assurer que ce bétail, une fois produit, ne serve pas exclusivement à générer de l'argent, ou qu'il ne soit consommé uniquement lors d'événements cérémoniaux. Au contraire, il doit être promu pour la consommation régulière par tous les membres du foyer particulièrement ceux qui présentent un risque accru d'apports inadéquats en fer (IZinCG, 2007). Il importe également d'introduire l'aquaculture, particulièrement dans les pays où les facteurs économiques, religieux et/ou culturels sont défavorables à la consommation de viande et de volaille (IZinCG, 2007). Enfin, la dernière approche consistera à identifier les aliments locaux riches en fer tel l'afiti, condiment extrait des gousses de néré contenant environ 30 mg de fer par 100 g, qui

pourrait être consommé par tous les membres du ménage, surtout ceux qui présentent un risque élevé d'apports inadéquats en fer (DANA et INFRE, 2001; Delisle, 2003; IZinCG, 2007). Avallone et al. (2007) ont en effet observé *in vitro* que l'augmentation de l'absorption du fer était triplée lorsque les sauces étaient préparées avec de l'afiti.

Concernant les stratégies de réduction des phytates, le trempage des farines de céréales et de légumineuses dans l'eau peut réduire la teneur en phytates de certaines céréales, telles que le maïs et le riz, ainsi que de la plupart des légumineuses, tels que le haricot mungo ou le haricot rouge. Les phytates qu'ils contiennent sont en effet stockés sous une forme relativement soluble dans l'eau (Lestienne et al. 2005; Hotz et Gibson, 2007). Ainsi les phytates peuvent être éliminés par un simple trempage des farines dans une quantité généreuse d'eau, que l'on jettera avant la cuisson. Cette pratique peut réduire la teneur en phytates de la farine de maïs non-raffinée et d'haricots mungo d'environ 50% (Perlas et Gibson, 2005). La fermentation peut provoquer l'hydrolyse du phytate et diminuer son effet inhibiteur sur l'absorption du fer (Proulx et Reddy, 2007). Enfin, la germination (le maltage) peut augmenter l'activité endogène du phytase dans certaines céréales et légumineuses (Yeudall et al. 2005; IZinCG, 2007; Hotz et Gibson, 2007). Au Burkina Faso, Icard-Vernière et al. (2003) ont observé des réductions de 63, 99 et 95% de la teneur en phytates dans la farine de mil respectivement après germination des grains, fermentation et ajout de phytase. De même, dans l'étude d'Hurrell et al. (2003), après ajout de phytase, l'absorption du fer a augmenté de 1,7% à 5,3% pour le riz, de 1,8% à 8,9% pour le maïs et de 0,99% à 11,5% pour le blé.

Quant à l'augmentation de la consommation d'aliments connus pour leur capacité à augmenter l'absorption du fer, l'inclusion d'une quantité, même petite, de VVP ou de sources de vitamine C provenant des fruits et légumes augmente l'absorption du fer non hémique (Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Dans les pays en développement, les régimes alimentaires sont souvent à base de céréales, de racines et de tubercules qui contiennent des quantités non négligeables de fer mais aussi des inhibiteurs de son absorption, en particulier des phytates et des tannins (Zimmermann et Hurrell, 2007; Clark, 2008). La consommation de ces aliments avec des aliments riches en acide ascorbique (papaye, tomates, agrumes, etc.) peut permettre de réduire de façon importante leurs effets

inhibiteurs. La dernière approche consiste à optimiser les procédés de transformation, de préservation et de commercialisation d'une grande variété d'aliments riches en fer. Les boissons comme le café et le thé, qui sont riches en tannins, devraient être consommées au moins une à deux heures après les repas (Berger et Dillon, 2002). La préparation et le stockage des aliments dans des ustensiles en fer augmenteraient leur contenu en fer, en particulier en présence d'aliments «acides» (Borigato et Martinez, 1998; Adish et al. 1999). En revanche, la friture ou la cuisson prolongée du poisson réduit l'absorption de fer (Martinez et al. 2005).

La faible biodisponibilité du fer apparaît comme une des principales causes de la carence en fer dans les pays en développement. L'amélioration des pratiques alimentaires qui vise à augmenter la disponibilité et l'utilisation d'aliments à haute teneur en fer absorbable, constitue une approche essentielle afin de réduire la carence en fer dans ces régions (Gibson, 2004). Cependant, elle est souvent critiquée parce qu'elle est jugée trop difficile ou parce qu'elle constitue une stratégie à long terme. Bien que leur efficacité reste à démontrer, les stratégies d'amélioration des pratiques alimentaires présentent plusieurs avantages. Elles sont conçues de manière à être culturellement acceptables et donc plus aptes à devenir durables. Elles s'avèrent économiquement faisables et peuvent diminuer les carences co-existantes en micronutriments pour l'ensemble du ménage (Ruel, 2001; IZinCG, 2007). Le risque d'interactions antagonistes entre nutriments est limité. Elles confèrent également à la communauté la capacité de s'aider elle-même. Cependant, les interventions d'éducation nutritionnelle et de changement des comportements alimentaires peuvent assurer le succès des autres stratégies énumérées précédemment en permettant leur promotion, leur mise en oeuvre et leur durabilité. La sélection d'une combinaison appropriée de stratégies dépendra des facteurs culturels, religieux, socio-économiques et d'autres facteurs pertinents pour la population concernée (Ruel, 2001; IZinCG, 2007).

2.4.4.2 Conception et mise en oeuvre des stratégies

Afin d'assurer la durabilité des stratégies de diversification et de modification alimentaires, il est nécessaire d'adopter une approche systématique permettant de les rendre culturellement acceptables et économiquement réalisables dans leur contexte. Afin de mettre ces stratégies en oeuvre de manière efficace, il faut tenir compte des pratiques

d'alimentation, des habitudes alimentaires, ainsi que la disponibilité et du coût des aliments (IZinCG, 2007; Nápoles-Springer et al. 2008; Wallace et Legro, 2008). Il faut également tenir compte des croyances, des préférences et des tabous alimentaires, de la teneur en nutriments et antinutriments des aliments, du temps de cuisson et d'éventuelles charges de travail supplémentaires pour celles qui préparent les repas. Enfin, il faut mettre au point des stratégies d'éducation nutritionnelle et de marketing social favorisant les changements de comportement. Un élément clé pour s'assurer de tout cela est l'utilisation de recherches formatives basées largement sur des méthodes qualitatives mises en oeuvre dans la communauté cible (IZinCG, 2007; Napoles-Springer et al. 2008; Wallace et Legro, 2008).

La recherche formative est une méthode pragmatique de planification des programmes de travail. Les chercheurs élaborent des questions clés qui sont spécifiques à la communauté dans laquelle ils travaillent et se servent des réponses pour dresser un plan d'action. La recherche formative a des attributs qui l'ont rendue particulièrement utile comme composante des programmes d'intervention nutritionnelle. Elle est souple et s'adapte facilement aux besoins d'une communauté particulière (Wilson et al. 2007; Zakpa et al. 2007; Bellows et al. 2008; Curran et al. 2008). Elle permet de trouver des pistes de solutions aux problèmes dans un délai limité. Elle permet que les solutions viennent de l'interaction entre les besoins de la communauté cible et les connaissances des intervenants. Ainsi, la recherche formative sera utilisée pour identifier les stratégies les plus appropriées dans un contexte culturel donné. En appliquant les méthodes de recherche formative, les stratégies proposées seront testées sur le terrain afin de déterminer leur faisabilité et leur acceptabilité par le groupe cible spécifique de la communauté étudiée (Wilson et al. 2007; Zakpa et al. 2007; Bellows et al. 2008; Curran et al. 2008).

La mise en œuvre des stratégies alimentaires sélectionnées requiert également la planification de l'alimentation de la population considérée. Afin de faciliter la compréhension de la méthode de planification développée par l'IOM (2003), nous décrirons la méthode grâce à un exemple (Tableau 2.3).

Tableau 2.3: Détermination de l'apport médian cible du fer absorbable pour obtenir 10% de prévalence d'apports inadéquats chez des adolescentes (IOM, 2003)

Étude	BME (mg/jour)	Apport au 10 ^{ème} percentile (mg/jour)	Différence (BME- apport au 10 ^{ème} percentile)	Apport médian (mg/jour)	Apport médian cible (mg/jour)
Alaofè et al. (2007)	1,5	0,79	0,71	1,15	1,86

La distribution des apports nutritionnels habituels doit favoriser une faible prévalence d'apports insuffisants et d'apports excessifs pouvant entraîner un risque potentiel d'effets indésirables. Pour ce faire, il faut définir une prévalence acceptable d'apports insuffisants en un nutriment. Dans cet exemple, le nutriment choisi est le fer et le BME pour le fer absorbable des femmes en âge de procréer est de 1,5 mg/jour. La prévalence acceptable d'apports insuffisants en un nutriment peut varier de 5 à 95% et son choix est guidé par l'ampleur du problème nutritionnel qu'on étudie et ses conséquences sur la santé des individus (IOM, 2003). Dans l'exemple, la prévalence acceptable d'apports insuffisants choisie est 10%, c'est-à-dire que 10% des individus auront des apports en fer inférieurs au besoin moyen estimatif (BME).

Ensuite, la distribution des apports habituels du groupe cible est estimée à partir de la distribution des apports habituels obtenue chez le même groupe ou un groupe ayant des caractéristiques semblables (groupe de référence). Dans l'exemple choisi, une étude a été effectuée au Bénin chez le même groupe d'adolescentes (Alaofè et al. 2007). La distribution des apports habituels du groupe cible est obtenue par la détermination de la différence entre le BME du nutriment et l'apport correspondant à la prévalence acceptable précédemment choisie. Cette différence est égale à 0,71 mg (IOM, 2003). La dernière étape consiste à déterminer la distribution cible des apports habituels. L'apport médian cible (1,86 mg) qui sera utilisé pour la planification est estimé en additionnant l'apport médian dans la distribution des apports habituels du groupe de référence (1,15 mg) et la différence obtenue entre le BME du nutriment (1,5 mg) et l'apport correspondant à la prévalence acceptable choisie (0,71 mg). La marche à suivre pour planifier les apports de groupes diffère selon que le groupe est relativement homogène ou composé de plusieurs sous-

groupes dont les besoins nutritionnels et énergétiques varient. Dans la plupart des cas, la planification de l'alimentation de groupes est un processus continu dans le cadre duquel on planifie les apports alimentaires, on les évalue afin de déterminer l'efficacité de la planification et on modifie les activités de planification en conséquence (IOM, 2003).

2.4.5 Education nutritionnelle

L'éducation nutritionnelle constitue une partie importante des différentes stratégies de réduction de la carence en fer (Ahluwalia, 2002). Il est important de noter que la carence en fer induit peu de symptômes visibles facilement identifiables par les individus qui ne réalisent donc pas la gravité du problème et ses conséquences sur la santé. D'où l'importance de l'éducation nutritionnelle qui se définit comme un ensemble d'activités de communication visant la modification volontaire des pratiques qui ont une incidence sur l'état nutritionnel de la population, dans la perspective d'une amélioration de celui-ci (Müller et Krawinkel, 2005). Les personnes doivent prendre en charge leurs propres problèmes nutritionnels et participer activement à la résolution de ces problèmes. L'éducation nutritionnelle vise à améliorer de façon générale l'état nutritionnel par l'adoption de meilleures habitudes alimentaires, la modification des pratiques alimentaires peu satisfaisantes, l'amélioration de l'hygiène alimentaire et l'utilisation efficace des disponibilités alimentaires (Hassan et al. 2005).

Plusieurs méthodes d'éducation nutritionnelle peuvent être utilisées: les contacts individuels directs, les discussions en petits groupes, les conférences et les causeries, les médias de masse, etc. Les médias de masse comprennent entre autres, la radio, la télévision, la presse écrite (journaux et magazines), le web, et touchent un large public (Charlton et al. 2004; Al-Almaie, 2005; Marquis et al. 2005). Ils sont souples car ils permettent de transmettre des informations spécifiques et de renforcer les connaissances d'un groupe particulier. Cependant, pour obtenir des résultats significatifs en utilisant les médias de masse, il faut tenir compte de certains paramètres tels la crédibilité du média, les caractéristiques du message, le pourcentage du public cible à atteindre, la fréquence du contact possible, etc. Aussi, Penny et al. (2005) ont remarqué que l'éducation nutritionnelle au moyen des services de santé permettait d'améliorer l'état nutritionnel des enfants vivant

dans des régions où l'accès à la nourriture n'était pas un facteur limitant. L'école peut également jouer un rôle significatif en inculquant les principes élémentaires de santé aux élèves (Nakamura, 2008).

Au Malawi par exemple, Hotz et Gibson (2005) ont utilisé avec succès les techniques du marketing social pour augmenter les apports alimentaires en énergie et en nutriments dans le sud du pays, tandis qu'en Iran, Salehi et al. (2004) ont réussi à augmenter la production et la consommation familiales et villageoises d'aliments riches en protéines. Il en est de même en Inde où Kapur et al. (2003) ainsi que Bhandari et al. (2004) ont montré l'effet positif significatif sur les habitudes alimentaires, mais surtout sur les apports alimentaires et l'état nutritionnel des sujets étudiés, d'une campagne d'éducation nutritionnelle basée sur des messages de santé dispensés grâce à des discussions et à l'utilisation de médias de masse (radio et télévision). Les changements de connaissances nutritionnelles peuvent donc avoir un impact positif sur les comportements des individus et par conséquent, sur leur état nutritionnel (Amani et Soflaei, 2006; Kafatos et al. 2007).

2.4.6 Mesures de santé publique

Dans les pays tropicaux, d'autres facteurs non nutritionnels s'additionnent pour aggraver la carence en fer, justifiant la mise en œuvre de mesures de santé publique (Davidson et al. 2005; WHO, 2008). Le traitement des infestations parasitaires intestinales par des antihelminthiques est efficace et améliore le statut en fer des populations cibles (Aldermann et al. 2006). Cet effet reste toutefois modeste en l'absence d'un apport en fer adéquat et nécessite des traitements périodiques du fait des réinfestations fréquentes. Ces mesures peuvent être renforcées par l'amélioration de l'accessibilité aux services de santé, l'amélioration des conditions sanitaires comme la construction de latrines et le traitement des excréments avant leur utilisation pour des fins agricoles (Fewtrell et al. 2005; Rabie et Curtis, 2006; Hall et al. 2008).

Le paludisme, responsable de plus de 50% des anémies graves en zones endémiques, est diminué par l'utilisation prophylactique d'antimalariques, par la prophylaxie d'exposition contre les piqûres de moustiques en utilisant des moustiquaires et par l'entretien de

l'environnement visant à diminuer le développement des anophèles (WHO, 2007). De plus, la supplémentation en fer en contexte infectieux constitue aujourd'hui un sujet de débat. La supplémentation en fer semble avoir un impact négatif dans les zones où le taux d'infestation est très élevé, notamment dans le cas du paludisme, bien qu'elle permette une amélioration du statut en fer et de l'état immunitaire des individus (Tielsch et al. 2006; Sazawal et al. 2006; English et Snow, 2006).

2.5 BÉNIN

La République du Bénin, autrefois Dahomey, est un pays d'Afrique occidentale qui a accédé à l'indépendance complète le 1er août 1960. La capitale officielle est Porto-Novo; Cotonou étant la capitale politique et économique. Le pays, surnommé un temps le «Quartier latin de l'Afrique», a comme langue officielle le français et comme monnaie le franc CFA. Depuis la fin du régime marxiste-léniniste en 1989, le Bénin possède une image très forte de pays démocratique dans toute l'Afrique subsaharienne. Le pays est en effet un des pionniers du multipartisme africain (INSAE et al. 2007, INSAE, 2008).

2.5.1 Présentation générale

2.5.1.1 Géographie

Le Bénin est un petit état d'Afrique de l'ouest qui couvre une superficie de 112 622 km² en s'étendant sur 670 km et est situé en bordure du Golfe de Guinée, face à l'océan Atlantique. Enclavé entre le Togo à l'ouest, et le Nigeria à l'est, il est bordé par le Burkina-Faso et le Niger au nord: le Bénin constitue naturellement une voie de désenclavement pour les pays du Sahel (INSAE et al. 2007, INSAE, 2008) (Annexe 2). Le climat du Bénin est globalement chaud et humide, avec des vents de sable en décembre et en janvier. On distingue traditionnellement deux zones climatiques. Au sud, le climat subéquatorial de type guinéen (à quatre saisons) est caractérisé par une forte humidité et l'existence de deux saisons pluvieuses (avril-juillet et mi-septembre-octobre). Au Nord, le climat tropical de type soudanien est caractérisé par des températures plus élevées, une moindre humidité, des précipitations annuelles faibles (900 mm) et l'alternance de seulement deux saisons: une

saison sèche de novembre à mai et une saison pluvieuse de mai à octobre (INSAE et al. 2007, INSAE, 2008).

2.5.1.2 Indices socio-démographiques

Avec un taux de croissance annuel de 3,23%, la population était estimée à 8 053 690 habitants en 2007, (INSAE, 2008). Inégalement répartie sur l'ensemble du pays, elle est constituée de 51,1% de femmes. La densité moyenne de la population était estimée, en 2002, à 58,68 habitants/km² (INSAE, 2008). Cette densité varie d'une région à une autre et surtout entre le Sud et le Nord. Plus de 46% des béninois sont âgés de moins de 15 ans et seulement 4% de plus de 60 ans. Environ 58,2% de la population vit en zone rurale. La population urbaine représentait 41,8% en 2007. Le taux moyen de fécondité au Bénin est de 5,6 enfants par femme, alors que ce taux était de 7,1 en 1987 (INSAE, 2008; UNICEF, 2008).

Selon le rapport mondial sur le développement, le Bénin avait un indice de Développement Humain (IDH) de 0,437 en 2005 et occupait le 163^{ème} rang sur 177 pays considérés. Environ 47,6% des béninois vivaient en deçà du seuil de la pauvreté en 2004 (PNUD, 2007). La pauvreté rurale était estimée à 31% et la pauvreté urbaine à 25% (SNU, 2002). Au Bénin, la pauvreté frappe plus les femmes que les hommes et affecte de façon inégalitaire les différents départements et les groupes sociaux (INSAE, 2008). Le taux de la population ayant accès à l'eau potable est de 67% et le taux de la population équipé en électricité est 22%.

En ce qui concerne l'éducation, le taux d'instruction est de 41% alors que le taux brut de scolarisation est de 78%. Ce taux cache le fait qu'un enfant sur 4, âgé de 6-14 ans reste à la maison. La situation est plus préoccupante chez les filles où ce ratio tombe à 1 fille sur 2. Le taux d'analphabétisme (65%) est plus élevé chez les femmes (81%) (UNICEF, 2008). La situation sanitaire est caractérisée par une forte morbidité et mortalité. Les taux de mortalité sont respectivement de 88 et 148 pour mille naissances pour les enfants de moins d'un an et de moins de 5 ans (UNICEF, 2008). Les cinq motifs de consultation les plus fréquents chez les enfants de 0-5 ans sont le paludisme (37%), les infections respiratoires aiguës (22%), les affections gastrointestinales (16%) et l'anémie (5%). Au Bénin, il existe

une formation sanitaire pour 5 133 habitants et un médecin pour 6 590 habitants. Seulement 30% des Béninois ont accès aux services de santé (FAO, 2003).

La multiplicité ethnique est une source incontestable de la richesse culturelle du pays. L'empreinte de l'histoire marque plus particulièrement certaines communautés, à l'instar de la descendance créole brésilienne qui, de retour en Afrique, a rapporté un style architectural spécifique qui fait de la mosquée de Porto-Novo la réplique d'une église de Salvador do Bahia (INSAE et al. 2007, INSAE, 2008). De même que les traditions orales sont très ancrées dans la culture populaire (le Guèlèdè, genre oral majeur au Bénin, est inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco), les croyances et pratiques religieuses imprègnent la vie quotidienne des Béninois. La diversité des cultes témoigne du caractère pluriel de la société où les populations chrétienne (25%) et musulmane (15%) côtoient, au point que les croyances se mêlent souvent les unes aux autres, les adeptes de l'animisme, qui reste la religion la plus pratiquée dans le pays. L'ensemble de cette conception polythéiste de l'univers forme le Vaudou dont le Bénin est le berceau historique incontestable. La sorcellerie existe également dans la plupart des groupes ethniques (INSAE et al. 2007, INSAE, 2008).

2.5.1.3 Économie

Le Bénin fait partie des 49 pays les plus pauvres de la planète et est caractérisé par un revenu national brut (RNB) par habitant de l'ordre de \$540 (UNICEF, 2008). L'économie béninoise, dont le taux de croissance est stable depuis 1999 (autour de 5 %), repose essentiellement sur la production de coton et les échanges de biens. Le Bénin joue en effet un rôle de plaque tournante pour la desserte commerciale du Niger et surtout du Nigeria, ce qui lui a valu la qualification «d'État entrepôt». On estime ainsi qu'environ la moitié des importations béninoises sont ré-exportées, souvent de façon informelle, vers le Nigéria. Le poids du secteur tertiaire est donc prépondérant, notamment par le biais de l'activité du Port Autonome de Cotonou (PAC), alors que le secteur secondaire (textile et production d'oléagineux, de bières, d'eau et d'électricité) représente une part congrue du PIB (INSAE, 2008). Quant au secteur primaire, en dépit d'une production vivrière en progression (arachide, igname, maïs et manioc pour les plus importantes), il est dominé par la production de coton, véritable moteur de l'économie béninoise: la filière cotonnière

contribue à raison de 13% au PIB du pays et représente environ 80% de ses exportations (le second secteur d'exportation étant la production de crevettes dont 99 % sont vendues à l'étranger). Le déficit de la balance commerciale est structurellement très important (10% du PIB), mais les transferts publics et privés reçus de l'extérieur et le solde des réexportations le contrebalancent, au regard du solde global. Enfin, une personne active sur 8 est une femme. Leur participation aux activités économiques (58%) reste donc inférieure à celle des hommes (82%). Ces statistiques officielles cachent la vivacité du secteur informel qui est principalement animé par les femmes (FAO, 2003, INSAE, 2008).

2.5.2 Situation alimentaire et nutritionnelle

2.5.2.1 Consommation alimentaire

Bien qu'elles portent sur des échantillons de taille limitée, les enquêtes de consommation alimentaire montrent les caractéristiques suivantes du modèle de consommation alimentaire des béninois. L'unité de consommation de base (UCB) est le ménage. Le nombre de repas est de 3 en période d'abondance. Il est réduit à 2 par jour et parfois moins en période de soudure, période qui sépare la fin de la consommation de la récolte de l'année précédente et l'épuisement des réserves des greniers, de la récolte suivante (FAO, 2003). Les habitudes alimentaires sont conformes aux traditions et au contexte géographique. Cependant, des changements apparaissent sous l'effet de l'évolution des revenus, de la pression démographique et des influences étrangères (FAOSTAT, 2008). En l'absence de données de consommation alimentaire au niveau national, des enquêtes régionales révèlent que l'apport énergétique varie d'une saison à l'autre, en particulier au Nord, et d'une région à une autre (FAO, 2003). Le bilan des disponibilités alimentaires montre que les céréales, les racines et les tubercules sont les principaux fournisseurs d'énergie. La ration alimentaire est essentiellement glucidique, pauvre en graisses et en protéines. Les disponibilités en produits animaux sont faibles (FAOSTAT, 2008).

Les céréales, maïs au sud et mil-sorgho au nord, constituent donc la base de l'alimentation des populations béninoises. La disponibilité céréalière est soumise à de fortes variations saisonnières. Pendant les périodes de soudures, les racines et tubercules jouent un rôle important. En effet, le manioc au sud et au centre et l'igname au nord deviennent des

aliments de base de substitution, lorsque le stock de céréales vient à s'épuiser. Sur le plan quantitatif, ce sont les fruits et légumes qui viennent juste après les racines et tubercules et les céréales. La disponibilité en graisse animale est faible. Il en est de même de la viande et du poisson (FAO, 2003).

2.5.2.2 Anémie par carence en fer

En dépit de la multiplicité des instances qui recueillent des données sur l'état de santé des populations au Bénin, il est très difficile de connaître la situation nutritionnelle actuelle et ce, en raison des échantillons qui ne sont pas toujours représentatifs, des techniques de mesure qui diffèrent, des indicateurs d'anémie et des seuils de normalité qui ne sont pas standardisés ou encore du traitement incomplet des données. Néanmoins, les estimations sont essentielles pour les prises de décisions nationales et pour mieux comprendre l'ampleur du problème (MI/UNICEF, 2006).

Prévalences et conséquences sur la santé

Au Bénin, peu d'études ont été effectuées sur la prévalence de la carence en fer et de l'anémie et la plupart de ces études datent des années quatre-vingts (Herberg et al. 1986; 1987; 1988; Fourn et Salami, 2004). Une enquête menée en 1984-1985 chez 2968 personnes issues de trois zones rurales et deux zones urbaines du sud du pays, indique que la déficience en fer déterminée à l'aide de deux paramètres anormaux sur les quatre indicateurs choisis (ferritine sérique, protoporphyrine érythrocytaire libre, coefficient de saturation de la transferrine et volume globulaire moyen) était présente chez 31% des sujets. Aucune différence n'a été trouvée entre les prévalences obtenues en zones rurales et celles enregistrées en zones urbaines, sauf pour la classe d'âge 6-14 ans où la prévalence était plus élevée en zone rurale (Herberg et al. 1988). Les prévalences de la déficience en fer et de l'anémie ferriprive évaluées chez différents groupes de sujets montrent que les groupes à risque de déficience en fer sont dans l'ordre suivant: les enfants de 6 à 24 mois (62,2%), les enfants de 2 à 14 ans (57,8%) et les femmes en âge de procréer (34,3% des femmes en sont atteintes) (Herberg et al. 1988).

Dans l'étude d'Herberg et al. (1986) réalisée chez 586 sujets vivant dans une zone rurale au sud du Bénin, 68% des enfants de 6 mois à 2 ans, 54% des enfants de 2 à 14 ans et 46%

des femmes en âge de procréer étaient anémiés. Hercberg et al. (1987), lors d'une étude réalisée chez 126 femmes enceintes et 95 femmes menstruées de Cotonou (Bénin), indiquent que l'anémie était présente respectivement chez 55% et 39% de ces sujets, tandis que la carence en fer touchait respectivement 73% et 41% d'entre eux. Fourn et Salami (2004), lors d'une étude réalisée chez 480 femmes béninoises enceintes, indiquent que 67,4% des femmes étaient anémiées. Enfin, une étude récente effectuée chez 100 adolescentes fréquentant un même établissement d'enseignement scolaire au sud du Bénin, révèle que l'anémie était présente chez 43% des filles étudiées, tandis que 13% souffraient d'anémie ferriprive (Alaofè et al. 2007). Un rapport publié par l'Initiative pour les micronutriments et l'UNICEF sur les carences en vitamines et en minéraux au Bénin conclut que 65% des femmes âgées de 15 à 49 ans souffrent d'anémie par carence en fer (MI/UNICEF, 2006). Enfin, on estime qu'environ 350 jeunes femmes béninoises meurent chaque année durant la grossesse ou l'accouchement et ce, à cause de l'anémie et des carences sévères en fer (MI/UNICEF, 2006). Les carences en vitamines et minéraux y compris la carence en fer réduisent la productivité de la main-d'oeuvre. Pour le Bénin, les pertes sont estimées à 1,0% du produit intérieur brut (PIB) (MI/UNICEF, 2006).

Étiologie

L'étiologie de la carence en fer au Bénin est multifactorielle. Cependant, des apports insuffisants et/ou une faible biodisponibilité du fer alimentaire, dus aux régimes constitués principalement d'aliments d'origine végétale et aux faibles apports alimentaires de viande, volaille et poisson, sont les facteurs majeurs des taux élevés de carence en fer dans cette population (Sodjinou, 2006; Sodjinou et al. 2007; Alaofè et al. 2007; Mitchikpè, 2007). En général, au Bénin, plusieurs groupes ethniques existent et par conséquent, nous avons diverses habitudes alimentaires. Comme il a été décrit précédemment, les principaux plats sont à base de céréales (maïs, sorgho, mil ou riz), de racines, de tubercules (manioc, igname ou patate) et de légumineuses (pois et haricots). Ces plats sont souvent servis avec une sauce épicée ou une sauce aux légumes (gombo, amarante ou épinards) dans laquelle peuvent être trouvés quelques condiments (oignons, poivre, tomate) et d'autres ingrédients comme de l'égusi (graines de citrouille moulues), l'huile de palme ou l'huile rouge. Les aliments de base (les céréales, les racines et les tubercules) sont les principaux fournisseurs

d'énergie et sont quelquefois complétés avec de faibles quantités de produits animaux (le poisson, la chèvre, le boeuf, le porc, le poulet et la pintade). (Sodjinou, 2006; Sodjinou et al. 2007; Alaofè et al. 2007; Mitchikpè, 2007).

Aussi, au Bénin, deux études indiquent que les infections parasitaires ne semblent pas être la cause majeure de la carence en fer. En effet, Hercberg et al. (1986) et Alaofè et al. (2007) n'ont observé aucune relation significative entre le nombre d'œufs de parasites et le statut en fer des sujets étudiés. Selon ces auteurs, la faible charge parasitaire chez les sujets étudiés peut expliquer l'absence de relation significative entre ces paramètres. En 1986, Hercberg et al. ont donc émis l'opinion que la faible teneur en fer de la diète et sa biodisponibilité réduite constituaient probablement les causes majeures de la carence en fer chez les sujets étudiés. À cet égard, Alaofè et al. (2007) ont récemment mis en évidence chez 100 adolescentes béninoises âgées de 14 à 16 ans une faible biodisponibilité du fer alimentaire d'environ 6%. Alaofè et al. (2007) ont montré que 73% des sujets avaient des apports en fer alimentaire absorbable inférieurs à la recommandation indiquant une faible consommation de promoteurs de l'absorption du fer (facteur viande, volaille, poisson et aliments riches en vitamine C).

La carence en fer peut être aggravée par un mauvais état nutritionnel, notamment lorsqu'elle est associée à des carences en acide folique, en vitamine B₁₂ ou en vitamine A, comme c'est fréquemment le cas dans les pays en développement (Kelleher et Lonnerdal, 2005; WHO, 2008). Au Bénin, les carences en d'autres micronutriments à savoir l'iode, la vitamine A et le folate coexistent également avec la carence en fer et constituent des problèmes majeurs de santé publique (MI/UNICEF, 2006). Les données relatives aux carences en micronutriments en République du Bénin proviennent de plusieurs sources complémentaires. Si la prévalence nationale moyenne du goitre n'est pas élevée, elle cache des poches où la carence en iode est importante avec des prévalences de goitre pouvant atteindre 69% (femmes dans le Mono) (DANA et INFRE, 2001). On estime que 10,000 enfants béninois naissent chaque année avec des arriérations mentales causées par une carence en iode durant la grossesse. Au total, respectivement dans le Nord et dans le Sud, 83% et 64% des enfants de 1 à 3 ans, ont un taux de rétinol sérique inférieur à 0,70 µmol/L et sont donc touchés par la carence en vitamine A (MSP et UNICEF, 2000). Plus de 8,000

enfants meurent chaque année du fait d'une faible résistance aux infections et environ 70% des enfants du Bénin grandissent avec une immunité réduite, ce qui accroît l'incidence des maladies. Il y a environ 500 anomalies congénitales par an, dont la paralysie infantile et on soupçonne une augmentation des décès par maladies cardio-vasculaires et d'accidents cérébro-vasculaires à cause des carences en folate. Également, environ 7 000 enfants béninois courent le risque de mourir dans la période immédiatement avant ou immédiatement après la naissance à cause de l'anémie sévère chez leur mère. Enfin, le fardeau sur les services de santé, les systèmes d'éducation et les familles ayant à charge des enfants handicapés physiques ou mentaux n'est pas mesurable, mais il est immense (MI/UNICEF, 2006).

Stratégies de contrôle de l'anémie par carence en fer

Bien que l'anémie par carence en fer constitue un véritable problème de santé publique au Bénin, les politiques de santé n'ont pas accordé à cette affection toute l'attention nécessaire. Il n'existe aucun programme d'enrichissement en fer des aliments et l'ampleur de la distribution des suppléments de fer est inconnue (MI/UNICEF, 2006). A notre connaissance, une seule étude (Dossa et al. 2001) a mis en évidence l'efficacité de la supplémentation en fer chez 140 enfants âgés de 3 à 5 ans malnutris et anémiés. Ces auteurs ont observé une augmentation du taux d'hémoglobine chez les sujets supplémentés en fer à la fin des trois mois d'intervention ($P=0,032$). Quant à l'enrichissement en fer qui demeure au stade d'expérimentation, Bassa et al. (2003) ont développé une technologie de fortification en fer de la farine de maïs fermentée qui a permis d'obtenir des pâtes et des bouillies de <manwè> parfaitement acceptables. La fortification du <manwè> ainsi réalisée permet un apport supplémentaire quotidien minimum de 10 mg de fer par individu dans les conditions normales de sa consommation dans la zone d'intervention.

Parmi les stratégies mises en œuvre pour lutter contre la carence en fer, il apparaît évident que la stratégie d'intervention nutritionnelle qui simultanément améliore l'apport et la biodisponibilité du fer dans les diètes est requise de façon urgente au Bénin. De plus, dans l'étude d'Alaofè et al. (2007), aucune relation significative n'a été observée entre l'apport en fer total (fer alimentaire plus les suppléments) et les paramètres biochimiques du statut en fer, alors que des liens hautement significatifs ont été observés entre le fer absorbable et

ces différentes mesures. Bien que les régimes béninois soient en général faibles en fer absorbable, des sources de fer comme les abats, le poisson séché et l'afiti ainsi que des sources alimentaires de vitamine C (oranges, citrons, mangue, goyave, quelques légumes etc.) sont disponibles (Tableaux 2.4 et 2.5). Comme exemple de plat traditionnel riche en fer consommé au Bénin, on peut citer la sauce gombo-néré (DANA et INFRE, 2001). Ainsi, les modifications alimentaires permettant d'améliorer le statut en fer par l'utilisation des aliments localement disponibles sont possibles.

Tableau 2.4: Classification des aliments sur la base de leur teneur en fer

Aliments très riches en fer	Aliments riches en fer	Aliments à faible teneur en fer
Sang de boeuf	Amaranthe	Arachide séchée
Viande	Fonio blanc	Noix diverses
Tilapia	Niébé, haricot	Graines de karité
Graines de néré	Farine de soja, déshuilée	Feuilles vert foncé
Feuilles séchées Baobab	Haricots secs, lentilles	Goussi
Mil non tamisé	Poissons secs fumés	Oeuf
Pois de Bambara	Maïs non tamisé	Jus de canne à sucre
Poisson séché	Escargot d'Afrique	Bière de mil
Rognon, foie		Oignons
Mollusques		Ignome fraîche
Farine de sorgho non tamisée		Racine
Graine de courge		Mangue
		Gombo frais

Source: DANA et INFRE, 2001.

Tableau 2.5: Aliments riches en vitamine C

Pomme-cajou (anacardium)
Poivron, piment frais cru
Goyave
Mangue verte
Agrumes (orange, limette, pamplemousse)
Ananas
Feuilles vert-clair, en salade

Source: DANA et INFRE, 2001.

L'amélioration des pratiques alimentaires qui constitue une approche dans la lutte contre la carence en fer est souvent critiquée parce qu'elle est jugée complexe ou parce qu'elle constitue une stratégie à long terme. Cependant, des exemples récents montrent que l'on

peut obtenir de bons résultats assez rapidement. Malheureusement, la plupart des études ont été effectuées chez les enfants. L'augmentation des produits animaux dans les repas servis à des enfants d'âge scolaire au Kenya a permis d'augmenter leurs apports en fer absorbable et en d'autres micronutriments et par conséquent à améliorer les mesures anthropométriques après une année d'intervention (Neumann et al. 2007). De même, dans l'étude de Yeudall et al. (2002) effectuée chez 630 enfants émaciés au Malawi, l'amélioration des apports alimentaires a été associée à une augmentation du taux d'hémoglobine (102 vs 107g/L, $p < 0,01$), tandis que l'incidence de l'anémie (62 vs 80%) et des infections communes (fièvre, diarrhée, infections respiratoires) était plus faible dans le groupe d'intervention que dans le groupe témoin. L'intervention a aussi été associée à une augmentation des apports alimentaires et à une diminution de la teneur en phytates de la diète (Yeudall et al. 2005).

À notre connaissance, seulement trois études ont été effectuées chez les femmes en âge de procréer. Celles-ci indiquent qu'une diète riche en fer combinée à des conseils nutritionnels améliore le statut en fer des femmes électionnées (Creed-Kanashiro et al. 2000; Heath et al. 2001; Patterson et al. 2001). En Nouvelle Zélande, Heath et al. (2001), après une intervention alimentaire de 16 semaines chez 22 femmes carencées en fer âgées de 18 à 40 ans, ont obtenu une augmentation des apports alimentaires (fer hémique, vitamine C), ainsi qu'une diminution des apports en phytates et une augmentation de la ferritine sérique de 26% ($p = 0,068$) dans le groupe d'intervention comparativement au groupe témoin. De même, dans l'étude de Patterson et al (2001) effectuée également chez 22 femmes adultes carencées en fer, l'amélioration des apports alimentaires a été associée à une augmentation significative de la ferritine sérique et non significative du taux d'hémoglobine (6.3 $\mu\text{g/L}$; 3.2 g/L) après six mois d'intervention. A notre connaissance, une seule étude a été effectuée chez les adolescentes, soit celle de Creed-Kanashiro et al. (2000) au Pérou. Une éducation nutritionnelle combinée à une augmentation des aliments riches en fer hémique (foie et sang de poulet), a permis d'améliorer les connaissances en nutrition et de diminuer la prévalence d'anémie (14,1 vs 12,3%) chez les filles du groupe d'intervention comparativement à celles du groupe témoin, alors que la prévalence de l'anémie a augmenté de 23% chez les adolescentes du groupe témoin. Aucune intervention nutritionnelle n'a été effectuée chez les adolescentes en Afrique subsaharienne. Il y a donc un besoin urgent d'études démontrant l'impact de la diversification et de la modification

alimentaires en Afrique subsaharienne incluant le Bénin. De plus, les travaux effectués dans d'autres pays africains ne sont pas nécessairement applicables au Bénin à cause des différences dans la disponibilité des aliments locaux riches en fer et en vitamine C et dans les habitudes alimentaires des individus.

Chapitre 3

Hypothèses et objectifs

La carence en fer est le désordre nutritionnel le plus répandu dans le monde particulièrement dans les pays en développement et ce, en dépit des nombreuses connaissances scientifiques concernant l'étiologie multifactorielle, le traitement et les stratégies potentielles pour sa réduction. Le Bénin a aussi des taux élevés de carence en fer dont la cause majeure semble être la faible biodisponibilité du fer alimentaire. Certains travaux effectués chez les femmes en âge de procréer indiquent qu'une stratégie de modification alimentaire augmentant les apports et la biodisponibilité de fer dans les diètes combinée à l'éducation nutritionnelle améliore le statut en fer des sujets (Creed-Kanashiro et al. 2000; Heath et al. 2001; Patterson et al. 2001). Cependant, à notre connaissance, une seule intervention nutritionnelle visant à améliorer les apports et la biodisponibilité du fer a été effectuée chez les adolescentes, et aucune n'a été effectuée chez les adolescentes en Afrique subsaharienne incluant le Bénin.

Également, outre la teneur en fer des aliments, d'autres facteurs tels que les infections parasitaires, les facteurs biologiques, économiques et culturels de même que les facteurs liés au système de santé contribuent fortement aux taux élevés de carence en fer dans les pays en développement. Malheureusement, aucune étude mettant en évidence la relation entre l'anémie ferriprive et ces différents facteurs n'a été effectuée chez des adolescentes béninoises.

3.1 HYPOTHÈSES

1. La composition des menus dans les cafétérias scolaires des deux lycées, ainsi que l'éducation nutritionnelle et sanitaire offerte dans ces établissements ne permettent pas à la plupart des adolescentes de consommer suffisamment d'aliments riches en fer et en vitamine C et de connaître les stratégies de prévention de la carence en fer.
2. La carence en fer et l'anémie ferriprive sont présentes chez plus de la moitié de ces sujets et sont reliées non seulement à une faible consommation d'aliments riches en

fer et en vitamine C, mais aussi aux infections parasitaires, au faible niveau socio-économique et à une éducation sanitaire insuffisante.

3. L'éducation nutritionnelle dispensée aux adolescentes du groupe d'intervention et les modifications alimentaires apportées au menu de la cafétéria scolaire permettent d'améliorer les connaissances nutritionnelles et les apports en fer absorbable des adolescentes du groupe d'intervention comparativement au groupe témoin.
4. L'éducation nutritionnelle dispensée aux adolescentes du groupe d'intervention et l'augmentation de la teneur en fer absorbable du menu de la cafétéria scolaire réduit la prévalence de l'anémie ferriprive chez ces sujets comparativement au groupe témoin.

3.2 OBJECTIF GÉNÉRAL

L'objectif général de l'étude consiste à évaluer l'impact d'une intervention nutritionnelle qui vise à augmenter les apports en fer et la biodisponibilité du fer sur la prévalence de l'anémie ferriprive chez des adolescentes pensionnaires au Bénin.

3.3 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

3.3.1 Statut en fer d'adolescentes pensionnaires dans deux lycées au Bénin

1. Déterminer le statut en fer des adolescentes à l'aide de plusieurs paramètres hématologiques et biochimiques.
2. Évaluer les habitudes alimentaires des adolescentes à l'aide d'un questionnaire de fréquence alimentaire portant sur la consommation des promoteurs et des inhibiteurs de l'absorption du fer.
3. Déterminer chez ces sujets, la prévalence et la sévérité des infections parasitaires par la recherche d'amibes, de kystes et d'œufs de parasites dans les selles et de trophozoïtes dans le sang des adolescentes.
4. Recueillir à l'aide d'un questionnaire général les informations socio-économiques et sanitaires pertinentes.

5. Étudier les relations entre les données alimentaires, parasitologiques, socio-économiques et sanitaires et les paramètres hématologiques et biochimiques du statut en fer.
6. Identifier dans les deux lycées, les adolescentes souffrant d'anémie ferriprive légère afin de les inclure dans un programme d'intervention nutritionnelle visant à améliorer leur statut en fer.

3.3.2 Intervention nutritionnelle: phase préparatoire

1. Identifier, au moyen d'interviews et d'observation, le rôle des différents intervenants (employés de la cafétéria scolaire, infirmières et professeurs) en regard de la composition des menus offerts dans les deux cafétérias scolaires, de l'hygiène de vie des adolescentes et de leurs connaissances concernant les stratégies de prévention de la carence en fer.
2. Déterminer la qualité nutritive des menus offerts à la cafétéria scolaire des deux lycées.
3. Identifier, grâce à une enquête dans les lieux d'approvisionnement alimentaire, les aliments riches en fer et en vitamine C disponibles localement et à un prix modique.
4. Augmenter la teneur en fer biodisponible des menus de la cafétéria scolaire du lycée d'intervention en tenant compte des préférences alimentaires des adolescentes et des différentes contraintes reliées aux coûts des aliments, à la main d'œuvre disponible à la cafétéria et au temps requis pour la préparation des nouveaux mets.
5. Mettre au point 4 modules d'éducation nutritionnelle portant sur le rôle du fer dans l'organisme et les bienfaits d'une alimentation équilibrée riche en fer.

3.3.3 Intervention nutritionnelle proprement dite

1. Assurer le suivi du personnel de la cafétéria scolaire du Lycée d'intervention tout au long de l'étude afin de veiller au maintien de la teneur en fer biodisponible du menu.

2. Estimer les apports en énergie et en nutriments incluant le fer biodisponible des adolescentes du groupe d'intervention et du groupe témoin et ce, à l'aide de plusieurs rappels alimentaires de 24 et de 48 heures.
3. Déterminer, au moyen d'un questionnaire administré au début et à la fin de l'étude, les scores de connaissances nutritionnelles relatives au fer, à la vitamine C et aux stratégies de prévention de la carence en fer chez les adolescentes du groupe d'intervention et du groupe témoin.
4. Recenser les données sur les maladies infectieuses communes enregistrées quotidiennement par les infirmières des deux lycées.
5. Comparer les apports en énergie et en nutriments incluant le fer biodisponible, les scores de connaissances nutritionnelles, le statut en fer et l'incidence des infections parasitaires avant et après l'intervention nutritionnelle chez les adolescentes du groupe d'intervention et du groupe témoin.

Chapitre 4

Food and health environment related to iron deficiency anemia among Beninese adolescent girls.

Le quatrième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été soumis dans *Journal of Health, Population and Nutrition*. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon O'Brien. L'article décrit l'environnement alimentaire et sanitaire dans lequel vivaient les 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans pensionnaires dans deux établissements scolaires: le lycée Toffa 1er de Porto-Novo (n=80) et le CEG1 de Ouidah (n=100).

4.1 RÉSUMÉ

L'étiologie de l'anémie ferriprive dépend des facteurs économiques, culturels et environnementaux qui peuvent réduire la consommation alimentaire et affecter négativement l'état nutritionnel. Le but de cette étude consistait à déterminer l'environnement alimentaire et de santé relié à l'anémie ferriprive chez 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans pensionnaires dans deux lycées au Bénin. Un questionnaire qualitatif de fréquence alimentaire et un questionnaire de connaissances nutritionnelles portant sur le fer, la vitamine C et les stratégies alimentaires permettant d'améliorer le statut en fer ont été administrés. Les raisons de ne pas aimer les aliments riches en fer et en vitamine C, les principales sources d'information sur les questions reliées à la santé et les croyances concernant la santé et l'hygiène ont également été obtenues. Le régime alimentaire était monotone contenant des céréales et des racines avec de faibles quantités de viande, volaille, poisson, légumes et fruits. La plupart des adolescentes avaient très peu de connaissances sur le fer, la vitamine C et les stratégies alimentaires permettant d'améliorer le statut en fer. Également, 33,7 % des adolescents (n=60) n'aimaient pas les principales sources alimentaires de fer et de vitamine C. Parmi celles-ci, 51,6% et 20% n'aimaient pas les légumineuses et la viande respectivement à cause de leur goût et de leur texture, alors que 10% évitaient la viande pour des raisons religieuses ou à cause des traditions. La plupart des adolescentes définissaient l'hygiène en termes de propreté personnelle. Concernant les façons de rester en bonne santé, 58% des adolescentes mentionnèrent la propreté personnelle et 54% une bonne nutrition, suivie par une visite chez le médecin (29%). La source la plus importante de renseignements sur la santé était l'école, suivie par les parents. En conclusion, une intervention nutritionnelle incluant une éducation nutritionnelle combinée à l'augmentation de la teneur et de la biodisponibilité du fer est requise chez ces adolescentes.

4.2 ABSTRACT

The etiology of iron deficiency anemia depends on economic, cultural and environmental factors, which can lead to reduced food consumption and negatively affect nutrition status. The objective of this study was to examine the food and health environment related to iron deficiency anemia in 180 adolescent girls aged 12-17 years from two boarding schools in Benin. A qualitative food frequency questionnaire (FFQ) and a nutrition knowledge questionnaire on iron, vitamin C and dietary strategies to improve iron status were administered. Reasons for disliking foods rich in iron and vitamin C, main sources of information on health issues, and beliefs about health and hygiene were also obtained. Diets were usually monotonous, containing cereals and roots with negligible quantities of meat, poultry, fish, vegetables and fruits. Most of the adolescent girls knew very little about iron, vitamin C and dietary strategies to improve iron status. Also, 33,7% of adolescent girls (n=60) disliked the main food sources of iron and vitamin C. Among these, 51.6 % and 20% disliked legumes and meat respectively because of their taste and texture, while 10% avoided meat for religious reasons or traditions. Most of the adolescents identified hygiene with personnel cleanliness. Concerning ways to stay healthy, 58% of the girls stated personal cleanliness and 54% good nutrition, followed by visiting the doctor (29%). The most frequent source of health information was the school followed by parents. In conclusion, nutrition intervention including nutrition education combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron is needed for these adolescent girls.

4.3 INTRODUCTION

Iron deficiency (ID) is the most common micronutrient deficiency worldwide. In developing countries, the burden rests not only upon women and infants, but also on adolescents. Indeed, it can have adverse effects on educational performance, productivity and well-being of adolescent girls (1-4). Benin has a high prevalence of iron deficiency which reaches between 34-41% among menstruating women (5, 6). Alaofè et al. (7) found that the major cause of iron deficiency in adolescent girls was low absorbable iron intakes. Knowledge of optimal dietary practices and access to a variety of foods also play an important role, as are some non-nutritional factors such as socioeconomic status, incidence of infectious diseases and access to health care (8-11). Unfortunately, to our knowledge, no studies in Benin evaluated the relationship between iron deficiency anemia (IDA) and environmental and cultural factors influencing food selection and household food distribution.

Also, iron deficiency induces few visible symptoms not easily recognized by individuals who do not realize the seriousness of this problem and its consequences on health (12). Hence, it is important to understand the socio-cultural context and local belief system surrounding sickness and healing in general, as well as people's understanding of IDA specifically. Key gaps in the current body of knowledge are people's perceptions of the importance of IDA, its perceived causes, symptoms, progression, and treatment-seeking behaviours associated with these perceptions. This formative information gathering is essential whenever developing effective interventions in new cultural settings where information is limited (13-14).

In Benin, dietary habits are consistent with traditions and geographical context. Nevertheless some changes are occurring, related to trends in income and demography, and due to external influences. In the absence of national food consumption data, regional data show seasonal variations in intake, especially in the North, and regional differences (15, 16). To our knowledge, no studies carried out in Benin have sought to identify and incorporate this information for the prevention of IDA. The primary emphasis is the treatment of IDA with iron supplements in pregnant women and transfusions for severe

cases of anemia (17). Thus, the goal of this research was to examine the food and health environment related to iron deficiency anemia in adolescent girls from two boarding schools in Benin.

4.4 SUBJECTS AND METHODS

Setting and population: This study took place from April to October 2005 in two boarding schools from south Benin, namely Lycée Toffa 1er of Porto-Novo (school 1) and CEG1 Bertand Dagnon of Ouidah (school 2). The two selected schools were public boarding and day schools for adolescent girls aged 9 years and over. They were selected from the possible six operating boarding schools in Benin on the basis of similarity of cafeterias' menus and supply of local foods.

Meetings with personnel from the two boarding schools as well as with adolescent girls and their parents were carried out in order to explain the study protocol. From the lists of school staff and students from each of the selected schools, a total of 27 school employees including nurses, teachers and food service workers (16 in school 1 and 11 in school 2) and 180 adolescent girls (80 and 100 in school 1 and 2 respectively) aged 12–17 years were interviewed. Only girls aged 12–17 years were included in the study. At the beginning of the study, Lycée Toffa 1er of Porto-Novo included 140 boarding girls aged 12–17 years, whilst CEG1 Ouidah counted 148 girls (total = 288). One hundred and ninety-two girls (67%) were eligible: 85 (61%) in Lycée Toffa 1er and 107 (72%) in CEG1. One hundred and eighty girls (63%) participated in the study (80 (57%) and 100 (68%) in Lycée Toffa 1er and CEG1 Ouidah, respectively), giving a participation rate of 94%. Twelve girls (6%) did not participate in the study: seven refused to participate, three suffered from malaria and two were not present at the time of the study.

Data were collected by the first researcher who was helped by a biology teacher. Interviews were conducted in either French, Goun or Yoruba based on the preference of the respondent. The research project was approved by the Ethical Committee of Laval University and the Departmental Direction of the Primary and Secondary education of the concerned departments in Benin.

Socioeconomic and anthropometric characteristics of adolescent girls: Each study participant was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire which included information on socio-economic characteristics (age, religion, main occupation and level of education of parents and household size). Use of supplements during the last month was also obtained. Weight of participants was determined on an electronic load cell scale (Precision Health Scale, UC-300; A&D Company Limited, Japan). Height was measured with a stature meter (2m), with a movable bar and a steel tape, mounted on a wall. All girls wore light clothing and had their shoes off. Body mass index (BMI) was calculated and was plotted on individual percentile charts developed by the National Centre for Health Statistics and the National Centre for Disease Prevention and Health Promotion (18).

Food consumption frequency of adolescents: A qualitative food frequency questionnaire (FFQ) which assessed the frequency with which specific food items were consumed during the week preceding the interview was obtained. The selected food items were meat (beef, mutton and pork), poultry, fish, legumes, vegetables, fruits and coffee (tea was not consumed in this group of adolescents). These food items were selected as indicators of haem iron, non haem iron, vitamin C, phytate and polyphenol intake. In order to corroborate the food frequency questionnaire, the cafeterias' menus which included many different local and store-bought foods were communicated to us by the food service workers. They described the menu composition for the past week and the types of preparation for each food consumed (e.g., boiled, fried in oil, consumed raw, etc.).

The two selected boarding schools also permitted us to observe adolescents during meal times. We used this opportunity to determine patterns of food serving, order of serving and eating, portion sizes, amount of food consumed, amount remaining on the plate, sharing of foods or of plates, preparation methods in the kitchen, and to identify key behaviours that placed adolescent girls at risk of IDA. We also observed food purchasing and consumption of the girls by determining availability, varieties and costs of different foods offered outside the two schools (e.g. street vending, nearby stores, etc.). These interviews provided preliminary information on boarding school decision making, school income and food service management and purchasing systems for the boarding school's meal program that

could be used for the future development of a nutrition intervention program to improve the iron status of these adolescents. This allowed us to assess feasibility of changes/modifications to curriculum, openness to changes and to understand the process for ordering, preparing and serving foods. We also determined the training level in terms of food preparation, serving, etc, of the food service personnel.

Nutrition knowledge, food aversion, source of information and beliefs related to health and hygiene: A nutrition knowledge questionnaire was developed from earlier questionnaires (19) and modelled on the methods of Guptill et al. (20). After pre-testing on 20 adolescent girls from a third school (CEG Djassin), the questionnaire was administered using an open-ended format. The questionnaire included 17 questions divided into 4 areas of knowledge: iron deficiency anemia (4 questions); iron (3 questions); vitamin C (4 questions) and dietary strategies to improve iron status (6 questions). The questionnaire also included questions on food avoided by adolescent girls (2 questions), main sources of information on health issues, and beliefs about health and hygiene (3 questions). Finally, health care professionals were asked to describe the existing health curriculum in the school and to list all the different illnesses affecting the girls.

Statistical analysis: All statistical analyses were performed using NCSS 2004 (NCSS, Kaysville, UT). Descriptive statistics are presented as either means \pm standard deviation (SD) in the case of continuous variables or frequency for categorical variables. Chi-square was used to test for differences in knowledge related to vitamin C, iron, IDA and dietary strategies to improve iron status as well as the main sources of information on health issues and beliefs about health and hygiene between girls from the two schools. Statistical significance was set at P-value <0.05 .

4.5 RESULTS

Subjects' characteristics: The mean age of adolescents was 14.5 (SD 1.8) years and 51% were less than 15 years old (Table 4.1). The majority of the study population (81%) was within the normal weight range. Approximately 20% used vitamin and mineral supplements during the last two months before the study: about 10% had taken iron (200

mg of iron fumarate by tablet) and folic acid supplements (0.25 mg of folic acid by tablet) whereas 6% used vitamin C (500 mg of vitamin C by tablet) and 4% both vitamin and mineral supplements. More than 70% of the girls were Catholics. About 86% of mothers were literate and only 5% went to university, while 96% of fathers were literate and 21% went to university. Also, more than two-thirds of the adolescent's mothers were manual workers (78%). Almost half of the fathers were manual workers (46%); a lower proportion of them, about 20%, were high-level non manual employees (business executives, doctors, engineers and university teachers). The majority (82%) of families consisted of 6 or more individuals. No significant differences were observed between subjects from the two boarding schools for the following variables: religion of the subjects, father's occupation, household size, use of supplements during the last two months and BMI. However, age of the adolescents, mother's occupation and parents' education differed significantly between the two boarding schools.

Food consumption frequency of adolescents: In Table 4.2, the mean intake of meat, poultry, fish, and substitutes during the week preceding the interview indicates that most of the girls in school 1 had consumed beef at least once a week, while none of the girls in school 2 ate beef during the same period. Consumption of poultry, fish and legumes (beans, black-eyed peas, and peanut) was almost identical in both schools for a total of 97.8% (1.4 ± 1.3 meals), 100% (10.0 ± 2.6 meals) and 83.3% (2.4 ± 1.2 meals) respectively. However, veal, pork, lamb and mutton were not consumed and nearly half of the girls in both schools had consumed vegetables. Although fruits were not offered in the school cafeterias, an average of 49.4% of girls consumed fruits. Concerning the provenance of fruits, 83% of the adolescents purchased them from vendors, while 92% received some from their parents. When coffee (ice-cold coffee with milk) consumption frequency was asked, 33% mentioned ≥ 4 times a week, 14% 2-3 times a week, 10% 2-3 times a month and 13% <once a month. Finally, concerning the period when coffee was drunk, 48% mentioned with meals, 34% just after meals, 2% an hour after, 3% two hours after and 2% before meals.

Boarding schools food sources and meal composition: There were three main food sources for the two boarding schools (data not reported). The World Food Program (WFP) provided fish (sardine), maize, palm oil, small peas and beans. Rice, sugar, milk, tomato

paste, palm oil, spaghetti and manioc flour (gari) were available from the government canteen. Other foodstuffs, including ingredients for relishes as spices, vegetables (e.g. tomatoes, onions), fish, meat and chilli were purchased from itinerate vendors at the market using boarding and school fees. Thus, there was no planned budget for foods and the food supply varied according to donations, government help and tuition fees. Finally, in the two boarding schools, foods were bought by cooks or mistresses with the agreement of the treasurer.

Both cafeterias offered three meals: a morning meal, a midday meal, and an evening meal. Snacks were not provided in both cafeterias. Adolescents received foods from their parents for snacking (e.g. manioc flour (gari), fruits, sugar, milk, groundnuts) or bought foods outside the boarding school. Snacks that could be purchased in the greatest quantity for the least amount of money, such as sweetened drinks, salty snacks (eg, popcorn), fried yams, rice and bread were favoured by adolescent girls. Small amounts of fish and vegetables were sometimes bought to accompany bread, but the girls rarely purchased meat from food vendors. Snacks were not always of the best nutritional quality.

As indicated in Table 4.3, the food consumption patterns were very similar in the two boarding schools. According to the food service personnel, the same menu was repeated each week and its composition respected the tradition and religion of the majority. Available foods didn't vary from season to season and little consideration was given to food's nutritive value and the prevention of diseases. Breakfast usually consisted of maize pap, bread with milk chicory and sugar or rice pap with milk. The largest meal was usually the midday or evening meal. Rice is consumed with chicken, sardines, fried mackerel or meat and usually eaten with tomato stew or cooked with tomato paste (spicy rice) or beans (atassi). Common side of dishes in the midday meal are beans with cassava flour (gari), spicy maize patties (amiwo) with tomato stew and poultry or spicy spaghetti with boiled eggs or fried mackerel or beef. Dinner often consisted of maize patties (wo, akassa) served with a spicy sauce or vegetable (okra, crain-crain, spinach) and fried mackerel. Rice was also served with tomato stew and sardines or fried mackerel. As mentioned earlier, fruits were not offered in the two boarding schools.

Availability of iron-rich foods and foods that enhance iron absorption: In the project area, there are many iron-rich foods available and these foods must be purchased at the market or from itinerant vendors. Lycée Toffa 1er offered weekly two meals containing beef, one of poultry, eight of fish, two of beans and one of vegetables. CEG1 of Ouidah offered no meals containing beef, but one of poultry, nine of fish, two of beans, one of vegetables and one of eggs.

Eggs, poultry and beef were not often included in the menu because they had to be bought, and their prices varied with the season. Non haem iron sources, such as vegetables and beans which were given by PAM, were readily accessible, but the iron they contain is less available than haem iron from meat, fish and poultry. Unfortunately, fruits which are the main source of vitamin C and can enhance the absorption of non haem iron from plant sources were not offered in both cafeterias' menus. However, vitamin C rich-foods were available throughout the year, but they were cheaper during the rainy season.

Meal preparation and eating patterns: Primary methods of cooking were boiling or frying in palm oil. Fish and meat were most commonly eaten fried in oil. Also, cooks used fermented flour, soaked and shelled maize for akassa porridge or Akassa. Beans were not soaked, while vegetables were soaked in water for a few hours before preparation. Fire wood and aluminium and zinc pots and pans were used. Cooked foods were put in large bowls and served in dishes by a few girls who were chosen for this task. Girls had their own plates and usually ate separately. No special dietary considerations were made for these young adolescent girls whose energy and nutrient requirements were high.

Knowledge related to vitamin C, iron, IDA and dietary strategies to improve iron status: As indicated in Table 4.4, knowledge about iron was poor. In an open-ended question, only 0.5% of subjects identified 'anaemia' as a disease caused by a lack of iron in the diet, while low haemoglobin and weakness were also not frequently mentioned (9%). When the benefits of iron were asked, a very small proportion of the girls gave correct responses. Concerning the prevention and management of IDA, 90% had no idea. For the question on iron sources, only 0.5% gave meat and substitutes, 6% fruits and vegetables and 87% had no suggestion. Moreover, about foods that are rich in iron, only 3%

mentioned red meat as a rich source of iron, while 2% identified fruits and vegetables. A high percentage of subjects did not know any rich sources of iron. Finally, only 17% recognised fruits and vegetables as sources of vitamin C.

When knowledge about food preparation, processing and preservation was verified, 97% of the girls did not know how to prepare foods so they lose less of their vitamin content. Although most of the girls used fermented flour (78%), soaked maize (76%) and shelled maize (76%) at home, two thirds of them did not know why they used these different methods. Only 4% used soaked beans. Finally, no significant differences were observed between subjects from the two schools concerning knowledge related to vitamin C, iron, IDA and dietary strategies to prevent IDA (data not reported).

Barriers to eating foods rich in iron and vitamin C: Two questions were asked to adolescent girls about foods they disliked and the reasons why they disliked them (data not reported). In total, 60 of the 180 adolescent girls disliked some foods rich in iron and vitamin C legumes (58.3%), meat (30%), vegetables (10%) and fruits (1.7%). Most of the girls disliked these foods mainly because of their taste, their texture or because they felt sick when consuming them. Thus, 51.6% of the girls gave these reasons for legumes, 20% for meat, 6.7% for vegetables and 1.7% for fruits. One of the teenagers thought that liver causes cardiovascular diseases. However, religious reasons and traditions also explained their avoidance of meat (10%) and legumes (1.7%). Moslem adolescent girls don't eat pork.

Information on health and disease: The health status of adolescents boarding at the schools was routinely recorded in the daily treatment book which included name, age, body temperature, symptoms and diagnosis. When adolescents were seriously ill, nurses provided clinical care and parents were contacted. Laboratory tests were prescribed by the attending physician when necessary. According to nurses from both boarding schools, malaria and parasitic infections were the main health problems, but no disease prevention and health promotion programs existed in the schools. Malaria occurs because of the presence of weeds, tall grass, and bushes around boarding schools which provide an outdoor refuge for mosquitoes.

Three questions looked at some aspects of health in general (Table 4.5). Concerning hygiene behaviour, most of the adolescents identified it with cleanliness. Personal cleanliness was mentioned by 86% of respondents. Some adolescents differentiated between cleanliness of clothes, of house and dishes. Concerning factors that were most important to them in order to stay healthy, about 58% of girls mentioned personal cleanliness, while 29% said that it was important to visit the doctor. Over half of the subjects (54%) were aware of a relationship between health and foods; an adequate diet was associated with the absence of illness and a poor diet associated with a greater risk of ill health. Finally, the majority of respondents mentioned school (96%) or parents (78%) as their main sources of information on health. No significant differences were observed between subjects from the two schools for the definition of hygiene, health and main sources of information.

Table 4.1: Subjects characteristics (%)

Variable	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 Ouidah (n=100)	p-value*
Age (years)				
12 - 14	51.1	58.7	45.0	0.036
15 - 17	48.9	41.3	55.0	
BMI (kg/m ²)				
Underweight (<5 th percentile)	8.3	3.7	12.0	NS
Normal (5 to <85 th percentile)	80.6	82.5	79.0	
Overweight (85 to <95 th percentile)	7.8	8.8	7.0	
Obese (≥95 th percentile)	3.3	5.0	2.0	
Use of supplements during the last month	19.1	22.5	16.0	NS
Religion				
Catholic	73.8	72.5	75.0	NS
Muslim	5.6	7.5	4.0	
Protestant	7.8	8.7	7.0	
Others†	12.8	11.3	14.0	
Mother's education				
Illiterate	15.0	10.0	19.0	0.001
Literate	85.0	90.0	81.0	
Primary	14.5	15.0	14.0	
Secondary	23.9	35.0	15.0	
University	5.5	10.0	2.0	
Not available	41.1	30.0	50.0	
Father's education				
Illiterate	4.1	1.3	6.0	0.001
Literate	95.9	98.7	94.0	
Primary	8.2	3.8	12.0	
Secondary	17.6	20.7	16.0	
University	20.6	34.5	9.0	
Not available	49.5	39.7	57.0	
Mother's occupation				
High-level non manual employees‡	5.0	8.7	2.0	0.018
Medium level non manual employees§	15.0	16.3	14.0	
Manual workers	77.8	70.0	84.0	
Deceased	2.2	5.0	0	
Father's occupation				
High-level non manual employees‡	19.4	15.0	23.0	NS
Medium level non manual employees§	29.4	35.0	25.0	
Manual workers	45.6	47.5	44.0	
Deceased	5.6	2.5	8.0	
Household size				
≤5 persons	17.8	18.7	17.0	NS
>5 persons	82.2	81.3	83.0	

* Comparison between by boarding schools using chi-square. NS – not significant (P>0.05).

† Others: Eckankar, christianity and vaudou.

‡ High-level non manual employees: business executives, doctor, engineers and university teachers.

§ Medium level non manual employees: nurses, accountant and high school teachers.

|| Manual workers: vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

Table 4.2: Dietary consumption of meat, poultry, fish, and substitutes during the week preceding the interview

Food	Adolescent girls who consumed the food at least once (%)			Number of meals consumed containing the food Mean \pm SD		
	Total (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG Ouidah (n=100)	Total (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG Ouidah (n=100)
Beef	49.3	98.7	0	1.2 \pm 1.0	2.1 \pm 0.8	0
Veal or pork	0	0	0	-	-	-
Lamb or mutton	0	0	0	-	-	-
Poultry	97.8	97.5	98.0	1.4 \pm 1.3	1.4 \pm 0.9	1.5 \pm 1.4
Fish	100	100	100.0	10.0 \pm 2.6	8.4 \pm 2.2	11.2 \pm 2.2
Legumes*	83.3	82.5	84.0	2.4 \pm 1.2	3.2 \pm 1.5	1.9 \pm 0.6
Vegetables	47.8	47.5	48.0	1.1 \pm 0.5	1.1 \pm 0.7	1.05 \pm 0.33
Fruits	49.4	50	49.0	2.1 \pm 1.9	2.0 \pm 1.9	2.2 \pm 1.8

SD, standard deviation.

* Legumes: beans, black-eyed peas, and peanut.

Table 4.3: Boarding schools cafeterias' menus (numbers of meals)

Staple food	Complementary food	Lycée Toffa 1er (n= 80)	CEG Ouidah (n= 100)
Breakfast			
Gbagba or coco*		5	4
Milk chicory	Bread	2	0
Rice pap	Milk	0	3
Lunch			
Amiwo†	Tomato stew + fried poultry	1	1
Rice	Tomato stew + fried mackerel	1	1
Spicy rice	Sardines or fried mackerel or meat	1	1
Beans	Tomato stew + gari‡	2	2
Atassi¶	Tomato stew	1	1
Spicy spaghetti	Eggs or fried mackerel or meat	1	1
Dinner			
Rice	Tomato stew + sardines or fried mackerel	1	2
Wo or akassa§	Tomato stew + crain-crain or okra + fried mackerel	5	4
Wo or akassa§	Spinach sauce + fried mackerel	1	1

*Maize paps: maize gruel, fermented and cooked in water.

† Spicy maize patties.

‡ Grated cassava fermented and roasted.

¶ Rice cooked with beans, oil and salt.

§ Maize patties: cold, semisolid pap.

Table 4.4: Knowledge related to anemia, iron deficiency and sources of iron and vitamin C
(%)

Questions	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 Ouidah (n=100)	P*
What is anemia?				NS
Lack of iron	0.5	1.2	0	
Low haemoglobin	8.9	12.5	6.0	
Dizziness and/or weakness	3.3	5.0	2.0	
Do not know	87.8	82.5	92.0	
What does iron do for your body?				NS
Adds blood	3.9	6.2	2.0	
Helps a person grow	1.1	0	2.0	
Makes a person strong	3.9	3.7	4.0	
Prevents a person from getting diseases	1.1	2.5	0	
Do not know	90.0	87.5	92.0	
What can you do to prevent iron deficiency?				NS
Go to the hospital	0	0	0	
Take vitamin pills obtained from the hospital	4.4	7.5	2.0	
Food variety	2.2	3.7	1.0	
Eat fruits and vegetables	1.7	3.7	0	
Eat meat and substitutes [†]	1.1	1.2	1.0	
Do not know	92.2	86.3	97.0	
Where do you find iron?				NS
Foods	4.4	8.7	1	
Pills	5.0	11.2	0	
Fruits and vegetables	5.6	5.0	6	
Cereal products	0	0	0	
Dairy products	0	0	0	
Meat and substitutes [†]	0.5	1.2	0	
Do not know	87.2	80.0	93	
Which foods are rich in iron?				NS
Fruits and vegetables	2.2	5.0	0	
Cereal products	0	0	0	
Dairy products	0.5	0	1	
Meat and substitutes [†]	2.8	6.2	0	
Do not know	92.2	83.7	99	
Where do you find vitamin C?				NS
Pills	13.3	21.2	7.0	
Foods	8.3	16.2	2.0	
Fruits and vegetables	17.2	21.2	14.0	
Cereal products	1.7	1.2	2.0	
Dairy products	2.8	2.5	3.0	
Meat and substitutes [†]	5.0	2.5	7.0	
Do not know	57.2	43.7	68.0	

* Comparison between schools using chi-square test. NS – not significant (P>0.05).

[†] Substitutes' beans, black-eyed peas, and peanut.

Table 4.5 Information on health and disease (%)

Questions	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 Ouidah (n=100)	P*
What do you understand by hygiene?				NS
Personal cleanliness [†]	86.1	71.2	98.0	
Washing hands before eating	28.3	23.7	32.0	
Washing hands after toilet	5.0	5.0	5.0	
Household cleanliness [‡]	4.4	10.0	0	
Safe foods [¶]	19.4	22.5	17.0	
Don't know	7.2	16.2	0	
What is most important for you to stay healthy?				NS
Personal cleanliness	57.8	48.7	65.0	
Drinking clean water	7.2	12.5	3.0	
Good nutrition	54.4	43.7	63.0	
Visiting the doctor frequently	28.9	36.2	23.0	
Doing regular exercise	0.5	0	1.0	
Eating red meat at each meal	0.5	1.2	0	
Don't know	4.4	3.7	5.0	
What is your main source of information on health?				NS
Parents	77.8	61.2	91.0	
School	95.6	91.2	99.0	
Health workers	15.0	25.0	7.0	
TV or radio	38.3	61.2	20.0	
Books	5.0	7.5	3.0	

* Comparison between schools using chi-square test. NS – not significant ($P>0.05$).

[†] Includes physical cleanliness, clean person and clean clothes.

[‡] Includes cleanliness of house and surroundings.

[¶] Includes safe food, clean dishes and good nutrition and dietary habits.

4.6 DISCUSSION

This article examined the food and health environment related to iron deficiency anemia in adolescent girls from two boarding schools in Benin. Diets in the two boarding schools appear to lack in diversity and nutritional content as documented in Benin and in other West African countries (8, 21). Indeed, both schools had weekly diets which consisted of 14 different food items (maize flour porridge or rice porridge, milk chicory, bread, rice, tomato stew, fish, meat, beans, maize flour patties, crain-crain or okra, spaghetti and vegetables). Cereals (maize flour porridge and patties, bread and rice) predominated as staple foods. Maize flour patties, spaghetti and rice were often served with a spicy sauce or vegetable (okra, crain-crain, spinach) in which some condiments (onions, pepper, tomato, magi) and other ingredients like groundnut oil were also added. Fishes consumed were mackerel and sometimes sardines. The only meat proposed to the adolescents was beef and poultry, but they were not frequently offered.

However, respectively eight and nine meals containing fish were served in both schools. Despite the fact that muscle proteins contained in fish have an enhancing effect on non heme iron absorption, their heme iron content is less elevated. Balder et al. (22), based on a literature review, reported that the proportion of heme iron was 65, 39, and 26 g for cooked beef, pork, and chicken or fish, respectively. Also, non heme iron sources, such as vegetables and beans were not consumed with foods that enhance iron absorption. Indeed, although foods such as fruits are available all year round, they were not present in both cafeterias' menus. A food diversification program that involves the introduction of new foods is thus required. Moreover, there is ubiquitous intake of coffee (ice-cold coffee with milk) which contains important inhibitors of non heme iron absorption. Although coffee was not offered in the two boarding schools, 33% of adolescent girls revealed consuming coffee ≥ 4 times a week (48% during meals and 34% just after meals). Thus, modifying eating patterns is necessary so that enhancers of non-heme iron absorption are eaten with meals and potential inhibitors such as coffee between meals.

We found that adolescent girls from the two boarding schools knew very little about iron, vitamin C, iron deficiency, anemia and iron-related dietary practices. Similar tendencies were reported in the study of Shojaeizadeh (23) which indicated that 57.3% of 5059 secondary school girls had poor knowledge on IDA and 44.5% did not have an appropriate behaviour to prevent IDA. Indeed, our subjects were unaware of the need to consume iron-rich foods such as meat and substitutes and to add enhancers of non heme iron absorption such as the meat factor (meat, fish, poultry, etc.) and vitamin C rich-foods (vegetables and fruits). Girls didn't know that potential inhibitors such as coffee should be consumed between meals. Finally, although most of the girls used fermented flour, soaked maize and shelled maize at home, two thirds of them did not know why they used these different methods. Thus, these students need a culturally appropriate nutrition education program in order to change their attitudes and beliefs and thereby improve their behaviour. Changes in knowledge can have a positive effect on behaviour and nutritional status (24, 25).

Other economic, cultural and environmental barriers were identified and could limit iron availability in adolescent girls. Shell-Duncan and McDade (26) also identified cultural and environmental barriers to adequate iron intakes among 300 northern Kenyan schoolchildren: girls were believed to benefit from "soft foods," including rice, maize porridge, and tea, whereas boys benefited from "hard foods," including meat, blood, and beans. In our study, the low consumption of foods rich in iron and vitamin C was associated with specific preferences, and religious beliefs or traditions regarding legumes, meat, vegetables and fruits. Similar results were reported in the study of Rousset et al. (27) where low meat consumption was associated with emotions such as disappointment, indifference and less satisfaction regarding meat and other foods. showed that pleasure more than nutritional considerations predicted the frequency of meat consumption in young participants. Eating behaviour depends partly on food preference, which is determined by different types of emotions. Among the emotions generated by food, disgust with red meat is common in women and can lead to reduced meat consumption (29, 30). Also, the planned budget for foods and the food supply varied according to donations, government help and tuition fees. Thus, efforts and planning from schools and different levels of government are necessary to overcome these barriers. It is believed that an outcome of improved economic conditions would be better health and nutrition (26).

Results of the present study indicate differing perceptions of hygiene. The majority of subjects referred to personal cleanliness, while less than a third associated hygiene with washing hands before eating. Similar results were reported in 55 school-aged children (6–14 years) in Madagascar (31). Concerning ways to stay healthy, adolescents stated personal cleanliness and good nutrition, followed by visiting the doctor frequently. "Taking care of oneself" was also considered the most important cause of good health among 96 Brazilian children aged 6 to 14 years (32) while diet control was a significant predictor of health in 1114 adolescents from Hungary (33).

The most frequently encountered sources of information on nutrition and health in adolescent girls are schools followed by parents. However, in other countries such as Saudi Arabia, South Africa and Canada, the main sources of knowledge about health and disease are respectively television, magazines and daily newspaper (34); magazines, books, internet, food labels and brochures (35); media, particularly radio and television, followed by family/friends (36). In Benin, lack of access to certain kinds of media such as Internet, magazines might explain these disparities. In Benin, schools represent an excellent opportunity for nutrition educators to disseminate nutrition messages. Also, the fact that parents play an important role in their adolescent's education indicates the urgent need to inform them about ways to prevent iron deficiency anemia. Finally, in Benin, dietitians and health organisations were not frequently consulted as can be observed in Canada and South Africa (36, 37), indeed in Benin, trained personnel in nutrition is greatly needed.

The present study is the first carried out in Benin to describe socio-cultural, economic, and behavioural determinants that could provide both support and barriers to the successful prevention of IDA in adolescent girls. It also allows understanding of iron deficiency in adolescent girls from multiple perspectives, including teachers, parents, school staff and the girls themselves. Selection bias may be a potential limitation, because the present study is based on adolescent girls living in a boarding school. Therefore, the findings should be generalized in settings with the same characteristics.

4.7 IMPLICATIONS FOR RESEARCH AND PRACTICE

This study described the food and health environment related to iron deficiency anemia in Beninese adolescent girls living in boarding schools. Nutrition interventions should promote local as well as low-cost rich food sources of iron and vitamin C at all levels of the population including boarding schools. Nutrition interventions should also address coffee consumption among adolescent girls as it interferes with non heme absorption. Finally, nutrition education about food and diet-related diseases should be included in the school curriculum.

4.8 REFERENCES

1. Schneider JM, Fujii ML, Lamp CL, Lönnerdal Bo, Dewey KG, Zidenberg-Cherr S. Anemia, iron deficiency, and iron deficiency anemia in 12–36-mo-old children from low-income families. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 1269–75.
2. Keskin Y, Moschonis G, Dimitriou M, Sur H, Kocaoglu B, Hayran O *et al*. Prevalence of iron deficiency among schoolchildren of different socio-economic status in urban Turkey. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59: 64–71.
3. Kara B, Cal S, Aydogan A Sarper N. The prevalence of anemia in adolescents: A study from Turkey. *J Pediatr Hematol Oncol* 2006; 28: 316–21.
4. Pena-Rosas J, Viteri F. Effects of routine oral iron supplementation with or without folic acid for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev* 2006; 3: CD004736.
5. Hercberg S, Galan P, Chauliac M, Masse-Raimbault AM, Devanlay M, Bileoma S *et al*. Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *Br J Nutr* 1987; 57: 185-93.
6. Hercberg S, Chauliac M, Galan P, Devanlay M, Zohoun I, Agboton Y *et al*. Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health* 1988; 102: 73-83.
7. Alaofè H, Zee J, Turgeon O'Brien H. Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2007; 55: 187-96.
8. Gibson RS. Strategies for preventing micronutrient deficiencies in developing countries. *Asia Pac J Clin Nutr* 2004; 13: S23.
9. 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.

10. Shell-Duncan B, McDade T. Cultural and environmental barriers to adequate iron intake among northern Kenyan schoolchildren. *Food Nutr Bull* 2005; 26: 39-48.11. Seaverson EL, Buell JS, Fleming DJ, Bermudez OI, Potischman N, Wood RJ *et al*. Poor iron status is more prevalent in Hispanic than in non-Hispanic white older adults in Massachusetts. *J Nutr* 2007; 137: 414-20.
12. Berger J, Dillon J. Control of iron deficiency in developing countries. *Santé* 2002; 12: 22-30.
13. Gibson RS, Yeudall F, Drost N, Mtitimuni B, Cullinan T. Dietary interventions to prevent zinc deficiency. *Am J Clin Nutr* 1998; 68: S484-S7.
14. Gittelsohn J, Steckler A, Johnson CC, Pratt C, Grieser M, Pickrel J *et al*. Formative research in school and community-based health programs and studies: "state of the art" and the TAAG approach. *Health Educ Behav* 2006; 33: 25-39.
15. FAOSTAT. 2002. *Site Web de la FAO*. Statistics database. FAO, Rome.
16. FAO. Aperçu nutritionnel par pays: Bénin. Available at <ftp://ftp.fao.org/esn/nutrition/ncp/ben.pdf>. (Accessed October 30, 2007).
17. MI/UNICEF. Benin: Vitamin and mineral deficiency status and actions. In: Vitamin and mineral deficiency: a global assessment. Available at <http://www.micronutrient.org/reports/>. Accessed January 10, 2006).
18. National Center for Health Statistics (2002): 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat* 2000; 11. 246: 1-190.
19. Gibson RS, Yeudall F, Drost N, Mtitimuni BM, Cullinan TR. Experiences of a community-based dietary intervention to enhance micronutrient adequacy of diets low in animal source foods and high in phytate: a case study in rural Malawian children. *J Nutr* 2003; 133: S3992-S9.
20. Guptill KS, Esrey SA, Oni GA, Brown KH. Evaluation of a face-to-face weaning food intervention in Kwara state, Nigeria: knowledge, trial and adoption of a home-prepared weaning food. *Soc Sci Med* 1993; 36: 665-72.
21. Sodjinou R, Agueh V, Fayomi B, Delisle H. Dietary patterns of urban adults in Benin: relationship with overall diet quality and socio-demographic characteristics. *Eur J Clin Nutr* 2007; doi:10.1038/sj.ejcn.1602906.
22. Gerber N, Colombani P, Scheeder M. Trace elements in fish and meat, *Meat Science* 2007; 76: 194.
23. Shojaeizadeh D. A Study on Knowledge, Attitude and Practice of Secondary School Girls in Qazvin on Iron Deficiency Anemia. *Iranian J Publ Health* 2001; 30: 53-56.

24. Amani R, Soflaei M. Nutrition education alone improves dietary practices but not hematologic indices of adolescent girls in Iran. *Food Nutr Bull* 2006; 27:260-4.
25. Kafatos I, Manios Y, Moschandreas J, Kafatos A. Preventive Medicine and Nutrition Clinic University of Crete Research Team. Health and nutrition education program in primary schools of Crete: changes in blood pressure over 10 years. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61: 837-45.
26. Shell-Duncan B, McDade T. Cultural and environmental barriers to adequate iron intake among northern Kenyan schoolchildren. *Food Nutr Bull* 2005; 26: 39-48.
27. Rousset S, Deiss V, Juillard E, Schlich P, Droit-Volet S. Emotions generated by meat and other food products in women. *Br J Nutr* 2005; 94:609-19.
28. Lea E, Worsley A/ Influences on meat consumption in Australia, *Appetite* 2001; 36: 127-36.
29. Audebert O, Deiss V, Rousset S. Hedonism as a predictor of attitudes of young French women towards meat. *Appetite* 2006; 46:239-47.
30. Stevenson C, Doherty G, Barnett J, Muldoon OT, Trew K. Adolescents' views of food and eating: identifying barriers to healthy eating. *J Adolesc* 2007; 30:417-34.
31. Mahr J, Wuestefeld M, Ten Haaf J, Krawinkel MB. Nutrition education for illiterate children in southern Madagascar--addressing their needs, perceptions and capabilities. *Public Health Nutr* 2005; 8: 366-72.
32. Boruchovitch E, Mednick BR. Causal attributions in Brazilian children's reasoning about health and illness. *Rev Saude Publica* 2000; 34: 484-90.
33. Piko BF. Self-perceived health among adolescents: the role of gender and psychosocial factors. *Eur J Pediatr* 2007; 166: 701-8.
34. Al-Almaie S. Knowledge of healthy diets among adolescents in eastern Saudi Arabia. *Ann Saudi Med* 2005; 25: 294-8.
35. Marquis M, Dubeau C, Thibault I. Canadians' level of confidence in their sources of nutrition information. *Can J Diet Pract Res* 2005; 66: 170-5.
36. Charlton KE, Brewitt P, Bourne LT. Sources and credibility of nutrition information among black urban South African women, with a focus on messages related to obesity. *Public Health Nutr* 2004; 7: 801-11.
37. Reid DJ, Conrad SA, Hendriks SM. Tracking nutrition trends, 1989-1994: an update on Canadians attitudes, knowledge and reported actions. *Can J Public Health* 1996; 87: 113-8.

Chapitre 5

Iron status of adolescent girls from two boarding schools in southern Benin. *Public Health Nutrition*, 2008; 7:737-46.

Le cinquième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été publié. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon-O'Brien. Les résultats présentés dans le deuxième article portent essentiellement sur l'impact de la consommation des promoteurs et des inhibiteurs de l'absorption du fer sur le risque d'anémie ferriprive chez les sujets étudiés. Nous avons étudié les données de 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans fréquentant deux établissements scolaires: le lycée Toffa 1^{er} de Porto-Novo (n=80) et le CEG1 de Ouidah (n=100).

5.1 RÉSUMÉ

La carence en fer est la carence en micronutriments la plus répandue dans le monde, en particulier dans les pays en développement. Une prise de sang et un questionnaire qualitatif de fréquence portant sur les aliments riches en fer et en vitamine C ont été obtenus chez 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans et vivant dans deux internats au sud du Bénin. La carence en fer a été définie par un taux de ferritine sérique $<20\mu\text{g/L}$ ou une ferritine sérique comprise entre $20\text{--}50\mu\text{g/L}$ plus deux valeurs anormales parmi les trois paramètres suivants: fer sérique $<11\mu\text{mol/L}$, capacité totale de fixation du fer par la transferrine $>73\mu\text{mol/L}$ ou coefficient de saturation de la transferrine $<20\%$, tandis que l'anémie correspondait à un taux d'hémoglobine $<120\text{ g/L}$. La carence en fer et l'anémie étaient présentes respectivement chez 32 et 51% des adolescentes, tandis que 24% souffraient d'anémie ferriprive (carence en fer plus hémoglobine $<120\text{ g/L}$). Au moyen d'une analyse de régression logistique en ajustant pour les facteurs confondants (âge, occupation du père et de la mère, taille du ménage), les sujets ayant une faible consommation de viande (bœuf, mouton, porc) (<4 fois par semaine) avaient 2 fois plus de risque de souffrir de carence en fer (risque relatif approché (RRA) =2,43; intervalle de confiance (IC) à 95% 1,72, 3,35; $P=0,04$). Les adolescentes consommant moins de fruits (<4 fois par semaine) avaient aussi plus de risque de souffrir de carence en fer (RRA=1,53; 95% IC 1,31, 2,80; $P=0,03$). Enfin, les sujets dont la consommation de viande était faible (<4 fois par semaine), avaient 2 fois plus de risque de souffrir d'anémie ferriprive (RRA=2,24; IC 95% 1,01, 4,96; $P=0,04$). La carence en fer représente un véritable problème de santé publique chez les adolescentes Béninoises étudiées. Une augmentation de la consommation d'aliments riches en fer et en promoteurs de l'absorption du fer (facteur viande, volaille et poisson et vitamine C) est recommandée pour prévenir la carence en fer chez ces sujets.

5.2 ABSTRACT

Iron deficiency is the most prevalent micronutrient deficiency in the world, particularly in developing countries. Blood samples and a qualitative food frequency questionnaire on iron and vitamin C rich foods were obtained in 180 adolescent girls aged 12 to 17 years living in two boarding schools from South Benin. Iron deficiency (ID), defined as either serum ferritin $<20 \mu\text{g/L}$ or serum ferritin $20\text{-}50 \mu\text{g/L}$ plus two of the following parameters: serum iron $<11 \mu\text{mol/L}$, total iron binding capacity $>73 \mu\text{mol/L}$ or transferrin saturation $<20\%$, was found in 32% of subjects. Anemia (hemoglobin (Hb) $<120 \text{g/L}$) was found in 51% of adolescents, while 24% suffered from iron deficiency anemia (iron deficiency and Hb $<120 \text{g/L}$). After adjusting for confounding factors (age, mother's and father's occupation, household size) in a logistic regression equation, subjects having a low meat consumption (beef, mutton, pork) (<4 times a week) were more than twice as likely to suffer from ID (odds ratio (OR) 2.43 and 95% confidence interval (CI) 1.72-3.35; $P=0.04$). Adolescents consuming less fruits (<4 times a week) also had a higher likelihood of suffering from ID (OR=1.53; 95%CI=1.31-2.80; $P=0.03$). Finally, subjects whose meat consumption was low, were twice as likely to suffer from iron deficiency anemia (OR=2.24; 95%CI=1.01-4.96; $P=0.04$). The prevalence of iron deficiency represents an important health problem in these Beninese adolescent girls. A higher consumption of iron rich foods and of promoters of iron absorption (meat factor and vitamin C) is recommended to prevent iron deficiency in these subjects.

5.3 INTRODUCTION

Iron deficiency (ID) continues to be the most prevalent micronutrient deficiency in the world, particularly in developing countries^(1,2), with the WHO estimating that ID occurs in about 66–80 % of the world's population⁽³⁾. The detrimental public health effects of ID include anaemia, decreased intellectual and work performance, and functional alterations of the small bowel^(4,5). Besides other vulnerable age groups such as infancy and early childhood, adolescence is also considered a high-risk period for developing ID owing to the combination of rapid physical growth and losses of Fe through menstruation⁽⁴⁾.

Recent work has focused on the inadequacy of methods for obtaining global estimates of ID, which are calculated indirectly from indices of anaemia such as Hb or haematocrit (Ht) concentration that are neither sensitive nor specific to ID^(6,7). These measures fail to detect mild to moderate forms of ID, which even in the absence of anaemia may be associated with functional impairments. The accuracy of ID assessment is improved by combining Hb or Ht with independent measures of Fe status, such as serum ferritin (SF). This method is particularly useful in a tropical context, where confounding factors (liver disease, infection, inflammatory processes, protein malnutrition, etc.) may interfere with the significance of each test of Fe status^(6,8,9). The usual approach of separating normal from Fe-deficient subjects on the basis of only one criterion inevitably involves errors in the diagnosis of both normal and Fe-deficient subjects. Unfortunately, surveys performed in Africa were based only on a few laboratory parameters which did not reflect the true prevalence of ID^(6,8,9). In Benin, only two studies carried out in the 1980s have defined ID using a multi-parameter index composed of two or more abnormal values in the four independent indicators of Fe status used (SF, transferrin saturation (TFS), erythrocyte protoporphyrin and mean corpuscular volume (MCV))^(8,10). Although a recent study performed in a group of adolescent girls from Benin also defined ID using a multi-parameter index, SF, a measure of the first stage of ID, was not included⁽¹¹⁾.

In Benin, the results of a limited number of studies indicate that ID is a significant public health problem^(8,10,11). However, most of these studies were performed around 20 years ago and included adolescent girls as a part of a larger sample of adult women, pregnant women

or children ^(8,10). Overall, the prevalence of ID has been estimated to range from 34 to 41 % among menstruating women ^(8,10). To our knowledge, only one study published in 2007 was conducted in adolescent girls ⁽¹¹⁾. In that study, the prevalence of anaemia was 43 %.

Moreover, the impact of promoters and inhibitors of Fe absorption has not been studied in Beninese adolescents. Yet studying Fe status and food consumption of adolescents provides an opportunity to understand and intervene at a point in the life cycle before potential problems become serious in later life. The aims of the present study were therefore: (i) to assess the Fe status of adolescent girls; and (ii) to examine the association between food consumption evaluated by means of a qualitative FFQ and ID or iron-deficiency anaemia (IDA).

5.4 SUBJECTS AND METHODS

Study population

The present cross-sectional study was carried out from October to November 2005. The study population consisted of adolescent girls aged 12 to 17 years living in two boarding schools of south Benin, i.e. Lycée Toffa 1^{er} of Porto-Novo (*n* 80) and CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah (*n* 100). The selected schools were located in two departments, Ouémé and Atlantique, and are 70 km apart. These schools were selected on the basis of similarity of cafeterias' menus and supply of local foods. Baseline data including blood samples and a qualitative FFQ on Fe- and vitamin C-rich foods were collected in both schools. This step was followed by the implementation of a nutrition intervention programme to reduce IDA in adolescent girls boarding at Lycée Toffa 1^{er} of Porto-Novo (intervention school); CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah served as control school. Results obtained at baseline are presented herein, while data on the nutrition intervention will be published elsewhere ⁽¹²⁾.

Recruitment

Meetings with personnel from the two boarding schools, as well as with adolescent girls and their parents, were carried out in order to explain the study protocol. Participants were selected from lists of students at each of the selected boarding schools, which included names and dates of birth. Only girls aged 12–17 years were included in the present study.

At the beginning of the study, Lycée Toffa 1^{er} of Porto-Novo included 1680 girls living at home (92 %) and 140 girls who were boarding at the school (8 %), while CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah counted respectively 721 girls (83 %) and 148 girls (17 %) in these categories. Among girls boarding at school, eighty girls (57 % of 140 girls) from Lycée Toffa 1^{er} and 100 girls (68 % of 148 girls) from CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah were selected in the sixth to the ninth grade to participate in the study. Thus, 108 girls (38 % of 288 girls) who were boarding in the two schools were not included in the study. Twelve girls (6 %) aged 12 to 17 years did not participate in the study: seven refused to participate, three suffered from malaria and two were not present at the time of the study. Also, the girls who were not included in the sample were under 12 years of age ($n = 9$) or older than 17 years of age ($n = 87$). Written consent was required from both parents in order for their child to participate in the study. Data were collected using an FFQ and laboratory analysis of blood. The subjects received oral and written notification of test results. Approval was obtained from the Ethical Committee of Laval University and the Departmental Direction of the Primary and Secondary Education of the concerned departments in Benin.

General questionnaire and FFQ

Each study participant was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire which included information on socio-economic characteristics (age, religion, parents' occupation and their level of education, number of rooms and running water in the house) and health history (recent febrile and non-febrile illnesses, menstrual history, history of recent drug use, main source of information on health issues, home hygiene). Also, a qualitative FFQ that assessed the frequency with which specific food items were consumed during a given period (≥ 4 times/week, 2–3 times/week, 2–3 times/month, < 1 time/month) was administered⁽¹³⁾. The selected food items were meat (beef, mutton and pork), poultry, fish, legumes, vegetables, fruits and coffee (tea consumption is not a food habit in Beninese adolescent girls and it was not served in the boarding school cafeterias). These food items were selected as indicators of vitamin C, haem Fe, non-haem Fe, phytate and polyphenol intake.

Anthropometric data

Participants' weight was determined to the nearest 0.1 kg on an electronic load cell scale (Precision Health Scale, UC-300; A&D Company Limited, Japan). Height was measured to the nearest 1 cm with a stature meter (2 m), with a movable bar and a steel tape, mounted on a wall. All girls wore light clothing and removed their shoes. BMI was calculated as weight (kg)/square of height (m²). BMI was plotted on individual percentile charts developed by the National Center for Health Statistics⁽¹⁴⁾. These charts are specific for age and gender: underweight was defined as BMI < 5th percentile, normal weight as BMI between 5th and 85th percentile, overweight as BMI between 85th and 95th percentile, obesity as BMI >95th percentile.

Blood sampling

A venous blood sample (\approx 5 ml) was drawn from each non-fasting adolescent into an EDTA-containing Vacutainer tube (Becton Dickinson, Plymouth, UK) and sent to TOXI-LABO laboratory in Cotonou (Benin) for automated blood analysis. A haematology analyser (Sysmex KX-21; Sysmex Corporation, Kobe, Japan) was used for full blood count and differential white blood cell count. The full blood count analysis included: Hb concentration, Ht, MCV, mean corpuscular Hb concentration (MCHC) and mean corpuscular Hb (MCH).

To obtain serum for determination of parameters of Fe status, a blood sample (\approx 5 ml) was drawn from each adolescent into a trace mineral-free Vacutainer tube (Becton Dickinson) and allowed to coagulate at room temperature. The coagulated blood was centrifuged and the serum was divided into aliquots for the measurement of SF, serum Fe, total iron-binding capacity (TIBC), TFS and C-reactive protein (CRP). An enzyme-linked fluorescent assay (Vidas Ferritin; Biomérieux, Marcy-l'Etoile, France) was used to determine SF. Serum Fe was measured without deproteinization using a commercial photometric test (Ferrimat-Kit; Biomérieux). After saturation of transferrin by the addition of Fe, the same assay system was used for determination of TIBC. TFS was calculated by expressing serum Fe as a percentage of TIBC. CRP was detected using a latex agglutination test (Slidex CRP kit; Biomérieux).

Laboratory measurements were considered to be abnormal at the following levels: SF < 20 µg/l, serum Fe < 11 µmol/l, TIBC > 73 µmol/l, TFS < 20 %, Hb < 120 g/l, Ht < 37 %, MCV < 80fl, MCHC < 300 g/l, MCH < 30 pg, CRP > 6 mg/l⁽¹⁵⁻¹⁷⁾.

Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia

Perturbations in Fe nutriture can be classified into three stages: Fe depletion, ID and IDA. During the depletion phase, Fe stores are exhausted; however, decrease of serum Fe or anaemia is not present. ID occurs as Fe stores decline and a decrease in transport Fe is present. Anaemia and hypochromia are still not detectable. IDA occurs as the synthesis of Fe-containing proteins, such as Hb, becomes compromised to the point at which values fall below a specified cut-off value^(13,18,19).

Malaria, inflammation and infection disorders are common in West African populations and can influence Fe status indices. Thus they complicate the accurate detection of ID and may decrease the effect of additional dietary Fe by reducing the body's ability to absorb and utilize it⁽²⁰⁾. SF value <20 µg/l is often used to indicate reduced Fe stores. SF, however, is an acute-phase protein that increases with malaria, inflammation or infection disorders⁽¹³⁾. In an attempt to adjust for the observed high prevalence of malaria and other infection disorders, we increased the SF cut-off value to 50 µg/l⁽²¹⁻²³⁾.

In the present study, participants were categorized as Fe-deficient (ID) if they presented SF value of either <20 µg/l or 20–50 µg/l plus two abnormal values among the three following biochemical parameters: serum Fe < 11 µmol/l, TIBC >73 µmol/l or TFS < 20 %⁽¹⁶⁾. The adolescents were classified as having IDA if they were Fe-deficient and had Hb < 120 g/l.

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using the commercially available statistical software NCSS 2004 (NCSS, Kaysville, UT, USA). Descriptive statistics are presented as either means with their standard deviation in the case of continuous variables or frequency for categorical variables. The χ^2 test was used to test for differences in characteristics between girls from the two boarding schools, Fe status indices and CRP values. Although both schools were chosen on the basis of similarity of cafeterias' menus and supply of local

foods, each adolescent girl was free to choose the amount of foods she desired in accordance with her taste and appetite. For example, in the case of white rice with tomato stew and fried fish, some adolescents chose only white rice and tomato stew, while others took only tomato stew and fried fish. This would have an impact on their Fe status. Also, as mentioned above, it was necessary to obtain baseline data in each school before implementation of the nutrition intervention programme whose results will be published elsewhere⁽¹²⁾.

The independent samples *t* test (two-tailed) procedure was used to compare group means for Fe status indicators. SF had a skewed distribution; therefore, this parameter was log-transformed for all statistical analyses and converted back to the original units as means and SD.

The association between food consumption and ID or IDA (0 = absence; 1 = presence) was examined by multiple logistic regression analyses which adjusted for potential confounders. The following variables were included in the multivariate model because they had been previously identified as potential confounders in the published literature: age (1 = 12–14 years, 2 = 15–17 years); parents' occupation (1 = high-level non-manual employees, 2 = medium-level non-manual employees, 3 = manual workers) and household size (1 = ≤ 5 persons, 2 = ≥ 5 persons). Consumption of meat (beef, mutton and pork), poultry, legumes, vegetables, fruits and coffee was classified into two groups (1 = < 4 times/week, 2 = ≥ 4 times/week) for the logistic regression analysis presented in [Tables 4 and 5](#). However, consumption of fish was classified as follows: 1 = < 5 times/week, 2 = ≥ 5 times/week. Statistically significant differences were indicated by $P < 0.05$.

5.5 RESULTS

Subjects' characteristics

The characteristics of the subjects are shown in Table 5.1. The mean age of adolescents was 14.5 (SD 1.8) years and 51 % were less than 15 years old. The average BMI of the girls was 20.1 (SD 3.8) kg/m². Of the total surveyed population, 3 % were obese, 8 % were overweight and 8 % were found to be underweight. The majority of the study population

(81%) was within the normal weight range. Approximately 20 % used vitamin and mineral supplements during the last two months before the study: about 10 % of the adolescents took Fe and folic acid supplements daily (one tablet containing 200 mg iron fumarate and one tablet containing 0.25 mg folic acid), whereas 6 % took vitamin C (one tablet of effervescent UPSA vitamin C containing 500 mg vitamin C). Finally, 4 % used both vitamin and mineral supplements. More than 70 % of the girls were Catholic. Muslims represented about 6 % of the sample, while other religions (Eckankar, celestial Christianity and Vaudou) comprised 13 %. Religious beliefs are important because certain foods may be considered taboo by the rules promulgated by a religion concerning what is and what is not allowed to be eaten. For example, pork is forbidden in the Islamic faith, while Catholics are required to perform some specific acts of penance, which includes fasting and abstaining at times each year, especially during Lent.

In the present study, about 86 % of mothers were literate and only 5 % went to university, while 96 % of fathers were literate and 21 % went to university. Also, more than two-thirds of the adolescents' mothers were manual workers (78 %). Almost half of the fathers were manual workers (46 %); a lower proportion of them, about 20 %, were high-level non-manual employees (business executives, doctors, engineers and university teachers). The majority of families consisted of six or more individuals. No significant differences were observed between subjects from the two boarding schools for the following variables: religion of the subjects, father's occupation, household size, use of supplements during the last two months and BMI. However, age of the adolescents, mother's occupation and parents' education differed significantly between the two boarding schools.

Haematological and biochemical parameters

Means (SD) and percentage of abnormal values for Fe status indices and CRP concentration are presented in Table 5.2. Mean values were significantly lower in Lycée Toffa 1^{er} compared with CEG1 Ouidah for TFS ($P = 0.02$), Ht ($P = 0.0001$) and MCV ($P = 0.02$), and significantly higher for MCHC ($P = 0.0001$).

Of the 180 subjects included in the survey, 25 % had low SF (<20 µg/l) while 5 % had low serum Fe (<11 µmol/l). Also, 46 % had elevated TIBC (>73 µmol/l) indicative of ID, while

more than a quarter of subjects had TFS below 20 %. A low Hb level according to WHO reference values was observed in half of the adolescents, whereas about a third of them had low Ht and MCV values. Finally, a small proportion of adolescents (10 %) had low MCHC, while the majority of adolescents (93 %) had insufficient MCH. Low CRP was detected in 7 % of subjects. The percentage of abnormal values was significantly higher in Lycée Toffa 1^{er} compared with CEG1 Ouidah for TFS ($P = 0.04$) and Ht ($P = 0.0001$) and significantly lower for MCHC ($P = 0.0001$).

Prevalence of anaemia, iron deficiency and iron-deficiency anaemia

The prevalence of anaemia, ID and IDA is shown in Table 5.3. As indicated in this table, the prevalence of anaemia was 51 %. Thirty-two per cent of adolescents were classified as Fe-deficient and had SF value of either $<20 \mu\text{g/l}$ or $20\text{--}50 \mu\text{g/l}$, plus two abnormal values in the following three biochemical parameters: serum Fe $< 11 \mu\text{mol/l}$, TIBC $> 73 \mu\text{mol/l}$ or TFS $< 20 \%$. Twenty-four per cent suffered from IDA. There was no difference in the prevalence of anaemia, ID or IDA in adolescents from the two boarding schools. Also, using the χ^2 test, the prevalence of ID ($P = 0.24$) and IDA ($P = 0.15$) was not lower in adolescent girls who took vitamin and mineral supplements during the two months preceding the interview (results not shown).

Food consumption and iron status

The qualitative FFQ permitted us to gather information on food consumption patterns of these adolescents. In Lycée Toffa 1^{er}, breakfast always included a maize-based porridge (*gbagba*) or milk chicory made with powdered skimmed milk or concentrated milk, while in CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah it included porridge made from corn flour and hot water (*akassa*) or rice porridge with milk. For lunch and dinner, girls in both schools received, for example: *pâte rouge* (spicy corn paste served with tomato stew) and fried fish (mostly mackerel); white rice with tomato stew and fried fish; white rice with fried sardines; chicken in peanut/tomato stew; *riz au gras* (beef stew with onions, tomatoes, oil and rice); legumes (red or white kidney beans) with *gari* (the dried and ground form of cassava) or *atassi* (a stiff corn flour porridge) and served with fried fish or fried chicken; *pâte rouge* accompanied by fresh or fried fish and *crain-crain* (a sludgy green sauce made

with tossa jute) or okra (results not presented). Thus, food consumption patterns were very similar in the two boarding schools.

Results of the multiple logistic regression analyses that investigated the relationship between ID and IDA and food consumption are presented in Tables 5.4 and 5.5 respectively. The majority of girls suffering from ID and IDA had a low consumption frequency of meat, poultry, legumes, vegetables and fruit (<4 times/week). In contrast, three-quarters of the subjects consumed fish ≥ 5 times/week. Also, the majority of adolescents had coffee less than 4 times weekly.

Girls with a frequency of meat consumption of <4 times/week were twice as likely as those who consumed meat ≥ 4 times/week to suffer from ID (OR = 2.43; 95 % CI 1.72, 3.35; $P = 0.04$) and IDA (OR = 2.24; 95 % CI 1.01, 4.96; $P = 0.04$). Likewise, adolescents with a low frequency of fruit consumption (<4 times/week) also had a higher risk of suffering from ID (OR=1.53; 95 % CI 1.31, 2.80; $P = 0.03$).

Table 5.1: Subjects characteristics (%)

Variable	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 Ouidah (n=100)	p-value*
Age (years)				
12 - 14	51.1	58.7	45.0	0.036
15 - 17	48.9	41.3	55.0	
BMI (kg/m ²)				
Underweight (<5 th percentile)	8.3	3.7	12.0	NS
Normal (5 to 85 th percentile)	80.6	82.5	79.0	
Overweight (85 to 95 th percentile)	7.8	8.8	7.0	
Obese (>95 th percentile)	3.3	5.0	2.0	
Use of supplements during the last month	19.1	22.5	16.0	NS
Religion				
Catholic	73.8	72.5	75.0	NS
Muslim	5.6	7.5	4.0	
Protestant	7.8	8.7	7.0	
Others [†]	12.8	11.3	14.0	
Mother's education				
Illiterate	15.0	10.0	19.0	0.001
Literate	85.0	90.0	81.0	
Primary	14.5	15.0	14.0	
Secondary	23.9	35.0	15.0	
University	5.5	10.0	2.0	
Not available	41.1	30.0	50.0	
Father's education				
Illiterate	4.1	1.3	6.0	0.001
Literate	95.9	98.7	94.0	
Primary	8.2	3.8	12.0	
Secondary	17.6	20.7	16.0	
University	20.6	34.5	9.0	
Not available	49.5	39.7	57.0	
Mother's occupation				
High-level non manual employees [‡]	5.0	8.7	2.0	0.018
Medium level non manual employees [§]	15.0	16.3	14.0	
Manual workers	77.8	70.0	84.0	
Deceased	2.2	5.0	0	
Deceased				
Father's occupation				
High-level non manual employees [‡]	19.4	15.0	23.0	NS
Medium level non manual employees [§]	29.4	35.0	25.0	
Manual workers	45.6	47.5	44.0	
Deceased	5.6	2.5	8.0	
Deceased				
Household size				
≤5 persons	17.8	18.7	17.0	NS
>5 persons	82.2	81.3	83.0	

* Comparison between boarding schools using chi-square. NS – not significant (P>0.05).

[†] Others: Eckankar, christianity and vaudou.

[‡] High-level non manual employees: business executives, doctor, engineers and university teachers.

[§] Medium level non manual employees: nurses, accountant and high school teachers.

^{||} Manual workers: vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

Table 5.2: Iron status indices and C-reactive protein (CRP) concentration by boarding school

Indicators	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 de Ouidah (n=100)	p-value*
Serum ferritin				
Mean (SD)	40.4 (29.9)	41.7 (36.1)	39.2 (24.1)	NS
%<20 µg/L	25	30.0	21.0	NS
Serum Iron				
Mean (SD)	17.8 (6.3)	16.9 (6.3)	18.7 (6.3)	NS
%<11 µmol/L	4.5	6.2	3.0	NS
TIBC				
Mean (SD)	72.7 (9.8)	73.8 (10.0)	71.7 (10.3)	NS
%>73 µmol/L	45.6	46.2	45	NS
Transferrin saturation				
Mean (SD)	25.1 (9.5)	23.3 (8.8)	26.5 (9.9)	0.02
%<20 %	26.7	36.2	19.0	0.04
Haemoglobin				
Mean (SD)	120.0 (10.6)	119.0 (10.3)	120.9 (10.9)	NS
%<120 g/L	50.5	52.5	49.0	NS
Hematocrit				
Mean (SD)	37.4 (3.4)	35.9 (2.6)	38.6 (3.5)	0.0001
% <37 %	35	51.2	22.2	0.0001
MCV				
Mean (SD)	82.8 (6.6)	81.4 (5.8)	83.8 (6.9)	0.02
%<80 fL	28.9	32.5	26.0	NS
MCHC				
Mean (SD)	321.4 (16.9)	330.9 (14.6)	313.8 (14.8)	0.0001
%<300 g/L	10	1.2	17.0	0.0001
MCH				
Mean (SD)	26.6 (2.5)	26.9 (2.3)	26.3 (2.6)	NS
% <30 pg	92.8	95.0	91.0	NS
CRP				
Mean (SD)	15.8 (15.7)	10.5 (9.0)	18.0 (7.0)	NS
% > 6 mg/L	7.2	5.0	9.0	NS

Total iron binding capacity (TIBC). Mean corpuscular volume (MCV). Mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC). Mean corpuscular hemoglobin (MCH). C reactive protein (CRP).

* Comparison between iron status indicators by boarding schools using chi-square (%) and Student t-test (means). NS – not significant (P>0.05).

Table 5.3: Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia using multiple criteria (%)

	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	CEG1 de Ouidah (n=100)	p-value*
Anemia [†]	50.6	52.5	49.0	NS
Iron deficiency [‡]	31.7	37.5	27.0	NS
Iron deficiency anemia [§]	23.9	26.2	22.0	NS

* Comparison between boarding schools using chi-square. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Defined as hemoglobin <120 g/L.

[‡] Defined as SF <20 μg/L or SF 20-50μg/L, plus two abnormal values in the following three biochemical parameters: SI <11 μmol/L, TIBC >73 μmol/L or TS $<20\%$.

[§] Defined as iron deficient and Hb <120 g/L.

Table 5.4: Association of food consumption with iron deficiency*

Promotors and inhibitors of iron absorption	Pourcentage [†] (%)	Adjusted odds-ratio	95% Confidence interval	p-value
Meat[‡]				
<4 times a week	77.2	2.43	1.72 – 3.35	0.04
≥4 times a week	22.8	1.00		
Poultry				
<4 times a week	89.5	2.33	0.81 – 6.72	NS
≥4 times a week	10.5	1.00		
Fish				
<5 times a week	13.3	1.03	0.44 – 2.41	NS
≥5 times a week	86.7	1.00		
Legumes				
<4 times a week	82.4	1.56	0.66 – 3.70	NS
≥4 times a week	17.6	1.00		
Vegetables				
<4 times a week	70.2	0.70	0.11 – 4.48	NS
≥4 times a week	29.8	1.00		
Fruits				
<4 times a week	77.2	1.53	1.31 – 2.80	0.03
≥4 times a week	22.8	1.00		
Coffee				
<4 times a week	57.9	0.54	0.26 – 1.09	NS
≥4 times a week	42.1	1.00		

NS – not significant (P>0.05)

* Adjusted for age, parent's occupation, household size.

† Food consumption of girls suffering from iron deficiency (n=57).

‡ Meat: beef, mutton, pork.

Table 5.5: Association of food consumption with iron deficiency anemia*

Promoters and inhibitors of iron absorption	Pourcentage [†] (%)	Adjusted odds-ratio	95% Confidence interval	p-value
Meat[‡]				
<4 times a week	83.0	2.24	1.01 – 4.96	0.04
≥ 4 times a week	17.0	1.00		
Poultry				
<4 times a week	92.5	2.44	0.72 – 8.31	NS
≥ 4 times a week	7.5	1.00		
Fish				
<5 times a week	24.5	1.05	0.41 – 2.67	NS
≥ 5 times a week	75.5	1.00		
Legumes				
<4 times a week	83.0	1.66	0.26 – 10.53	NS
≥ 4 times a week	17.0	1.00		
Vegetables				
<4 times a week	77.4	0.99	0.41 – 2.39	NS
≥ 4 times a week	22.6	1.00		
Fruits				
<4 times a week	75.5	1.31	0.62 – 2.77	NS
≥ 4 times a week	24.5	1.00		
Coffee				
<4 times a week	69.8	0.48	0.35 – 1.63	NS
≥ 4 times a week	30.2	1.00		

NS – not significant (P>0.05)

* Adjusted for age, parent's occupation, household size.

† Food consumption of girls suffering from iron deficiency anemia (n=43).

‡ Meat: beef, mutton, pork.

5.6 DISCUSSION

The majority of adolescents in the present study were within the healthy weight range. The average BMI of these adolescents (20.1 (SD 3.8) kg/m²) is slightly higher than the BMI of 19.3 (SD 0.1) kg/m² and 19.5 (SD 0.2) kg/m² reported respectively in 214 migrant Senegalese adolescent girls aged 14.5–16.6 years and 405 girls aged 8–16 years living in an urban area of Ashanti in Ghana^(24,25). However, it is slightly lower than BMI of 21.5 (SD 3.8) kg/m² observed in a previous study conducted in 2003 in southern Benin among a group of 100 adolescent girls aged 14–16 years⁽¹¹⁾. Also, in the latter study, the prevalence of underweight was lower (5.0 % v. 8.3 %) while the rate of overweight was higher (11.5 % v. 7.8 %), which explains the higher BMI. In comparison with African data, the prevalence of overweight is higher for US students, with 26.5 % of 1089 girls aged from 12 to 19 years found to be overweight⁽²⁶⁾.

Adolescence is a critical period for the development of IDA⁽²⁷⁾. Its prevalence shows great variability in different countries, and for different races and socio-economic levels. The worldwide prevalence of anaemia during adolescence is 15 % (27 % in developing countries and 6 % in developed countries)⁽²⁾. In the present study, the prevalence of anaemia was high and reached 51 %. Similar results were reported by Alaofè *et al.*⁽¹¹⁾ in 100 Beninese adolescent girls from Lycée Toffa 1^{er}, fifty boarding at the school and fifty living outside the boarding environment. In these subjects, the prevalence of anaemia was 36 % and 50 %, respectively, although the difference was not significant⁽¹¹⁾. About 20 years ago, Herberg *et al.*^(8,10) reported similar results in 102 menstruating women aged 22–40 years (46 %) and in 517 menstruating women (mean age 30.0 (SD 0.3) years) of south Benin (42.4 %). To our knowledge, no other study has been conducted in Benin to evaluate the prevalence of anaemia in adolescents or menstruating women.

The high prevalence of anaemia found in these studies is consistent with data from surveys performed in other West African countries, including Ghana and Mali^(28,29). However, these figures are lower than what was reported previously from community- and school-based cross-sectional surveys of adolescent populations from Zanzibar (62.3 %) and Tanzania

(62.6 %)^(30,31). While one may be tempted to attribute these differences to nutritional and socio-economic discrepancies between Benin and other areas in sub-Saharan Africa, they may also be due, at least partly, to the difficulties in comparing boarding school and school- or population-based studies.

Serum Fe, TIBC and, more recently, free erythrocyte protoporphyrin measurements provide information on the adequacy of the Fe supply to the erythroid marrow. SF is directly proportional to the body level of Fe stores^(5,6). However, the use of each of these indicators is problematic in a tropical context because of the frequency of confounding factors which may interfere with their significance and may be responsible for false positives or false negatives. In such contexts, no single measurement when used alone may be considered specific enough to identify ID^(5,6,32). As suggested in other studies^(33,34), in the current research ID was defined by at least two abnormal values among the three parameters of Fe status used. According to this multiple criteria model, we found that almost 32 % of the adolescent girls were Fe-deficient which is similar to the prevalence seen among menstruating women from Côte d'Ivoire (35 %)⁽²⁰⁾. However, a lower prevalence of ID was observed in adolescent girls from Kenya (19.8 %), Kazakhstan (13 %), Turkey (20.8 %) and Malaysia (26.4 %)^(4,35-37). These studies were based on a definition of ID that relied solely on measures of SF levels below 12 µg/l and TFS below 16 %⁽³⁵⁾ or on a single variable (SF < 15 µg/l⁽⁴⁾, SF < 12 µg/l⁽³⁶⁾). This partly explains the lower prevalence of ID.

Adolescents enrolled in the present study came from an urban area and were living in boarding schools. The prevalence of ID observed in these subjects is most likely lower than in adolescent girls from the general population^(8,10). Hence, the sampling method may have skewed the sample towards subjects from middle- to upper-class socio-economic strata, a factor that would undoubtedly influence many determinants of Fe status including dietary intake. Although socio-economic status was not measured specifically, the geographic location of the participating boarding schools was in a middle-income department of south Benin. Moreover, about 86 % of mothers were literate. Recently, researchers in Brazil and Benin have revealed that the lowest mean Hb concentrations were associated with fewer years of maternal schooling^(11,38,39).

Moreover, in the present study, the majority of girls had a low consumption frequency of meat, poultry, legumes, vegetables and fruits. Several researchers have documented low Fe intakes in Beninese populations ^(10,11). Hercberg *et al.*⁽¹⁰⁾ indicated that the typical diet in this area is usually monotonous, containing cereals (maize) and/or roots (cassava) with negligible quantities of meat, fish and ascorbic acid. This type of diet is poor in Fe and contains a preponderance of foods rich in phytate and tannins, which inhibit Fe absorption. These results were confirmed by Alaofè *et al.*⁽¹¹⁾, who found that 73 % of 100 adolescents (fifty boarding at school and fifty living at home) had estimated absorbable Fe intake below the average requirement for absorbed Fe. Comparative data describing differences in dietary intake and lifestyle determinants of Fe status between adolescents in Benin and other countries are lacking.

Girls who consumed meat <4 times/week were twice as likely as those who consumed meat more often (≥ 4 times/week) to suffer from ID. Similar results were observed with fruit consumption. Higher meat consumption was also related to a lower risk of IDA. Meat is an excellent source of bioavailable Fe while the vitamin C contained in fruits and vegetables enhances Fe absorption, thus reducing the possibility of ID^(40,41). Tympani-Psirropoulou *et al.*⁽⁴²⁾ also reported that infrequent consumption of meat, fish, eggs, vegetables and fruit were risk factors for IDA. Inadequate consumption of vegetables and a previous history of pica were reported as risk factors for anaemia by Kara *et al.*⁽²⁾ in a group of 400 students aged 14 to 16 years. In Benin, cost, availability and food habits affect fruit and meat consumption. In spite of the fact that adolescent girls in the present study took most of their meals in the school cafeteria, they were free to buy street foods with their own money. Some fruits rich in vitamin C, such as oranges, mango, papaya and bananas, are seasonal and less abundant in the dry season, the period during which the study was conducted. Also, the consumption of fruit at meal times, which can increase non-haem Fe absorption, is not part of Beninese food habits. Finally, the low meat intake in the present population might be due to the higher cost of some animal products such as beef and/or insufficient cooking skills concerning less expensive but highly nutritious meat such as 'organ' meats. Alaofè *et al.*⁽¹¹⁾ reported that the mean intake of meat in a group of adolescent girls from Lycée Toffa 1^{er} was low, 71.1 (SD 17.9) g/d for boarders and 45.7 (SD 19.2) g/d for adolescents living at home. In the present study, fish was not significantly

related to ID or IDA. That it was consumed by the majority of subjects most likely explains why it was not a contributing factor.

Limitations are inherent to all FFQ and must be considered when reviewing the data presented here. Specifically, the reliability of FFQ data is influenced by each subject's ability to accurately recall their food choices and consumption patterns over extended periods of time⁽⁴³⁾. Also, qualitative FFQ do not include portion size estimates, which does not allow the derivation of energy and selected nutrient intakes⁽¹³⁾. Over- and underestimation of intakes are also a notable limitation of all self-reported dietary assessment data. However, in spite of all of these limitations, significant associations were found between low meat and fruit consumption and ID.

Considering the fact that adolescents enrolled in the present study do not constitute a representative sample of all Beninese adolescents, we do not know whether Beninese adolescents in general are more at risk for ID than other subgroups of the population. As mentioned earlier, these young girls possibly have better Fe status which would indicate that the situation concerning anaemia and ID in Benin is alarming. A survey of 126 pregnant women in Cotonou found anaemia in 55 % and ID in 73 %⁽⁴⁴⁾. Also, in 586 subjects living in a rural district of Benin, IDA was present in 68 % of children from 6 months to 2 years of age and in 54 % of children aged 2–14 years⁽⁸⁾. Surveys simultaneously including at-risk groups such as young children, adolescents and pregnant women are needed to estimate adolescents' vulnerability to both ID and anaemia relative to other population groups.

5.7 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In conclusion, the present study shows that ID is a serious public health problem in these Beninese adolescent girls. Also, the study confirms the observation by Gibson⁽¹³⁾ that 'the use of several different indices of iron status simultaneously provides a more valid assessment of iron status than any single measurements because the misclassification that can occur due to overlapping normal and abnormal values for a single measure is minimized and differentiate the severity of iron deficiency more rapidly'.

Increasing access to animal foods and fruits is recommended in order to improve the Fe status of these adolescent girls. Animal foods are high in haem iron and are enhancers of non-haem Fe absorption. Vitamin C in vegetables and fruits also enhances non-haem Fe absorption. In fact, these are household dietary strategies that can be used to alter the content of Fe absorption modifiers in plant-based diets and thus successfully alleviate ID in developing countries⁽⁴⁵⁾. Also, strategies to reduce ID must include fortification of staple foods with Fe and, when necessary, the use of Fe supplements. Finally, to enhance effectiveness and sustainability, all strategies should be integrated with ongoing national food, nutrition and health education programmes, and implemented using education and social-marketing techniques.

5.8 REFERENCES

1. Schneider, JM, Fujii, ML, Lamp, CL, Lönnerdal, B, Dewey, KG & Zidenberg-Cherr, S (2005) Anemia, iron deficiency, and iron deficiency anemia in 12–36-mo-old children from low-income families. *Am J Clin Nutr* 82, 1269–1275.
2. Kara, B, Cal, S, Aydogan, A & Sarper, N (2006) The prevalence of anemia in adolescents: a study from Turkey. *J Pediatr Hematol Oncol* 28, 316–321.
3. World Health Organization 2003. Micronutrient deficiencies: Battling iron deficiency anaemia. <http://www.who.int/nut/ida.htm> (accessed November 2006).
4. Keskin, Y, Moschonis, G, Dimitriou, M, Sur, H, Kocaoglu, B, Hayran, O & Manios, Y (2005) Prevalence of iron deficiency among schoolchildren of different socio-economic status in urban Turkey. *Eur J Clin Nutr* 59, 64–71.
5. Pena-Rosas, J & Viteri, F (2006) Effects of routine oral iron supplementation with or without folic acid for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev* (3), CD004736.
6. Shell-Duncan, B & McDade, T (2004) Use of combined measures from capillary blood to assess iron deficiency in rural Kenyan children. *J Nutr* 134, 384–387.
7. Ferreira, MU, da Silva-Nunes, M, Bertolino, CN, Malafrente, RS, Muniz, PT & Cardoso, MA (2007) Anemia and iron deficiency in school children, adolescents, and adults: a community-based study in rural Amazonia. *Am J Public Health* 97, 237–239.
8. Hercberg, S, Chauliac, M, Galan, P, Devanlay, M, Zohoun, I, Agboton, Y, Soustre, Y, Auvert, B, Masse-Raimbault, AM & Dupin, H (1988) Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health* 102, 73–83.

9. Stoltzfus, R (2001) Defining iron-deficiency anemia in public health terms: a time for reflection. *J Nutr* 131, 565S–567S.
10. Hercberg, S, Chauliac, M, Galan, P, Devanlay, M, Zohoun, I, Agboton, Y, Soustre, Y, Bories, C, Christides, JP & Potier de Courcy, G (1986) Relationship between anaemia, iron and folacin deficiency, hemoglobinopathies and parasitic infection. *Hum Nutr Clin Nutr* 40, 371–379.
11. Alaofè, H, Zee, J & Turgeon O'Brien, H (2007) Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin. *Rev Epidemiol Sante Publique* 55, 187–196.
12. Alaofè H, Zee J, Dossa R & Turgeon O'Brien H (2007) Effect of a nutrition education and diet modification in iron deficient anemic boarding school adolescent girls from southern Benin. *Ecol Food Nutr* (Submitted).
13. Gibson, RS (2005) *Principles of Nutritional Assessment*. New York: Oxford University Press.
14. Kuczmarski, RJ, Ogden, CL, Guo, SS, Grummer-Strawn, LM, Flegal, KM, Mei, Z, Wei, R, Curtin, LR, Roche, AF & Johnson, CL (2002) 2000 CDC Growth Charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat* 11, issue 246, 1–190.
15. Cook, JD & Skine, BS (1990) New approaches to the assessment of iron nutriture. In *Aspects actuels des carences en fer et en folates dans le monde*. Colloque INSERM vol. 197, pp. 120–136 [S Hercberg, P Galan and H Dupin, editors]. Paris: INSERM.
16. Patterson, AJ, Brown, WJ, Roberts, DC & Seldon, MR (2001) Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age. *Am J Clin Nutr* 74, 650–656.
17. Pagana, KD & Pagana, TJ (2002) *Biomerieux's Manual of Diagnostic and Laboratory Tests*. St. Louis, MO: Mosby, Inc.
18. Andrews, NC (2004) Disorders of iron metabolism and heme synthesis. Iron deficiency and related disorders. In *Wintrobe's Clinical Hematology*, 11th ed., pp. 979–1009 [JP Greer, J Foerster, JN Lukens, GM Rodgers, F Paraskevas and B Glader, editors]. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
19. McClung, JP, Marchitelli, LJ, Friedl, KE & Young, AJ (2006) Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia among three populations of female military personnel in the US Army. *J Am Coll Nutr* 25, 64–69.
20. Asobayire, FS, Adou, P, Davidsson, L, Cook, JD & Hurrell, RF (2001) Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anemia in population groups with high prevalences of malaria and other infections: a study in Cote d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 74, 776–782.
21. Dallman, R & Yip, R (1990) The roles of inflammation and iron deficiency as causes of anemia in the United States. In *Aspects actuels des carences en fer et en folates dans le*

monde. Colloque INSERM vol. 197, pp. 29–38 [S Hercberg, P Galan and H Dupin, editors]. Paris: INSERM.

22. Beard, JL (1994) Iron deficiency: assessment during pregnancy and its importance in pregnant adolescents. *Am J Clin Nutr* 59, 502S–510S.

23. Leblond, PF (1994) Les anémies secondaires. In *Les anémies*, 2nd ed., pp. 173–187 [B Longpré, editor]. Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.

24. Garnier, D, Simondon, KB, Hoarau, T & Benefice, E (2003) Impact of the health and living conditions of migrant and non-migrant Senegalese adolescent girls on their nutritional status and growth. *Public Health Nutr* 6, 535–547.

25. Agyemang, C, Redekop, WK, Owusu-Dabo, E & Bruijnzeels, MA (2005) Blood pressure patterns in rural, semi-urban children in the Ashanti region of Ghana. *BMC Public Health* 5, 114.

26. King, CA, Meadows, BB, Engelke, MK & Swanson, M (2006) Prevalence of elevated body mass index and blood pressure in a rural school-aged population: implications for school nurses. *J Sch Health* 76, 145–149.

27. Halterman, JS, Kaczorowski, JM, Aligne, CA, Auinger, P & Szilagyi, PG (2001) Iron deficiency and cognitive achievement among school-aged children and adolescents in the United States. *Pediatrics* 107, 1381–1386.

28. Brabin, L, Ikimalo, J, Dollimore, N, Kemp, J, Ikokwu-Wonodi, C, Babatunde, S, Obunge, O & Briggs, N (1997) How do they grow? A study of south-eastern Nigerian adolescent girls. *Acta Paediatr* 86, 1114–1120.

29. Hall, A, Bobrow, E, Brooker, S et al. (2001) Anaemia in schoolchildren in eight countries in Africa and Asia. *Public Health Nutr* 4, 749–756.

30. Stoltzfus, RJ, Chwaya, HM, Tielsch, JM, Schulze, KJ, Albonico, M & Savioli, L (1997) Epidemiology of iron deficiency anemia in Zanzibari schoolchildren: the importance of hookworms. *Am J Clin Nutr* 65, 153–159.

31. Tatala, S, Svanberg, U & Mduma, B (1998) Low dietary iron availability is a major cause of anemia: a nutrition survey in the Lindi District of Tanzania. *Am J Clin Nutr* 68, 171–178.

32. Naghii, MR & Fouladi, AI (2006) Correct assessment of iron depletion and iron deficiency anemia. *Nutr Health* 18, 133–139.

33. Cook, JD, Finch, CA & Smith, NJ (1976) Evaluation of the iron status of a population. *Blood* 48, 449–455.

34. Derman, DP, Lynch, SR, Bothwell, TH, Charlton, RW, Torrance, JD & Brink, BA (1978) Serum ferritin as an index of iron nutrition in rural and urban South African children. *Br J Nutr* 39, 383–389.
35. Foo, LH, Khor, GL, Tee, ES & Prabakaran, D (2004) Iron status and dietary iron intake of adolescents from a rural community in Sabah, Malaysia. *Asia Pac J Clin Nutr* 13, 48–55.
36. Leenstra, T, Kariuki, SK, Kurtis, JD, Oloo, AJ, Kager, PA & Ter Kuile, FO (2004) Prevalence and severity of anemia and iron deficiency: cross-sectional studies in adolescent schoolgirls in western Kenya. *Eur J Clin Nutr* 58, 681–691.
37. Hashizume, M, Chiba, M, Shinohara, A, Iwabuchi, S, Sasaki, S, Shimoda, T, Kunii, O, Caypil, W, Dauletbaev, D & Alnazarova, A (2005) Anaemia, iron deficiency and vitamin A status among school-aged children in rural Kazakhstan. *Public Health Nutr* 8, 564–571.
38. Monteiro, CA, Szarfarc, SC & Mondini, L (2000) [Secular trend of infant anaemia in Sao Paulo city (1984–1996)]. *Rev Saude Publica* 34, 62–72.
39. Osorio, MM, Lira, PI & Ashworth, A (2004) Factors associated with Hb concentration in children aged 6–59 months in the State of Pernambuco, Brazil. *Br J Nutr* 91, 307–315.
40. Yun, S, Habicht, JP, Miller, DD & Glahn, RP (2004) An *in vitro* digestion/Caco-2 cell culture system accurately predicts the effects of ascorbic acid and polyphenolic compounds on iron bioavailability in humans. *J Nutr* 134, 2717–2721.
41. Reddy, MB, Hurrell, RF & Cook, JD (2006) Meat consumption in a varied diet marginally influences nonheme iron absorption in normal individuals. *J Nutr* 136, 576–581.
42. Tympa-Psirropoulou, E, Vagenas, C, Psirropoulos, D, Dafni, O, Matala, A & Skopouli, F (2005) Nutritional risk factors for iron-deficiency anaemia in children 12–24 months old in the area of Thessalia in Greece. *Int J Food Sci Nutr* 56, 1–12.
43. Deegan, H, Bates, HM & McCargar, LJ (2005) Assessment of iron status in adolescents: dietary, biochemical and lifestyle determinants. *J Adolesc Health* 37, 75.
44. Herberg, S, Galan, P, Chauliac, M, Masse-Raimbault, AM, Devanlay, M, Bileoma, S, Alihonou, E, Zohoun, I, Christides, JP & Potier de Courcy, G (1987) Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *Br J Nutr* 57, 185–193.
45. Gibson, RS (2004) Strategies for preventing micronutrient deficiencies in developing countries. *Asia Pac J Clin Nutr* 13, S23.

Chapitre 6

Intestinal parasitic infections in adolescent girls from two boarding schools in southern Benin. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 2008; 102:653-61.

Le sixième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été publié. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon-O'Brien. Dans cet article, nous avons identifié les facteurs de risque des infections parasitaires intestinales et déterminé leur impact sur le statut en fer des adolescentes étudiées. Nous avons étudié les données de 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans fréquentant deux établissements scolaires: le lycée Toffa 1^{er} de Porto-Novo (n=80) et le CEG1 de Ouidah (n=100).

6.1 RÉSUMÉ

Les infections parasitaires intestinales, en particulier les helminthes, représentent un véritable problème de santé publique qui augmente l'anémie par carence en fer dans les pays en développement. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer la prévalence des infections parasitaires intestinales et d'identifier les facteurs de risque et les conséquences nutritionnelles chez 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans vivant dans deux internats au sud du Bénin. Un questionnaire structuré et des échantillons de sang et de selles ont permis de recueillir les données de l'étude. Des analyses de régression logistique ont été utilisées pour déterminer la relation entre les caractéristiques socio-économiques, les infections parasitaires intestinales et le statut en fer. Cinquante pourcent des sujets avaient au moins un parasite intestinal: helminthes (2%), protozoaires (41%) et 7% avaient plus de deux parasites intestinaux. Les adolescentes issues de grandes familles et dont les mères étaient des travailleuses manuelles avaient plus de risque de souffrir de parasitoses intestinales (risque relatif approché (RRA) = 3.5, intervalle de confiance (IC) à 95% 2.5—5.2 ($P = 0.02$)) et RRA = 2.4, IC à 95% 2.0—3.0 ($P = 0.03$), respectivement). De même, les sujets qui buvaient de l'eau non traitée étaient plus à risque d'infection (RRA = 2.3, 95% IC à 95% 1.5—2.4; $P = 0.03$). Aucune association significative n'a été observée entre les infections parasitaires et la carence en fer ou l'anémie ferriprive, probablement à cause de la faible charge parasitaire chez les sujets. Ces résultats supportent le besoin d'impliquer les mères dans les campagnes de contrôle des infections parasitaires intestinales au Bénin.

6.2 ABSTRACT

Intestinal parasitic infections (IPI), especially helminths, represent a major public health problem that increase iron deficiency anaemia in developing countries. This study investigated the prevalence, risk factors and nutritional consequences of IPIs in 180 adolescent girls aged 12–17 years living in two boarding schools in southern Benin. Data were collected using a structured questionnaire and laboratory analysis of blood and faecal samples. The relationships between socioeconomic indicators, IPIs and iron status were analysed using logistic regression analysis. Fifty percent of the subjects were infected with at least one IPI: 2% with helminths, 41% with protozoa and 7% with two or more intestinal parasites. Adolescent girls from a large family and those whose mothers were manual workers showed a higher risk of intestinal parasitism (odds ratio (OR) = 3.5, 95% confidence interval (CI) 2.5–5.2 ($P = 0.02$) and OR = 2.4, 95% CI 2.0–3.0 ($P = 0.03$), respectively). Likewise, drinking untreated water was also a high risk factor for infection (OR = 2.3, 95% CI 1.5–2.4; $P = 0.03$). No significant association was observed between IPIs and iron deficiency or iron deficiency anaemia, which can be explained by the low wormload observed. These findings reinforce the need to involve mothers in health initiatives to control intestinal parasitism in Benin.

6.3 INTRODUCTION

Intestinal parasitic infections (IPI) constitute a global health burden causing clinical morbidity in 450 million people, many of these women of reproductive age and children in developing countries (Quihui et al., 2006). Indeed, IPIs, mostly helminths, have been linked with an increased risk for nutritional anaemias, protein–energy malnutrition and growth deficits in children, low pregnancy weight gain and intrauterine growth retardation followed by low birth weight ([Rodríguez-Morales et al., 2006] and [Sackey et al., 2003]). Less is known about the impact of these infections in adolescent girls.

IPIs, especially helminths, increase iron deficiency anaemia in developing countries. Some studies have found a significant correlation between lower haemoglobin (Hb) levels and higher hookworm faecal egg counts ([Aikawa et al., 2006] and [Alarcon-Fernandez et al., 2006]). However, Stoltzfus et al. (1997) reported that the relationship between hookworm infection and Hb concentration may be apparent only above a threshold worm burden. Moreover, heavy intensity *Trichuris* infection, which is associated with decreased food intake and blood loss, has also been associated with anaemia (Ramdath et al., 1995).

Finally, it is important to note that infections caused by parasites, bacteria and viruses were ranked as the primary leading cause of mortality in children and women in Benin (Fourn, 2005). However, despite their assumed importance for public health, only two studies have determined the prevalence of IPIs and have examined their impact on iron status in Beninese populations ([Alaofè et al., 2007] and [Hercberg et al., 1986]). Among 434 subjects living in a rural district of Benin, helminth infection was present in 83%, with 42% for hookworm and 80% for protozoa (Hercberg et al., 1986). There was no significant association between IPI and anaemia ([Alaofè et al., 2007] and [Hercberg et al., 1986]). Moreover, to our knowledge, no studies have examined the different factors associated with risk of IPI. Thus, the purpose of this study was to determine the prevalence of IPIs and to investigate their predictors as well as consequences on iron status in adolescent girls from two boarding schools in southern Benin.

6.4 METHODS

Study population

This cross-sectional study was carried out from October–November 2005. The study population consisted of adolescent girls aged 12–17 years living in two boarding schools in southern Benin, namely Lycée Toffa 1er of Porto-Novo ($n = 80$) and CEG1 Bertrand Dagnon of Ouidah ($n = 100$). The selected schools were located in two departments, Ouémé and Atlantique, which are 70 km apart. These schools were selected on the basis of the similarity of their cafeteria menus and supply of local foods.

Recruitment

Meetings with personnel from the two boarding schools as well as with adolescent girls and their parents were carried out in order to explain the study protocol. Participants were selected from the lists of students from each of the selected boarding schools, which included names and dates of birth. Only girls aged 12–17 years were included in the study. At the beginning of the study, Lycée Toffa 1er of Porto-Novo included 140 boarding girls aged 12–17 years, whilst CEG1 Ouidah counted 148 girls (total = 288). One hundred and ninety-two girls (67%) were eligible: 85 (61%) in Lycée Toffa 1er and 107 (72%) in CEG1. One hundred and eighty girls (63%) participated in the study (80 (57%) and 100 (68%) in Lycée Toffa 1er and CEG1 Ouidah, respectively), giving a participation rate of 94%. Twelve girls (6%) did not participate in the study: seven refused to participate, three suffered from malaria and two were not present at the time of the study.

Written consent was required from both parents in order for their child to participate in the study. Baseline data were collected using a structured questionnaire and laboratory analysis of blood and faecal samples. Subjects received oral and written notification of test results. Girls diagnosed with IPI were given written referrals to school health services and received the appropriate antiparasitic treatment. Girls who were suffering from mild iron deficiency anaemia (Hb level 100–120 g/l combined with either a serum ferritin (SF) $<20 \mu\text{g/l}$ or 20–50 $\mu\text{g/l}$ plus two abnormal values among the three following biochemical parameters: serum iron (SI) $<11 \mu\text{mol/l}$, total iron binding capacity (TIBC) $>73 \mu\text{mol/l}$ or transferrin saturation (TS) $<20\%$) were selected to participate in a 22-week nutrition intervention

programme (34 intervention girls from Lycée Toffa 1er and 34 control girls from CEG1 Ouidah). Intervention girls received individual nutrition counselling combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron in the cafeteria menu for 22 weeks, whilst control girls received the nutrition education lessons at the end of the 22-week period and were given iron supplements if necessary. Control girls also received an additional blood test after 11 weeks to eliminate those with a Hb level <100 g/l. Results of the nutrition intervention programme will be published elsewhere. Finally, girls who were not selected for the nutrition intervention programme but who were diagnosed with iron deficiency anaemia were given written referrals to school health services and received the appropriate treatment, including iron supplementation.

Socioeconomic data

Collection of socioeconomic data for the participants was undertaken with a structured questionnaire that was previously pre-tested in the study setting to detect and correct problems. Socioeconomic information included questions related to age, religion, primary occupation of both parents, level of education, household conditions, sewage system in the house, water source, drinking water treatment and type of domestic animals living in the home.

Blood sampling

Venous blood samples were collected in non-fasting adolescents and sent to TOXI-LABO in Cotonou (Benin). A blood sample (≈ 5 ml) was collected using EDTA-containing Vacutainer™ tubes (Becton Dickinson, Plymouth, UK) for automated blood analysis. A haematology analyser (Sysmex KX-21™; Sysmex Corporation, Kobe, Japan) was used for full blood count and differential white blood cell count analysis.

For serum collection, a blood sample (≈ 5 ml) was collected using trace mineral-free Vacutainer™ tubes (Becton Dickinson) and allowed to coagulate at room temperature. The coagulated blood was centrifuged and the serum was divided into aliquots for the measurement of SF, SI, TIBC and TS. An enzyme-linked fluorescent assay (Vidas Ferritin; Biomérieux, Marcy l'Etoile, France) was used to determine SF. SI was measured without deproteinization using a commercial photometric test (Ferrimat-Kit; Biomérieux). After

saturation of transferrin by the addition of iron, the same assay system was used for determination of TIBC. TS was calculated expressing the SI as a percent of the TIBC.

Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anaemia

Malaria, inflammation or infectious disorders are common in West African populations and can influence iron status indices. Thus, they complicate the accurate detection of iron deficiency and may decrease the effect of additional dietary iron by reducing the body's ability to absorb and utilise it (Asobayire et al., 2001). A SF value $<20 \mu\text{g/l}$ is often used to indicate reduced iron stores. However, SF is an acute-phase protein that increases with malaria, inflammation or infectious disorders (Gibson, 2005). In an attempt to adjust for the observed high prevalence of malaria and other infectious disorders, we increased the SF cut-off value to $50 \mu\text{g/l}$ (Leblond, 1994).

In the present study, participants were categorised as iron deficient if they presented either SF $<20 \mu\text{g/l}$ or $20\text{--}50 \mu\text{g/l}$ plus two abnormal values among the three following biochemical parameters: SI $<11 \mu\text{mol/l}$, TIBC $>73 \mu\text{mol/l}$ or TS $<20\%$. Adolescents were classified as having iron deficiency anaemia if they were iron deficient and had Hb levels $<120 \text{g/l}$ ([Aubry, 2007], [Pagana and Pagana, 2002] and [Patterson et al., 2001]).

Stool examination

Stool specimens were collected from girls at the time of blood sample collection. Clean plastic containers with a cap and labels were used. Iceboxes were used to store the stools during sampling and transportation. Analyses were performed by certified laboratory technicians on the day of collection in a laboratory of TOXI-LABO (Cotonou, Benin). After gross examination of faecal sample characteristics, a direct wet smear was prepared by emulsifying 2 mg of faeces on a glass slide. A drop of Lugol's solution was applied to the first half of the split sample and an isotonic solution was applied to the second. Subjects who had at least one stool sample in which an IPI was identified were classified as positive for that parasite. The Kato–Katz technique for quantification of helminth infection was used. Intensity of infection was expressed as eggs per gram of faeces (EPG). WHO

categories for light, moderate and heavy levels of intensities of soil-transmitted helminth infections were used.

Statistical analysis

Data were analysed using NCSS 2004 software (NCSS Statistical Software, Kaysville, UT, USA). Descriptive statistics were expressed as mean \pm SD or percentages. The association between IPIs and socioeconomic factors was assessed by multinomial logistic regression. The dependent variable was the absence (0) or presence (1) of IPIs. The independent variables were: age (1 = 12–14 years; 2 = 15–17 years); mother's occupation (1 = manual workers; 2 = non-manual employees); family size (1 = >5 persons; 2 = ≤ 5 persons); drinking water (1 = untreated water; 2 = treated water); household sanitation facilities (1 = latrine; 2 = flushing toilet); and type of domestic animals in the house (1 = >3 ; 2 = ≤ 3 types). A stepwise multiple regression analysis was used to find subsets of statistically significant predictors of IPI.

The impact of parasite presence (1) versus absence (0) on the girls' iron status was also examined by multiple logistic regression analysis adjusted for potential confounders. The following variables were included in the multivariate model because they had been previously identified as potential confounders: mother's occupation; family size; and type of drinking water. Finally, the association between IPIs and Hb was assessed by one-way ANOVA to test mean differences. Statistically significant differences were indicated by $P < 0.05$.

6.5 RESULTS

Subjects and household characteristics

The mean age of participants was 14.5 ± 1.8 years. Approximately 85% of mothers were literate and only 6% went to university, whilst 96% of fathers were literate and 21% went to university. Also, more than two-thirds of the adolescents' mothers were manual workers (78%). Almost one-half of the fathers were manual workers (46%); a lower proportion of them, approximately 19%, were high-level non-manual employees. Eighty-two percent of

families consisted of 6 or more individuals and the median value was 11 persons per family.

Brick (94%) was the most commonly used material for household walls, and wood (61%) was most commonly used for windows. Almost one-half of household water was reported to come from an open (12%) or closed (3%) well and from neighbours (tap water, open or closed well) (31%). Although water obtained from a neighbour may be tap water, it is often carried and kept in unprotected containers. Defecation in a latrine (73%) was a more frequent practice for girls. Most of the interviewed girls said they used untreated water and a small percentage said that they used water treated with bleach (18%). Almost 60% of subjects' households had chickens, pigs, dogs, cows, goats and other domestic animals (Table 6.1).

Prevalence of iron deficiency, iron deficiency anaemia and anaemia

As indicated in Table 6.2, 32% of adolescents were classified as iron deficient and had either SF <20 µg/l or 20–50 µg/l plus two abnormal values in the three measured biochemical parameters. The prevalence of anaemia was 51%, whereas 24% suffered from iron deficiency anaemia.

Prevalence and intensity of intestinal parasitic infections

Fifty per cent of adolescent girls were infected with at least one IPI: 2% with helminths, 41% with protozoa and 7% with two or more intestinal parasites (Table 6.3). The pathogenic protozoa *Entamoeba histolytica* (7%), *Blastocystis hominis* (6%), *Trichomonas intestinalis* (5%) and *Giardia intestinalis* (4%) and the non-pathogenic *Ent. coli* (26%) were the most prevalent. *Ascaris lumbricoides* (2%) and *Chilomastix mesnili* (0.6%) were not as prevalent. Egg counts of helminth infections (EPG) were determined for four girls from CEG1 Ouidah in which *A. lumbricoides* was present. The mean EPG for *A. lumbricoides* was 6.5 ± 1.7 .

Intestinal parasitic infections, socioeconomic variables and iron status

Adolescent girls whose family size was greater than five persons were more than three times as likely to have IPIs (odds ratio (OR) = 3.5, 95% CI 2.5–5.2; $P = 0.02$) than girls

who came from a smaller family size. Likewise, girls whose mother was a manual worker had a higher risk of infection (OR = 2.4, 95% CI 2.0–3.0; $P = 0.03$). Girls who drank untreated water were more than twice as likely to be infected compared with girls who used treated water (OR = 2.3, 95% CI 1.5–2.4; $P = 0.03$). Paternal education and employment and type of materials used for the construction of household walls and windows were not related to IPIs (Table 6.4).

Table 6.5 indicates that adolescent girls infected with IPIs had slightly, but not significantly, reduced mean Hb levels compared with non-infected girls. Using logistic regression analysis, no significant associations were detected between IPIs and the risk for iron deficiency, iron deficiency anaemia and anaemia (data not reported).

Table 6.1: Subject and household characteristics

Characteristic	Overall (N = 180) (n (%))	Lycée Toffa 1er (N = 80) (n (%))	CEG1 Ouidah (N = 100) (n (%))
Age (years)			
12–14	92 (51)	47 (59)	45 (45)
15–17	88 (49)	33 (41)	55 (55)
Mother's occupation			
High-level non-manual employees ^a	9 (5)	7 (9)	2 (2)
Medium level non-manual employees ^b	27 (15)	13 (16)	14 (14)
Manual workers ^c	140 (78)	56 (70)	84 (84)
Deceased	4 (2)	4 (5)	0
Father's occupation			
High-level non-manual employees ^a	35 (19)	12 (15)	23 (23)
Medium level non-manual employees ^b	53 (29)	28 (35)	25 (25)
Manual workers ^c	82 (46)	38 (48)	44 (44)
Deceased	10 (6)	2 (3)	8 (8)
Mother's education			
Illiterate	27 (15)	8 (10)	19 (19)
Literate	153 (85)	72 (90)	81 (81)
Primary	26 (14)	12 (15)	14 (14)
Secondary	43 (24)	28 (35)	15 (15)
University	10 (6)	8 (10)	2 (2)
Not available	74 (41)	24 (30)	50 (50)
Father's education			
Illiterate	7 (4)	1 (1)	6 (6)
Literate	173 (96)	79 (99)	94 (94)
Primary	15 (8)	3 (4)	12 (12)
Secondary	32 (18)	16 (20)	16 (16)
University	37 (21)	28 (35)	9 (9)
Not available	89 (49)	32 (40)	57 (57)
Family size			
≤5 persons	32 (18)	15 (19)	17 (17)
>5 persons	148 (82)	65 (81)	83 (83)
Household conditions			
Walls			
Mud/wood	7 (4)	1 (1)	6 (6)
Brick	170 (94)	77 (96)	93 (93)
Tin sheets	3 (2)	2 (3)	1 (1)
Windows			
Wood	110 (61)	41 (51)	69 (69)
Glass	53 (29)	30 (38)	23 (23)
Tin sheets	17 (9)	9 (11)	8 (8)
Household water source			
House tap	97 (54)	53 (66)	44 (44)
From neighbour	55 (31)	18 (23)	37 (37)
Open well	22 (12)	9 (11)	13 (13)

Closed well	6 (3)	0	6 (6)
Drinking water treatment (<i>n</i> = 83)			
Bleached water	15 (18)	6 (22)	9 (16)
Untreated water	68 (82)	21 (78)	47 (84)
	Household sanitary facilities		
Latrine	132 (73)	46 (58)	86 (86)
Flushing toilet	63 (35)	43 (54)	20 (20)
Animals in the house			
Cows/goats	6 (3)	4 (5)	2 (2)
Chickens	87 (48)	36 (45)	51 (51)
Pigs	10 (6)	5 (6)	5 (5)
Dogs	19 (11)	13 (16)	6 (6)
Cats	14 (8)	9 (11)	5 (5)
Others ^d	31 (17)	15 (19)	16 (16)

^a Business executives, doctors, engineers and university teachers.

^b Nurses, accountants and high-school teachers.

^c Vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

^d Ducks, monkeys, etc.

Table 6.2: Prevalence of iron deficiency, iron deficiency anaemia and anaemia

	Overall (N = 180)	Lycée Toffa 1er (N = 80) (n (%))	CEG1 Ouidah (N = 100) (n (%))
Iron deficiency ^a	57 (32)	30 (38)	27 (27)
Iron deficiency anaemia ^b	43 (24)	21 (26)	22 (22)
Anaemia ^c	91 (51)	42 (53)	49 (49)

SF: serum ferritin; SI: serum iron; TIBC: total iron binding capacity; TS: transferrin saturation; Hb: haemoglobin.

^a Defined as SF <20 µg/l or 20–50 µg/l plus two of the following: SI <11 µmol/l, TIBC >73 µmol/l or TS <20%.

^b Defined as iron deficient and Hb <120 g/l.

^c Defined as Hb <120 g/l.

Table 6.3: Prevalence and intensity of intestinal parasitic infections in girls from two boarding schools in southern Benin

Infections	Total (N = 180) (n (%))	Lycée Toffa 1er (N = 80) (n (%))	CEG1 Ouidah (N = 100) (n (%))
Polyparasitism ^a	13 (7)	6 (8)	7 (7)
Helminth infection only	4 (2)	0	4 (4)
Protozoan infection only	73 (41)	32 (40)	41 (41)
Pathogenic parasite			
Helminths			
<i>Ascaris lumbricoides</i>			
Light (1–999 EPG)	4 (2)	0	4 (4)
Moderate (1000–9999 EPG)	0	0	0
Heavy (≥10 000 EPG)	0	0	0
Protozoa			
<i>Trichomonas intestinalis</i>	9 (5)	4 (5)	5 (5)
<i>Blastocystis hominis</i>	10 (6)	4 (5)	6 (6)
<i>Giardia intestinalis</i>	8 (4)	3 (4)	5 (5)
<i>Enteromonas intestinalis</i>	1 (1)	0	1 (1)
<i>Entamoeba histolytica</i>	12 (7)	6 (8)	6 (6)
<i>Chilomastix mesnili</i>	1 (1)	1 (1)	0
Non-pathogenic parasite			
<i>Entamoeba coli</i>	46 (26)	21 (26)	25 (25)

EPG: eggs per gram of faeces.

^a Infection with two or more pathogenic and/or non-pathogenic parasites.

Table 6.4: Association between intestinal parasitic infections and socioeconomic factors

Socioeconomic variable	<i>n</i> (%)	OR	95% CI	<i>P</i> -value ^a
Age (years)				
12–14	43 (48)	0.77	0.4–1.4	NS
15–17	47 (52)	1.0		
Mother's occupation				
Manual workers ^b	74 (82)	2.4	2.0–3.0	0.03
Non-manual employees ^c	16 (18)	1.0		
Household size				
>5 persons	72 (80)	3.5	2.5–5.2	0.02
≤5 persons	18 (20)	1.0		
Drinking water treatment				
Untreated water	36 (40)	2.3	1.5–2.4	0.03
Bleached water	54 (60)	1.0		
Household sanitary facilities				
Latrine	61 (68)	0.99	0.5–2.0	NS
Flushing toilet	29 (32)	1.0		
Animals in the house				
>3 types	35 (39)	0.87	0.4–1.9	NS
≤3 types	55 (61)	1.0		

OR: odds ratio; NS: not significant ($P > 0.05$).

^a Multinomial logistic regression where the dependent variable is the absence (0) or presence (1) of intestinal parasitic infections.

^b Vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

^c Business executives, doctors, engineers, university teachers, nurses, accountants and high-school teachers.

Table 6.5: Association between intestinal parasitic infection and iron status

Intestinal parasite species (<i>n</i>)	Mean \pm SD	Haemoglobin	
		<i>F</i> -ratio ^a	<i>P</i> -value
Polyparasitism			
Present (13)	11.9 \pm 1.1	1.02	NS
Absent (167)	12.5 \pm 1.0		
Helminth infection			
Present (4)	12.0 \pm 1.1	<1	NS
Absent (176)	12.05 \pm 1.1		
Protozoan infection			
Present (73)	11.9 \pm 1.1	<1	NS
Absent (107)	12.2 \pm 1.0		
<i>Trichomonas intestinalis</i>			
Present (9)	12.0 \pm 1.1	<1	NS
Absent (171)	12.1 \pm 1.0		
<i>Giardia intestinalis</i>			
Present (8)	11.9 \pm 1.0	<1	NS
Absent (172)	12.5 \pm 1.2		
<i>Entamoeba histolytica</i>			
Present (12)	11.9 \pm 1.1	<1	NS
Absent (168)	12.1 \pm 1.0		

NS: not significant ($P > 0.05$).

^a ANOVA where the dependent variable is the absence (0) or presence (1) of intestinal parasitic infections and the independent variable is haemoglobin.

6.4 DISCUSSION

This study reports on the extent of iron deficiency anaemia and IPIs among adolescent schoolgirls from two boarding schools in southern Benin. We are not aware of any other report that has characterised the iron status of this population using SF levels and investigated predictors of IPI. Adolescent girls were chosen because they are likely to become pregnant and their growth during adolescence will in part have an impact on their ability to carry a successful pregnancy and thereby determine the well being of the next generation. Girls in the present study lived in boarding schools located in an urban area with relatively low to modest socioeconomic background. However, they are not necessarily representative of girls not attending schools or coming from a rural area. In Benin, the literacy rate for young women aged 15–24 years is 33.2%, and for every 100 girls who enter primary school only 47% in urban areas and 14% in rural areas are able to graduate to secondary school (Akpo, 2007). Also, more than 29% of the population live under the poverty line (33% in rural and 23% in urban areas) (United Nations Population Fund, 2003).

Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anaemia

Adolescence is a critical period for the development of iron deficiency anaemia (Halterman et al., 2001). Its prevalence shows great variability in different countries as well as for different races and social and economic levels. The worldwide prevalence of anaemia during adolescence is 15% (27% in developing countries and 6% in developed countries) (Kara et al., 2006). In the present study, the prevalence of anaemia was high and reached 51%. Other studies from Benin also showed that anaemia was extremely common in this population ([Alaofè et al., 2007] and [Hercberg et al., 1986], 1988). Hercberg et al. (1988) found in a representative sample of 517 menstruating women (mean age 30.0 years (SD 0.3 years)) living in three rural and two urban districts of South Benin that anaemia was present in 38.9% and 42.4% of these subjects, respectively, and there was no difference between rural and urban subjects. Alaofè et al. (2007) showed in 100 Beninese boarding school adolescent girls that the prevalence of anaemia was 43%. In their study, 98% of girls had menstruated compared with 80% in the present study (data not reported).

The high prevalence of anaemia found in this study is consistent with data from surveys performed in girls aged 14–19 years (Brabin et al., 1997) or 12–14 years (Hall et al., 2001) from other West African countries. However, these figures are lower than those reported previously from community- and school-based cross-sectional surveys of adolescent populations from Zanzibar (62.3%) and Tanzania (62.6%) ([Stoltzfus et al., 1997] and [Tatala et al., 1998]). Whilst one may be tempted to attribute these differences to nutritional and socioeconomic discrepancies between Benin and other areas in sub-Saharan Africa, it may be due, at least partly, to the difficulties in comparing boarding school and school- or population-based studies.

SI, TIBC and, more recently, free erythrocyte protoporphyrin measurements provide information on the adequacy of the iron supply to the erythroid marrow. SF is directly proportional to the body's level of iron stores (Pena-Rosas and Viteri, 2006). However, the use of each of these indicators is problematic in a tropical context because of the frequency of confounding factors that may interfere with their significance and may be responsible for false-positives or false-negatives. In such a context, no single measurement when used alone may be considered specific enough to identify iron deficiency ([Derman et al., 1978] and [Naghii and Fouladi, 2006]). As suggested by Derman et al. (1978), iron deficiency was defined by at least two abnormal values among the three iron parameters used. According to this multiple criteria model, we found that almost 32% of adolescent girls were iron deficient, which is similar to the prevalence seen among menstruating women from Côte d'Ivoire (35%) (Asobayire et al., 2001). However, lower prevalences of iron deficiency were observed in adolescent girls from Kenya (19.8%), Kazakhstan (13%), Turkey (20.8%) and Malaysia (26.4%) ([Foo et al., 2004], [Hashizume et al., 2005], [Keskin et al., 2005] and [Leenstra et al., 2004]). These studies were based on a definition of iron deficiency that relied on measures of SF levels, serum transferrin receptor and zinc protoporphyrin (Hashizume et al., 2005), or solely on SF levels $<12 \mu\text{g/l}$ and TS $<16\%$ (Foo et al., 2004) or on a single variable (SF $<15 \mu\text{g/l}$ and $12 \mu\text{g/l}$, respectively) ([Keskin et al., 2005] and [Leenstra et al., 2004]). This may partly explain the lower prevalence of iron deficiency found in these studies.

Prevalence and intensity of intestinal parasitic infections

Overall, there was a high prevalence (50%) of intestinal parasites. However, the non-pathogenic *Ent. coli* was the most prevalent (26%), and helminth infections represented a less serious health problem among the studied girls, none of whom had moderate/heavy infections. Although *Ent. coli* is considered to be non-pathogenic, Wahlgren (1991) examined 10 patients suffering from symptoms such as loose stools, stomach pain, colic or flatulence. In three of these cases symptoms had persisted over a period of 15 years and the only causative agent isolated was *Ent. coli*. After being treated with diloxanide furoate, all patients were cured (Quihui et al., 2006). Similar observations were reported by Corcoran et al. (1991).

The low prevalence of helminth infections and the predominance of protozoan infections observed here is similar to results reported by Alaofè et al. (2007) in a group of 100 boarding school adolescent girls from South Benin where *Ent. histolytica* and *Ent. coli* were present in 14% and 13% of subjects, respectively. However, a much higher prevalence (42% for hookworm and 80% for protozoa) was reported previously by Hercberg et al. (1986) in a representative sample of 586 subjects living in a rural district of South Benin. These subjects were chosen randomly from a total of 20542 subjects living in the rural district of Tori Bossito and included 175 children <14 years of age, 171 women and 88 men. Differences between these two studies may be attributed to socioeconomic discrepancies between urban and rural areas in South Benin and between boarding school and population-based studies. Helminths and protozoa are readily passed from person to person via the faecal–oral route, either directly through contact with contaminated hands, or indirectly via contamination of food, water or the environment (Corrales et al., 2006). Also, it should be noted that IPIs are the result of interrelated social, economic, cultural, historical and political factors. Control strategies involving improved drinking water supplies, excreta disposal, sewage management, sanitation and education have been related to a reduced prevalence of intestinal parasitism (Quihui et al., 2006). These strategies are undoubtedly more present now than they were in 1986 when Hercberg et al. (1986) conducted their study.

Intestinal parasitic infections and socioeconomic variables

In our study, a larger family size was related to a higher prevalence of parasitism in adolescent girls, as observed by King and Mascie-Taylor (2004) in New Guinea. Aksoy et al. (2007) also found that multiple parasitic infections were more prevalent in crowded families (either extended or with many children). According to these authors, crowded and unhygienic conditions increase person-to-person transmissions and contribute to the higher prevalence of IPIs. In addition, as in this study, some studies in Belize and Ecuador indicated that drinking untreated water was associated with a higher risk of infection ([Aimpum and Hshieh, 2004] and [Sackey et al., 2003]). However, we did not find any significant association between household sanitary facilities and IPIs. In contrast, properly functioning toilets installed inside the house reduced helminth infections in 319 individuals from Kuala Lumpur in Malaysia (Kan, 1993). The absence of a relationship in our study could be partly explained by the relative homogeneity of sanitary facilities, as 73% of our subjects used latrines.

Holland et al. (1988) have highlighted that particular types of house materials, such as wood or bamboo, are associated with a high prevalence of parasitic infection. In our study, these factors were found not to be associated with infection, as the most commonly used material was brick (94%) for household walls and wood (61%) for windows. Finally, maternal, but not paternal, occupation was inversely correlated with the risk of infection in girls in this study. Curtale et al. (1998) also found that the knowledge, perception and behaviour of mothers were instrumental in designing and implementing an effective community-based intestinal helminth control programme in Egypt. Studying the association between socioeconomic variables and IPIs of adolescents provides an opportunity to understand and intervene at a point in the life cycle before potential problems become serious in later life.

Finally, having more than three types of animals living in the house was not associated with a higher risk of IPI in these young Beninese adolescent girls. Although close to 60% of subjects had domestic animals, only 3.3% had cows/goats, 5.6% had pigs and 10.6% had dogs, which have been identified as possible reservoirs for IPIs (Thompson, 2000).

Moreover, adolescents in the present study were less exposed to domestic animals owing to the fact that they are not allowed in the boarding schools where adolescents spend around 9 months per year.

Intestinal parasitic infection and iron status

In accordance with other studies conducted in Benin ([Alaofè et al., 2007] and [Alarcon-Fernandez et al., 2006]), no relationship was found between Hb, iron status and IPIs. This may be due to the low prevalence of pathogenic protozoa found in these studies. Also, helminth infections are usually considered as an important cause of iron deficiency anaemia in the tropics because of blood and iron losses, which have been demonstrated to occur parallel to the severity of infection (Alarcon-Fernandez et al., 2006). In our study, none of the subjects had a load of ≥ 2000 EPG, and *A. lumbricoides* infestation, which is associated with blood loss, was not prevalent (2%). In a study conducted in Tanzanian children (Premji et al., 1995), an inverse association was observed between parasitic infections and Hb levels, but only at intensities greater than 2000 EPG. Lower intensities had no apparent influence on haematological status. In the present study, iron deficiency may be explained by an inadequate intake of low bioavailability iron as observed previously in the same area (Alaofè et al., 2007).

6.5 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The boarding school girls studied had a low prevalence and intensity of soil-transmitted helminth infections. However, the magnitude of protozoan infection was high. The school health programme should focus on parasitic infection treatment and should address the underlying causes of this problem.

Large family sizes, drinking untreated water and employment status of mothers were significant factors associated with IPI. It is possible that our observation underscores the importance of reduction of transmission through interventions based on information, education and communication strategies as well as improvement of sanitation for all community categories. However, our results can be used by appropriate authorities to target vulnerable families in Beninese urban areas and should encourage the involvement of

mothers in the activities of the national deworming campaign, as IPIs will be difficult to control by drugs alone.

6.6 REFERENCES

Aikawa et al., 2006 R. Aikawa, C.K. Ngyen, S. Sasaki and C.W. Binns, Risk factors for iron-deficiency anaemia among pregnant women living in rural Vietnam, *Public Health Nutr.* 9 (2006), pp. 443–448.

Aimpum and Hshieh, 2004 P. Aimpum and P. Hshieh, Survey for intestinal parasites in Belize, Central America, *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health* 35 (2004), pp. 506–511.

Akpo M, Gender-Based Violence in Schools: Benin case study, Academy for Educational Development, Benin (2007).

Aksoy et al., 2007 U. Aksoy, C. Akisü, S. Bayram-Delibas, S. Ozkoç, S. Sahin and S. Usluca, Demographic status and prevalence of intestinal parasitic infections in schoolchildren in Izmir, Turkey, *Turk. J. Pediatr.* 49 (2007), pp. 278–282.

Alaofè et al., 2007 H. Alaofè, J. Zee and H. Turgeon O'Brien, Dietary iron and iron deficiency anemia among adolescent girls from Benin, *Rev. Epidemiol. Sante Publique* 55 (2007), pp. 187–196.

Alarcon-Fernandez et al., 2006 O. Alarcon-Fernandez, J.S. Baudet and A. Sanchez Del Rio, Iron-deficiency anemia caused by hookworm infestation, *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* 4 (2006), p. A32.

Asobayire et al., 2001 F.S. Asobayire, P. Adou, L. Davidsson, J.D. Cook and R.F. Hurrell, Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anemia in population groups with high prevalences of malaria and other infections: a study in Cote d'Ivoire, *Am. J. Clin. Nutr.* 74 (2001), pp. 776–782.

Aubry, 2007 Aubry, P., 2007. Anémies carencielles ou nutritionnelles: actualités 2006. *Medecine Tropicale*. http://medecinotropicale.free.fr/cours/anemies_nutritionnelles.htm [accessed 10 December 2007].

Brabin et al., 1997 L. Brabin, J. Ikimalo, N. Dollimore, J. Kemp, C. Ikokwu-Wonodi, S. Babatunde, O. Obunge and N. Briggs, How do they grow? A study of south-eastern Nigerian adolescent girls, *Acta Paediatr.* 86 (1997), pp. 1114–1120.

Corcoran et al., 1991 G.D. Corcoran, B. O'Connell, A. Gilleece and T.E. Mulvihill, *Entamoeba coli* as a possible cause of diarrhoea, *Lancet* 338 (1991), p. 254.

Corrales et al., 2006 L.F. Corrales, R. Izurieta and C.L. Moe, Association between intestinal parasitic infections and type of sanitation system in rural El Salvador, *Trop. Med. Int. Health* 11 (2006), pp. 1821–1831.

Curtale et al., 1998 F. Curtale, P. Pezzotti, A.L. Sharbini, H.A. Maadat, P. Ingrosso, Y.S. Saad and M. Babilie, Knowledge, perceptions and behaviour of mothers toward intestinal helminths in upper Egypt: implications for control, *Health Policy Plan.* 13 (1998), pp. 423–432.

Derman et al., 1978 D.P. Derman, S.R. Lynch, T.H. Bothwell, R.W. Charlton, J.D. Torrance and B.A. Brink, Serum ferritin as an index of iron nutrition in rural and urban South African children, *Br. J. Nutr.* 39 (1978), pp. 383–389.

Foo et al., 2004 L.H. Foo, G.L. Khor, E.S. Tee and D. Prabakaran, Iron status and dietary iron intake of adolescents from a rural community in Sabah, Malaysia, *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 13 (2004), pp. 48–55.

Fourn, 2005 Fourn, L., 2005. Principaux enjeux de la santé publique au Bénin. Préparé dans le cadre de la Conférence: Échéance de 2006: Quels enjeux politiques et économiques. Institut de Recherche Empirique en Economie Politique (IREEP), Cotonou, Bénin.

Gibson, 2005 R.S. Gibson, Principles of Nutritional Assessment, Oxford University Press, New York (2005) p. 349.

Hall et al., 2001 A. Hall, E. Bobrow, S. Brooker, M. Jukes, K. Nokes, J. Lambo, H. Guyatt, D. Bundy, S. Adjei, S.T. Wen, H. Satoto Subagio, M.Z. Rafiluddin, T. Miguel, S. Moulin, J. de Graft Johnson, M. Mukaka, N. Roschnik, M. Sacko, A. Zacher, B. Mahumane, C. Kihamia, L. Mwanri, S. Tatala, N. Lwambo, J. Siza, L.N. Khanh, H.H. Khoi and N.D. Toan, Anaemia in schoolchildren in eight countries in Africa and Asia, *Public Health Nutr.* 4 (2001), pp. 749–756.

Halterman et al., 2001 J.S. Halterman, J.M. Kaczorowski, C.A. Aligne, P. Auinger and P.G. Szilagyi, Iron deficiency and cognitive achievement among school-aged children and adolescents in the United States, *Pediatrics* 107 (2001), pp. 1381–1386.

Hashizume et al., 2005 M. Hashizume, M. Chiba, A. Shinohara, S. Iwabuchi, S. Sasaki, T. Shimoda, O. Kunii, W. Caypil, D. Daultbaev and A. Alnazarova, Anaemia, iron deficiency and vitamin A status among school-aged children in rural Kazakhstan, *Public Health Nutr.* 8 (2005), pp. 564–571.

Hercberg et al., 1986 S. Hercberg, M. Chauliac, P. Galán, M. Devanlay, I. Zohoun, Y. Agboton, Y. Soustre, C. Bories, J.P. Christides, G. Potier de Courcy, A.M. Mass-Raimbault and H. Dupin, Relationship between anaemia, iron and folacin deficiency, haemoglobinopathies and parasitic infection, *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 40 (1986), pp. 371–379.

Hercberg et al., 1988 S. Hercberg, M. Chauliac, P. Galan, M. Devanlay, I. Zohoun, Y. Agboton, Y. Soustre, B. Auvert, A.M. Masse-Raimbault and H. Dupin, Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin, *Public Health* 102 (1988), pp. 73–83.

Holland et al., 1988 C.V. Holland, D.L. Taren, D.W.T. Crompton, M.C. Nesheim, D. Sanjur, I. Barbeau, K. Tucker, J. Tiffany and G. Rivera, Intestinal helminthiasis in relation to the socioeconomic environment of Panamanian children, *Soc. Sci. Med.* 26 (1988), pp. 209–213.

Kan, 1993 S.P. Kan, Environmental, socioeconomic and cultural-behavioral factors affecting endemicity of soil-transmitted helminthiasis and nutritional status of urban slum dwellers. In: V.M. Yokogawa, S. Hayashi, A. Kobayashi, N. Kagei, C. Kunii and T. Hara, Editors, *Collected Papers on the Control of Soil-Transmitted Helminthiasis* Vol. V, The Asian Parasite Control Organization, Tokyo, Japan (1993), pp. 44–63.

Kara et al., 2006 B. Kara, S. Cal, A. Aydogan and N. Sarper, The prevalence of anemia in adolescents: a study from Turkey, *J. Pediatr. Hematol. Oncol.* 28 (2006), pp. 316–321.

Keskin et al., 2005 Y. Keskin, G. Moschonis, M. Dimitriou, H. Sur, B. Kocaoglu, O. Hayran and Y. Manios, Prevalence of iron deficiency among schoolchildren of different socio-economic status in urban Turkey, *Eur. J. Clin. Nutr.* 59 (2005), pp. 64–71.

King and Mascie-Taylor, 2004 S.E. King and C.G. Mascie-Taylor, *Strongyloides fuelleborni kellyi* and other intestinal helminths in children from Papua New Guinea: associations with nutritional status and socioeconomic factors, *P. N. G. Med. J.* 47 (2004), pp. 181–191.

Leblond, 1994 P.F. Leblond, Les anémies secondaires (second ed.). In: B. Longpré, Editor, *Les Anémies*, Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, QC (1994) pp. 94, 176.

Leenstra et al., 2004 T. Leenstra, S.K. Kariuki, J.D. Kurtis, A.J. Oloo, P.A. Kager and F.O. Ter Kuile, Prevalence and severity of anemia and iron deficiency: cross-sectional studies in adolescent schoolgirls in western Kenya, *Eur. J. Clin. Nutr.* 58 (2004), pp. 681–691.

Naghii and Fouladi, 2006 M.R. Naghii and A.I. Fouladi, Correct assessment of iron depletion and iron deficiency anemia, *Nutr. Health* 18 (2006), pp. 133–139.

Pagana and Pagana, 2002 K.D. Pagana and T.J. Pagana, *Mosby's Manual of Diagnostic and Laboratory Tests*, Mosby Inc., St Louis, MO (2002).

Patterson et al., 2001 A.J. Patterson, W.J. Brown, D.C. Roberts and M.R. Seldon, Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age, *Am. J. Clin. Nutr.* 74 (2001), pp. 650–656.

Pena-Rosas and Viteri, 2006 J. Pena-Rosas and F. Viteri, Effects of routine oral iron supplementation with or without folic acid for women during pregnancy, *Cochrane Database Syst. Rev.* 3 (2006) CD004736.

Premji et al., 1995 Z. Premji, Y. Hamisi, C. Shiff, J. Minjas, P. Lubega and C. Makwaya, Anaemia and *Plasmodium falciparum* infections among young children in an holoendemic area, Bagamoyo, Tanzania, *Acta Trop.* 59 (1995), pp. 55–64.

Quihui et al., 2006 L. Quihui, M.E. Valencia, D.W. Crompton, S. Phillips, P. Hagan, G. Morales and S.P. Diaz-Camacho, Role of the employment status and education of mothers in the prevalence of intestinal parasitic infections in Mexican rural schoolchildren, *BMC Public Health* 6 (2006), p. 225.

Ramdath et al., 1995 D.D. Ramdath, D.T. Simeon, M.S. Wong and S.M. Grantham-McGregor, Iron status of schoolchildren with varying intensities of *Trichuris trichiura* infection, *Parasitology* 110 (1995), pp. 347–351.

Rodríguez-Morales et al., 2006 A.J. Rodríguez-Morales, R.A. Barbella, C. Case, M. Arria, M. Ravelo, H. Perez, O. Urdaneta, G. Gervasio, N. Rubio, A. Maldonado, Y. Aguilera, A. Viloría, J.J. Blanco, M. Colina, E. Hernández, E. Araujo, G. Cabaniel, J. Benitez and P. Rifakis, Intestinal parasitic infections among pregnant women in Venezuela, *Infect. Dis. Obstet. Gynecol.* 14 (2006), p. 23-25.

Sackey et al., 2003 M.E. Sackey, M.M. Weigel and R.X. Armijos, Predictors and nutritional consequences of intestinal parasitic infections in rural Ecuadorian children, *J. Trop. Pediatr.* 49 (2003), pp. 17–23.

Stoltzfus et al., 1997 R.J. Stoltzfus, H.M. Chwaya, M. Albonico, K.J. Schulze, L. Savioli and J.M. Tielsch, Epidemiology of iron deficiency anemia in Zanzibari schoolchildren: the importance of hookworms, *Am. J. Clin. Nutr.* 65 (1997), pp. 153–159.

Tatala et al., 1998 S. Tatala, U. Svanberg and B. Mduma, Low dietary iron availability is a major cause of anemia: a nutrition survey in the Lindi District of Tanzania, *Am. J. Clin. Nutr.* 68 (1998), pp. 171–178.

Thompson, 2000 R.C.A. Thompson, Giardiasis as a re-emerging infectious disease and its zoonotic potential, *Int. J. Parasitol.* 30 (2000), pp. 1259–1267.

United Nations Population Fund, 2003 United Nations Population Fund, Esquisse de programme de pays pour le Bénin, UNFPA, New York (2003).

Wahlgren, 1991 M. Wahlgren, *Entamoeba coli* as cause of diarrhoea?, *Lancet* 337 (1991), p. 675.

Chapitre 7

Impact of socioeconomic and health related factors on the iron status of adolescent girls from two boarding schools in southern Benin.

Le septième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été soumis dans *South African Journal of Clinical Nutrition*. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon-O'Brien. Cet article traite de la relation entre les caractéristiques socio-économiques et sanitaires et l'anémie ferriprive. Nous avons étudié les données de 180 adolescentes âgées de 12 à 17 ans fréquentant deux établissements scolaires: le Lycée Toffa 1^{er} de Porto-Novo (n=80) et le CEG1 de Ouidah (n=100).

7.1 RÉSUMÉ

Objectif: Le but de cette étude était d'évaluer le statut en fer de 180 adolescentes âgées de 12 à 17ans vivant dans deux internats au sud du Bénin et de déterminer l'impact des facteurs socio-économiques et des facteurs liés à la santé chez ces sujets. **Méthodologie:** La carence en fer a été définie par un taux de ferritine sérique $<20\mu\text{g/L}$ ou une ferritine sérique comprise entre $20\text{--}50\mu\text{g/L}$ plus deux valeurs anormales parmi les trois paramètres suivants: fer sérique $<11\mu\text{mol/L}$, capacité totale de fixation du fer par la transferrine $>73\mu\text{mol/L}$ ou coefficient de saturation de la transferrine $<20\%$. **Résultats:** 32% des sujets étaient carencés en fer. L'anémie (hémoglobine (Hb) $<120\text{ g/L}$) était présente chez 51% des adolescentes, tandis que 24% souffraient d'anémie ferriprive (carence en fer et Hb $<120\text{ g/L}$). Une analyse de régression multivariée indique que les filles dont la mère était travailleuse manuelle ($P= 0.002$), celles qui étaient issues d'une famille plus grande ($P= 0.0001$) et qui s'automédiquaient ($P= 0.014$), avaient un taux d'hémoglobine plus faible, tandis que les filles qui avaient commencé leur menstruation ($P= 0.008$), avaient un taux de ferritine sérique plus faible. À l'aide d'une analyse de régression logistique, les filles issues d'une famille plus grande et dont la mère était travailleuse manuelle avaient un risque plus élevé d'anémie par carence en fer (risque relatif approché (RRA) $=3.5$; intervalle de confiance (IC) à 95% $=1.1\text{--}2.5$; $P=0.04$; RRA $=3.0$; IC à 95% $=1.2\text{--}2.2$; $P=0.04$ respectivement). **Conclusions:** À notre connaissance, c'est la première étude conduite au Bénin qui a déterminé l'impact des facteurs socio-économiques et des facteurs liés à la santé sur le statut en fer d'un groupe d'adolescentes. Ces résultats indiquent que la carence en fer représente chez ces adolescentes un véritable problème de santé publique qui est relié à l'occupation de la mère, à la taille de la famille, à l'auto-médication et à la menstruation.

7.2 ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to assess the iron status of 180 adolescent girls aged 12 to 17 years living in two boarding schools from South Benin and to determine the impact of socioeconomic and health related factors in these subjects. **Methods:** Iron deficiency (ID) was defined as either serum ferritin (SF) $<20 \mu\text{g/L}$ or SF between 20-50 $\mu\text{g/L}$ plus two abnormal values in the three following parameters: serum iron $<11 \mu\text{mol/L}$, total iron binding capacity $>73 \mu\text{mol/L}$ or transferrin saturation $<20\%$. **Results:** Thirty-two percent of subjects were iron deficient. Anemia (hemoglobin (Hb) $<120 \text{g/L}$) was found in 51% of adolescents, while 24% suffered from iron deficiency anemia (iron deficiency and Hb $<120\text{g/L}$). A multivariate regression analysis indicated that girls whose mother was a manual worker ($P= 0.002$), who came from a larger family ($P= 0.0001$) and who auto-medicated ($P= 0.014$), had a lower Hb level, while girls who had started their menstruation ($P= 0.008$), had a lower SF level. In a logistic regression analysis, girls from a high family size and whose mother was a manual worker showed a higher risk of IDA (odd ratio (OR) = 3.5; 95% confidence interval (CI) =1.1-2.5; $P=0.04$; OR=3.0; 95% CI=1.2-2.2; $P=0.04$ respectively). **Conclusions:** To our knowledge, this is the first study carried out in Benin which determined the impact of socioeconomic and health related factors on the iron status of a group of adolescent girls. Findings indicate that iron deficiency represents an important health problem in these adolescents which is related to mother's occupation, family size, auto-medication and menstruation.

7.3 INTRODUCTION

Iron deficiency (ID) continues to be the most prevalent micronutrient deficiency in the world, particularly in developing countries. Numerous and severe consequences may result from iron deficiency including negative effects on health, activity and well-being [1]. Besides other vulnerable age groups, such as pregnant women, pre-school children and young children, adolescence is considered a high risk period for developing iron deficiency, due to a combination of a rapid physical growth and of menstrual iron losses. Unfortunately, data on iron deficiency anaemia (IDA) in adolescents are limited in developing countries although IDA during adolescence is known to lead to deleterious effects in adulthood and during pregnancy, affecting the development of the foetus, which in turn will have health impacts in childhood [2,3].

In Benin, the results of a limited number of studies indicate that iron deficiency is a significant public health problem. However, most of these studies were performed about twenty years ago and included adolescent girls as a part of a larger sample of adult women, pregnant women or children. Overall, the prevalence of iron deficiency has been estimated between 34-41% among menstruating Beninese women [4,5]. Moreover, to our knowledge, the impact of socioeconomic and health related factors on the iron status of adolescent girls has never been studied in Benin and there is a paucity of data on anemia in adolescents particularly in Africa. However, some studies conducted in other parts of the world and in African children revealed that occupation of parents, family size and use of nutrient supplements may have a great impact on iron status [6-8]. Yet studying the impact of these factors on the iron status of adolescents provides an opportunity to understand and intervene at a point in the life cycle before potential problems become serious in later life. The aim of this study was therefore to assess the iron status of adolescent girls and to determine the impact of socioeconomic and health related factors on iron deficiency and iron deficiency anemia.

7.4 SUBJECTS AND METHODS

Study population: The study population consisted of adolescent girls aged 12 to 17 years living in two boarding schools of South Benin, namely Lycée Toffa 1^{er} of Porto-Novo (n=80) and CEG1 Bertand Dagnon of Ouidah (n=100). Both schools were not randomly chosen but selected among six boarding schools located in six different departments in Benin. These schools were about 30 minutes away from the only analysis laboratory that performed all blood measures needed, while the other boarding schools were at least 2 hours away. They were characterised by the similarity of cafeterias' menus and supply of local foods and are 70 km apart. A nutrition intervention programme to reduce IDA was implemented in adolescent girls boarding at Lycée Toffa 1er of Porto-Novo (intervention school); CEG1 Bertrand Dagnon de Ouidah served as the control school. Results obtained at baseline are presented here, while data on the nutrition intervention will be published elsewhere.

Recruitment: Meetings with personnel from the two boarding schools, as well as with adolescent girls and their parents, were carried out in order to explain the study protocol. Participants were selected from the lists of students from each of the selected boarding schools, which included names and dates of birth. Only girls aged 12–17 years were included in this study. At the beginning of the study, Lycée Toffa 1er of Porto-Novo included 140 boarding girls aged 12–17 years, whilst CEG1 Ouidah counted 148 girls (total = 288). One hundred and ninety-two girls (68%) were eligible: 85 (61%) in Lycée Toffa 1er and 107 (72%) in CEG1. One hundred and eighty girls (63%) participated in the study (80 (57%) and 100 (68%) in Lycée Toffa 1er and CEG1 Ouidah, respectively), giving a participation rate of 94%. Twelve girls (6%) did not participate in the study: seven refused to participate, three suffered from malaria and two were not present at the time of the study. Written consent was required from both parents in order for their child to participate in the study. Data were collected using a general questionnaire and laboratory analysis of blood. The subjects received oral and written notification of test results. Approval was obtained from the Ethical Committee of Laval University and the Departmental Direction of the Primary and Secondary education of the concerned departments in Benin.

Socioeconomic and health related factors: Each study participant was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire which included socioeconomic characteristics (age, religion, parents' occupation and their level of education, family size, number of rooms and running water in the house) and health related factors (recent febrile and non febrile illnesses, menstrual history, recent medicinal drug use, modern or traditional self-medication, main sources of information on health issues, home hygiene, knowledge on iron deficiency anemia, etc.). Income is more difficult to measure fully and accurately than occupation, particularly when questioning young adolescent girls about their family's income. Also, in Africa, it would be inappropriate for these young Beninese adolescent girls to enquire and report about their parent's financial means. Thus, parents' occupation was the best indicator in these circumstances.

Modern self-medication is defined as the use of pharmaceutical products for the treatment of an illness, without any recommendation of a skilled personnel of health and traditional self-medication as being the use of leaves, roots, barks in form of blend, herbal tea, infusion, powder, etc. for the treatment of an illness, without recommendation of a traditional faith healer. Specific criteria were used to determine positive scores for IDA-related knowledge. A positive score was given for the definition of anemia if girls answered lack of iron or low haemoglobin. Self-perception of health (SPH) was also gathered. SPH is considered to be one of the best health indicators at both, an individual and population level. Several cross-sectional and longitudinal studies have demonstrated its relationship with other health status variables, thus reinforcing its validity as a global indicator of health (9). A simple question on self-perception of health status is commonly used in health interview surveys. SPH was measured with the following open-ended question: How would you qualify your health? Girls responded good when they were not suffering from any particular health problem, but gave symptoms of their problems when their health was affected which we categorized as poor. When measuring SPH, 4 categories are often used: excellent, very good, good, or poor, but this proved difficult to use with these 12-17 years old adolescents who usually consider events as good or bad.

Anthropometric data: Weight of participants was determined on an electronic load cell scale (Precision Health Scale, UC-300; A&D Company Limited, Japan). Height was

measured with a movable bar and a steel tape mounted on a wall. All girls wore light clothing and had their shoes off. Body mass index (BMI) was calculated and was plotted on individual percentile charts developed by the National Centre for Health Statistics and the National Centre for Disease Prevention and Health Promotion [10].

Blood sampling: The full blood count was determined by means of a hematology analyzer (Sysmex KX-21; Sysmex Corporation; Kobe, Japan). An enzyme linked fluorescent assay (Vidas Ferritin, bioMérieux, France) was used to determine serum ferritin (SF). Serum iron (SI) was measured without deproteinization using a commercial photometric test (Ferrimat-Kit; Biomérieux, France). After saturation of transferrin by the addition of iron, the same assay system was used for the determination of total iron binding capacity (TIBC). Transferrin saturation was calculated expressing serum iron as a percent of TIBC.

Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia: Serum ferritin values $<20\mu\text{g/L}$ were used to indicate depleted iron stores as suggested in a recent paper from Clark [11]. SF, however, is an acute phase protein that increases with inflammation or infection disorders. In an attempt to adjust for the observed high prevalence of malaria and other infection disorders which are common in West African populations, we used a SF cut-off value between $20\text{-}50\mu\text{g/L}$ combined with two abnormal values in the following three biochemical parameters: $\text{SI} < 11\mu\text{mol/L}$, $\text{TIBC} > 73\mu\text{mol/L}$, $\text{TS} < 20\%$ [12]. The adolescents were classified as having iron deficiency anemia (IDA) if they were iron deficient and had Hb levels $<120\text{g/L}$.

Statistical analysis: Statistical analysis were performed using commercially available statistical software NCSS 2004 (NCSS, Kaysville, UT). Descriptive statistics are presented as either means (SD= standard deviation) in the case of continuous variables or frequency for categorical variables. Chi-square was used to test for differences in the prevalence of ID and IDA. Serum ferritin had a skewed distribution; therefore, this value was log transformed for all statistical calculations and converted back to the original units as means and SD.

The association between risk factors and ID or IDA was assessed by multinomial logistic regression. The dependent variable was the absence (0) or presence (1) of ID or IDA. The

independent variables were: use of vitamin mineral supplements during the last month before the interview (0= no, 1= yes), mother's occupation (1= manual workers, 2= non manual workers), family size (1=>5 persons, 2= \leq 5 persons), menstruation (0= no, 1= yes), modern or traditional self-medication (0= no, 1= yes). A stepwise multiple regression analysis was used to find subsets of statistically significant predictors of iron status. Finally, relationships between factors mentioned above and Hb or SF levels were assessed by multiple regression analysis. Statistically significant differences were indicated by $P < 0.05$.

7.5 RESULTS

Subjects and household characteristics: The mean age of adolescents was 14.5 ± 1.8 years and 51% were less than 15 years old. The average BMI value was 20.1 ± 3.8 kg/m². Of the total surveyed population, 3% were obese, 8% were overweight, and 8% were underweight. The majority of the study population (81%) were within the normal (healthy) weight range. More than 70% of the girls were Catholics. About 86% of mothers were literate and only 5% went to university, while 96% of fathers were literate and 21% went to university. Also, more than two-thirds of the adolescents' mothers were manual workers (78%). Almost half of the fathers were manual workers (46%); a lower proportion of them, about 20%, were high-level non manual employees (business executives, doctors, engineers and university teachers). The majority of families consisted of 6 or more individuals. Finally, almost half of household water was reported to come from an opened (12%) or closed (3%) well and, from neighbours (tap water, opened or closed well) (30%) (**Table 7.1**).

Health and health-related factors: Eighty percent of adolescent girls were menstruated. Almost half of participants reported some health problems in the 4 last months before the study. Only 9% of girls used anti-malarial drugs in the last month while 82% of them auto-medicated before going to the hospital. Approximately 20% used vitamin and mineral supplements during the last two months before the study: 10% of the adolescents had taken iron and folic acid supplements—one iron tablet and one folic acid tablet per day including 200 mg of ferrous fumarate and 0.25 mg of folic acid —whereas 6% had taken vitamin C, one tablet of effervescent UPSA vitamin C containing 500 mg of vitamin C. Finally, 4% used both vitamin and mineral supplements. Although the majority of the girls participated

in sports at school (3 hours/week), only 21% engaged in leisure physical activity outside the school program. The majority of the girls believed themselves to be in good health, although only 16% could define anemia (**Table 7.2**).

Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia: As indicated in **Table 7.3**, 32% of adolescents were classified as iron deficient and had either SF<20 μ g/L or SF between 20-50 μ g/L, plus two abnormal values in the following three biochemical parameters: SI<11 μ mol/L, TIBC>73 μ mol/L or TS<20%. The prevalence of anemia was 51%, whereas 24% suffered from iron deficiency anemia. There was no difference in the prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia in adolescents from the two boarding schools.

Determinants of iron status: In a multiple regression analysis, mothers' occupation, family size and modern or traditional self-medication were significant determinants, accounting for 16% of the variance in hemoglobin; while for serum ferritin, only menstruation showed a significant effect, accounting for 6% of the variance (**Table 7.4**). Thus, girls whose mother was a manual worker (P= 0.002), who came from a large family size family (P= 0.0001), and who auto-medicated (P= 0.014), had a lower Hb level, while girls who had started their menstruation (P= 0.008), had a lower serum ferritin level.

The results of the multiple logistic regression analysis that investigated the relationship between different risk factors and ID or IDA are presented in **Table 7.5**. Adolescent girls whose family size>5 persons were three times as likely to suffer from iron deficiency anemia (OR=3.5; 95%CI=1.1-2.5; P=0.04) compared to girls who came from a lower family size. Likewise, girls whose mother was a manual worker had a higher risk of iron deficiency anemia (OR=3.0; 95%CI=1.1-2.2; P=0.04). No significant associations were detected between socioeconomic and health-related factors and the risk of iron deficiency (data not reported).

Table 7.1: Subjects and family characteristics

Characteristics	X (SD)	%
Age (years)	14.5 (1.8)	
BMI (kg/m ²)		
Underweight (<5 th percentile)		8.3
Normal (5 to <85 th percentile)		80.6
Overweight (85 to <95 th percentile)		7.8
Obese (≥95 th percentile)		3.3
Religion		
Catholic		73.8
Muslim		5.6
Protestant		7.8
Others*		12.8
Mother's occupation		
High-level non manual employees†		5.0
Medium level non-manual employees‡		15.0
Manual workers§		77.8
Deceased		2.2
Father's occupation		
High-level non manual employees†		19.4
Medium level non-manual employees‡		29.4
Manual workers§		45.6
Deceased		5.6
Mother's education		
Illiterate		14.5
Literate		85.5
Primary		13.3
Secondary		25.1
University		4.5
Not available		42.6
Father's education		
Illiterate		4.1
Literate		95.9
Primary		8.2
Secondary		17.6
University		20.6
Not available		49.5
Family size	11.0 (8.3)	
Household water source		
House tap		53.9
From neighbour		30.5
Opened well		12.2
Closed well		3.4

X (SD): Mean (standard deviation). * Others: Eckankar, christianity and vaudou.

† High-level non-manual employees: business executives, doctors, engineers and university teachers. ‡

Medium level non-manual employees: nurses, accountants and high school teachers. § Manual workers: vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

Table 7.2: Health and health-related factors

Characteristics	X(SD)	%
Menstruation		80.0
Use of nutrients supplements in the last 2 months*		19.1
Health problems in the last 4 months		49.4
Use of anti-malarial drugs in the last month [†]		9.4
Malaria parasitemia		65.6
Parasite count (parasites/mm ³)	770.7(741.0)	
Modern or traditional self-medication		82.2
Self-perception of health		
Good		95.6
Poor		4.4
Leisure physical activity		21.0
IDA-related knowledge		16

X(SD): Mean (standard deviation).

* Almost 10% of adolescents had taken iron (200 mg ferrous fumarate) and folic acid (0.25 mg) supplements, whereas 6% had taken one tablet of effervescent UPSA vitamin C (500 mg), while 4% used both vitamin and mineral supplements.

[†] Anti-malarial drugs: Chloroquine®, Fansida® or Arinate®.

Table 7.3: Prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia using multiple criteria (%)

	Overall (N=180)	Lycée Toffa 1er (n=80)	Foyer de Ouidah (n=100)	P*
Anemia [†]	50,6	52,5	49,0	NS
Iron deficiency [‡]	31,7	37,5	27,0	NS
Iron deficiency anemia [§]	23,9	26,2	22,0	NS

* Comparison between boarding schools using chi-square. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Defined as hemoglobin < 120 g/L.

[‡] Defined as SF < 20 μ g/L or SF 20-50 μ g/L, plus two abnormal values in the following three biochemical parameters: SI < 11 μ mol/L, TIBC > 73 μ mol/L or TS < 20 %.

[§] Defined as iron deficient and Hb < 120 g/L.

Table 7.4: Association between serum ferritin, haemoglobin and risk factors

	Regression coefficient (β)	Standard error (SE)	P*
Serum ferritin ($\mu\text{g/L}$)			
Use of supplements	0.0985	0.062	NS
Mother's occupation	0.1102	0.0606	0.07
Family size	-0.076	0.0634	NS
Menstruation	-0.1624	0.0608	0.008
Modern or traditional self-medication	-0.034	0.0626	NS
Adjusted $R^2 = 0.059$, F ratio = 3.275			
Haemoglobin ($\mu\text{g/L}$)			
Use of supplements	0.3050	0.1884	NS
Mother's occupation	0.5680	0.1834	0.002
Family size	-0.7713	0.1918	0.0001
Menstruation	-0.0621	0.1839	NS
Modern or traditional self-medication	-0.4692	0.1894	0.014
Adjusted $R^2 = 0.159$, Fratio = 7.737			

* Multiple regression where the dependent variable is serum ferritin or haemoglobin concentration. NS – not significant ($P > 0.05$).

Table 7.5: Risk factors for iron deficiency anemia

Variables	%	OR	95% CI	P*
Use of supplements				
Yes	11.6	2.03	0.3-1.8	NS
No	88.4	1.0		
Mother's occupation				
Manual workers [†]	90.7	3.0	1.2-2.2	0.04
Non manual employees [‡]	9.3	1.0		
Family size				
> 5 persons	93.0	3.5	1.1-2.5	0.04
≤ 5 persons	7.0	1.0		
Menstruation				
Yes	88.4	2.2	-0.2-1.8	NS
No	11.6	1.0		
Modern or traditional self-medication				
Yes	86.0	1.4	-0.6-1.3	NS
No	14.0	1.0		

OR: Odds ratio; CI: Confidence interval.

* Multinomial logistic regression where the dependent variable is the absence (0) or presence (1) of iron deficiency anemia. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Manual workers: vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

[‡] Non-manual employees: business executives, doctors, engineers and university teachers, nurses, accountants and high school teachers.

7.6 DISCUSSION

To our knowledge, this study is the first to determine the impact of socioeconomic and health-related factors on the iron status of Beninese adolescent girls. Adolescence is a critical period for the development of iron deficiency anemia. Its prevalence shows great variability in different countries, and for different races, and social and economic levels. Serum ferritin is directly proportional to the body level of iron stores [11]. However, the use of each of these indicators is problematical in a tropical context because of the frequency of confounding factors which may interfere with their significance and may be responsible for false-positives or false-negatives. In such context, no single measurement when used alone may be considered specific enough to identify iron deficiency [11]. According to our multiple criteria model, we found that almost 32% of the adolescent girls were iron deficient which is similar to the prevalence seen among menstruating women from Côte d'Ivoire (35%) [13]. However, lower prevalences of iron deficiency were observed in adolescent girls from Kenya (19.8%) and Malaysia (26.4%) [14,15]. These studies were based on a definition of iron deficiency that relied solely on a single variable (serum ferritin level $<12 \mu\text{g/L}$ respectively) [14] and on measures of serum ferritin levels below $12 \mu\text{g/L}$ and transferrin saturation below 16% [15]. This explains partly the lower prevalence of iron deficiency observed in these studies.

As observed in other studies [3,6], we found that family size was associated with the nutritional status of these adolescents who were boarded at the school for about 4 months after they were home for the summer. Small families of 5 persons or less had fewer adolescents suffering from iron deficiency anemia than larger families. The prevalence of IDA among adolescent girls in larger families was about 97%, which is almost thirteen times higher than in the small families. It is important to note that the family size may be considered as a proxy of socioeconomic condition; and our data revealed that girls from a high family size had lower Hb levels, suggesting that socioeconomic conditions may be an important factor in maintaining normal Hb levels. Indeed growing children in large families typically receive less food, leading to a poor-quality diet that is deficient in energy and essential nutrients [16]. Also, girls coming from a larger family most likely received less

spending money at the boarding school which could have decreased the quality and quantity of snacks that they could buy from street vendors.

Many studies have shown that parents' occupation, both fathers and mothers, are associated with children's nutrition [8,17]. The level of education and occupation of the head of the family may affect the income and wage potential of the family, while it may also affect the attention and response given to educational materials and informational programs received by members of the family. However, in our study, we found that only mothers' occupation was correlated with the risk of IDA. Furthermore, in the culture of the study area, the mother is the only food provider and cook in the family; it is not common for the father to be involved in cooking and food shopping although he is an income provider in most families.

The majority of the girls auto-medicated before going to the hospital. Auto-medication was also the first choice for most subjects in Cameroun and Benin [18]. The subject's perception of his illness and his ability to control it could partly explain the use of modern or traditional self-medication. In addition, the proliferation in all regions of Benin of sellers and ambulant prescribers of "modern" drugs that are cheaper and can be bought in small quantities or individual pills is a contributing factor. Finally, the use of modern or traditional self-medication could be a consequence of the problems encountered by the public health care system in Benin. In effect, long waiting time, poor quality of services and costs undermine the health care system in Benin, but also in other African countries [18].

In the present study, auto-medication which was reported by about 82% of adolescents was negatively correlated to Hb levels. Iron deficiency can negatively affect cellular immunity, even before the individual becomes anemic, and this can lead to an increase in illnesses such as diarrhea, respiratory disease and other infections [1,2]. Adolescents who auto-medicate tend to treat only the symptoms and thus, do not address the causes of their illness which could be related to undernutrition especially iron deficiency. Auto-medication is possibly a surrogate marker for malaria parasitemia and anemia which were present in 66% and 51% of the subjects respectively. Self-perception of health is considered to be one of

the best health indicators at both, an individual and population level (9). Although the prevalence of malaria parasitemia and anemia were elevated, 96% of girls perceived their health as good. This could be partly explained by the fact that girls are getting accustomed to the symptoms of anemia and malaria parasitemia which are often referred to as hidden diseases. We also found that adolescents who had started their menstruation had a lower serum ferritin level. Indeed, it is well known that iron loss via menstrual bleeding is an important contributor to iron deficiency [19]. Although we did not determine blood loss during menstruation, menarche explained 6% of the variance in serum ferritin levels.

Considering the fact that adolescents enrolled in the present study do not constitute a representative sample of all Beninese adolescents, we do not know whether or not Beninese adolescents in general are more at risk for iron deficiency than other subgroups of population. Nevertheless, this study was carried out in two of the six boarding schools in operation in Benin and as such, represents an important contribution to better understanding the iron status of boarding adolescent girls. As mentioned earlier, these young girls possibly have a better iron status which would indicate that the situation concerning anemia and iron deficiency is alarming in Benin. Hence, a survey of 126 pregnant women in Benin found iron deficiency in 73% [4]. Also, in 586 subjects living in a rural district of Benin, iron deficiency anemia was present in 68% of children from 6 months to 2 years and 54% of children aged 2-14 years [5]. Surveys simultaneously including risk groups such as young children, adolescents and adult women, are needed to estimate adolescents' vulnerability to both iron deficiency and anaemia relative to other population groups.

In conclusion, the present study shows that iron deficiency is a serious public health problem in these Beninese adolescent girls. Also, prevention strategies for IDA should include targeting adolescents, due to their high physiological requirements for iron. Targeting adolescents at risk of IDA before childbearing should be part of an ongoing effort to address the problem of anaemia during pregnancy and infancy. In addition to low intake of available iron [20] and intestinal parasitic infection [6], other factors like mother's occupation and family size are important risk factors for IDA among these adolescent girls. Although menstruation and the use of modern or traditional self-medication were inversely related to Hb levels, they did not increase the risk of IDA. The fact that adolescents whose

mother was a manual worker had a higher risk of suffering from IDA indicates the need to reach these parents in particular and inform them about ways to prevent iron deficiency anemia. More research is needed to investigate the relationship between education level and nutritional status and what could be the entry points for nutrition interventions aimed at improving the nutritional status of adolescent girls.

7.7 LITERATURE CITED

1. Pasricha SR, Caruana SR, Phuc TQ, et al. Anemia, iron deficiency, meat consumption, and hookworm infection in women of reproductive age in northwest Vietnam. *Am J Trop Med Hyg* 2008; **78**:375-81.
2. Murray-Kolb LE, Beard JL. Iron treatment normalizes cognitive functioning in young women. *Am J Clin Nutr* 2007; **85**:778-87.
3. Foo LH, Khor GL, Tee ES, Dhanaraj P. Determinants of iron status in Malaysian adolescents from a rural community. *Int J Food Sci Nutr* 2004; **55**:517-25.
4. Hercberg S, Galan P, Chauliac M et al. Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *Br J Nutr* 1987; **57**:185-93.
5. Hercberg S, Chauliac M, Galan P et al. Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health* 1988; **102**:73-83.
6. Nguyen PH, Nguyen KC, Le Mai B et al. Risk factors for anemia in Vietnam. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2006; **37**, 1213-23.
7. Devaki PB, Chandra RK, Geisser P. Effect of oral supplementation with iron (III)-hydroxide polymaltose complex on the immunological profile of adolescents with varying iron status. *Arzneimittelforschung* 2007; **57**:417-25.
8. 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.
9. Breidablik HJ, Meland E, Lydersen S. Self-rated health in adolescence: A multifactorial composite. *Scandinavian J Public Health* 2008; **36**: 12–20
10. NCHS (National Center for Health Statistics). 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital & Health Statistics* 2002; **11**: 246.
11. Clark SF. Iron deficiency anemia. *Nutr Clin Pract* 2008; **23**:128-41.

12. Patterson AJ, Brown WJ, Roberts DC, Seldon MR. Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age. *Am J Clin Nutr* 2001; **74**:650-6.
13. 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 Cote d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 2001; **74**:776-82.
14. Leenstra T, Kariuki SK, Kurtis JD, Oloo AJ, Kager PA, ter Kuile FO. Prevalence and severity of anemia and iron deficiency: cross-sectional studies in adolescent schoolgirls in western Kenya. *Eur J Clin Nutr* 2004; **58**, 681-91.
15. Foo LH, Khor GL, Tee ES & Prabakaran D. Iron status and dietary iron intake of adolescents from a rural community in Sabah, Malaysia. *Asia Pac J Clin Nutr* 2004; **13**:48-55.
16. Djazayeri A, Keshavarz A, Ansari F, Mahmoudi M. Iron status and socioeconomic determinants of the quantity and quality of dietary iron in a group of rural Iranian women. *East Mediterr Health J* 2001; **7**:652-7.
17. Jain NB, Laden F, Guller U, Shankar A, Kazani S, Garshick E. Relation between blood lead levels and childhood anemia in India. *Am J Epidemiol* 2005; **161**:968-73.
18. Ouendo EM, Makoutodé M, Paraiso MN, Wilmet-Dramaix M, Dujardin B. Itinéraire thérapeutique des malades indigents au Bénin (Pauvreté et soins de santé). *Trop Med Int Health* 2005; **10**:179-86.
19. Swenne I. Haematological changes and iron status in teenage girls with eating disorders and weight loss-the importance of menstrual status. *Acta Paediatr* 2007; **96**:530-3.
20. Alaofè H, Zee J, Turgeon O'Brien H. Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2007; **5**:187-96.

Chapitre 8

Effect of a nutrition education program and diet modification in Beninese adolescent girls suffering from mild iron deficiency anemia.

Le huitième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été accepté dans *Ecology of Food and Nutrition*. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon-O'Brien. Cet article traite de l'impact de l'intervention nutritionnelle sur le niveau de connaissances nutritionnelles et l'état nutritionnel en fer des 34 adolescentes du groupe d'intervention comparativement aux 34 adolescentes du groupe témoin.

8.1 RÉSUMÉ

Une intervention nutritionnelle de 26 semaines comprenant 4 semaines d'éducation nutritionnelle combinée à une augmentation pendant 22 semaines des apports et de la biodisponibilité du fer alimentaire a été réalisée chez 68 adolescentes souffrant d'anémie ferriprive légère: 34 filles constituaient le groupe d'intervention et 34 autres filles formaient le groupe témoin. À la fin de l'étude, le taux d'hémoglobine et la ferritine sérique étaient significativement plus élevés dans le groupe d'intervention tandis que la prévalence de l'anémie ferriprive était significativement plus faible comparativement au groupe témoin. Les adolescentes du groupe d'intervention avaient des meilleurs scores de connaissances nutritionnelles que celles du groupe témoin. Une intervention nutritionnelle visant à améliorer la biodisponibilité du fer alimentaire peut réduire l'anémie par carence en fer.

8.2 ABSTRACT

A 26-week nutrition intervention including 4 weeks of nutrition education combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron for 22 weeks was carried out in 34 intervention and 34 control adolescent girls suffering from mild iron deficiency anemia (IDA). In post-intervention, hemoglobin and serum ferritin were significantly higher in the intervention group, whereas the incidence of IDA was significantly lower in the intervention group compared to the control group. Nutrition knowledge scores were significantly higher in intervention girls compared to control girls. Dietary changes to improve available dietary iron can reduce iron deficiency anemia.

8.3 INTRODUCTION

Iron deficiency anemia is a common nutritional problem world-wide, particularly for women of reproductive age in developing countries (Kara et al, 2006). In adolescent girls, it can have adverse effects on educational performance, productivity and well-being (Keskin et al, 2005; Pena-Rosas and Viteri, 2006). Preventing iron deficiency and increasing iron stores in adolescent girls can benefit their health and well-being and improve their iron status in preparation for pregnancy. Severe anemia during pregnancy increases the risk of maternal and foetal morbidity and mortality, and the risk of premature delivery and low birth weight (Keskin et al, 2005; Pena-Rosas and Viteri, 2006).

Benin is no exception; overall, the prevalence of iron deficiency has been estimated between 34-41% among menstruating women (Herberg et al. 1987; 1988). Alaofè et al. (2007) found that the major cause of iron deficiency in a group of 100 adolescent girls was low absorbable iron intakes. A dietary intervention strategy that simultaneously enhances the content and bioavailability of iron in Beninese diets is required urgently. Moreover, in a study by Alaofè et al. (2007), absorbable iron intakes were highly and positively associated with haemoglobin concentrations. Although Beninese diets are typically low in bioavailable iron, less expensive heme iron and vitamin C sources are available throughout the year. Thus, dietary modifications to improve iron status using locally available foods are possible.

Dietary modification and diversification have advantages over other strategies in relation to compliance, long-term acceptability, cost-effectiveness, risk of iron overload and a beneficial effect on the iron intake of families (Gibson and Hotz, 2001), but are often criticized because they are considered too difficult to apply or because they are long-term strategies. But, recent studies show interesting results even after short periods of intervention (Creed-Kanashiro et al, 2000; Heath et al, 2001; Yeudall et al, 2002; Gibson et al, 2003; Khoshnevisan et al, 2004). Finally, to our knowledge, no nutrition intervention program to treat IDA has ever been carried out in Benin. Moreover, studies conducted in other African countries are not necessarily applicable to Benin because of the differences in the availability of iron and vitamin C rich foods and the food practices of individuals.

Therefore, the aim of this study was to assess the impact of a nutrition education program and diet modifications to treat IDA in 34 adolescent girls from a boarding school in southern Benin.

8.4 SUBJECTS AND METHODS

Subjects: This study was carried out in two boarding schools from South Benin, namely Lycée Toffa 1er of Porto-Novo (intervention group) and CEG1 Bertand Dagnon of Ouidah (control group). Both schools were not randomly chosen but selected among six boarding schools located in six different departments in Benin. These schools were about 30 minutes away from the only analysis laboratory that performed all blood measures needed, while the other boarding schools were at least 2 hours away. Lycée Toffa 1er of Porto-Novo was chosen as the intervention school because a previous study at this school made it easier for the administrative personnel to rapidly accept this multi-dietary strategy (Alaofè et al. 2007). These two schools were characterised by the similarity of cafeterias' menus and supply of local foods and are 70 kilometers apart from each other which prevented contamination of education messages.

Eligibility criteria for inclusion in the study were as follows: aged 12-17 years, no major illnesses, non pregnant, regular menstruation and the presence of mild iron deficiency anemia (IDA). Iron deficiency (ID) was defined as either a serum ferritin (SF) $<20\mu\text{g/L}$ or SF $20\text{-}50\mu\text{g/L}$ plus two abnormal values among the three following parameters: serum iron (SI) $<11\mu\text{mol/L}$, total iron binding capacity (TIBC) $>68\mu\text{mol/L}$ or transferrin saturation (TS) $<20\%$. Mild IDA corresponded to iron deficiency plus a haemoglobin (Hb) level between $100\text{-}120\text{g/L}$ (Patterson et al, 2001; Pagana and Pagana, 2002).

Blood samples were obtained at baseline from 180 girls aged 12-17 years: 80 girls in the intervention school and 100 girls in the control school. Thirty-four girls in the intervention school met the criteria mentioned above and 40 girls in the control school. Two control girls were eliminated during the study (between the 9th-11th week) because their Hb level decreased below 100g/L , while four other girls were eliminated at random at the end of the study to obtain an equal number of participants in both groups. Indeed, thirty-two girls

were required in each boarding school to achieve statistically significant differences in the prevalence of IDA between groups with a power of 80%, $\alpha = 0.05$ (Creed-Kanashiro et al, 2000). Participants were requested not to take iron and vitamin C supplements during the study or to donate blood.

Study Design: This study was conducted using a quasi-experimental design. Each adolescent girl was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire in 20 adolescent girls from a third school (CEG Djassin). Anthropometric measurements, blood and faecal samples were also taken. After confirmation of iron status, a baseline dietary assessment using one 48-h recall was obtained from each participant in both groups. A multi-dietary strategy which included 4 nutrition education lessons dispensed over a 4-week period combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron in the cafeteria menu for 22 weeks was implemented in the intervention school, but not in the control school. All measurements mentioned above were repeated at the end of the 22-week period in both boarding schools, while an additional blood test was performed between the 9th – 11th week in the control group to eliminate girls with a Hb level <100g/L. Also, as indicated elsewhere (Alaofè et al. 2008, article submitted for publication), one 24-hour dietary recall was performed between the 5th – 6th, the 10th – 11th and the 15th – 16th week during the 22-week improvement of the menu in the intervention school while one 24-hour recall was obtained between the 9th and 11th week in the control group. Finally, one 48-hour recall was obtained in both groups at the end of the trial.

All the adolescent girls are examined annually by school nurses in collaboration with doctors from the public hospital. The girls and their parents are informed about their health status. Also, the health status of adolescents boarding at the schools was routinely recorded in the nurses' daily log book. When adolescents were ill, nurses provided clinical care and parents were contacted. Laboratory tests were prescribed by the attending physician when necessary. Finally, each study participant was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire which included socioeconomic characteristics (age, religion, parents' occupation and their level of education, family size, number of rooms and running water in the house) and health related factors (recent febrile and non

febrile illnesses, menstrual history, recent medicinal drug use, modern or traditional self-medication, main sources of information on health issues, home hygiene, etc.).

For the present study, all participants in both boarding schools were treated initially with an anti-worm drug called Vermox® (Mebendazole) and anti-malaria drugs called Chloroquine®, Fansida® or Arinate®. Different types of drugs were administered to the girls because some girls were allergic to certain drugs prescribed. Also, boarding schools gave adolescent girls the same anthelmintic drug (Vermox® (Mebendazole)) monthly thereafter and when new infections occurred during the intervention. Girls who were not selected in the study but diagnosed with iron deficiency anemia (IDA) (n=8), intestinal parasitic infections (IPI) (n=56) or malaria (n= 74) received the appropriate treatment. Adolescent girls from the control boarding school received the nutrition education lessons at the end of the 22-week period. An informed written consent was obtained from both parents in order for their child to participate in the study. Approval was obtained from the Ethical Committee of Laval University and the Public Health Ministry of Benin.

Improvement of the menu in the intervention boarding school: This required the evaluation of the existing menu and visits to the food markets. Also, methods of food preparation and the role of each kitchen staff member were identified. To determine the target median intake of absorbable iron, we used the framework developed in the Dietary References Intakes (IOM, 2003). We chose a 10% prevalence of inadequacy instead of 25, 50, 75 and 95% as an acceptable planning goal because of the negative consequences of iron deficiency anemia in adolescent girls. This means that we accept that 10% of the intervention adolescent girls will have usual available iron intakes less than the Estimated Average Requirement (EAR). This prevalence of inadequacy was realistic for Benin. Then, we determined the target usual nutrient intake distribution from data on the distribution of usual dietary intakes of bioavailable iron in 100 Beninese adolescent girls (Alaofè et al, 2007). The difference between the Estimated Average Requirement (EAR) of 1.5 mg/j and the observed intake at the 10th percentile (0.79 mg/j) was 0.71 mg of absorbable iron. Thus, the median of the current intake distribution was shifted up by 0.71 mg, so the target median intake of absorbable iron was 1.86 mg/day.

The target median intake rounded up to 1.90 mg/day was distributed between two meals: lunch and dinner. It would have been unrealistic to include breakfast as it always includes the maize based porridges (gbagba) and milk chicory. For lunch and dinner, baseline menus in both schools included: pâte rouge (spicy corn paste served with tomato stew) and fried fish (mostly mackerel); white rice with tomato stew and fried fish; white rice with fried sardines; chicken in peanut-tomato stew; riz au gras (beef stew with onions, tomatoes, oil and rice); legumes (red or white kidney beans) with gari (the dried and ground form of manioc (cassava) or with atassi (a stiff corn-flour porridge) and served with fried fish or fried chicken; pâte rouge accompanied by fresh or fried fish and crain-crain (a sludgy green sauce made with Tossa Jute) or okra (results not presented in a table). Dietary modifications aimed at increasing consumption of iron-rich foods and enhancers of iron absorption and decreasing consumption of inhibitors of iron absorption in the intervention school are presented in Table 8.1. The ultimate goal of the study was to increase the meal content of available iron at the lowest cost possible and if additional costs were encountered, they would be assumed by the school.

Nutrition education: Briefly, girls in the intervention school received 4 nutrition education lessons lasting approximately one hour each during a 4-week period. These lessons were developed using a standard approach that included assessment of the subjects' dietary practices, identification of common eating problems, and determination of foods that were inexpensive and rich in iron and/or vitamin C using the Canadian Nutrient File (2006) and Food Composition Tables of Benin. Also, one food sciences and technology engineer and two teachers received the background information and gave their advice on how to administer the following four lessons using written material and workshops: Lesson 1. Functions of iron, prevalence of iron deficiency and symptoms; Lesson 2. Main sources of iron and definition of food iron bioavailability; Lesson 3. Dietary strategies to improve iron status; Lesson 4. Motivating session to encourage girls to adopt a balanced diet rich in iron. At the end of each lesson, the intervention group was divided in small groups composed of 4-5 participants who were asked to answer an easy nutrition knowledge quiz to verify if they understood the different nutrition concepts taught during the lessons. A discussion period followed the nutrition quiz and small gifts such as pens, pencils, erasers, books,

bags, key-holders, photo albums, alarm clocks, etc. were given to adolescents in order to motivate them.

Following baseline measurements and the 4-week nutrition education program, three follow-up interviews were carried out with each adolescent in the intervention boarding school during the 22-week period: between the 5th – 6th week, the 10th – 11th week and the 15th – 16th week. These individual interviews were modelled on the Trials for Improved Practices methodology (Dickin et al, 1997) and were conducted by the first author. During each interview, a 24-hour dietary recall was obtained from the adolescents. Dietary assessment data will be published elsewhere. Based on the information gathered during the dietary recalls, adolescents were encouraged to improve their food habits. From one to three recommendations were given to each adolescent and these changes were reviewed and discussed with her in order to reach an agreement. At the following interview, each participant was questioned to verify if the agreed-upon practices were implemented between the interviews.

General and nutrition knowledge questionnaires: Each study participant was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire which included socioeconomic characteristics (age, religion, parents' occupation and their level of education, family size, number of rooms and running water in the house) and health related factors (recent febrile and non febrile illnesses, menstrual history, recent medicinal drug use, modern or traditional self-medication, main sources of information on health issues, home hygiene, etc.). The nutrition knowledge questionnaire was developed from earlier questionnaires (Gibson et al., 2003) and modelled on the methods of Guptill et al. (1993). It was administered using an open-ended format. The questionnaire included 17 questions covering the following 4 items of knowledge: iron deficiency anemia (4 questions); iron (3 questions); vitamin C (4 questions) and dietary strategies to improve iron status (6 questions). Specific criteria were used to determine positive scores for knowledge. Girls scored positively for knowledge if when asked, they were able to state independently the correct answers. For example, a positive score was given for sources of vitamin C if girls could state both, fruits and vegetables. Thus, the percentage of subjects with a positive score to each of the questions was compared between both groups.

Anthropometric measurements: Weight of participants was determined on an electronic load cell scale (Precision Health Scale, UC-300; A&D Company Limited, Japan). Height was measured with a movable bar and a steel tape mounted on a wall. All girls wore light clothing and had their shoes off. Body mass index (BMI) was calculated and was plotted on individual percentile charts developed by the National Centre for Health Statistics and the National Centre for Disease Prevention and Health Promotion (2002).

Hematological and biochemical measurements: An hematology analyzer (Sysmex KX-21; Sysmex Corporation; Kobe, Japan) was used for a full blood count analysis. An enzyme linked fluorescent assay (Vidas Ferritin, bioMérieux, France) was used to determine SF. Serum iron was measured without deproteinization using a commercial photometric test (Ferrimat-Kit; Biomérieux, France). After saturation of transferrin by the addition of iron, the same assay system was used for determination of TIBC. Transferrin saturation was calculated expressing the serum iron as a percent of the TIBC. Serum ferritin value <20ug/L is often used to indicate reduced iron stores. In the literature, cut-off values for serum ferritin that indicate depleted iron stores vary between <15 and 20 micrograms per liter (Patterson et al. 2001; Clark, 2008). Thus, serum ferritin values <20ug/L were used to indicate depleted iron stores as suggested in a recent paper from Clark (2008). SF, however, is an acute phase protein that increases with inflammation or infection disorders (Gibson, 2005). In an attempt to adjust for the observed high prevalence of malaria and other infection disorders, we also used a SF cut-off value between 20-50µg/L combined with two abnormal values in the following three biochemical parameters: SI<11µmol/L, TIBC>68µmol/L, TS<20%.

Malaria screening and stool examination: For malaria screening, the blood smears were stained with Giemsa buffer solution and the number of parasites was counted in relation to leukocytes. Parasite counts were converted to the number of parasites/µL whole blood.

Stool specimens were obtained from girls at the time of taking blood samples. A drop of lugol's solution was applied to the first half of the split sample, and isotonic solution to the second, in order to identify the presence of mature parasites, cysts or eggs. Subjects which had at least one stool sample in which an IPI was identified were classified as positive for

that parasite. The Kato-Katz technique for quantification of helminth infection was used and intensity of infection was expressed as eggs per gram of feces (epg).

Statistical analysis: Statistical analyses were performed using NCSS 2004 (NCSS, Kaysville, UT). Differences in socio-demographic characteristics between groups were determined using the chi-square test. The independent samples *t*-test (two-tailed) procedure was used to compare group means for iron status indicators. Serum ferritin had a skewed distribution; therefore, this value was log transformed for all statistical analysis. Comparisons of differences in knowledge (percentage) and of iron status indicators (means) within groups over time were assessed by the McNemar and paired *t* tests respectively.

Analyses of covariance (ANCOVA) were used to compare means of iron status indices between the 2 groups. Covariates studied were age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning food sources of vitamin C. Finally, logistic regression analyses were used to determine whether there were differences in anemia, ID, IDA, malaria and IPI prevalence between both groups (dependent variables). Logistic regressions were adjusted for age and baseline values cited above. Statistical significance was set at *P*-value < 0.05.

8.5 RESULTS

Baseline health and socio-demographic characteristics: Baseline socio-demographic characteristics of participants are presented in Table 8.2. Although the majority of parents in both groups were literate, a higher proportion of mothers from the intervention group had a secondary or university level compared to mothers from the control group (*P*=0.03). Moreover, in the intervention boarding school, more fathers had a university degree compared to fathers in the control boarding school (*P*=0.005).

Comparison of nutrition knowledge: There were no significant differences concerning nutrition knowledge between both groups at baseline. However, at the end of the study, intervention girls had greater knowledge on IDA, the role of iron and vitamin C, and on dietary strategies to decrease ID than control girls (Table 8.3).

Comparison of anthropometric measurements: There were no significant differences in the BMI between the intervention and the control groups (21.1 (SD=3.3) vs 21.5 (SD=3.5) kg/m²), after adjusting for age and baseline values (data not shown).

Iron status indicators: As showed in Table 8.4, baseline iron status indices were similar in both groups. After adjusting for age and baseline values, serum ferritin values changed over time in both groups: it increased by 4.7µg/L from baseline to the 26th week in the intervention group, while in the control group, SF decreased by 5.4µg/L. These differences were not significant within the groups. However, the SF was significantly higher in the intervention group compared to the control group (31.7 (SD=25.5) µg/L vs 18.8 (SD=15.5) µg/L; P=0.04) at the end of the study. There was a significant increase in Hb from baseline to the end of the study in the intervention group (112.3 g/L vs 122.5 g/L; P<0.001), but not in the control group (112.4 g/L vs 113.1 g/L; P>0.05). Significant differences were also observed for SI and TS in both groups and for TIBC in the intervention group at baseline and after 26 weeks.

As indicated in Table 8.5, iron status improved in both groups at the end of the study, but a much greater reduction was observed in the intervention group: 68% for anemia (P<0.001), 50% for ID (P<0.001) and 73% for IDA (P<0.001) compared to 15% (P>0.05), 32% (P<0.05) and 44% (P<0.001) respectively in the control group. At the end of the study, there was a significant difference in the prevalence of anemia (P<0.001) and IDA (P=0.04) but not for ID between the two groups, after controlling for age and baseline status.

Comparison of morbidity indicators: At baseline, the prevalence of malaria and parasitic infections was lower in the intervention adolescents compared to the control adolescents, although differences were not significant (Table 8.6). A lower prevalence was observed in both groups at 26 weeks, but no significant differences existed between the two groups, after controlling for age and baseline status.

TABLE 8.1: Dietary recommendations for menus in the intervention boarding school

<p>Increasing the intake of iron containing foods</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Double the quantity of beef served twice a week from approximately 10.1g (SD=3.1g) at baseline to 18.1g (SD=4g). 2. At baseline, chicken was served twice a week. One meal of chicken was replaced by liver between the 1st-6th week and the two meals between the 7th-22nd week (approximately 15g (SD=3.1g)). During this period, liver completely replaced chicken because of the fear of bird flu. 3. Replace one of the two servings of beans by lentils. 4. Addition of afitin* to crain-crain[†] or gombo[‡] four times a week. <p>Increasing the intake of foods known to enhance non heme iron absorption</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Add fruits (orange or pineapple) with meals that are rich in non heme iron (beans or lenses + fried tomato + gari[§]; maize-based paste + tomato-based sauce + crain-crain[†] + fish) and this, 4 times per week. 2. Add fish to composite dishes based on plant foods (spinach) and tomato-based sauces served once or twice a week at lunch time. Fish was also served every day at dinner time. 3. Preserve the vitamin C content of spinach by preparing it just a short time before serving. <p>Decreasing the intake of foods that contained factors known to inhibit non heme iron absorption</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Soak dried beans, and discard the soaking water before cooking. 2. Although this is not a common practice, adolescents were advised not to drink tea or coffee with lunch and dinner. <p>Modifying eating patterns to improve the quality of the diet</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Participants were also advised to consume boiled fish, as only fried fish was used. 2. For breakfast, participants were advised to add milk to the maize-based porridges (gbagba) to increase their calcium intake. Even though calcium is a potential inhibitor of non heme iron absorption; this advice did not compromise their non heme iron intake which was mainly distributed at lunch and dinner.
--

* Afitin: Beninese mustard base of nere product (*Parkia biglobosa*) and soya.† Crain-crain: *Corchorus olitorius*‡ Gombo: *Abelmoschus esculentus* L. Moench

§ Gari: Flour of manioc

TABLE 8.2: Baseline health and socio-economic characteristics for the intervention and control groups (%).

Variable	Intervention (n=34)	Control (n=34)	P*
Age (years)			
12 - 14	52.9	41.2	NS
15 - 17	47.1	58.8	
BMI (kg/m ²)			
Underweight (<5 th percentile)	2.9	11.8	NS
Normal (5 to <85 th percentile)	79.4	73.5	
Overweight (85 to <95 th percentile)	11.8	8.8	
Obese (≥95 th percentile)	5.9	5.9	
Use of supplements during the last month	11.8	11.8	NS
Religion			
Catholic	73.5	79.4	NS
Muslim	8.8	11.8	
Protestant	5.9	2.9	
Others [†]	11.8	5.9	
Mother's education			
Illiterate	3.2	23.5	0.03
Literate	96.8	76.5	
Primary	6.5	8.8	
Secondary	38.7	17.7	
University	16.1	2.9	
Not available	35.5	47.1	
Father's education			
Illiterate	2.9	14.7	0.005
Literate	97.1	85.3	
Primary	0.0	11.8	
Secondary	14.7	17.6	
University	44.1	8.8	
Not available	38.3	47.1	
Mother's occupation			
High-level non manual employees [‡]	8.8	5.9	NS
Medium level non manual employees [§]	17.7	20.6	
Manual workers	64.7	73.5	
Deceased	8.8	0.0	
Father's occupation			
High-level non manual employees [‡]	35.3	23.5	NS
Medium level non manual employees [§]	35.3	32.4	
Manual workers	26.5	35.3	
Deceased	2.9	8.8	
Household size			
≤ 5 persons	14.7	14.7	NS
> 5 persons	85.3	85.3	

Data are expressed as percentage (%).

* Comparison between groups using chi-square test. NS – not significant (P>0.05).

[†] Others: Eckankar, christianity and vaudou.

[‡] High-level non manual employees: business executives, doctors, engineers and university teachers.

[§] Medium level non manual employees: nurses, accountant and high school teachers.

^{||} Manual workers: vehicle mechanics, metal workers, construction workers and retailers.

Table 8.3: Comparison of baseline and post-intervention nutrition knowledge scores within the intervention and control groups

Nutrition knowledge	Intervention n=34			Control n=34		
	Baseline	Post-intervention	P*	Baseline	Post-intervention	P*
Iron deficiency anemia						
Definition of anemia	4 (11.8)	34 (100.0)	<0.001	11 (35.3)	14 (41.2)	NS
Definition of iron deficiency	4 (11.8)	34 (100.0)	<0.001	11 (35.3)	14 (41.2)	NS
Health consequences of iron deficiency	6 (17.7)	29 (85.3)	<0.001	0 (0.0)	5 (14.7)	NS
Risk groups of iron deficiency	2 (5.9)	33 (97.1)	<0.001	0 (0.0)	4 (11.8)	NS
Iron						
Importance of iron	3 (8.9)	25 (73.5)	<0.001	3 (8.3)	2 (5.9)	NS
Iron rich foods	6 (17.6)	32 (94.4)	<0.001	3 (8.3)	6 (17.6)	NS
Foods rich in available iron	0 (0.0)	25 (73.5)	<0.001	0 (0.0)	0 (0.0)	NS
Vitamin C						
Importance of vitamin C	16 (47.1)	31 (91.2)	<0.001	8 (23.5)	18 (8.3)	NS
Food sources of vitamin C	16 (47.1)	31 (91.2)	<0.05	8 (23.5)	18 (27.8)	NS
Methods to decrease the loss of vitamin C	3 (8.8)	25 (73.53)	<0.001	2 (5.9)	0 (0.0)	NS
Relationship between vitamin C and iron deficiency	2 (5.9)	27 (79.4)	<0.001	2 (5.9)	2 (5.9)	NS
Dietary strategies to improve iron status						
Increasing the intake of iron containing foods	5 (14.7)	33 (97.1)	<0.001	5 (14.7)	5 (14.7)	NS
Adding animal foods to composite dishes	0 (0.0)	33 (97.1)	<0.001	0 (0.0)	0 (0.0)	NS
Increasing the intake of vitamin C containing foods	6 (17.6)	20 (58.8)	<0.001	8 (23.5)	6 (17.6)	NS
Consumption of fruits/fruit juices with meals	0 (0.0)	20 (58.8)	<0.001	0 (0.0)	0 (0.0)	NS
Decreasing the intake of inhibitors of iron absorption [†]	4 (11.8)	15 (44.1)	<0.001	6 (17.6)	4 (11.8)	NS
Dietary diversification	2 (5.9)	18 (52.9)	<0.001	1 (2.9)	1 (2.9)	NS

Data are expressed as n (%).

*Within-group two-sided McNemar test of significance.

[†]Decreasing the intake of inhibitors of iron absorption by soaking and fermentation

TABLE 8.4: Values for iron status indicators in the intervention and control groups at baseline and post-intervention*

Indicators	Intervention (n=34)	Control (n=34)	P
Serum ferritin ($\mu\text{g/L}$)			
Baseline	27.0 (19.7)	24.2 (14.2)	NS
Post-intervention	31.7 (25.5)	18.8 (15.5)	0.04
Serum Iron ($\mu\text{mol/L}$) ^{†‡}			
Baseline	10.8 (4.2)	10.3 (3.3)	NS
Post-intervention	17.6 (5.7)	14.2 (3.6)	0.01
TIBC ($\mu\text{mol/L}$) [†]			
Baseline	75.3 (8.0)	74.3 (10.8)	NS
Post-intervention	70.3 (11.2)	71.7 (15.3)	NS
Transferrin saturation (%) ^{†‡}			
Baseline	14.3 (5.5)	14.2 (5.0)	NS
Post-intervention	25.5 (9.7)	21.0 (7.2)	NS
Haemoglobin (g/L) [†]			
Baseline	112.3 (4.2)	112.4 (4.4)	NS
Post-intervention	122.5 (7.4)	113.1 (7.9)	0.0002

TIBC: Total iron binding capacity. Data are expressed as means (standard deviation).

* At baseline, comparison between intervention and control groups using student t tests. After intervention, analyses of covariance (ANCOVA) were used to test statistical differences between study groups. Covariates studied were age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning food sources of vitamin C. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Based on Student t test paired in the intervention group $P < 0.05$.

[‡] Based on Student t test paired in the control group $P < 0.05$.

TABLE 8.5: Post-intervention prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia in the intervention and control groups*

	Intervention (n=34)	Control (n=34)	P
Anemia [†]			
Baseline	100	100	NS
Post- intervention	32.3	85.3	0.0003
Iron deficiency ^{‡ ¶}			
Baseline	100	100	NS
Post-intervention	50.0	67.6	NS
Iron deficiency anemia ^{§ ¶}			
Baseline	100	100	NS
Post-intervention	26.5	55.9	0.04

Data are expressed as percentage (%).

* In post-intervention, logistic regression analysis controlling for age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning the food sources of vitamin C was used to test for statistical differences between study groups where data from both groups were combined. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Anemia was defined as haemoglobin < 120 g/L.

[‡] Iron deficiency was defined as SF < 20 μ g/L or SF 20-50 μ g/L, plus two abnormal values in the following three biochemical parameters: SI < 11 μ mol/L, TIBC > 68 μ mol/L or TS < 20 %.

[§] Iron deficiency anemia was defined as iron deficient and Hb < 120 g/L.

^{||} Based on Mc Nemar tests in the intervention group $P < 0.0001$.

[¶] Based on Mc Nemar tests in the control group $P < 0.05$.

TABLE 8.6: Post-intervention prevalence of malaria and intestinal parasitic infections for the intervention and control groups*

	Baseline		P	Post-intervention		P
	Intervention n=34	Control n=34		Intervention n=34	Control n=34	
Malaria						
Prevalence of malaria (% infected)	53.0	76.5	NS	5.9	11.8	NS
Malaria parasites (no/ μ L blood (SD))	1647 (1232)	610 (466)		200 (0)	200 (0)	
Intestinal parasitic infections (IPI)						
Prevalence of IPI (% infected)	38.2	61.7	NS	17.6	23.5	NS
Polyparasitism [†]	5.9	5.9		5.9	5.9	
Helminth infection only	0	0		0	0	
Protozoan infection only [‡]	32.3	55.8		11.7	17.6	

At baseline, comparison between intervention and control groups using chi-square test. In post-intervention, logistic regression analysis controlling for age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning the food sources of vitamin C was used to test for statistical differences between study groups where data from both groups were combined. NS – not significant ($P>0.05$).

[†]Infection with two or more pathogenic and/or non-pathogenic parasites.

[‡]Protozoan infection: *Trichomonas intestinalis*; *Blastocystis hominis*; *Giardia intestinalis*; *Enteromonas intestinalis*; *Entamoeba histolytica*; *Chilomatix mesnili*; *Entamoeba coli*.

8.6 DISCUSSION

We found an important and significant reduction in the prevalence of anemia and IDA in the intervention group compared to the control group. Creed-Kanashiro et al. (2000), after an educational campaign combined with identifying and promoting best buys for iron, also observed after 9 months a reduction of 1.8% in the prevalence of anemia in the intervention girls compared to the controls. The dietary regimen also produced an increase in SF of 4.7 $\mu\text{g/L}$ and a significant increase in Hb of 10.2g/L in the intervention group, but not in the control group. Smaller increases in ferritin levels and Hb have been reported in non anemic menstruating women by Heath et al (2001) (3.7 $\mu\text{g/L}$; 0.6g/L after 16 weeks) and Patterson et al (2001) (6.3 $\mu\text{g/L}$; 3.2 g/L after 6 months). These studies were respectively based on individual dietary advice combined with an increased consumption of fruit juice and the use of a cast-iron fry pan when cooking tomato-based sauces or dietary interventions including a high-iron diet (recommended intake of absorbable iron of 2.25 mg for 12 weeks). The important improvement in the iron status of intervention girls in the present study can certainly be attributed to an increase in both the heme iron content of the diet and the bioavailability of non heme iron.

Single meal studies have shown that adding flesh foods to a basal meal that does not contain other absorption enhancers substantially improves non-heme iron absorption (Bach Kristensen et al, 2005; Reddy et al., 2006). Layrisse et al. (1974) also found that adding 66 mg of ascorbic acid (as pineapple) to 100 g of cooked maize resulted in an absorption rate for non-heme iron of 26.8%. A recent study by Cook and Reddy (2001) confirms the enhancing effect of both vitamin C and animal tissue on iron absorption from the complete diet. Interestingly, several of our dietary strategies focused on reducing the level of hexa- and penta- inositol phosphates, strong antagonists of non-heme iron absorption (Gibson and Hotz, 2001). Of these, the strategies that were most widely practiced, and probably the most effective, involved soaking and, to a lesser extent, fermenting maize before preparing it as beans or legumes or gbagba (maize based porridge). In this study, adoption of the phytate reduction strategies by the intervention boarding school most likely led to markedly

lower intakes of phytate. Unfortunately, the Canadian and Beninese nutrient file used in the present study did not contain values for phytates and polyphenols.

Also, marked improvement in nutrition knowledge in intervention girls after 26 weeks can have a positive effect on their behaviour and iron status. Indeed, large-scale educational interventions have been effective in changing the increasing dietary intake and improving child growth (Bhandari et al, 2004; Hotz and Gibson, 2005). However, compared to a community-based dietary intervention, a boarding school-based dietary intervention has facilitated the effect of the intervention on nutrition knowledge due to the fact that adolescents were educated and lived in the same location. During this intervention, more contact was with the intervention girls than with the control girls. But changes observed were not temporary because a visit to the intervention school three months after the end of the trial revealed that the cafeteria menu had not changed since its modification. Unfortunately, anthropometric measurements, blood and faecal samples could not be obtained at this time.

Three other etiological and critical factors may also have played a role in the reduction of anemia: malaria, IPI and nutritional status (Sackey et al, 2003; Gibson, 2004; Ringsted et al, 2006). Malaria and IPI were not important factors as the prevalence was similar in both groups. However, deficiencies of several nutrients such as vitamin B₁₂, folate, riboflavin, and vitamin A are known to play a role in erythropoiesis, and have been implicated in the etiology of anemia reported earlier in Benin (MI/UNICEF, 2006). Indeed, control girls consuming their habitual maize-based diets were at high risk of inadequate intakes for these nutrients. The increase of animal products, mainly meat and liver could have contributed to the lower incidence of anemia at 26 weeks in the intervention compared to the control group.

At the end of the study, iron status also improved in the control group where we found a reduction of 15% for anemia, 32% for ID and 44% for IDA, although only ID and IDA were significant. A significant increase in serum iron and % transferrin saturation was also observed. It is important to note that all participants in both boarding schools were treated initially with an anti-worm drug and anti-malaria drugs and the same anthelmintic drug

monthly thereafter and when necessary. Finally, questionnaires and results of the biochemical parameters could have captured girls' interest and improved their diet.

The present study is the first carried out in Benin that evaluated the impact of a multi-dietary strategy to treat IDA in adolescent girls. Therefore, the findings will be useful in other urban areas of Benin such as Ouémé and Atlantique departments where the same variety of iron and vitamin C rich foods is available. In addition, comprehensive and valid data collection methods allowed a greater improvement in the iron status of intervention girls. This is the first study conducted in Benin that used the framework developed in the Dietary References Intakes in order to plan school menus. The menu was modified to provide approximately the recommended intake of absorbable iron for adolescent girls (1.90 mg/day). Selection bias may be a potential limitation, because the present study is based on adolescent girls from a boarding school.

In conclusion, this study has demonstrated that this 26-week dietary intervention can greatly reduce mild iron deficiency anemia. The education campaign and materials used captured the girls' interest and motivated them to change their food habits and improve their health. In a management guide provided to medical practitioners by the WHO and MI/UNICEF, it was suggested that the best treatment strategy to reduce iron deficiency is dietary treatment, with additional iron supplementation for serious iron deficiency and iron deficiency anemia. This research provides evidence of the appropriateness of these recommendations.

8.7 REFERENCES

- Alaofè, H., J. Zee, and H. Turgeon O'Brien (2007). Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin: *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 55, 187-96.
- Bach Kristensen, M., O. Hels, C. Morberg, J. Marving, S. Bügel, and I. Tetens (2005). Pork meat increases iron absorption from a 5-day fully controlled diet when compared to a vegetarian diet with similar vitamin C and phytic acid content. *British Journal of Nutrition*, 94, 78-83.
- Bhandari, N., S. Mazumder, R. Bahl, J. Martines, R.E. Black, and M.K. Bhan (2004). Infant Feeding Study Group: An educational intervention to promote appropriate complementary feeding practices and physical growth in infants and young children in rural Haryana, India. *Journal of Nutrition*, 134, 2342-8.
- Bureau des Sciences de la Nutrition. Fichier canadien des éléments nutritifs (2006). Ministère de la Santé Nationale et du Bien-être Social, Ottawa.
- Cook, J.D., and M.B. Reddy (2001). Effect of ascorbic acid intake on nonheme iron absorption from a complete diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73, 93-8.
- Clark, S.F. (2008). Iron deficiency anemia. *Nutrition in Clinical Practice*, 23:128-41.
- Creed-Kanashiro, H.M., T.G. Uribe, R.M. Bartolini, M.N. Fukumoto, T.T. Lopez, N.M. Zavaleta, and M.E. Bentley (2000). Improving Dietary Intake to Prevent Anemia in Adolescent Girls through Community Kitchens in a Periurban Population of Lima, Peru. *Journal of Nutrition*, 130, S459-S61.
- Dickin, K., M. Griffiths, and E. Piwoz (1997). *Designing by Dialogue. A Program Planner's Guide to Consultative Research for Improving Young Child Feeding*. Washington, DC: Support for Analysis and Research in Africa, Academy for Educational Development.
- Gibson, R.S., and C. Hotz (2001). Dietary diversification/modification strategies to enhance micronutrient content and bioavailability of diets in developing countries. *British Journal of Nutrition*, 85, S159 - S66.
- Gibson, R.S., F. Yeudall, N. Drost, B.M. Mtitimuni, and TR Cullinan (2003). Experiences of a community-based dietary intervention to enhance micronutrient adequacy of diets low in animal source foods and high in phytate: a case study in rural Malawian children. *Journal of Nutrition*, 133, S3992-S9.
- Gibson, R.S. (2004). Strategies for preventing micronutrient deficiencies in developing countries. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 13, S23.

Gibson, R.S. (2005). *Principles of Nutritional Assessment*. New York: Oxford University Press. 349 p.

Guptill, K.S., S.A. Esrey, G.A. Oni, and K.H. Brown (1993). Evaluation of a face-to-face weaning food intervention in Kwara state, Nigeria: knowledge, trial and adoption of a home-prepared weaning food. *Social Science and Medicine*, 36, 665–72.

Heath, A.L., C.M. Skeaff, S.M. O'Brien, S.M. Williams, and R.S. Gibson (2001). Can dietary treatment of non-anemic iron deficiency improve iron status? *Journal of the American College of Nutrition*, 20, 477-84.

Hercberg, S., M. Chauliac, P. Galan, M. Devanlay, I. Zohoun, Y. Agboton, Y. Soustre, B. Auvert, A. M. Masse-Raimbault, and H. Dupin (1988). Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health*, 102, 73-83.

Hercberg, S., P. Galan, M. Chauliac, A.M. Masse-Raimbault, M. Devanlay, S. Bileoma, E. Alihonou, I. Zohoun, J.P. Christides, and G. Potier de Courcy (1987). Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *British Journal of Nutrition*, 57, 185-93.

Hotz, C., and R.S. Gibson (2005). Participatory nutrition education and adoption of new feeding practices are associated with improved adequacy of complementary diets among rural Malawian children: a pilot study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59, 226-37.

IOM (Institute of Medicine), Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board (2003). *Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Planning*, Washington, DC: National Academy Press.

Kara, B., S. Cal, A. Aydogan, and N. Sarper (2006). The prevalence of anemia in adolescents: A study from Turkey. *Journal of Pediatric Hematology Oncology*, 28, 316–21.

Keskin, Y., G. Moschonis, M. Dimitriou, H. Sur, B. Kocaoglu, O. Hayran, and Y. Manios (2005): Prevalence of iron deficiency among schoolchildren of different socio-economic status in urban Turkey. *Eur. J. Clin. Nutr.* 59, 64–71.

Khoshnevisan, F., M. Kimiagar, N. Kalantaree, N. Valaee, and N. Shaheedee (2004). Effect of nutrition education and diet modification in iron depleted preschool children in nurseries in Tehran: a pilot study. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 74, 264-8.

Layrisse, M., C. Martínez-Torres, and M. Gonzalez M (1974). Measurement of the total daily dietary iron absorption by the extrinsic tag model. *American Journal of Clinical Nutrition*, 27, 152–162.

MI/UNICEF. Benin: Vitamin and mineral deficiency status and actions. In: Vitamin and mineral deficiency: a global assessment. Version current 23 March 2004. Internet: <http://www.micronutrient.org/reports/> (accessed 10 January 2006).

National Center for Health Statistics (2002), 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital and Health Statistics*, 11. 246, 1-190.

Pagana, K.D., and T.J. Pagana (2002). *Biomerieux's Manual of Diagnostic and Laboratory Tests*. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc.

Patterson A.J., W.J. Brown, D.C. Roberts, and M.R. Seldon (2001). Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 650-6.

Pena-Rosas, J., and F. Viteri (2006). Effects of routine oral iron supplementation with or without folic acid for women during pregnancy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3, CD004736.

Reddy M.B., R.F. Hurrell, and J.D. Cook (2006). Meat consumption in a varied diet marginally influences nonheme iron absorption in normal individuals. *Journal of Nutrition*, 136, 576-81.

Ringsted F.M., I.C. Bygbjerg, and H. Samuelsen (2006). Early home-based recognition of anaemia via general danger signs, in young children, in a malaria endemic community in north-east Tanzania. *Malaria Journal*, 5, 111.

Sackey, M.E., M.M. Weigel, and R.X. Armijos (2003). Predictors and nutritional consequences of intestinal parasitic infections in rural Ecuadorian children. *Journal of Tropical Pediatrics*, 49, 17-23.

Yeudall F., R.S. Gibson, C. Kayira, and E. Umar (2002). Efficacy of a multi-micronutrient dietary intervention based on haemoglobin, hair zinc concentrations, and selected functional outcomes in rural Malawian children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 1176-85.

Chapitre 9

Improving absorbable iron intakes through a multidietary strategy to treat mild iron deficiency anemia in adolescent girls from two boarding schools in southern Benin.

Le neuvième chapitre présente le texte intégral d'un article qui a été soumis dans *Food and Nutrition Bulletin*. Les auteurs sont Halimatou Alaofè, John Zee, Romain Dossa et Huguette Turgeon-O'Brien. Cet article traite de l'impact de l'intervention nutritionnelle sur les apports alimentaires, le niveau de connaissances nutritionnelles et l'état nutritionnel en fer des 34 adolescentes du groupe d'intervention comparativement aux 34 adolescentes du groupe témoin.

9.1 RÉSUMÉ

Contexte: À notre connaissance, l'impact d'une éducation nutritionnelle combinée à une augmentation des apports et de la biodisponibilité du fer alimentaire dans le traitement de l'anémie ferriprive n'a jamais été étudié au Bénin.

Objectif: Évaluer l'impact d'une intervention nutritionnelle visant à réduire l'anémie ferriprive chez 68 adolescentes Béninoises âgées de 12 à 17 ans: 34 filles constituaient le groupe d'intervention et 34 autres filles formaient le groupe témoin.

Méthodologie: Un devis quasi-expérimental comprenant 4 semaines d'éducation nutritionnelle combinée à une augmentation des apports et de la biodisponibilité du fer alimentaire pendant 22 semaines a été implémenté dans l'école d'intervention, mais non dans l'école témoin. Un questionnaire de connaissances nutritionnelles, des rappels alimentaires de 24 et 48-h, des mesures anthropométriques, des indicateurs du statut en fer, des tests de dépistage des parasitoses intestinales et du paludisme ont été effectués chez les deux groupes.

Résultats: Les scores de connaissances nutritionnelles et les apports moyens en nutriments incluant le fer et la vitamine C étaient plus élevés dans le groupe d'intervention ($p < 0.05$) comparativement au groupe témoin après 26 semaines. Également, les taux moyens d'hémoglobine et de ferritine sérique étaient plus élevés (122 vs. 113g/L; $p = 0.0002$; 32 vs. 19 μ g/L; $p = 0.04$) dans le groupe d'intervention, alors que l'incidence de l'anémie (32 vs 85%; $p = 0.005$) et de l'anémie ferriprive (26 vs. 56%; $p = 0.04$) était significativement plus faible. Aucune différence significative n'a été observée dans les infections parasitaires intestinales et dans le paludisme entre les deux groupes en post-intervention.

Conclusion: À notre connaissance, cette étude est la première à démontrer chez des adolescentes qu'une intervention alimentaire, combinée à un programme d'éducation en nutrition, peut réduire l'anémie ferriprive.

9.2 ABSTRACT

Background: To our knowledge, the impact of a nutrition education program combined with an increase in bioavailable dietary iron to treat iron deficiency anemia (IDA) has never been studied in Benin.

Objective: To evaluate the impact of an intensive dietary program for the treatment of IDA in 34 intervention and 34 control boarding girls aged 12 to 17 years from Benin.

Methods: A quasi-experimental design comprising 4 weeks of nutrition education combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron for 22 weeks was implemented in the intervention school, but not in the control school. A nutrition knowledge questionnaire, 24 and 48-h dietary recalls, anthropometric measurements, iron status indices and screening for malarial and intestinal parasitic infections (IPI) were obtained in both groups.

Results: Nutrition knowledge scores and mean intakes of nutrients including dietary iron, absorbable iron and vitamin C were higher in the intervention group ($p < 0.05$) compared to the control group after 26 weeks. Also, mean hemoglobin and serum ferritin values were higher (122 vs. 113g/L; $p = 0.0002$; 32 vs. 19 μ g/L; $p = 0.04$) in the intervention group, whereas the incidence of anemia (32 vs 85%; $p = 0.005$) and IDA (26 vs. 56%; $p = 0.04$) was significantly lower. No significant differences were observed in IPI and malaria status between both groups in post-intervention.

Conclusion: This study is the first, to our knowledge, to demonstrate in adolescent girls that a multi-dietary strategy aiming to improve available dietary iron can reduce iron deficiency anemia.

9.3 INTRODUCTION

Iron deficiency anemia (IDA) is the most common nutritional deficiency in the world, especially among women of reproductive age in developing countries [1]. In adolescent girls, it is associated with reduced physical endurance, impaired immune response and decreased cognitive performance [2, 3]. Thus, the scale and magnitude of iron deficiency anemia combined with the functional impact such deficiency has on the quality of life, both physiologically and socio-economically, require the urgent adoption of known and effective measures to tackle this critical problem [4].

Like many developing countries, Benin is no exception; overall, the prevalence of iron deficiency (ID) has been estimated between 34-41% among menstruating women aged 23-40 years [5, 6]. A recent MI/UNICEF report [7] indicated a prevalence of IDA of 65% in Beninese women aged 15-49 years. Inadequate iron intakes are also widespread because staple diets are usually monotonous and contain predominantly cereals (maize) and/or roots (cassava) accompanied by small quantities of meat, fish and fruits [8, 9]. Moreover, Alaofè et al. [10] found that absorbable iron intakes were highly and positively associated with haemoglobin concentrations in a group of 100 adolescent girls. This is in agreement with Vitolo and Bortolini [11] who found among Brazillian children aged 12 to 16 months that a diet with high iron bioavailability protects from anemia.

Improving the diet has advantages over other strategies for reducing iron deficiency in relation to compliance, long-term acceptability, cost-effectiveness, risk of iron overload and a beneficial effect on the iron intake of families [4, 12]. It can be used to alleviate several micronutrient deficiencies simultaneously, without the risk of antagonistic interactions; however it is often criticized because it is considered too difficult to apply or because it is a long-term strategy [4, 12]. But, a high-iron diet combined with dietary counselling has the potential for improving the iron status of women. However, to our knowledge, only three studies have been carried out in menstruating women, one in adolescent girls by Creed-Kanashiro et al. in Peru (n = 65) [13], and two in adult women, one by Heath et al. in New Zealand (n = 22) [14], and one by Patterson et al. in Australia (n = 22) [15]. Thus, studies showing the impact of dietary modification and diversification, which simultaneously

enhance the content and bioavailability of dietary iron are required urgently. Therefore, the aim of this study was to assess the impact of a multi-dietary strategy combining nutrition education and an increase in the content and bioavailability of dietary iron to treat IDA in 34 adolescent boarding school girls from Benin compared with 34 control adolescent girls.

9.4 SUBJECTS AND METHODS

Subjects: This study was carried out in two boarding schools from South Benin, namely Lycée Toffa 1er of Porto-Novo (intervention group) and CEG1 Bertand Dagnon of Ouidah (control group). Both schools were not randomly chosen but selected among six boarding schools located in six different departments in Benin. These schools were about 30 minutes away from the only analysis laboratory that performed all blood measures needed, while the other boarding schools were at least 2 hours away. Lycée Toffa 1er of Porto-Novo was chosen as the intervention school because a previous study at this school made it easier for the administrative personnel to rapidly accept this multi-dietary strategy [10], These two schools were characterised by the similarity of cafeterias' menus and supply of local foods and are 70 kilometers apart from each other which prevented contamination of education messages.

Eligibility criteria for inclusion in the study were as follows: aged 12-17 years, no major illnesses, non pregnant, regular menstruation and the presence of mild iron deficiency anemia (IDA). Iron deficiency (ID) was defined as either a serum ferritin (SF) $<20\mu\text{g/L}$ or SF $20\text{-}50\mu\text{g/L}$ plus two abnormal values among the three following parameters: serum iron (SI) $<11\mu\text{mol/L}$, total iron binding capacity (TIBC) $>68\mu\text{mol/L}$ or transferrin saturation (TS) $<20\%$. Mild IDA corresponded to iron deficiency plus a hemoglobin (Hb) level between $100\text{-}120\text{g/L}$ [15-16].

Blood samples were obtained at baseline from 180 girls aged 12-17 years: 80 girls in the intervention school and 100 girls in the control school. Thirty-four girls in the intervention school met the criteria mentioned above and 40 girls in the control school. Two control girls were eliminated during the study (between the 9th-11th week) because their Hb level decreased below 100g/L , while four other girls were eliminated at random at the end of the

study to obtain an equal number of participants in both groups. Indeed, thirty-two girls were required in each boarding school to achieve statistically significant differences in the prevalence of IDA between groups with a power of 80%, $\alpha = 0.05$ [13]. Participants were requested not to take iron and vitamin C supplements during the study or to donate blood.

Study Design: This study was conducted using a quasi-experimental design. Each adolescent girl was interviewed by the first author using a standardized and pre-tested questionnaire in 20 adolescent girls from a third school (CEG Djassin). Anthropometric measurements, blood and faecal samples were also taken. After confirmation of iron status, a baseline dietary assessment using one 48-h recall was obtained from each participant in both groups. A multi-dietary strategy which included 4 nutrition education lessons dispensed over a 4-week period combined with an increase in the content and bioavailability of dietary iron in the cafeteria menu for 22 weeks was implemented in the intervention school, but not in the control school. All measurements mentioned above were repeated at the end of the 22-week period in both boarding schools, while an additional blood test was performed between the 9th – 11th week in the control group to eliminate girls with a Hb level <100g/L. Also, one 24-hour dietary recall was performed between the 5th – 6th, the 10th – 11th and the 15th – 16th week during the 22-week improvement of the menu in the intervention school while one 24-hour recall was obtained between the 9th and 11th week in the control group. Finally, one 48-hour recall was obtained in both groups at the end of the trial.

All participants in both boarding schools were treated initially with an anti-worm drug called Vermox® (Mebendazole) and anti-malaria drugs called Chloroquine®, Fansida® or Arinate®. Also, boarding schools gave adolescent girls the same anthelmintic drug (Vermox® (Mebendazole)) monthly thereafter and when new infections occurred during the intervention. Adolescent girls who were not selected to participate in the study, but diagnosed with iron deficiency anemia (IDA) (n = 8), IPI (n = 56) or malaria (n = 74), received the appropriate treatment. Control adolescent girls received the nutrition education lessons at the end of the 22-week period. An informed written consent was obtained from both parents in order for their child to participate in the study. Approval was obtained from

the Ethical Committee of Laval University and the Departmental Direction of the Primary and Secondary education of the concerned departments in Benin.

Improvement of the menu in the intervention boarding school: A formative research was conducted and described elsewhere; its goal was to collect information that was used to develop this intervention program (Alaofè et al. Submitted to *J Nutr Educ Behav*, 2008). To determine the target median intake of absorbable iron, we used the framework developed in the Dietary References intakes [17]. We chose a 10% prevalence of inadequacy instead of 25, 50, 75 and 95% as an acceptable planning goal because of the negative consequences of iron deficiency anemia in adolescent girls. This means that we accept that 10% of the intervention adolescent girls will have usual available iron intakes less than the Estimated Average Requirement (EAR). This prevalence of inadequacy was realistic for Benin. Then, we determined the target usual nutrient intake distribution from data on the distribution of usual dietary intakes of bioavailable iron in 100 Beninese adolescent girls [10]. The difference between the Estimated Average Requirement (EAR) of 1.5 mg/day and the observed intake at the 10th percentile (0.79 mg/day) was 0.71 mg of absorbable iron. Thus, the median of the current intake distribution was shifted up by 0.71 mg, so the target median intake of absorbable iron was 1.86 mg/day.

As breakfast always consisted of maize pap, bread with milk chicory and sugar, the target median intake rounded up to 1.90 mg per day was distributed between lunch and dinner. The midday meal contained rice with sardines, fried mackerel or meat and was usually eaten with tomato sauce or cooked with tomato paste (spicy rice) or beans (atassi). The most common side dishes available were beans with cassava flour (gari), spicy maize patties (amiwo) with tomato sauce and poultry or spicy spaghetti with fried mackerel or beef. Dinner often consisted of maize patties (wo, akassa) accompanied by a spicy sauce or vegetable (okra, crain-crain, spinach) and fried mackerel, while rice was served with tomato sauce and sardines or fried mackerel. Fruits were not offered. Dietary modifications are presented elsewhere (Alaofè et al. Submitted to *Ecol Food Nutr*, 2008). Briefly, iron containing foods (beef, liver, poultry and lentils) and foods known to enhance non heme iron absorption (fish and fruits) were increased while foods known to inhibit non heme iron absorption (coffee) were decreased. Also, food preparation techniques such as soaking of

dried beans and avoiding the loss of vitamin C were established. Finally, modification of eating patterns was proposed to improve the quality of the diet. The ultimate goal of the study was to increase the meal content of absorbable iron at the lowest cost possible and if additional costs were encountered, they would be assumed by the school.

Nutrition education: Four nutrition education lessons lasting approximately one hour each were dispensed to the intervention group during a 4-week period before dietary intervention. Subjects' dietary practices, common eating problems, and local foods that were inexpensive and rich in iron and/or vitamin C were identified and used to develop the nutrition education lessons. One food sciences and technology engineer and two teachers gave their advice on the best way to administer the following four lessons: 1. Functions of iron, prevalence of iron deficiency and symptoms; 2. Main sources of iron and definition of food iron bioavailability; 3. Dietary strategies to improve iron status; 4. Motivating session to encourage girls to adopt a balanced diet rich in iron. At the end of each lesson, an easy nutrition knowledge quiz was administered to participants divided in small groups (4-5 girls) in order to verify the comprehension of the different nutrition concepts taught during the lessons. The nutrition quiz was followed by a discussion period and the attribution of small gifts such as pens, pencils, erasers, books, bags, key-holders, photo albums, alarm clocks which served as motivation items.

Following baseline measurements and the 4-week nutrition education program, three follow-up interviews were carried out with each adolescent in the intervention boarding school during the 22-week period: between the 5th – 6th week, the 10th – 11th week and the 15th – 16th week. These individual interviews were modelled on the Trials for Improved Practices methodology [18] and were conducted by the first author. During these interviews, one 24-hour dietary recall was obtained from each adolescent who was encouraged to improve her food habits. From one to three recommendations were given to the adolescent and these changes were reviewed and discussed with her in order to reach an agreement. At the following interview, each participant was questioned to verify if the agreed-upon practices were implemented between the interviews.

General and nutrition knowledge questionnaires: The following health and socio-economic characteristics of participants were determined using a pre-tested questionnaire: age, body mass index (BMI), use of supplements during the last month before the study, religion, main occupation and level of education of parents and household size. The nutrition knowledge questionnaire was developed from earlier questionnaires [19] and modelled on the methods of Guptill et al. [20]. It was administered using an open-ended format. The questionnaire included 17 questions covering the following 4 items of knowledge: iron deficiency anemia (4 questions); iron (3 questions); vitamin C (4 questions) and dietary strategies to improve iron status (6 questions). Girls scored positively for knowledge if when asked, they were able to state independently the correct answers. For example, a positive score was given for sources of vitamin C if girls could state both, fruits and vegetables. Thus, the percentage of subjects with a positive score to each of the questions was compared between both groups.

Dietary assessment: The validated multiple-pass method was used to reduce memory bias [21]. Most of the foods consumed during breakfast, lunch and dinner were weighed immediately before each meal, in addition to being inventoried during the 24-hour recalls. Furthermore, the majority of the main dishes consumed were also prepared by the first author, which made it possible to estimate with greater precision the composition of the dishes and portion sizes. Food models, portion size models and photographs of foods were used during the interviews to assist the subjects in better quantifying their food intake. Several containers (spoons, glasses, cups, dishes) were also available.

Energy and nutrient intakes were calculated using the Nutrifiq software based on the Canadian Nutrient File [22], the DANA-INFRE food composition table used in Benin [23] and other unpublished African data. Benin does not have a national food composition table and foreign food composition tables currently in use in the country have several limitations [8]. A total of 17 Beninese foods were added to Nutrifiq software and 50% didn't have values for zinc, vitamin B₁₂ and folate (akassa, aloko, atassi, crain-crain, wagasi, gari, kluiklui, néré, yovo-doco). In both groups, the mean intakes at baseline and at the end of the 26-week period represented the average of the two 48-hour recalls at each time period. Also, as mentioned earlier, one 24-hour recall was obtained between the 9th-11th week in

the control group while in the intervention group, we averaged the three 24-hour recalls obtained respectively between the 5th-6th week, the 10th-11 week and the 15th and 16th.

Finally, bioavailable dietary iron was calculated using the model of Monsen et al. [24] which utilizes only enhancing factors of meat-fish-poultry (MFP) and vitamin C. Indeed, Beard et al. [25] determined the predicted efficiency of iron absorption from each of the published bioavailability algorithms (Monsen, Hallberg, Reddy, Tseng, Barghava, and Du) in religious sisters living in ten convents around metropolitan Manila. Although none of these equations approximated the 17.2% computed iron absorption based on improvement in serum ferritin, inhibitory factors in the prediction equations either had little effect or had too large of an effect on apparent iron bioavailability. As indicated by Beard et al. [25], the median efficiency of the Monsen and Balintfy model (7.92%) was similar to the equation of Reddy et al. (6.42%), and to the most complex of the algorithms, that of Hallberg and Hulthen (6.88%) which predicts iron bioavailability using 9 different variables (alcohol, ascorbic acid, calcium, coffee/tea, eggs, MFP, phytate, polyphenols, and soy protein). When using Monsen's method [24], we assumed iron stores of 250 mg because the iron status selected as a basis for calculating the Estimated Average Requirement (EAR) corresponds to a serum ferritin concentration of 15 µg/L [26]. In normal adults, a serum ferritin concentration of 1 µg/L is equivalent to approximately 10 mg of storage iron [27], or 150 mg, which is closer to the 250 mg level than to 0 mg. Food items consumed ≥ 20 min apart constituted separate meals [15] and individual meal values for bioavailable iron were estimated using the Nutrifiq software and summed for each day.

Energy and nutrient adequacy: The estimation of inadequate intakes of energy and nutrients was carried out using the Dietary Reference Intakes [26, 28-31]. The average dietary energy intake was compared to the Estimated Energy Requirement (EER) while the Estimated Average Requirements (EARs) were used to assess the prevalence of inadequate intakes for carbohydrates, protein, calcium, zinc, vitamins A, B₁₂, C and folate. Finally, the percentage of adolescent girls who had dietary iron intake and absorbable dietary iron intake lower than the recommended intakes were determined using the probability approach with the SAS software, following the suggestions of the Dietary Reference Intakes [26].

Anthropometric measurements: Weight of participants was determined on an electronic load cell scale (Precision Health Scale, UC-300; A&D Company Limited, Japan). Height was measured with a movable bar and a steel tape mounted on a wall. All girls wore light clothing and had their shoes off. Body mass index (BMI) was calculated and was plotted on individual percentile charts developed by the National Centre for Health Statistics and the National Centre for Disease Prevention and Health Promotion [32].

Hematological and biochemical measurements: The full blood count was determined by means of a hematology analyzer (Sysmex KX-21; Sysmex Corporation; Kobe, Japan). An enzyme linked fluorescent assay (Vidas Ferritin, bioMérieux, France) was used to determine serum ferritin (SF). Serum iron was measured without deproteinization using a commercial photometric test (Ferrimat-Kit; Biomérieux, France). After saturation of transferrin by the addition of iron, the same assay system was used for the determination of TIBC. Transferrin saturation was calculated expressing serum iron as a percent of TIBC. Serum ferritin value $< 20\mu\text{g/L}$ is often used to indicate reduced iron stores. In the literature, cut-off values for serum ferritin that indicate depleted iron stores vary between < 15 and $20\text{--}50\mu\text{g/L}$ [15, 33]. Thus, serum ferritin values $< 20\mu\text{g/L}$ were used to indicate depleted iron stores as suggested in a recent paper from Clark [33]. SF, however, is an acute phase protein that increases with inflammation or infection disorders [27]. In an attempt to adjust for the observed high prevalence of malaria and other infection disorders, we also used a SF cut-off value between $20\text{--}50\mu\text{g/L}$ combined with two abnormal values in the following three biochemical parameters: $\text{SI} < 11\mu\text{mol/L}$, $\text{TIBC} > 68\mu\text{mol/L}$, $\text{TS} < 20\%$.

Malaria screening and stool examination: For malaria screening, the blood smears were stained with Giemsa buffer solution and the number of parasites was counted in relation to leukocytes. Parasite counts were converted to the number of parasites/ μL whole blood. Stool specimens were obtained from girls at the time of taking blood samples. A drop of lugol's solution was applied to the first half of the split sample and isotonic solution to the second in order to identify the presence of mature parasites, cysts or eggs. Subjects with at least one stool sample in which an intestinal parasitic infection (IPI) was identified, were classified as positive for that parasite. The Kato-Katz technique for quantification of

helminth infection was used and intensity of infection was expressed as eggs per gram of feces (epg).

Statistical analysis: Statistical analyses were performed using NCSS 2004 (NCSS, Kaysville, UT) and SAS software [34]. Differences in socio-demographic characteristics and percentages of subjects with iron status indicators below the cut-off values between the two groups were determined using the chi-square tests. The independent samples *t*-test (two-tailed) procedure was used to compare group means for iron status indicators. A two way analysis of variance with repeated measures was used to study the effect of the factor group (intervention vs control) on the evolution of each nutrient. The repeated factor was the period. The linear mixed procedure of the SAS program [34] was used with a repeated statement and the covariance structure that minimize the Akaike criterion. When the normality and the homogeneity of the variance assumptions were not met, the logarithmic or square transformations were used. Pairwise comparisons were made using Fisher's LSD (least significant difference) protected. Serum ferritin had a skewed distribution; therefore, this value was log transformed for all statistical calculations. Comparison of differences in knowledge scores and percentages of subjects with iron status indicators below the cut-off values between the two groups was assessed by the McNemar test. Means for iron status indicators within groups over time were assessed by paired *t* tests. Analyses of covariance (ANCOVA) were used to compare means of iron status indices between the 2 groups. Covariates studied were age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning food sources of vitamin C. Finally, logistic regression analyses were used to determine whether there were differences in anemia, ID, IDA, malaria and IPI between both groups (dependent variables). Logistic regressions were adjusted for age and baseline values cited above. Statistical significance was set at p -value < 0.05.

9.5 RESULTS

Baseline health and socio-demographic characteristics: Baseline results revealed no significant differences between the intervention and control groups for age, BMI, use of supplements during the last month, religion, parents' occupation and household size. Although the majority of parents in both groups were literate, a higher proportion of

mothers from the intervention group had a secondary or university level compared to mothers from the control group ($p = 0.03$). Moreover, in the intervention boarding school, more fathers had a university degree compared to fathers in the control boarding school ($p = 0.005$) (data not reported).

Comparison of dietary intakes: The results of repeated-measures ANOVA procedure showed significant group-by-time interactions for iron (dietary iron, heme iron, non heme iron, absorbable iron) and vitamin C intakes between both groups. Also, significant time effects were observed for dietary iron, non-heme iron, heme iron, and vitamin C intakes within the intervention group, but not within the control group (Table 9.1). Indeed, dietary iron in the intervention group improved over time: it increased by 3.4 mg from baseline to mid intervention and by 1.6 mg until the end of the study. In the control group, dietary iron decreased by 1.4 mg from baseline to mid intervention, but then increased by 2.7 mg until the end of the trial, although the interaction time effect was not significant (Figure 9.1). Similar results were observed for non heme iron, heme iron and vitamin C (Table 9.1). On the contrary, a significant time effect was observed within both groups for absorbable iron intakes (Table 9.1). In the intervention group, absorbable iron increased by 0.6 mg from baseline to mid-intervention, but then remained stable until the end of the study. In the control group, absorbable iron decreased by 0.1 mg until mid intervention and then increased by 0.3 mg until the end of the study (Figure 9.2). Although there were no significant differences in iron (dietary iron, non heme iron and heme iron) and vitamin C intakes between both groups at baseline, levels were significantly higher in the intervention group compared to the control group during the intervention and in post-intervention ($p < 0.05$) (Table 9.1).

As shown in table 9.2, significant group-by-time interactions were observed between both groups for energy and all the nutrients including vitamin A which showed borderline significance ($p = 0.057$). There were significant time effects within both groups for energy, carbohydrate, protein, vitamin A, vitamin B₁₂ and folate intakes. Also, significant time effects were observed for fat, calcium and zinc intakes in the intervention group, but not in the control group. Finally, at baseline, intakes of zinc and vitamin B₁₂ were significantly more elevated in the control group than in the intervention group, while no significant

differences were observed at baseline between both groups for all the other nutrients. At mid and post-intervention, there were significant differences in energy, carbohydrate, protein, calcium and vitamin B₁₂ intakes between these two groups, while fat intakes were only significantly different at mid-intervention and folate in post-intervention. As mentioned above, zinc intake was significantly higher at baseline in the control group, but although it increased in the intervention group during the study, levels were similar between both groups throughout the study.

The intervention adolescents had a lower risk of inadequate intakes of iron and vitamin C at the end of the study: 1% for dietary iron, 31% for absorbable iron and 6% for vitamin C compared to 8%, 60% and 32% respectively in the control group. Finally, there were no significant differences between both groups in inadequate intakes of energy, carbohydrate, protein, zinc and vitamin A at the end of the study. However, we detected a significant reduction in the prevalence of inadequate intakes of vitamin B₁₂ and folate in the intervention group ($p < 0.05$) compared with the control group (data not reported).

Comparison of nutrition knowledge: There were no significant differences concerning nutrition knowledge between both groups at baseline ($p > 0.05$) (figure 9.3). However, at the end of the study, intervention girls had a greater knowledge of anemia (100 vs 41%, $p < 0.001$), importance of iron (73 vs 6%, $p < 0.001$) and vitamin C (91 vs 28%, $p < 0.001$), iron rich foods (94 vs 18%, $p < 0.001$) and food sources of vitamin C (91 vs 28%, $p < 0.001$), and of dietary strategies to decrease ID (76 vs 12%, $p < 0.001$) than control girls.

Comparison of anthropometric measurements: There were no significant differences in the BMI between the intervention and control group (21.1 (SD = 3.3) vs 21.5 (SD = 3.5) kg/m²), after adjusting for age and baseline values at the end of study (data not reported).

Iron status indicators: Baseline iron status indices were similar in both groups. Serum ferritin values changed over time in both groups: it increased by 4.7µg/L from baseline to the end of the trial in the intervention group, while in the control group, SF decreased by 5.4µg/L, although these differences were not significant within groups. However, at the end of the study, after adjusting for age and baseline values, SF was significantly higher in the

intervention group compared to the control group (31.7 (SD = 25.5) $\mu\text{g/L}$ vs 18.8 (SD = 15.5) $\mu\text{g/L}$; $p = 0.04$). Finally, there was a significant increase in Hb from baseline to the end of the study in the intervention group (112.3 g/L vs 122.5 g/L; $p < 0.001$), but not in the control group (112.4 g/L vs 113.1 g/L; $p > 0.05$) (data not reported).

Baseline prevalence of low concentrations of iron status indicators was similar in both groups, except for TIBC which was significantly higher in the intervention group indicating a poorer iron status (Table 9.3). Also, SF values changed over time in both groups, but the pattern of change differed between groups. Indeed, abnormal SF decreased by 3% from baseline to the end of the trial in the intervention group ($p > 0.05$), while in the control group, it increased by 21% ($p = 0.09$) during the same period. Abnormal SI and TS values decreased significantly in both groups during the trial while high TIBC values significantly decreased in the intervention group, but increased in the control group, although not significantly. The prevalence of abnormal haemoglobin values fell significantly in the intervention group (100% vs 32%; $p < 0.001$) compared with a non significant decrease in the control group (100% vs 85%; $p > 0.05$). Thus, the prevalence of anemia was more than two and a half times lower in the intervention group than in the control group ($p = 0.003$) at the end of the trial.

At baseline, 100% of subjects in both groups suffered from anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia. As shown in Figure 9.4, anemia and iron status improved within both groups during the trial, but a much greater improvement was observed in the intervention group: 68% for anemia, 50% for ID and 74% for IDA compared to 15%, 32% and 44% respectively in the control group. Finally, there was a significant difference in the prevalence of anemia and IDA, but not for ID between the two groups at the end of the trial, after controlling for age and baseline status.

Comparison of morbidity indicators: At baseline, no significant difference in the prevalence of malaria (53% vs 76%, $p > 0.05$) and parasitic infections (38% vs 62%, $p > 0.05$) were found between the intervention adolescents compared to the control adolescents. At 26 weeks, a lower incidence was observed in both groups (6% vs 12%, $p > 0.05$) for

malaria and for parasitic infections (18% vs 23%, $p > 0.05$), but no significant differences existed between the groups, after controlling for age and baseline status (data not reported).

TABLE 9.1. Average daily intakes of dietary iron, absorbable iron and vitamin C at baseline, during and post-intervention*

Dietary intake	Intervention (n=34)	Control (n=34)
Dietary iron (mg) ^{††}		
Baseline	18.2 ± 5.0	17.0 ± 3.6
During intervention	21.6 ± 5.4 ^a	15.6 ± 6.8 ^b
Post-intervention	23.2 ± 4.5 ^a	18.3 ± 5.9 ^b
Non-heme iron (mg) ^{††}		
Baseline	17.6 ± 4.9	16.5 ± 3.5
During intervention	20.8 ± 5.4 ^a	15.1 ± 6.7 ^b
Post-intervention	21.7 ± 4.8 ^a	17.7 ± 5.8 ^b
Heme iron (mg) ^{††}		
Baseline	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2
During intervention	0.8 ± 0.2 ^a	0.5 ± 0.3 ^b
Post- intervention	0.7 ± 0.3 ^a	0.6 ± 0.2 ^b
Absorbable iron (mg) ^{††§}		
Baseline	1.2 ± 0.3	1.2 ± 0.4
During intervention	1.8 ± 0.5 ^a	1.1 ± 0.4 ^b
Post- intervention	1.8 ± 0.3 ^a	1.4 ± 0.5 ^b
Vitamin C (mg) ^{††}		
Baseline	84.6 ± 78.5	71.9 ± 25.4
During intervention	138.0 ± 52.4 ^a	85.2 ± 76.9 ^b
Post- intervention	168.0 ± 67.0 ^a	79.9 ± 44.0 ^b

* $\bar{x} \pm SD$ = mean \pm standard deviation. Values in the same row with different superscript letters are significantly different, $P < 0.05$.

[†] Significant group-by-time interactions, $P < 0.05$ (F test).

[‡] Significant time effect within the intervention group, $P < 0.05$ (Linear mixed models).

[§] Significant time effect within the control group, $P < 0.05$ (Linear mixed models).

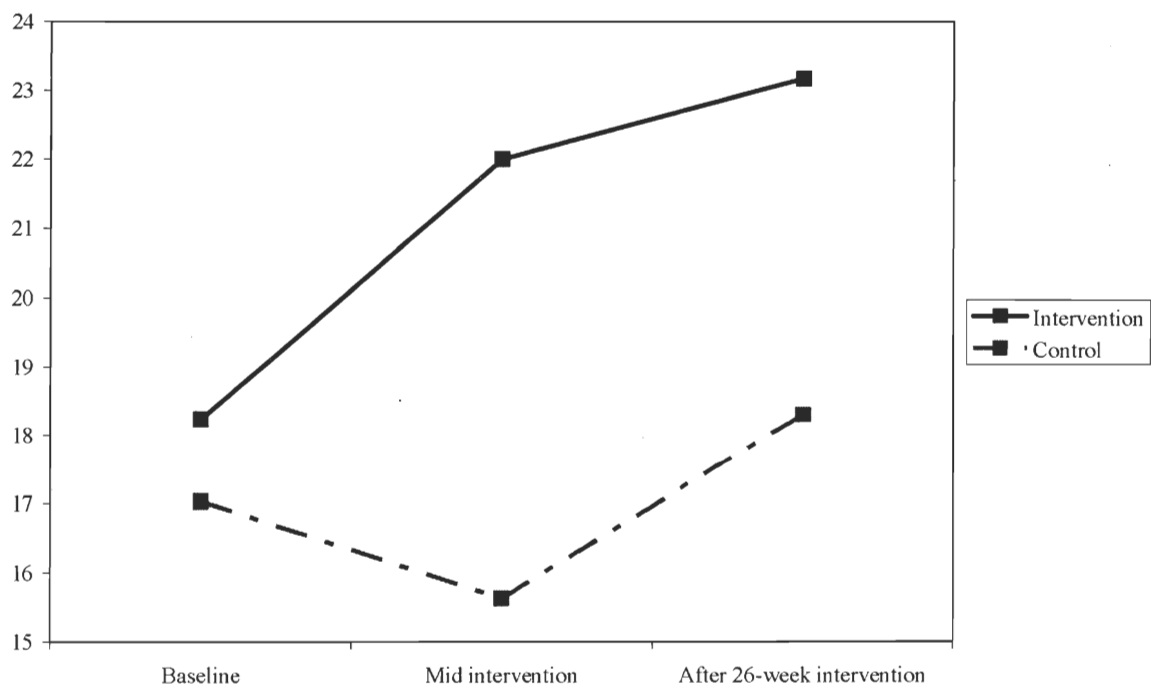


FIG. 9.1. Comparison of baseline, mid and post- intervention dietary iron intakes within the control and the intervention groups.

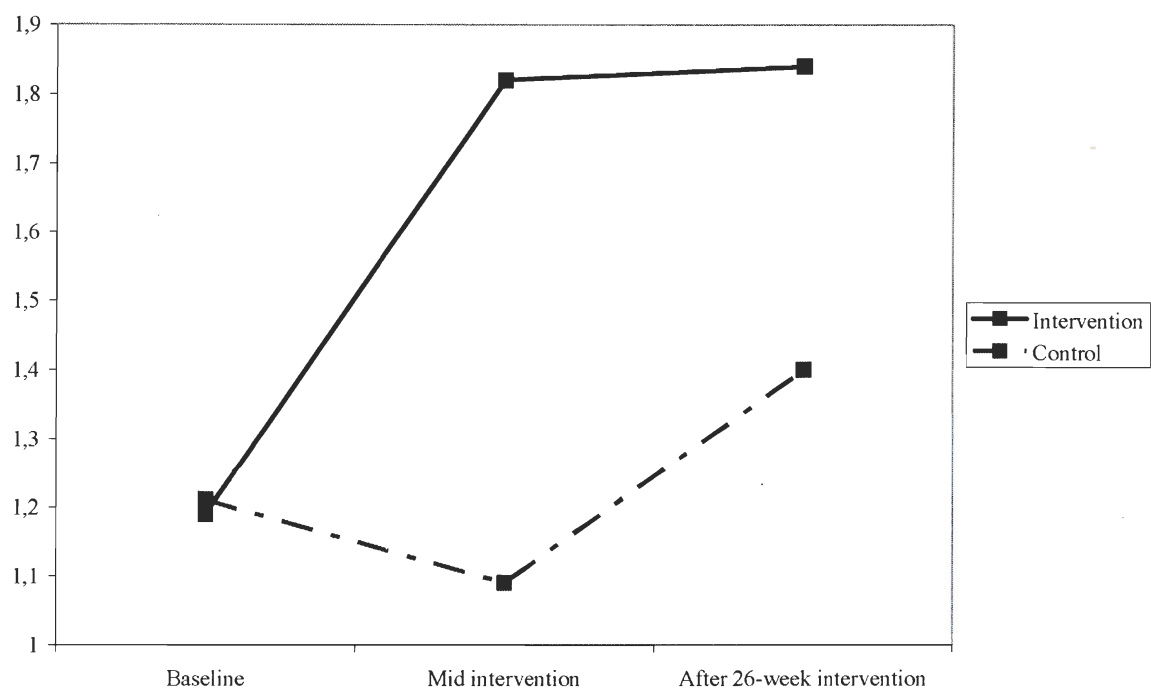


FIG. 9.2. Comparison of baseline, mid and post- intervention absorbable iron intakes within the control and the intervention groups

TABLE 9.2. Average daily dietary intakes of energy and certain nutrients at baseline, during and post-intervention*

Dietary intake	Intervention (n=34)	Control (n=34)
Energy (kcal) ^{†‡§}		
Baseline	1936 ± 283	1928 ± 368
During intervention	2269 ± 325 ^a	1570 ± 623 ^b
Post-intervention	2168 ± 440 ^a	1856 ± 466 ^b
Carbohydrate (g) ^{†‡§}		
Baseline	345 ± 69	329 ± 95
During intervention	391 ± 70 ^a	256 ± 146 ^b
Post-After intervention	392 ± 77 ^a	296 ± 91 ^b
Fat (g) ^{†‡}		
Baseline	42 ± 16	50 ± 18
During intervention	54 ± 13 ^a	42 ± 21 ^b
Post-intervention	40 ± 15	43 ± 19
Protein (g) ^{†‡§}		
Baseline	56 ± 11	55 ± 13
During intervention	66 ± 9 ^a	45 ± 16 ^b
Post-intervention	69 ± 24 ^a	56 ± 14 ^b
Calcium (mg) ^{†‡}		
Baseline	384.5 ± 123.8	336.8 ± 108.2
During intervention	540.6 ± 124.0 ^a	379.1 ± 190.7 ^b
Post-intervention	489.1 ± 151.5 ^a	337.1 ± 131.8 ^b
Zinc (mg) ^{†‡}		
Baseline	2.0 ± 0.7 ^a	3.1 ± 0.5 ^b
During intervention	3.0 ± 1.1	2.8 ± 0.7
Post- intervention	2.9 ± 1.4	2.8 ± 0.7
Vitamin A (RAE) ^{†‡§}		
Baseline	251.6 ± 189.8	173.3 ± 95.8
During intervention	428.7 ± 177.9	256.3 ± 166.7
Post-intervention	476.0 ± 313.8	416.0 ± 349.3
Vitamin B-12 (µg) ^{†‡§}		
Baseline	0.2 ± 0.2 ^a	0.3 ± 0.2 ^b
During intervention	2.3 ± 1.6 ^a	0.6 ± 0.5 ^b
Post- intervention	2.5 ± 2.2 ^a	0.7 ± 0.7 ^b
Folate (µg) ^{†‡§}		
Baseline	80.4 ± 51.0	100.7 ± 34.1
During intervention	131.4 ± 53.0	121.7 ± 42.8
Post-intervention	192.5 ± 184.9 ^a	73.0 ± 60.4 ^b

* $\bar{x} \pm \text{sd}$ = mean ± standard deviation. Values in the same row with different superscript letters are significantly different, $P < 0.05$. † Significant group-by-time interactions, $P < 0.05$ for energy and all nutrients except vitamin A where $P = 0.057$ (F test). ‡ Significant time effect within the intervention group, $P < 0.05$ (Linear mixed models). § Significant time effect within the control group, $P < 0.05$ (Linear mixed models).

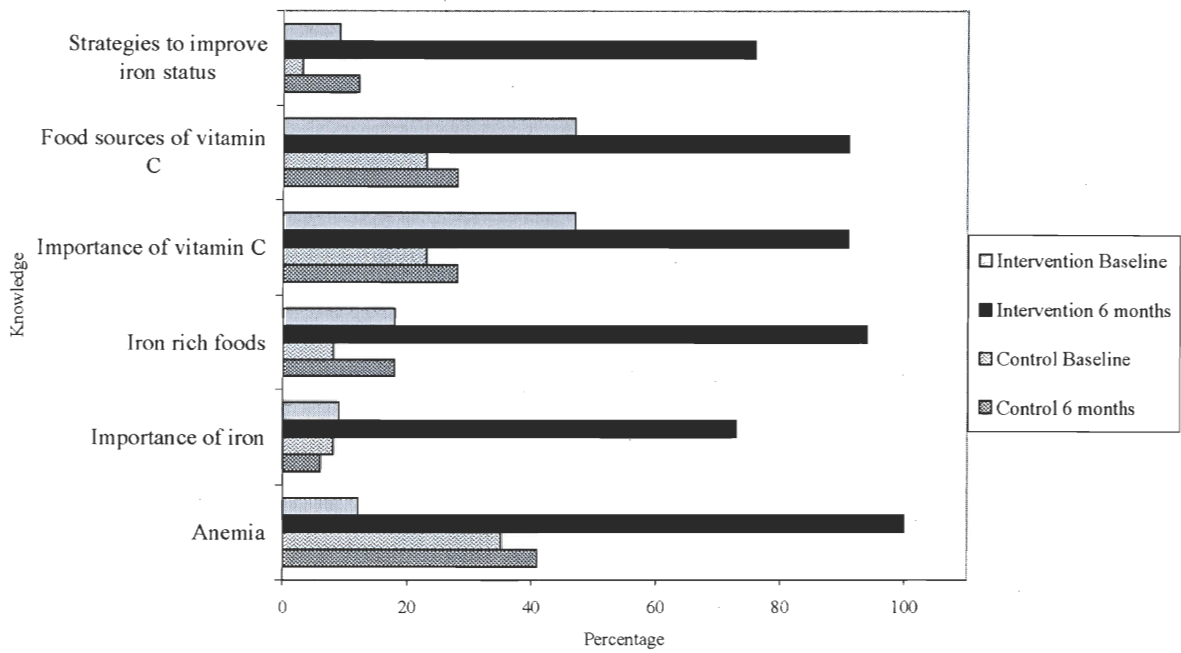


FIG. 9.3. Comparison of baseline and post-intervention knowledge scores within groups

TABLE 9.3: Prevalence of low concentrations of iron status indicators in the intervention and control groups at baseline and post-intervention (%)^{*}

Indicators	Intervention (n=34)	Control (n=34)	<i>P</i>
Serum ferritin <20µg/L)			
Baseline	44.1	38.2	NS
Post-intervention	41.2	58.8	NS
Serum Iron <11µmol/L ^{†‡}			
Baseline	55.9	47.1	NS
Post-intervention	8.8	11.8	NS
TIBC >68µmol/L [†]			
Baseline	85.3	61.8	0.03
Post-intervention	64.7	70.6	NS
Transferrin saturation <20% ^{†‡}			
Baseline	76.5	82.3	NS
Post-intervention	50.0	26.5	NS
Haemoglobin <120g/L) [†]			
Baseline	100.0	100.0	NS
Post-intervention	32.3	85.3	0.003

TIBC: Total iron binding capacity.

^{*} At baseline, comparison between intervention and control groups using chi-square tests. After intervention, a logistic regression model controlling for age, religion, parents' level of education and baseline knowledge concerning the food sources of vitamin C was used to test statistical differences between study groups. NS – not significant ($P > 0.05$).

[†] Based on Mc Nemar tests in the intervention group $P < 0.05$.

[‡] Based on Mc Nemar tests in the control group $P < 0.05$.

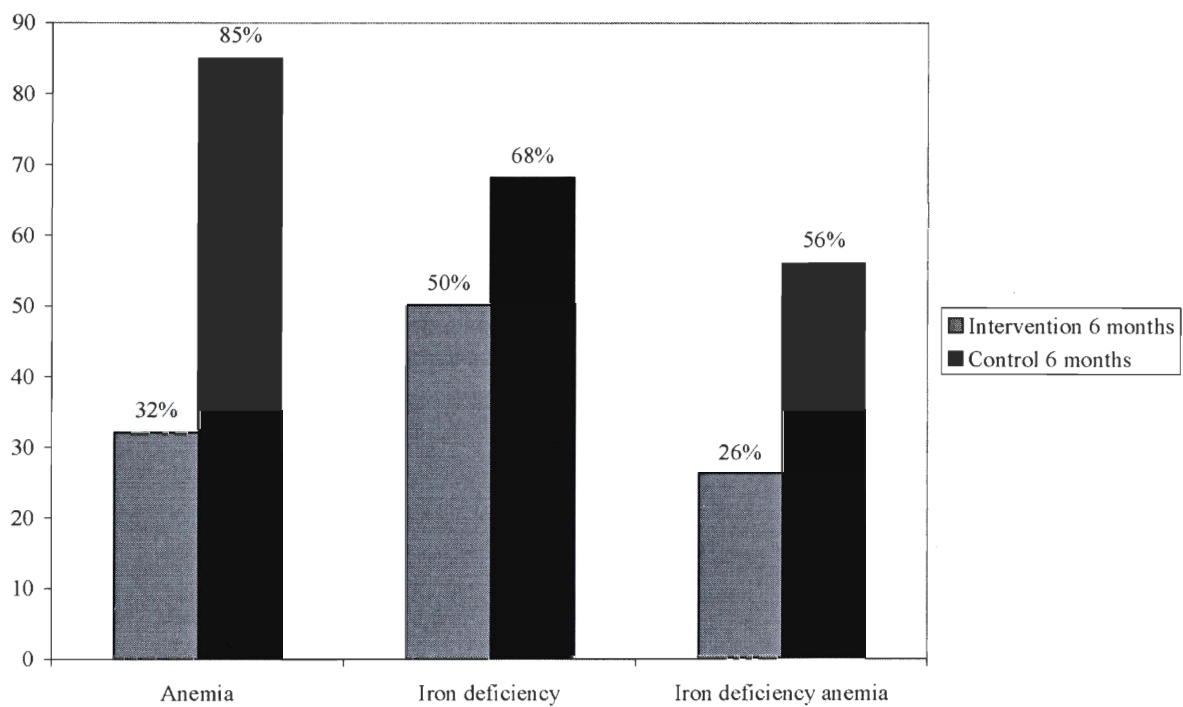


FIG. 9.4. Comparison of the prevalence of anemia, iron deficiency and iron deficiency anemia between both groups in post-intervention

9.6 DISCUSSION

To our knowledge, this is the first study carried out in Benin demonstrating that it is possible to make significant changes to dietary intakes of flesh foods, vitamin C and phytate, and that these changes can improve the iron status of boarding adolescent girls suffering from mild iron deficiency anemia. Indeed, a significant reduction in the prevalence of anemia (68%) and IDA (74%) was observed in the intervention group during the trial. More specifically, there was an important increase in mean Hb levels (10.2 g/L), a decrease in abnormal TIBC (21%) and a non significant increase in mean SF levels (4.7 ug/L) indicating an improvement of iron status. Similar increases in ferritin levels, but smaller increases in Hb levels have been reported in non anemic iron deficient menstruating adult women by Heath et al [14] in New Zealand (3.7 μ g/L; 0.6g/L after 16 weeks (diet group, n = 22)) and Patterson et al [15] in Australia (6.3 μ g/L; 3.2 g/L after 6 months (diet group, n = 22)). These studies resembled the present one as they also included individual dietary counselling and follow-ups combined with food allocation. Indeed, Heath et al [14] promoted the use of a cast-iron cookware when cooking tomato-based sauces, advised a decrease in calcium and phytate intakes, and increased the consumption of vitamin C by providing each subject with a 250 ml pack of fruit juice per day and a vitamin-C fruit syrup. Patterson et al. [15] asked participants to consume a high-iron diet containing iron-absorption enhancers and less inhibitors and gave subjects meat vouchers sufficient to purchase 120 g of high quality beef or lamb per day. Besides the positive effect of these intensive dietary programs on iron deficiency in adult women, Creed Kanashiro et al. [13] showed in 65 Peruvian adolescent girls that an educational campaign through local community kitchens combined with identifying and promoting best buys for iron during 9 months, was also effective in reducing the prevalence of anemia by 1.8% in the intervention girls (n = 65) compared to the controls.

Also, it has been observed in adolescent girls suffering from mild, moderate or severe anemia, that the lower the initial hemoglobin level, the greater the increase in haemoglobin levels following iron supplementation [35]. Although adolescent girls in the present study participated in a multi-dietary strategy and were not supplemented, we may expect a greater

increase in Hb levels in our subjects compared to the non anemic iron deficient menstruating adult women studied by Heath et al [14] and Patterson et al [15]. Nevertheless, it is important to mention that most of our subjects (85%) suffered from very mild iron deficiency anemia as their hemoglobin level was between 110-115g/L.

At the end of the study, iron status also improved in the control group where we found a reduction of 15% for anemia, 32% for ID and 44% for IDA, although only ID and IDA were significant. Questionnaires and results of the biochemical parameters, particularly the second blood test, could have captured control girls' interest and improved their diet. Also, from baseline to the end of the trial, a significant decrease in abnormal serum iron and % transferrin saturation was observed in the intervention group, but also in the control group. All participants in both boarding schools were treated initially with an anti-worm drug and anti-malaria drugs and received the same anthelmintic drug monthly thereafter and when necessary. Hypoferremia is the characteristic feature of anemia resulting from infectious or inflammatory disorders [36]. The resulting decrease in infection rate almost certainly played a role in the reduction of SI, but also of % TS in both groups [35-40].

It is not possible to identify in this multi-dietary strategy which specific nutrient was responsible for the improvement of anemia and iron status. However, the increase in both the heme iron content of the diet and the bioavailability of non heme iron was most likely an important contributing factor. Indeed, at the end of the study, diets of the intervention adolescent girls were more diverse and of a higher quality compared to those of the control girls. More specifically, significant increases in mean intakes of dietary iron, absorbable iron and vitamin C were found in the intervention girls reflecting the adoption of our recommendation to increase intakes of animal source foods and fruits. In addition, the diet was designed to provide approximately the target median intake for absorbable iron of 1.90 mg. The calculated amounts of absorbable iron ranged from 1.5 to 2.2 mg/d. The importance of animal source foods and fruits in the diet was emphasized in many studies where they were positively associated with improvements in general health [41-43]. In this study, besides fish which is consumed everyday for lunch (10.0 ± 2.6 g (SD)), we doubled the quantities of beef which was served twice a week (from 10.1 ± 3.1 g at baseline to 18.1 ± 4 g), and introduced liver once and then twice a week ($15\text{g} \pm 3.1\text{g}$) (Alaofè et al.

Submitted to J Health Population Nutr, 2008). It is important to mention that quantities of animal food sources consumed by intervention girls in the present study were about four times lower than what had been used in other similar dietary interventions [14, 15].

Also, animal sources foods provide a wonderful package of energy, high quality protein and a good source of readily absorbable zinc, vitamin A, vitamin B₁₂ and some heme iron [44, 45], while simultaneously enhancing zinc and non-heme iron absorption [17, 46, 47]. On the other hand, fruits such as orange and pineapple are important dietary source of vitamin C, vitamin A and folate. Layrisse et al. [48] found that adding 66 mg of ascorbic acid (as pineapple) to 100g of cooked maize resulted in an absorption rate for non-heme iron of 26.8%. Thompson [4] confirms the enhancing effect of both vitamin C and animal tissue on iron absorption from the complete diet.

Interestingly, several of our dietary strategies focused on reducing the level of hexa- and penta- inositol phosphates, strong antagonists of non-heme iron absorption [49]. Of these, the strategies that were most widely practiced, and probably the most effective, involved soaking as beans or vegetables or maize pap or patties and, to a lesser extent, fermenting maize before preparing it. Gibson et al. [19] showed that 50% of the hexa- and penta- inositol phosphate content can be removed after soaking unrefined white Malawian maize flour for 1 h and decanting off the excess water. Natural lactic fermentation of maize flour slurries or porridges with or without the addition of germinated flour can also reduce their hexa- and penta-inositol phosphate content by enzymatic hydrolysis to lower inositol phosphates. The lower inositol phosphates have a much less potent adverse effect on iron [19]. In addition, in this study, adoption of the phytate reduction strategies by the intervention boarding school most likely led to markedly lower intakes of phytate. Unfortunately, the Canadian and Beninese nutrient file used in the present study did not contain values for phytates and polyphenols.

As expected, energy and nutrient intakes evolved differently over time between both groups, even though vitamin A showed borderline significance ($p = 0.057$). Also, in the intervention group, energy and nutrient intakes, with the exception of fat intake, increased significantly during the trial. In the control group, a significant time effect was observed for

energy, carbohydrate, protein, vitamin B₁₂ and folate, but the only constant improvement from baseline to post-intervention was seen for vitamin B₁₂. An important decrease in folate intakes was seen from mid-intervention to post-intervention which was caused by an increase in iron rich foods to the detriment of folate containing foods as indicated by the improvement in absorbable iron intakes encountered in this group at the end of the study. Two control adolescent girls were eliminated during the study (between the 9th-11th week) because their Hb level decreased below 100g/L. This might have stimulated some control girls to improve their iron intake, even though their nutrition knowledge was not adequate. Finally, we observed in both groups an important increase in vitamin A intake which was due to the introduction of mangoes by the control group and the increase consumption of fruits and lenses in the intervention group.

Marked improvement in nutrition knowledge in intervention girls after 26 weeks can have a positive effect on their behaviour and iron status. Indeed, changes in knowledge can have a positive effect on behaviour and nutritional status [50, 51]. However, compared to a community-based dietary intervention, a boarding school-based dietary intervention has facilitated the effect of the intervention on nutrition knowledge due to the fact that adolescents were educated and lived in the same location. During this intervention, more contact was with the intervention girls than with the control girls. However, changes observed were not temporary because a visit to the intervention school three months after the end of the trial revealed that the cafeteria menu had not changed since its modification. Unfortunately, anthropometric measurements, blood and faecal samples could not be obtained at this time.

The present study is the first carried out in Benin that evaluated the impact of a multi-dietary strategy to treat IDA in adolescent girls. Therefore, the findings will be useful in other urban areas of Benin such as Ouémé and Atlantique departments where the same varieties of iron and vitamin C rich foods are available. In addition, comprehensive and valid data collection methods allowed a greater improvement in the iron status of intervention girls. This is the first study conducted in Benin that used the framework developed in the Dietary References Intakes in order to plan the school menu. Selection

bias may be a potential limitation, because the present study is based on adolescent girls from a boarding school.

In conclusion, our findings suggest that a dietary intervention that increases intakes of both heme iron and enhancers of iron absorption such as flesh foods and vitamin C, while at the same time decreasing the intake of phytic acid, may improve the iron status of adolescent girls suffering mild iron deficiency anemia. According to Patterson et al. [15], the continued improvements in iron status that they measured after the 6-mo follow-up phase, may result in long-term dietary modifications. Our dietary strategies also increased intakes of carbohydrate, protein, calcium, zinc, vitamin A, B₁₂ and folate; this confirms that diversification and modification can be used to alleviate several micronutrient deficiencies simultaneously. Finally, the education campaign and materials used captured the girls' interest and motivated them to change their food habits and improve their health. In a management guide provided to medical practitioners by the WHO and MI/UNICEF, it was suggested that the best treatment strategy to reduce iron deficiency is dietary treatment, with additional iron supplementation for serious iron deficiency and iron deficiency anemia. This research provides evidence of the appropriateness of these recommendations.

9.7 REFERENCES

1. Pasricha SR, Caruana SR, Phuc TQ, Casey GJ, Jolley D, Kingsland S, Tien NT, MacGregor L, Montresor A, Biggs BA. Anemia, iron deficiency, meat consumption, and hookworm infection in women of reproductive age in northwest Vietnam. *Am J Trop Med Hyg* 2008; 78:375-81.
2. Murray-Kolb LE, Beard JL. Iron treatment normalizes cognitive functioning in young women. *Am J Clin Nutr* 2007; 85:778-87.
3. Nojilana B, Norman R, Dhansay MA, Labadarios D, van Stuijvenberg ME, Bradshaw D, et al. Estimating the burden of disease attributable to iron deficiency anaemia in South Africa in 2000. *S Afr Med J* 2007; 97:741-6.
4. Thompson B. Food-based approaches for combating iron deficiency. In: Zimmermann MB, Hurrell RF. *Nutritional anemia*. Basel, Switzerland, Sight and life Press, 2007: 337-358.
5. Hercberg S, Chauliac M, Galan P, Devanlay M, Zohoun I, Agboton Y, Soustre Y, Auvert B, Masse-Raimbault AM, Dupin H. Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health* 1988; 102:73-83.
6. Hercberg S, Galan P, Chauliac M, Masse-Raimbault AM, Devanlay M, Bileoma S, Alihonou E, Zohoun I, Christides JP, Potier de Courcy G. Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *Br J Nutr* 1987; 57:185-93.
7. MI/UNICEF. Benin: Vitamin and mineral deficiency status and actions. In: *Vitamin and mineral deficiency: a global assessment*. Version current 23 March 2004. Internet: <http://www.micronutrient.org/reports/> (accessed January 2006).
8. Sodjinou RS. Evaluation of food composition tables commonly used in Benin: limitations and suggestions for improvement. *J Food Compos Anal* 2006; 19:518-23.
9. Sodjinou R, Agueh V, Fayomi B, Delisle H. Dietary patterns of urban adults in Benin: relationship with overall diet quality and socio-demographic characteristics. *Eur J Clin Nutr* 2007; doi: 10.1038/sj.ejcn.1602906.
10. Alaofè H, Dossa R, Zee J, Turgeon O'Brien H. Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2007;55:187-96.
11. Vitolo MR, Bortolini GA. Iron bioavailability as a protective factor against anemia among children aged 12 to 16 months. *J Pediatr* 2007; 83:33-8.

12. Jarrah SS, Halabi JO, Bond AE, Abegglen J. Iron deficiency anemia (IDA) perceptions and dietary iron intake among young women and pregnant women in Jordan. *J Transcult Nurs* 2007; 18:19-27.
13. Creed-Kanashiro HM, Uribe TG, Bartolini RM, Fukumoto MN, Lopez TT, Zavaleta NM, Bentley ME. Improving Dietary Intake to Prevent Anemia in Adolescent Girls through Community Kitchens in a Periurban Population of Lima, Peru. *J Nutr*, 2000; 130: S459-S61.
14. Heath AL., Skeaff CM, O'Brien SM, Williams SM, Gibson RS. Can dietary treatment of non-anemic iron deficiency improve iron status? *J Am Coll Nutr* 2001; 20: 477-84.
15. Patterson AJ, Brown WJ, Roberts DC, Seldon MR. Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age. *Am J Clin Nutr* 2001; 74:650-6.
16. Pagana KD, Pagana TJ. *Biomerieux's Manual of Diagnostic and Laboratory Tests*. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc., 2002.
17. IOM (Institute of Medicine), Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board. *Dietary Reference Intakes: Applications in Dietary Planning*, Washington, DC: National Academy Press, 2003.
18. Dickin K, Griffiths M, Piwoz E. *Designing by Dialogue. A Program Planner's Guide to Consultative Research for Improving Young Child Feeding*. Washington, DC: Support for Analysis and Research in Africa, Academy for Educational Development, 1997.
19. Gibson RS, Yeudall F, Drost N, Mtitimuni BM, Cullinan TR. Experiences of a community-based dietary intervention to enhance micronutrient adequacy of diets low in animal source foods and high in phytate: a case study in rural Malawian children. *J Nutr* 2003; 133: S3992-S9.
20. Guptill KS, Esrey SA, Oni GA, Brown KH. Evaluation of a face-to-face weaning food intervention in Kwara state, Nigeria: knowledge, trial and adoption of a home-prepared weaning food. *Soc Sci Med* 1993; 36:665-672.
21. Conway JM, Ingwersen LA, Moshfegh AJ. Accuracy of dietary recall using five-step-multiple-pass method in men: an observational validation study. *J Am Diet Assoc* 2004; 104:595-603.
22. Bureau des Sciences de la Nutrition. *Fichier canadien des éléments nutritifs*. Ministère de la Santé Nationale et du Bien-être Social, Ottawa, 2007.
23. DANA (Direction de l'alimentation et de la nutrition appliquée) -Direction de l'institut national de formation et de recherche en éducation (INFRE), Alimentation et Nutrition au Bénin. 2001, 129p.

24. Monsen ER, Hallberg L, Layrisse M, Hegsted DM, Cook JD, Mertz W, Finch CA. Estimation of available dietary iron. *Am J Clin Nutr* 1978; 31:134-41.
25. Beard JL, Murray-Kolb LE, Haas JD, Lawrence F. Iron absorption prediction equations lack agreement and underestimate iron absorption. *J Nutr* 2007;137:1741-46.
26. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine : Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: National Academy Press, 2001.
27. Gibson RS. *Principles of Nutritional Assessment*. New York: Oxford University Press 2005: 349p.
28. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine : Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D and Fluoride. Washington, DC: National Academy Press, 1997.
29. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B₆, Folate, Vitamin B₁₂, Pantothenic acid, Biotin and Choline. Washington, DC: National Academy Press, 1998.
30. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
31. Standing Committee on the Scientific Evaluation of DRI, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Dietary reference intakes: applications in dietary assessment. Washington, DC. National academy Press, 2000.
32. National Center for Health Statistics: 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat* 11. 2002; 246:1-190.
33. Clark SF. Iron deficiency anemia. *Nutr Clin Pract* 2008; 23:128-41.
34. SAS Institute Inc. **SAS OnlineDoc® 9.1.3**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2005.
35. Shobha S, Sharada D. Efficacy of Twice weekly iron supplementation in anemic adolescent girls. *Indian Pediatrics* 2003; 40:1186-90.
36. Means RT Jr. Recent development in the anemia of chronic disease. *Curr Hematol Rep*. 2003; 2:116-20.

37. Ringsted FM, Bygbjerg IC, Samuelsen H. Early home-based recognition of anaemia via general danger signs, in young children, in a malaria endemic community in north-east Tanzania. *Malaria Journal* 2006; 5:111.
38. Ferreira MU, da Silva-Nunes M, Bertolino CN, Malafronte RS, Muniz PT, Cardoso MA. Anemia and iron deficiency in school children, adolescents, and adults: a community-based study in rural Amazonia. *Am J Public Health* 2007; 97:237-9.
39. Aini UN, Al-Mekhlafi MS, Azlin M, Shaik A, Sa'iah A, Fatmah MS, Ismail MG, Firdaus MS, Aisah MY, Rozlida AR, Norhayati M. Serum iron status in Orang Asli children living in endemic areas of soil-transmitted helminths. *Asia Pac J Clin Nutr* 2007; 16:724-30.
40. Le Huong T, Brouwer ID, Nguyen KC, Burema J, Kok FJ. The effect of iron fortification and de-worming on anaemia and iron status of Vietnamese schoolchildren. *Br J Nutr* 2007; 97:955-62.
41. Yaktine AL, Nesheim MC, James CA. Nutrient and contaminant tradeoffs: exchanging meat, poultry, or seafood for dietary protein. *Nutr Rev* 2008; 66:113-22.
42. Seeram NP. Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *J Agric Food Chem* 2008; 56: 627-9.
43. Thorpe DL, Knutsen SF, Lawrence Beeson W, Rajaram S, Fraser GE. Effects of meat consumption and vegetarian diet on risk of wrist fracture over 25 years in a cohort of peri- and postmenopausal women. *Public Health Nutr* 2007; 9:1-9.
44. Murphy SP, Allen LH. Nutritional importance of animal source foods. *J Nutr* 2003; 133:S3932-S3935.
45. Sioen I, Matthys C, De Backer G, Van Camp J, Henauw SD. Importance of seafood as nutrient source in the diet of Belgian adolescents. *J Hum Nutr Diet* 2007; 20:580-9.
46. Bach Kristensen M, Hels O, Morberg C, Marving J, Bügel S, Tetens I. Pork meat increases iron absorption from a 5-day fully controlled diet when compared to a vegetarian diet with similar vitamin C and phytic acid content. *Br J Nutr* 2005; 94:78-83.
47. Reddy MB, Hurrell RF, Cook JD. Meat consumption in a varied diet marginally influences nonheme iron absorption in normal individuals. *J Nutr* 2006; 136:576-81.
48. Layrisse M, Martínez-Torres C, Gonzalez M. Measurement of the total daily dietary iron absorption by the extrinsic tag model. *Am J Clin Nutr* 1974; 27: 152-162.

49. Gibson RS, Hotz C. Dietary diversification/modification strategies to enhance micronutrient content and bioavailability of diets in developing countries. *Br J Nutr* 2001; 85:S159 – S66.
50. Amani R, Soflaei M. Nutrition education alone improves dietary practices but not hematologic indices of adolescent girls in Iran. *Food Nutr Bull* 2006; 27:260-4.
51. Kafatos I, Manios Y, Moschandreas J, Kafatos A. Preventive Medicine and Nutrition Clinic University of Crete Research Team. Health and nutrition education program in primary schools of Crete: changes in blood pressure over 10 years. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61:837-45.

Chapitre 10

Discussion et conclusion générales

Comme dans la plupart des pays en développement, le Bénin a des taux élevés d'anémie par carence en fer (Hercberg et al. 1987; 1988; MI/UNICEF, 2006). De plus, la faible teneur en fer de la diète et sa biodisponibilité réduite semblent constituer les causes majeures de la carence en fer dans cette population (Hercberg et al. 1986; Alaofè et al. 2007; Mitchikpè, 2007). En effet, des apports insuffisants et/ou une faible biodisponibilité du fer alimentaire sont sans doute répandus au Bénin du fait des régimes alimentaires généralement monotones qui sont constitués principalement d'aliments d'origine végétale avec de faibles quantités de produits animaux et d'aliments riches en vitamine C (Sodjinou, 2006; Sodjinou et al. 2007).

Parmi les stratégies mises en œuvre pour lutter contre la carence en fer, il apparaît évident que la stratégie d'intervention nutritionnelle qui simultanément améliore l'apport et la biodisponibilité du fer dans les diètes est requise de façon urgente au Bénin. L'éducation nutritionnelle est une partie importante de cette stratégie et constitue un moyen important de promouvoir la consommation d'aliments riches en fer dans le cadre d'une alimentation variée, adéquate et saine (Müller et Krawinkel, 2005). De plus, Amani et Soflaei (2006) et Kafatos et al. (2007) ont montré l'effet positif significatif sur les habitudes alimentaires, en particulier sur les apports alimentaires et l'état nutritionnel des sujets étudiés, d'une campagne d'éducation nutritionnelle basée sur des messages de santé.

L'amélioration des pratiques alimentaires est souvent critiquée parce qu'elle est jugée trop difficile ou parce qu'elle constitue une stratégie à long terme. Cependant, des études récentes effectuées chez des enfants montrent une augmentation des apports alimentaires et une amélioration de leur statut en fer (Yeudall et al. 2005; Neumann et al. 2007). À notre connaissance, seulement trois études ont été effectuées chez des femmes en âge de procréer non anémiques. En effet, Heath et al. (2001) et Patterson et al. (2001) ont montré qu'une diète riche en fer combinée à des conseils nutritionnels améliore le statut en fer des femmes d'âge adulte, bien que seuls Patterson et al. (2001) aient mis en évidence une augmentation

significative du taux de ferritine sérique à la fin de l'intervention, mais non de l'hémoglobine. Une seule étude a été réalisée chez les adolescentes, soit celle de Creed-Kanashiro et al. (2000) au Pérou. Ces auteurs ont mis en évidence une diminution non significative de l'anémie (2%) chez les adolescentes du groupe d'intervention suite à une campagne d'éducation nutritionnelle combinée à l'identification et à la promotion des meilleurs achats d'aliments riches en fer pendant une période de 9 mois. Cependant, il est important de signaler que la prévalence d'anémie a augmenté de 23% chez les adolescentes du groupe témoin ($p < 0,01$).

À notre connaissance, aucune intervention nutritionnelle n'a été effectuée chez les adolescentes en Afrique subsaharienne. Il y a donc un besoin urgent d'études démontrant l'impact de la diversification et de la modification alimentaires chez les adolescentes, particulièrement en Afrique subsaharienne incluant le Bénin. De plus, les travaux effectués dans d'autres pays ne sont pas nécessairement applicables au Bénin à cause des différences dans la disponibilité des aliments locaux riches en fer et en vitamine C et dans les habitudes alimentaires des individus. L'objectif général de la présente étude consistait donc à évaluer l'impact d'une intervention nutritionnelle visant à augmenter les apports et la biodisponibilité du fer sur la prévalence de l'anémie ferriprive chez des adolescentes béninoises pensionnaires.

10.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

10.1.1. Anémie ferriprive chez les adolescentes pensionnaires et facteurs de risque associés

La première partie du présent projet de recherche consistait à déterminer la prévalence de l'anémie par carence en fer chez des adolescentes pensionnaires dans deux lycées au sud du Bénin et à identifier les différents facteurs de risque associés. Pour ce faire, deux hypothèses ont été émises:

1. La composition des menus dans les cafétérias scolaires des deux lycées, ainsi que l'éducation nutritionnelle et sanitaire offerte dans ces établissements ne permettent

pas à la plupart des adolescentes de consommer suffisamment d'aliments riches en fer et en vitamine C et de connaître les stratégies de prévention de la carence en fer.

2. La carence en fer et l'anémie ferriprive sont présentes chez plus de la moitié de ces sujets et sont reliées non seulement à une faible consommation d'aliments riches en fer et en vitamine C, mais aussi aux infections parasitaires, au faible niveau socio-économique et à une éducation sanitaire insuffisante.

10.1.1.1 Composition des menus offerts dans les cafétérias scolaires des deux lycées

Les deux lycées bénéficiaient d'une aide alimentaire pour assurer l'approvisionnement alimentaire de la cafétéria scolaire. Le programme alimentaire mondial (PAM) fournissait du poisson, du maïs, de l'huile de palme, des petits pois et des haricots, tandis que le riz, le sucre, le lait, la pâte de tomate, l'huile de palme et le spaghetti étaient fournis par la cantine gouvernementale. Enfin, les ingrédients tels que les épices (ail, poivre, sel) et les légumes (tomates, oignons, piments), de même les produits d'origine animale (viande, volaille, poisson, œufs) étaient achetés à partir des revenus provenant des frais de scolarité versés par les élèves. Les deux lycées essayaient d'offrir chaque semaine le même menu à quelques différences près et ce, même lorsque les disponibilités de certains aliments étaient plus restreintes. Malgré tout, des lacunes importantes ont été notées dans la composition des menus offerts dans les cafétérias scolaires des deux lycées qui ne permettaient pas à la plupart des adolescentes de consommer suffisamment d'aliments riches en fer et en vitamine C.

D'abord, les menus étaient monotones et surtout à base de produits végétaux, en particulier les céréales et leurs dérivés avec de faibles quantités de viande, volaille, légumineuses et légumes. La pâte de maïs, le spaghetti et le riz étaient toujours servis accompagnés de sauce tomate ou de sauce aux légumes. La majorité des participantes avaient une faible consommation (<4 fois par semaine) de viande, de volaille et de légumineuses. Au contraire, 87% des participantes mangeaient ≥ 4 fois de poisson par semaine, mais la quantité moyenne consommée était très faible (25 à 45g par jour). Il s'agissait souvent de maquereau et parfois de la sardine. Les légumineuses qui constituent de bonnes sources de fer non hémique étaient également très peu consommées, 82% en prenaient moins de 4 fois par semaine. Au total, le lycée Toffa 1^{er} offrait 2 repas de bœuf, 1 repas de poulet, 3 repas

d'haricots et 1 repas de légumes. Le CEG1 de Ouidah offrait 1 repas de poulet, 2 repas d'haricots, 1 repas de légumes, 1 repas d'œufs et 9 repas de poissons. Les faibles apports de viande peuvent être liés au coût plus élevé des produits animaux comparativement aux aliments d'origine végétale. Une analyse de régression logistique indique que les adolescentes qui consommaient moins de 4 repas de viande par semaine avaient au moins deux fois plus de risque de souffrir de carence en fer ou d'anémie ferriprive que celles qui en consommaient 4 fois ou plus.

En ce qui concerne les promoteurs et les inhibiteurs de l'absorption du fer, on note que la consommation des fruits était également faible, environ 75% en consommaient moins de 4 fois par semaine. Les fruits qui sont riches en vitamine C tels que les oranges, ananas ou mangues sont saisonniers et sont peu abondants pendant la saison sèche, période durant laquelle l'étude a été effectuée. Aussi, la consommation des fruits pendant les repas ne fait pas partie des habitudes alimentaires béninoises, de sorte que les fruits n'étaient pas du tout offerts dans les deux cafétérias scolaires. De plus, 42% des adolescentes prenaient du café ≥ 4 fois par semaine, dont l'effet inhibiteur sur l'absorption du fer non hémique est reconnu (Péneau et al. 2008; Thankachan et al. 2008). Les haricots n'étaient jamais trempés dans l'eau avant d'être utilisés dans les différents mets, ce qui aurait permis de diminuer la quantité de phytates.

En dépit du fait que la majorité des adolescentes prenaient leurs repas à la cafétéria scolaire, elles pouvaient s'acheter des aliments chez les vendeuses de rue. Les aliments les plus populaires étaient: galettes à base de céréales, atassi (mélange de riz et d'haricot), café glacé au lait, yaourts, bonbons, gomme à mâcher. Ceci peut expliquer en partie, l'apport élevé en sucreries observé chez les adolescentes. Quant à la préparation des aliments, les produits alimentaires étaient toujours frits dans l'huile de palme. Les légumes, en particulier les épinards, étaient trempés pendant des heures avant la cuisson, ce qui entraînait sans doute, des pertes importantes de vitamines.

10.1.1.2 Éducation nutritionnelle et sanitaire dispensée dans les deux lycées

Les adolescentes, les enseignants et les cuisinières avaient très peu de connaissances en nutrition, particulièrement sur les moyens efficaces permettant de prévenir l'anémie et la

carence en fer. Le cursus académique offre très peu d'informations sur la nutrition (Koukpo, 2005). Aussi, comme l'a observé Shojaeizadeh (2001) en Iran chez 44,5% des 5059 adolescentes de l'étude, la majorité des adolescentes de la présente étude avaient des comportements alimentaires qui favorisaient l'apparition de l'anémie et de la carence en fer. En effet, elles ne connaissaient pas les aliments riches en fer et en vitamine C. Elles ignoraient également l'effet promoteur de la viande, volaille, poisson et des aliments riches en vitamine C sur l'absorption du fer non hémique et l'effet inhibiteur de certains aliments comme le café. Enfin, l'utilité de certaines techniques culinaires comme le décorticage et le trempage qui permettent d'améliorer l'absorption du fer non hémique était inconnue des adolescentes, en dépit du fait que ces méthodes étaient utilisées dans leur milieu familial. Des résultats semblables ont également été observés par Ati et al. (2008). Ces auteurs ont remarqué que très peu de femmes tunisiennes en âge de procréer, connaissaient la relation entre la carence en fer et l'anémie. Il y a donc chez les adolescentes un besoin d'éducation nutritionnelle portant sur le rôle du fer dans l'organisme et les bienfaits d'une alimentation équilibrée riche en fer.

Quant au système de santé, bien que le paludisme et les infections parasitaires intestinales constituaient les principaux problèmes de santé des adolescentes, il n'existe aucun programme de prévention des maladies et de promotion de la santé. La prévalence élevée du paludisme serait liée à la présence de marécages autour des écoles qui constituent un refuge pour les moustiques et serait favorisée par l'utilisation de moustiquaires non imprégnées. Néanmoins, les adolescentes avaient accès à des locaux et à un cadre de vie favorables et de façon générale, à des conditions d'hygiène adéquates (ex.: évacuation adéquate des excréta et des déchets domestiques). Par contre, il n'existait pas dans les deux lycées un enseignement sanitaire proprement dit, c'est-à-dire qui portait sur les mesures d'hygiène et la santé. Si la majorité des adolescentes (86%) définissait l'hygiène en termes de propreté personnelle, seulement 5% d'entre elles ont fait référence au lavage des mains après l'utilisation des toilettes, et 4% à la propreté de la maison. Une proportion plus élevée a mentionné le lavage des mains avant les repas (28%) et la salubrité des aliments (19%). Nous croyons que la majorité des adolescentes font référence à l'hygiène personnelle, car elles se soucient davantage de leur apparence physique, que des différentes manières de conserver la santé, ce qui constitue la définition médicale de l'hygiène. Notons par

exemple, que le lavage des mains est la meilleure façon de prévenir la propagation des infections. On peut facilement disséminer certains microbes en touchant une autre personne et on peut en attraper en touchant des objets ou des surfaces contaminées. Pour connaître les mesures d'hygiène, il faut les avoir apprises.

Les résultats présentés précédemment permettent donc de confirmer la **première hypothèse** à l'effet que la composition des menus dans les cafétérias scolaires des deux lycées, ainsi que l'éducation nutritionnelle et sanitaire offerte dans ces établissements, ne permettent pas à la plupart des adolescentes de consommer suffisamment d'aliments riches en fer et en vitamine C et de connaître les stratégies de prévention de la carence en fer.

10.1.1.3 Carence en fer et anémie ferriprive chez les adolescentes des deux lycées et facteurs étiologiques

Dans la présente étude, 51% des adolescentes étaient anémiques (Hb <120 g/L), 32% étaient carencées en fer et 24% souffraient d'anémie ferriprive. Des prévalences similaires d'anémie ont été observées au Bénin (43%), au Nigéria (59,1%) et au Mali (45%) (Brabin et al. 1997; Hall et al. 2001; Alaofè et al. 2007). Cependant, la prévalence de la carence en fer dans la présente étude est plus élevée que celle mise en évidence au Kenya (19,8%) chez 648 adolescentes âgées de 12 à 18 ans (Leenstra et al. 2004). Au Bénin, une prévalence plus faible (13%) a été observée par Alaofè et al. en 2007 au lycée Toffa 1^{er}, qui constitue le lycée d'intervention sélectionné dans la présente étude. Le non dosage de la ferritine sérique dans l'étude effectuée au Bénin en 2007 peut expliquer en partie la prévalence plus faible de carence en fer observée dans cette étude. En effet, la ferritine sérique constitue l'indicateur le plus sensible et le plus spécifique de la carence en fer, ce qui explique que la prévalence soit plus élevée lorsque la ferritine fait partie des marqueurs biochimiques du statut en fer. Cette situation prévalait dans la présente étude.

En ce qui concerne les facteurs étiologiques, on note que les adolescentes issues de familles comprenant plus de cinq individus, dont la mère occupait un travail manuel et qui s'automédiquaient avaient de faibles taux d'hémoglobine. En ce qui concerne les facteurs sanitaires, les adolescentes qui buvaient de l'eau non potable, provenant généralement des puits non protégés, avaient deux fois plus de risque de souffrir d'infections parasitaires qui

constituent l'une des principales causes de l'anémie par carence en fer dans les pays en développement (Taylor-Robinson et al. 2007). Cependant, dans notre étude, aucune relation significative n'a été observée entre les infections parasitaires et le statut en fer, probablement à cause de la faible charge parasitaire observée; l'impact aurait pu être différent avec une charge parasitaire plus élevée tel qu'observé dans d'autres études (Diniz-Santos et al. 2006; Ranjit et al. 2006).

Comme la prévalence de la carence en fer et de l'anémie ferriprive mise en évidence dans la présente étude est inférieure à 50% et qu'aucune relation significative n'a été observée entre les infections parasitaires et le statut en fer, nos résultats confirment en partie notre **deuxième hypothèse** de recherche qui était la suivante: la carence en fer et l'anémie ferriprive sont présentes chez plus de la moitié de ces sujets et sont reliées non seulement à une faible consommation d'aliments riches en fer et en vitamine C, mais aussi aux infections parasitaires, au faible niveau socio-économique et à une éducation sanitaire insuffisante. Nos résultats nous permettent cependant de conclure que, outre l'apport alimentaire insuffisant, d'autres facteurs socio-économiques et sanitaires peuvent affecter l'état nutritionnel en fer.

10.1.2 Intervention nutritionnelle

Nous avons également mis au point une intervention nutritionnelle visant à améliorer le statut en fer des adolescentes souffrant d'anémie ferriprive issues de l'étude effectuée dans les deux lycées. En effet, l'étude effectuée chez les 180 adolescentes a permis de montrer que la composition des menus dans les cafétérias scolaires des deux lycées ainsi que l'éducation nutritionnelle et sanitaire offerte dans ces établissements ne permettaient pas à la plupart des adolescentes de consommer suffisamment d'aliments riches en fer et en vitamine C et de connaître les stratégies de prévention de la carence en fer. De plus, une faible consommation d'aliments riches en fer et en vitamine C et certaines caractéristiques socio-économiques et sanitaires constituaient chez ces sujets des facteurs étiologiques de la carence en fer et de l'anémie ferriprive. Ces constats nous ont permis de développer une intervention nutritionnelle qui comprenait d'une part, 4 leçons d'éducation nutritionnelle portant sur l'importance du fer, de la vitamine C, l'anémie par carence en fer et les

stratégies pour réduire ce problème nutritionnel. D'autre part, différentes stratégies de diversification et d'amélioration alimentaires ont été mises en œuvre pour augmenter la teneur et la biodisponibilité du fer dans les menus du lycée d'intervention.

Après 22 semaines d'intervention, une diminution significative de la prévalence de l'anémie (68%) et de l'anémie ferriprive (73%) a été observée chez les adolescentes du groupe d'intervention. Plus précisément, le taux d'hémoglobine a augmenté de 10.2 g/L, la capacité totale de fixation du fer par la transferrine a diminué de 21% et le taux de ferritine sérique a augmenté de 4,7 ug/L indiquant une amélioration importante du statut en fer chez les adolescents du groupe d'intervention. Des résultats similaires ont été obtenus pour la ferritine sérique, mais une augmentation plus faible de l'hémoglobine a été rapportée chez des femmes en âge de procréer par Heath et al. (2001) en Nouvelle Zélande (3.7 µg/L; 0.6g/L après 16 semaines; n=22 pour le groupe d'intervention) et par Patterson et al. (2001) en Australie (6.3 µg/L; 3.2 g/L après 6 mois; n=22 pour le groupe d'intervention. Ces différences pourraient s'expliquer en partie par le fait que contrairement aux sujets des autres études qui n'étaient pas anémiés, la plupart de nos sujets (85%) souffraient d'anémie ferriprive très légère (hémoglobine comprise entre 110-115g/L), 15% se situant entre 105-110g/L. Il est important de noter que plus le taux d'hémoglobine est faible, plus rapidement il augmente suite à une supplémentation en fer (Shobha et Sharada, 2003). Néanmoins, d'autres facteurs peuvent expliquer l'impact important de cette intervention nutritionnelle sur le statut en fer des adolescentes du groupe d'intervention.

D'abord, les quatre leçons d'éducation nutritionnelle dispensées aux adolescentes constituent sans doute un facteur important dans l'amélioration des habitudes alimentaires des participantes. En effet, au début de l'étude, les adolescentes des deux groupes ne connaissaient pas les aliments riches en fer et en vitamine C, leur impact sur le statut en fer et les stratégies de prévention de la carence en fer. En post-intervention, les adolescentes du groupe d'intervention, contrairement aux adolescentes du groupe témoin, connaissaient les meilleures sources de fer et de vitamine C, ainsi que les stratégies alimentaires de prévention de la carence en fer: diversification de l'alimentation, consommation d'aliments riches en fer et en vitamine C, augmentation de la teneur en promoteurs de l'absorption du fer (facteur VVP, vitamine C) et réduction des inhibiteurs (ex.: phytates et tannins).

D'autres travaux indiquent que l'amélioration des connaissances nutritionnelles a été associée à une amélioration des habitudes alimentaires et de l'état nutritionnel des sujets (Amani et Soflaei; 2006; Kafatos et al. 2007). Il serait donc important d'intégrer l'éducation nutritionnelle dans les programmes scolaires, car les adolescentes, qui seront pour la plupart de futures mères de famille, doivent apprendre à bien choisir les aliments, à les combiner entre eux et à utiliser les techniques culinaires appropriées (ex.: décorticage, trempage) afin de prévenir ou corriger la carence en fer. Nous avons en effet remarqué que l'occupation de la mère avait un impact significatif sur l'état nutritionnel de leurs enfants.

Concernant les modifications alimentaires apportées au menu de la cafétéria scolaire du lycée d'intervention, nous ne saurions identifier de façon précise quelle stratégie a été responsable de l'amélioration du statut en fer des adolescentes du groupe d'intervention. En effet, à la fin de l'étude, le menu offert dans l'école d'intervention était plus diversifié et de meilleure qualité nutritionnelle comparativement à celui de l'école témoin. Cependant, l'augmentation aussi bien de la teneur en fer hémique et de la biodisponibilité du fer non hémique a probablement joué un rôle déterminant. Plus précisément, nous avons observé une augmentation significative des apports moyens en fer alimentaire, fer absorbable et vitamine C dans le groupe d'intervention reflétant l'adoption de nos recommandations d'augmenter les quantités de produits animaux et les fruits. De plus, basé sur l'approche probabiliste de planification des menus de groupes développée par l'Institute of Medicine (IOM, 2003), le menu a été modifié de façon à fournir un apport médian cible de 1.90 mg de fer absorbable. Les apports moyens de fer absorbable estimés chez les adolescentes du groupe d'intervention étaient de 1.2 ± 0.3 mg au début de l'étude et de 1.8 ± 0.3 mg après 22 semaines d'intervention, alors que dans le groupe témoin, il était respectivement de 1.2 ± 0.4 mg et de 1.4 ± 0.5 mg au début et à la fin de l'étude. L'importance des produits animaux et des fruits a été démontrée dans plusieurs études où ils ont été associés de façon positive à l'amélioration de la santé (Thorpe et al. 2007; Seeram, 2008; Yaktine et al. 2008). Dans la présente étude, en plus du poisson qui est consommé tous les jours au dîner, nous avons doublé les quantités de viande de boeuf et introduit du foie qui constitue la meilleure source de fer hémique. Différentes stratégies de réduction de la teneur en phytates tels que le trempage des haricots ont probablement contribué à améliorer l'état nutritionnel des adolescentes étudiées.

L'amélioration de la teneur en fer absorbable du menu de la cafétéria scolaire du lycée d'intervention a entraîné une augmentation significative des apports en énergie et en nutriments, à l'exception des lipides. En effet, les produits animaux sont de très bonnes sources de zinc, de vitamine A et de vitamine B₁₂ et peuvent améliorer simultanément la biodisponibilité du fer et du zinc. Également, les fruits tels que les oranges et les ananas qui ont été introduits dans le menu sont d'importantes sources de vitamine C, de vitamine A et de folate. Aussi, contrairement aux interventions nutritionnelles qui ont été effectuées dans la communauté (milieu familial des sujets (Heath et al. 2001; Patterson et al. 2001), ateliers de cuisine (Creed-Kanashiro et al. 2000)), le fait que les adolescentes étaient pensionnaires a sûrement facilité l'apprentissage des concepts nutritionnels et l'amélioration de leurs habitudes alimentaires étant donné qu'elles étaient éduquées et vivaient sous le même toit. Ceci a sans doute eu un effet motivateur et un effet d'entraînement chez les participantes. Le menu de la cafétéria scolaire du lycée d'intervention est demeuré le même suite à l'intervention. En effet, une visite effectuée trois mois après la fin de l'étude a permis de constater que le menu n'avait pas changé depuis sa modification. Cependant, il n'a pas été possible lors de cette visite, de vérifier à nouveau les apports alimentaires et les connaissances nutritionnelles des adolescentes et d'évaluer leur statut en fer et ce, faute de ressources financières.

Enfin, le contrôle du paludisme et des parasitoses par les antimalariques et les antihelminthes a possiblement joué un rôle dans l'amélioration du statut en fer des adolescentes du lycée d'intervention mais aussi du lycée témoin, car les deux groupes d'adolescentes ont été traités en pré-intervention et pendant toute la durée de l'étude. Ceci peut expliquer en partie l'amélioration du statut en fer observée chez les adolescentes du groupe témoin. En effet, on a observé chez les adolescentes du groupe témoin, une diminution non significative de l'anémie (15%) et une réduction significative de la carence en fer (32%) et de l'anémie ferriprive (44%). Les apports en fer absorbable chez les adolescentes du groupe témoin sont passés de $1,2 \pm 0,4$ mg au temps 0, à $1,1 \pm 0,4$ mg après 11 semaines et à $1,4 \pm 0,5$ mg après 22 semaines, l'interaction effet-temps étant significative à $p < 0,05$. Cette amélioration, qui est faible comparativement à celle observée dans le groupe d'intervention ($1,2 \pm 0,3$ mg, $1,8 \pm 0,5$ mg et $1,8 \pm 0,3$ mg respectivement, avec un effet-temps significatif à $p < 0,05$) a sans doute eu un impact positif sur le statut en

fer du groupe témoin. En dépit du fait que les adolescentes du groupe témoin n'ont pas bénéficié des leçons d'éducation nutritionnelle et que le menu de la cafétéria scolaire où elles prenaient leurs repas n'a pas été modifié, il est probable que les prélèvements sanguins et les évaluations alimentaires aient suscité l'intérêt des adolescentes et amélioré leur état nutritionnel.

Tous ces résultats confirment respectivement **la troisième et la quatrième hypothèse** qui stipulent que 1) l'éducation nutritionnelle dispensée aux adolescentes du groupe d'intervention et les modifications alimentaires apportées au menu de la cafétéria scolaire permettent d'améliorer les connaissances nutritionnelles et les apports en fer absorbable des adolescentes du groupe d'intervention comparativement au groupe témoin et que 2), l'éducation nutritionnelle dispensée aux adolescentes du groupe d'intervention et l'augmentation de la teneur en fer absorbable du menu de la cafétéria scolaire réduit la prévalence de l'anémie ferriprive chez ces sujets comparativement au groupe témoin.

Les résultats de la présente étude sont en accord avec les propos de l'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2008) à l'effet qu'une intervention nutritionnelle comprenant une augmentation des apports et de la biodisponibilité du fer alimentaire dans les diètes combinée à une éducation nutritionnelle et à des mesures de santé publique, incluant le contrôle des infections parasitaires (paludisme et parasitoses intestinales), peut réduire l'anémie ferriprive.

10.2 PORTÉE DE L'ÉTUDE

10.2.1 Santé et bien-être des individus et des populations

La carence en fer constitue une des formes de malnutrition les plus répandues dans le monde et est aujourd'hui au centre de l'attention des services de santé publique. Elle affaiblit les personnes, les ménages, les communautés et les pays et est associée à une perte inutile et inacceptable du potentiel et de la productivité des êtres humains (WHO, 2008). L'amélioration des habitudes alimentaires et des apports en fer biodisponible des adolescentes ont augmenté leurs réserves en fer et réduit l'anémie et l'anémie ferriprive. Par conséquent, cela a sans doute contribué à augmenter leur résistance aux infections et à

améliorer leur santé et leur bien-être, en plus de leur assurer des réserves en fer optimales pour une grossesse éventuelle. Les femmes enceintes constituent en effet un groupe à risque élevé de déficience en fer (Aikawa et al. 2006, Pena-Rosas et Viteri, 2006; Vazirinejad et al. 2007), et plusieurs adolescentes seront éventuellement mères. Il faut reconnaître aussi que l'adolescence est une période de grands bouleversements aux plans biologique, cognitif et socioculturel qui s'accompagnent d'une modification des comportements. C'est durant ces années particulièrement vulnérables que doivent être initiées des habitudes ayant une influence positive sur la santé (Ahmead et Bower, 2008).

Les résultats des échantillons de sang et de selles ont permis d'identifier les adolescentes souffrant d'anémie et d'infections parasitaires. Également, au début de l'étude, toutes les participantes de l'étude souffrant de paludisme et d'infections parasitaires ont été traitées. Les adolescentes non sélectionnées mais souffrant d'infections parasitaires et d'anémie ferriprive ont aussi été référées aux infirmières pour des traitements appropriés. L'amélioration du statut en fer observée dans cette étude a sans aucun doute contribué à réduire la perte de productivité chez les adolescentes, les déficits scolaires et les coûts relatifs aux soins de santé. Aussi, cette intervention nutritionnelle aura sans aucun doute un effet bénéfique sur les habitudes alimentaires et les apports en fer des familles. Ces jeunes filles, grâce aux compétences acquises lors de l'éducation nutritionnelle, transmettront les messages dans leurs familles respectives. De plus, comme les femmes (53,7%) sont souvent responsables de la sélection et de l'achat des aliments au Bénin (INSAE et al. 2007), les autres membres de la famille pourront bénéficier des meilleurs choix alimentaires et pourront augmenter la qualité de leur alimentation et leurs apports en fer biodisponible.

10.2.2 Pratique professionnelle

La présente étude était basée sur l'amélioration des habitudes alimentaires de jeunes adolescentes, ce qui implique des changements dans les choix d'aliments et des modifications dans les méthodes traditionnelles de préparation et de cuisson des aliments. Pour ce faire, les aliments locaux riches en fer et en vitamine C consommés couramment au sud de Bénin ont été identifiés. Parmi les aliments riches en fer, il y a l'afiti (condiment à forte odeur extrait des gousses de néré), le poisson séché et le crain-crain ou corète (légume

feuille dont la sauce est gluante). À titre d'exemple de plat traditionnel béninois riche en fer, nous pouvons citer la sauce gombo-néré. La vitamine C est présente dans les fruits tels que les oranges, les citrons, la mangue et la goyave, dans les légumes verts comme l'amaranthe ou la célosie. Cependant, la consommation des fruits est saisonnière, ces derniers étant plus abondants dans la saison des pluies. Concernant les méthodes traditionnelles de préparation et de cuisson des aliments, la cuisson des légumes dans une eau que l'on jette ensuite occasionne une perte importante en éléments nutritifs solubles comme l'acide folique, les vitamines B₆, B₁₂ et C (Gropper et al. 2009). Pour conserver au maximum les substances nutritives, il faut éviter les cuissons trop longues en introduisant les légumes dans l'eau bouillante et en couvrant les marmites, ce qui diminue l'oxydation de la vitamine C. La friture ou la cuisson prolongée des produits animaux diminue l'absorption du fer. Par contre, le trempage des haricots permet de diminuer leur teneur en phytates.

Les stratégies développées dans la présente étude fourniront donc aux différents intervenants des éléments d'information leur permettant d'améliorer leur pratique sur le terrain. Ces informations seront très utiles dans les campagnes de promotion de la santé et de prévention des carences nutritionnelles. La mise en application de ces outils dans le domaine de la nutrition pourra déboucher sur des innovations d'une importance et d'une portée telles qu'elles pourront changer profondément la pratique professionnelle en matière de prévention et de traitement de la carence en fer au Bénin. Actuellement, les stratégies de contrôle de la carence en fer sont peu répandues et reposent presque uniquement sur la supplémentation en fer. Aussi, les outils développés au cours de cette étude, particulièrement les leçons du module d'éducation nutritionnelle et les menus riches en fer biodisponible seront très utiles afin d'élaborer les programmes de prévention et de traitement de la carence en fer et de l'anémie dans les écoles et pour la population béninoise en général. Ces outils pourront servir entre autres à élaborer des programmes d'intervention en nutrition dans les écoles et à améliorer la restauration dans les centres hospitaliers. La présente étude a déjà permis de sensibiliser les autorités gouvernementales et locales ainsi que les différents professionnels de la santé à l'importance de la nutrition et au rôle essentiel des nutritionnistes dans la prévention et le traitement des carences alimentaires, notamment la carence martiale. En effet, un atelier de travail a été organisé par la candidate

en Janvier 2008, au siège local de l'Agence universitaire de la francophonie (AUF) au Bénin afin de sensibiliser les autorités gouvernementales et différents intervenants aux stratégies utilisées dans la présente étude afin de réduire l'anémie ferriprive.

10.2.3 Élaboration des politiques et établissement des recommandations en nutrition

La principale stratégie de réduction de l'anémie au Bénin étant la supplémentation en fer des femmes enceintes, les adolescentes qui constituent pourtant des groupes à risque d'anémie par carence en fer et les futures mères sont très négligées. Mais vu la prévalence de l'anémie et de la carence en fer chez les femmes enceintes, il y a un besoin urgent d'interventions durables et efficaces de contrôle de ce problème nutritionnel au Bénin. Considérant nos résultats, il sera donc pertinent d'associer comme le préconise l'OMS (2008), la distribution des suppléments à d'autres actions plus durables telles que la diversification et l'amélioration des habitudes alimentaires. Il ne faudrait pas oublier les mesures de santé publique comme le contrôle du paludisme et des parasitoses intestinales et surtout l'éducation nutritionnelle à tous les niveaux: écoles, milieux de travail, médias (télévision et radio).

Les méthodes d'évaluation du statut en fer utilisées dans la présente étude pourront servir à déterminer la prévalence de la carence en fer chez les groupes à risque élevé de carence en fer et pour la population en général. Ces prévalences serviront à identifier les localités et les zones à risques de carence en micronutriments. En effet, suite aux recommandations de la Conférence Internationale sur la Nutrition (CIN) de décembre 1992 à Rome, le Bénin s'est doté d'un plan d'Action National pour l'Alimentation et la Nutrition (PANAN) qui fut adopté en juin 1995 par le gouvernement béninois. Ce plan comportait neuf stratégies correspondant à un ensemble de quatre-vingt-sept activités minutieusement identifiées qui devaient être réalisées entre 1995 et 2004 (FAO/OMS, 2000). Dans le but de prévenir les carences en micronutriments, deux activités sont actuellement prévues. Il s'agit de déterminer les prévalences des carences en micronutriments et d'identifier les localités et les zones à haut risque de carence. Ces zones feront éventuellement l'objet d'études spécifiques en matière de stratégies d'intervention. Cependant, dans ce document, aucune

précision n'est donnée concernant les micronutriments qui seront étudiés et les critères diagnostics choisis. Seule l'adoption de la consommation du sel iodé par le gouvernement est mentionnée.

Les informations recueillies sur les habitudes alimentaires des adolescentes et les patrons alimentaires favorisant une meilleure biodisponibilité du fer de même que l'identification des aliments locaux riches en fer et en vitamine C, pourront être utilisées dans l'élaboration des politiques de santé visant à prévenir et à réduire la carence en fer. En un mot, elles contribueront à mieux orienter les activités de prévention de la carence en fer et à établir des lignes directrices qui sont actuellement quasi-inexistantes au Bénin. L'évaluation et l'analyse de la situation nutritionnelle doivent donc être considérées comme prioritaires afin de permettre la mise au point de stratégies appropriées. Il ressort clairement des plans et des rapports nationaux que les programmes et les systèmes existants pour la collecte et l'analyse des informations nutritionnelles doivent être renforcés afin de réduire la carence en fer et l'anémie.

10.2.4 Avancement des connaissances en nutrition

En dépit de la multiplicité des instances qui recueillent des données sur l'état de santé des populations au Bénin, il est très difficile de connaître la situation nutritionnelle actuelle et ce, en raison des échantillons qui ne sont pas toujours représentatifs, des techniques de mesure qui diffèrent, des indicateurs d'anémie et des seuils de normalité qui ne sont pas standardisés ou encore du traitement incomplet des données (MI/UNICEF, 2006). L'ampleur et la gravité de la carence en fer sont insuffisamment connues au Bénin. En effet, peu d'études ont été effectuées sur la prévalence de la carence en fer et de l'anémie, et la plupart de ces études datent des années quatre-vingts (Herberg et al. 1986; 1987, 1988). De plus, l'importance de la carence en fer chez les adolescentes est plus difficile à évaluer compte tenu de la rareté des données pour ce groupe à risque. À notre connaissance, l'étude d'Alaofè et al. (2007) est la seule étude mettant en évidence l'impact des habitudes alimentaires et des infections parasitaires sur la prévalence de la carence en fer chez des adolescentes béninoises. Cependant dans cette étude, la ferritine sérique n'a pas été déterminée et les apports en phytates n'ont pas été considérés.

L'évaluation nutritionnelle effectuée dans la présente étude permet non seulement de mettre en évidence le statut en fer des adolescentes échantillonnées, mais contribue à l'identification des facteurs étiologiques de la carence en fer. Il s'agit donc d'une contribution importante à l'avancement des connaissances en nutrition. De plus, il est important de signaler que les trois interventions de modification et de diversification alimentaires actuellement disponibles chez les femmes en âge de procréer (Creed-Kanashiro et al. 2000; Heath et al. 2001; Patterson et al. 2001), n'ont pu mettre en évidence d'augmentation significative du taux d'hémoglobine chez les sujets étudiés. Seuls Patterson et al. (2001) ont observé une augmentation significative du taux de ferritine sérique après 12 semaines d'intervention chez 22 femmes adultes carencées en fer, mais non anémiques. Ainsi, l'augmentation importante et significative du taux d'hémoglobine, la réduction significative de la prévalence d'anémie et d'anémie ferriprive observées dans la présente étude démontrent pour la première fois chez les femmes en âge de procréer et de surcroît, chez les adolescentes, qu'une intervention nutritionnelle peut réduire l'anémie et l'anémie ferriprive. Ces résultats contribuent donc de façon marquante à l'avancement des connaissances en nutrition.

Enfin, nous avons mis en évidence dans le groupe d'intervention des augmentations importantes pour la plupart des nutriments incluant le fer alimentaire et le fer absorbable. Il s'agit là également d'une contribution importante à l'avancement des connaissances en nutrition puisque seuls Creed-Kanashiro et al. (2000) au Pérou ont démontré une faible augmentation des apports en fer absorbable et en fer alimentaire chez les 71 adolescentes qui constituaient le groupe d'intervention. Bien que l'anémie par carence en fer constitue un véritable problème de santé publique au Bénin, les politiques de santé n'ont pas accordé à cette affection toute l'attention nécessaire. Il n'existe aucun programme d'enrichissement en fer des aliments, alors que la distribution des suppléments de fer est inconnue. La connaissance des habitudes alimentaires qui affectent la biodisponibilité du fer alimentaire ainsi que celle des facteurs de risque de la carence en fer sont des informations essentielles qui favoriseront une meilleure orientation des programmes de prévention primaire de la carence en fer au niveau des autorités béninoises et des organisations non gouvernementales (ONG).

Comme nous l'avons souligné dans la revue de la littérature, l'étiologie de la carence en fer est multifactorielle surtout dans le contexte des pays en développement. Et même là où la pauvreté, la misère et l'environnement sont les causes essentielles de la malnutrition, une partie de la malnutrition est due à certains types de comportements, individuels, familiaux et sociaux. La sélection d'une combinaison appropriée de stratégies dépend des facteurs culturels, religieux, socio-économiques et d'autres facteurs pertinents pour la population concernée.

10.3 LIMITES DE L'ÉTUDE

Bien que la présente étude offre plusieurs avantages, elle présente aussi quelques limites. En effet, une plus grande consommation de produits animaux et d'aliments riches en vitamine C requiert des ressources supplémentaires qui ne sont pas toujours à la portée de toutes les familles béninoises. Le niveau d'instruction du personnel administratif, des infirmières et des maîtresses qui s'occupaient des adolescentes a facilité l'introduction des différentes stratégies d'amélioration des pratiques alimentaires dans l'école d'intervention. Bien que les profils alimentaires des participantes soient similaires à ceux des adolescentes de la population en général, le niveau d'éducation ainsi que la disponibilité et la qualité des ressources alimentaires peuvent constituer une barrière pour la réalisation d'une telle intervention dans la population. D'autres études seront donc nécessaires pour confirmer ces hypothèses.

Aussi, les résultats observés dans la présente étude ne peuvent être généralisés aux adolescentes béninoises en général et ce, à cause de l'environnement alimentaire et sociodémographique qui caractérisait les sujets de la présente étude. Les internats offrent en effet un meilleur cadre éducatif et alimentaire aux adolescentes pensionnaires tel qu'il a été observé par Alaofè et al. (2007). Les adolescentes de l'internat avaient des apports plus élevés en énergie et pour la plupart des nutriments comparativement aux filles qui demeuraient dans leur milieu familial, de même qu'un meilleur état nutritionnel en fer. Les internats dans lesquels nous avons effectué l'étude sont situés dans une zone urbaine, ce qui permet de croire que les participantes avaient probablement un meilleur niveau socio-économique. Elles ne sont donc pas représentatives des adolescentes qui ne fréquentent pas

l'école ou qui vivent dans les régions rurales où les conditions socio-économiques sont souvent plus précaires. Au Bénin, le taux brut de scolarisation des filles âgées de 15 à 24 ans est de 33,2%, et pour 100 adolescentes qui entrent à l'école primaire, seulement 47% dans les régions urbaines et 14% dans les régions rurales finissent l'école secondaire (Akpo, 2007). Environ 47,6% de la population vivait sous le seuil de la pauvreté en 2004 (33% dans les régions rurales pour 23% dans les régions urbaines) (PNUD, 2007).

10.4 PERSPECTIVES DE RECHERCHE

La présente étude a été effectuée sur une période de 6 mois. Il serait intéressant de réaliser une telle intervention sur une plus longue période afin d'apprécier ses effets à long terme. Il serait aussi intéressant de reproduire certains aspects de cette intervention (ex.: éducation nutritionnelle, augmentation de la biodisponibilité du fer) chez des adolescentes vivant à la maison, ce qui pourrait sans doute avoir des effets très positifs sur les habitudes alimentaires de toute la famille. Diverses études ont associé la carence en fer à une réduction des capacités physiques et intellectuelles, à une diminution de la résistance aux infections, de la capacité d'attention, de mémorisation et d'apprentissage des femmes atteintes (Beard et al. 2006; Gleason et Schrimshaw, 2007). Il serait donc pertinent d'étudier l'impact d'une telle intervention sur la santé et le bien-être des adolescentes. Enfin, des aliments locaux riches en fer tels que l'afiti, le poisson séché et le crain-crain ont été identifiés. De plus, Avallone et al. (2007) ont observé in vitro que l'augmentation de l'absorption du fer était respectivement doublée ou triplée lorsque les sauces étaient préparées avec du poisson séché ou de l'afiti. Des évaluations formatives pourraient s'effectuer et permettront de déterminer les fréquences de consommation hebdomadaire ou quotidienne et d'étudier leur disponibilité et leur coût. Ainsi, les informations recueillies pourront être utilisées pour développer des stratégies appropriées d'éducation nutritionnelle visant à réduire l'anémie ferriprive.

10.5 CONCLUSION GENERALE

L'anémie par carence en fer représente un problème majeur de santé publique chez les adolescentes étudiées. En plus des apports insuffisants en fer absorbable et des parasitoses intestinales, les habitudes alimentaires et différents facteurs de risque tels que

l'environnement alimentaire, les facteurs économiques, socio-culturels, biologiques et sanitaires influençaient l'état nutritionnel en fer des sujets étudiés. Nos résultats suggèrent également qu'une intervention nutritionnelle comprenant une augmentation des apports et de la biodisponibilité du fer alimentaire combinée à une éducation nutritionnelle et au contrôle des infections parasitaires peut réduire l'anémie par carence en fer.

L'évaluation du statut en fer de ce groupe d'adolescentes pensionnaires a permis d'améliorer leur santé et leur bien-être et d'identifier les principaux facteurs de risque de cette carence nutritionnelle; ce qui pourra contribuer à mieux orienter les programmes de prévention de la carence en fer et à établir des lignes directrices en matière de nutrition, lesquelles sont actuellement quasi-inexistantes au Bénin. Cependant, des recherches additionnelles sont nécessaires afin d'apprécier l'efficacité de cette intervention à long terme et d'étudier sa reproductibilité.

Chapitre 11

Références bibliographiques

Adish AA, Esrey SA, Gyorkos TW, Jean-Baptiste J, Rojhani A. Effect of consumption of food cooked in iron pots on iron status and growth of young children: a randomised trial. *Lancet* 1999; 353:712-6.

Agarwal R. Nonhematological benefits of iron. *Am J Nephrol* 2007; 27:565-71.

Ahiboh H, Oga AS, Yapi HF, Kouakou G, Boua KD, Edjeme N, Monnet D. Anaemia, iron index status and acute phase proteins in malaria (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Bull Soc Pathol Exot* 2008; 101:25-8.

Ahluwalia N, Bulux J, Solomons NW, Romero-Abal ME, Mercedes Hernández M, Boy E. Ferritin concentrations in dried serum spots prepared by standard compared with simplified approaches: a validation study in Guatemala city. *Am J Clin Nutr* 2005; 81:1366-71.

Ahluwalia N, De Silva A, Atukorala S, Weaver V, Rajendra R. Ferritin concentrations in dried serum spots from capillary and venous blood in children in Sri Lanka: a validation study. *Am J Clin Nutr* 2002; 75:289-94.

Ahluwalia N, Lönnerdal B, Lorenz SG, Allen LH. Spot ferritin assay for serum samples dried on filter sample. *Am J Clin Nutr* 1998; 67:88-92.

Ahluwalia, N. Intervention strategies for improving iron status of young children and adolescents in India. *Nutr Rev* 2002; 60, S115-8.

Ahmed M, Bower P. The effectiveness of self help technologies for emotional problems in adolescents: a systematic review. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health* 2008; 2:20.

Ahmed A, Anjum FM, Ur Rehman S, Randhawa MA, Farooq U. Bioavailability of calcium, iron and zinc fortified whole wheat flour chapatti. *Plant Foods Hum Nutr* 2008; 63:7-13.

Ahmed F, Khan MR, Akhtaruzzaman M, Karim R, Marks GC, Banu CP, Nahar B, Williams G. Efficacy of twice-weekly multiple micronutrient supplementation for improving the hemoglobin and micronutrient status of anemic adolescent schoolgirls in Bangladesh. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:829-35.

Aikawa R, Ngyen CK, Sasaki S, Binns CW. Risk factors for iron-deficiency anaemia among pregnant women living in rural Vietnam. *Public Health Nutr* 2006; 9:443-8.

Akpo M, *Gender-Based Violence in Schools: Benin case study*, Academy for Educational Development, Benin (2007).

Al-Almaie S. Knowledge of healthy diets among adolescents in eastern Saudi Arabia. *Ann Saudi Med* 2005; 25:294-8.

Alaofè H, Zee J, Turgeon O'Brien H. Apports alimentaires en fer et anémie ferriprive chez des adolescentes au Bénin. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2007; 55:187-96.

Alderman H, Konde-Lule J, Sebuliba I, Bundy D, Hall A. Effect on weight gain of routinely giving albendazole to preschool children during child health days in Uganda: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 2006; 333:122.

Allen LH, Ahluwalia N. Improving iron status through diet. The application of knowledge concerning dietary iron bioavailability in human populations. Arlington, VA: John Snow International, 1997 [OMNI Technical Papers, no. 8]

Allen L, Black RE, Brandes N, Brittenham G, Chazot G, Chunming C, Crawley J, de Benoist B, Dalmiya N, Darnton-Hill I, Dewey K, El-Arifeen S, Fontaine O, Geissler C, Haberle H, Harvey P, Hasler J, Hershko C, Hurrell R, Juma MA, Lönnerdal B, Lozoff B, Lynch S, Martínez Salgado H, McLean E, Metz J, Oppenheimer S, Premji Z, Prentice A, Ramsan M, Ratledge C, Stoltzfus R, Tielsch J, Winachagoon P, Secrétariat de l'Organisation mondiale de la Santé, au nom des participants à la consultation. Conclusions and recommendations of a WHO expert consultation meeting on iron supplementation for infants and young children in malaria endemic areas. *Med Trop* 2008; 68:182-8.

Alton I. Iron deficiency anemia. In: Stang J, Story M, eds. *Guidelines for adolescent nutrition services*. Minneapolis, MN: Center for Leadership, Education and Training in Maternal and Child Nutrition, Division of Epidemiology and Community Health, School of Public Health, University of Minnesota, 2005:101-8.

Alusala DN, Estambale BB, Magnussen P, Friis H, Luoba AI, Mwaniki D. Predictors of serum ferritin and haemoglobin during pregnancy, in a malaria-endemic area of western Kenya. *Ann Trop Med Parasitol* 2008; 102:297-308.

Amani R, Soflaei M. Nutrition education alone improves dietary practices but not hematologic indices of adolescent girls in Iran. *Food Nutr Bull* 2006; 27:260-4.

Andang'o PE, Osendarp SJ, Ayah R, West CE, Mwaniki DL, De Wolf CA, Kraaijenhagen R, Kok FJ, Verhoef H. Efficacy of iron-fortified whole maize flour on iron status of schoolchildren in Kenya: a randomised controlled trial. *Lancet* 2007; 369:1799-806.

Anderson VP, Jack S, Monchy D, Hem N, Hok P, Bailey KB, Gibson RS. Co-existing micronutrient deficiencies among stunted Cambodian infants and toddlers. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008; 17:72-9.

Andrews NC, Schmidt PJ. Iron homeostasis. *Annu Rev Physiol* 2007; 69:69-85.

Andrews, NC. Iron deficiency and related disorders. 11th ed . In Greer JP, Foerster J, Lukens JN, Rodgers GM, Paraskevas F, Glader B. Wintrobe's clinical hematology. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2004: 979–1009.

Angeles-Agdeppa I, Paulino LS, Ramos AC, Etorma UM, Cavalli-Sforza T, Milani S. Government-industry partnership in weekly iron-folic acid supplementation for women of reproductive age in the Philippines: impact on iron status. *Nutr Rev* 2005; 63:S116-25.

Apfelbaum M, Romon M, Dubus M. Diététique et nutrition. 6^{ème} ed. Paris: Masson, 2004.

Armah CN, Sharp P, Mellon FA, Pariagh S, Lund EK, Dainty JR, Teucher B, Fairweather-Tait SJ. L-alpha-glycerophosphocholine contributes to meat's enhancement of nonheme iron absorption. *J Nutr* 2008; 138:873-7.

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 Cote d'Ivoire. *Am J Clin Nutr* 2001; 74:776-82.

Ati JE, Lefèvre P, Béji C, Ben Rayana C, Gaigi S, Delpuech F. Aetiological factors and perception of anaemia in Tunisian women of reproductive age. *Public Health Nutr* 2008; 11:729-36.

Avallone S, Bohuon P, Hemeri Y, Trèche S. Improvement of the in vitro digestible iron and zinc content of okra sauce widely consumed in sahelian Africa. *J Food Sci* 2007; 72: 153-8.

Ayoya MA, Spiekermann-Brouwer GM, Traore AK, Stoltzfus RJ, Garza C. Determinants of anemia among pregnant women in Mali. *Food Nutr Bull* 2006; 27:3-11.

Bach Kristensen, M, Hels O, Morberg C, Marving J, Bügel S, Tetens I. Pork meat increases iron absorption from a 5-day fully controlled diet when compared to a vegetarian diet with similar vitamin C and phytic acid content. *Br J Nutr* 2005; 94:78-83.

BAD (African Development Bank). African development report: Africa in the global trading system. Oxford: Oxford University Press, 2004.

Baech SB, Hansen M, Bukhave K, Jensen M, Sorensen SS, Purslow PP, Skibsted LH, Sandstrom B. Nonheme-iron absorption from a phytate-rich meal is increased by the addition of small amounts of pork meat. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:173-9.

Balla J, Jeney V, Varga Z, Komódi E, Nagy E, Balla G. Iron homeostasis in chronic inflammation. *Acta Physiol Hung* 2007; 94:95-106.

Basiotis PP, Welsh SO, Cronin FJ, Kelsay JL, Mertz W. Number of days of food intake records required to estimate individual and group nutrient intakes with defined confidence. *J Nut* 1987; 117:1638-41.

Bassa S, Michodjèhoun-Mestres L, Anihouvi V, Hounhouigan J. Prévention de l'anémie dans les zones rurales au Bénin: aspects technologiques de la fortification en fer de la farine fermentée de maïs 2ème Atelier international/ 2nd International Workshop. Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles Food-based approaches for a healthy nutrition Ouagadougou, 2003.

Beard JL, Murray-Kolb LE, Haas JD, Lawrence F. Iron absorption: comparison of prediction equations and reality. Results from a feeding trial in the Philippines. *Int J Vitam Nutr Res* 2007; 77:199-204.

Beard JL, Murray-Kolb LE, Rosales FJ, Solomons NW, Angelilli ML. Interpretation of serum ferritin concentrations as indicators of total-body iron stores in survey populations: the role of biomarkers for the acute phase response. *Am J Clin Nutr* 2006; 84:1498-505.

Beiseigel JM, Hunt JR, Glahn RP, Welch RM, Menkir A, Maziya-Dixon BB. Iron bioavailability from maize and beans: a comparison of human measurements with Caco-2 cell and algorithm predictions. *Am J Clin Nutr* 2007; 86:388-96.

Bellows L, Anderson J, Gould SM, Auld G. Formative research and strategic development of a physical activity component to a social marketing campaign for obesity prevention in preschoolers. *J Community Health* 2008; 33:169-78.

Bennett S, Gilson L. Conclusions: from evidence to action. In: Bennett S, Gilson L, Mills A, ed. *Health, economic development and household poverty: from understanding to action*. London: Routledge, 2007: Chapter 13.

Berger J, Dillon J. Control of iron deficiency in developing countries. *Santé* 2002; 12:22-30.

Bhakta D, dos Santos Silva I, Higgins C, Sevak L, Kassam-Khamis T, Mangtani P, Adlercreutz H, McMichael A. A semiquantitative food frequency questionnaire is a valid indicator of the usual intake of phytoestrogens by south Asian women in the UK relative to multiple 24-h dietary recalls and multiple plasma samples. *J Nutr* 2005; 135:116-23.

Bhandari N, Mazumder S, Bahl R, Martines J, Black RE, Bhan MK, Infant Feeding Study Group. An educational intervention to promote appropriate complementary feeding practices and physical growth in infants and young children in rural Haryana, India *J Nutr* 2004; 134:2342-8.

Bhargava A, Bouis HE, Scrimshaw NS. Dietary intakes and socio-economic factors are associated with the hemoglobin concentration of Bangladeshi women. *J Nutr* 2001; 131:758-64.

Bhutta ZA. Micronutrient needs of malnourished children. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008; 11:309-14.

Björge T, Engeland A, Tverdal A, Smith GD. Body mass index in adolescence in relation to cause-specific mortality: A follow-up of 230,000 Norwegian adolescents. *Am J Epidemiol* 2008; 168:30-7.

Blanchet C, Santé Canada, ESCC cycle 2.2, Nutrition 2004. 2008.

Blundo G, Olivier de Sardan JP. La corruption quotidienne en Afrique de l'Ouest. *Politique Africaine*, 2001; 83: 8-37.

Bohn L, Meyer AS, Rasmussen SK. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *J Zhejiang Univ Sci B* 2008; 9:165-91.

Borigato EV, Martinez FE. Iron nutritional status is improved in Brazilian preterm infants fed food cooked in iron pots. Hospital for Medicine of the Locomotor System-SARAH, Brasilia. *J Nutr* 1998; 128:855-9.

Botha GM, Viljoen CD. Can GM sorghum impact Africa? *Trends Biotechnol* 2008; 26:64-9.

Bouis HE. The potential of genetically modified food crops to improve human nutrition in developing countries. *J Dev Stud* 2007; 43:79-96.

Brabin L, Ikimalo J, Dollimore N, Kemp J, Ikokwu-Wonodi C, Babatunde S, Obunge O, Briggs N. How do they grow? A study of south-eastern Nigerian adolescent girls. *Acta Paediatr* 1997; 86:1114-20.

Brutsaert TD, Hernandez-Cordero S, Rivera J, Viola T, Hughes G, Haas JD. Iron supplementation improves progressive fatigue resistance during dynamic knee extension exercise in iron-depleted, non anemic women. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:441-8.

Cadet E, Gadenne M, Capron D, Rochette J. Données récentes sur le métabolisme du fer: un état de transition. *Rev Med Intern* 2005; 26: 315-24.

Caire-Juvera G, Ortega MI, Casanueva E, Bolaños AV, de la Barca AM. Food components and dietary patterns of two different groups of Mexican lactating women. *J Am Coll Nutr* 2007; 26:156-62.

Calis JC, Phiri KS, Faragher EB, Brabin BJ, Bates I, Cuevas LE, de Haan RJ, Phiri AI, Malange P, Khoka M, Hulshof PJ, van Lieshout L, Beld MG, Teo YY, Rockett KA, Richardson A, Kwiatkowski DP, Molyneux ME, Van Hensbroek MB. Severe anemia in Malawian children. *N Engl J Med* 2008; 358:888-99.

Carriere I, Dupuy AM, Lacroux A, Cristol JP, Delcourt C. Pathologies Oculaires Liées à l'Age Study Group. Biomarkers of inflammation and malnutrition associated with early death in healthy elderly people. *J Am Geriatr Soc* 2008; 56:840-6.

CDC (Centers for Disease Control and Prevention). Trends in wheat-flour fortification with folic acid and iron--worldwide, 2004 and 2007. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2008; 57:8-10.

Charlton KE, Brewitt P, Bourne LT. Sources and credibility of nutrition information among black urban South African women, with a focus on messages related to obesity. *Public Health Nutr* 2004; 7:801-11.

Choudhary A, Moses PD, Mony P, Mathai M. Prevalence of anaemia among adolescent girls in the urban slums of Vellore, South India. *Trop Doct* 2006; 36:167-9.

Christian P, Khattry SK, Katz J, Pradhan EK, LeClerq SC, Shrestha SR, Adhikari RK, Sommer A, West KP Jr. Effects of alternative maternal micronutrient supplements on low birth weight in rural Nepal: double blind randomised community trial. *Br Med J* 2003; 326:571.

Clark SF. Iron deficiency anemia. *Nutr Clin Pract* 2008; 23:128-41.

Cockell KA. An overview of methods for assessment of iron bioavailability from foods nutritionally enhanced through biotechnology. *J AOAC Int* 2007; 90:1480-91.

Conway RE, Powell JJ, Geissler CA. A food-group based algorithm to predict non-heme iron absorption. *Int J Food Sci Nutr* 2007; 58:29-41.

Cook JD, Flowers CH, Skikne BS. The quantitative assessment of body iron. *Blood* 2003; 101: 3359-64.

Cook JD, Skine BS. New approaches to the assessment of iron nutriture. *Colloque INSERM* 1990; 197: 120-36.

Cook JD. Clinical evaluation of iron deficiency. *Sem Hematol* 1982; 19:6-18.

Cook JD. Diagnosis and management of iron-deficiency anaemia. *Best Pract Res Clin Haematol* 2005; 18:319-32.

Cooper MJ, Cockwell KA, L'Abbe MR. The iron status of Canadian adolescents and adults: current knowledge and practical implications. *Can J Diet Pract Res* 2006; 67:130-8.

Coutinho GG, Goloni-Bertollo EM, Bertelli EC. Iron deficiency anemia in children: a challenge for public health and for society. *Sao Paulo Med J* 2005; 123:88-92.

Creed-Kanashiro HM, Uribe TG, Bartolini RM, Fukumoto MN, Lopez TT, Zavaleta NM, Bentley ME. Improving dietary intake to prevent anemia in adolescent girls through community kitchens in a periurban population of Lima, Peru. *J Nutr* 2000; 130:S459-61.

Curran GM, Mukherjee S, Allee E, Owen RR. A process for developing an implementation intervention: *queri series*. *Implement Sci* 2008; 3:17.

Dale JC, Burritt MF, Zinsmeister AR. Diurnal variation of serum iron, iron-binding capacity, transferrin saturation, and ferritin levels. *Am J Clin Pathol* 2002; 117:802-8.

DANA/INFRE (Direction de l'alimentation et de la nutrition appliquée/Direction de l'institut national de formation et de recherche en éducation). *Alimentation et Nutrition au Bénin*. Cotonou, Bénin:CESI, 2001.

Das S, Philip KJ. Evaluation of iron status: zinc protoporphyrin vis-a-vis bone marrow iron stores. *Indian J Pathol Microbiol* 2008; 51:105-7

Davidson L, Nestel P, INACG. *Efficacité et efficacité des interventions dans la lutte contre la carence en fer et l'anémie ferriprive*. Washington, DC: Institut de Nutrition Humaine de la Fondation de Recherche (ILSI), 2005.

Davidsson L, Adou P, Zeder C, Walczyk T, Hurrell R. The effect of retinyl palmitate added to iron-fortified maize porridge on erythrocyte incorporation of iron in African children with vitamin A deficiency. *Br J Nutr* 2003; 90:337-43.

De Benoist B, Fontaine O. Summary of the conclusions of the WHO consultation: prevention and control of iron deficiency in infants and young children in malaria –endemic areas. *Sight and Life Magazine* 2007:14-15.

De Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull World Health Organ* 2007; 85:660-7.

Delaby C, Deybach JC, Beaumont C. L'hepcidine et le métabolisme du fer. *Revue Med Intern* 2007; 28: 510-12.

Delisle H. Food diversification strategies are neglected in spite of their potential effectiveness: why is it so and what can be done? In: Brouwer I, Traoré AS, Trèche S. *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest: le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes*. Ouagadougou, Burkina Faso: 2003:151-66.

Denic S, Agarwal MM. Nutritional iron deficiency: an evolutionary perspective. *Nutrition* 2007;23: 603-14.

Denney-Wilson E, Hardy LL, Dobbins T, Okely AD, Baur LA. Body mass index, waist circumference, and chronic disease risk factors in Australian adolescents. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2008; 162:566-73.

Devaki PB, Chandra RK, Geisser P. Effect of oral supplementation with iron(III)-hydroxide polymaltose complex on the immunological profile of adolescents with varying iron status. *Arzneimittelforschung* 2007; 57:417-25.

Dewey KG, Domellöf M, Cohen RJ, Landa Rivera L, Hernell O, Lönnerdal B. Iron supplementation affects growth and morbidity of breast-fed infants: results of a randomized trial in Sweden and Honduras. *J Nutr* 2002; 132:3249-55.

Dijkhuizen MA, Wieringa FT, West CE, Muhilal LB. Micronutrient deficiency and supplementation in Indonesian infants. Interactions between micronutrients. *Adv Exp Med Biol* 2003; 531:359-68.

Diniz-Santos DR, Jambeiro J, Mascarenhas RR, Silva LR. Massive *Trichuris trichiura* infection as a cause of chronic bloody diarrhea in a child. *J Trop Pediatr* 2006; 52:66-8.

Djalali M, Neyestani TR, Bateni J, Siassi F. The effect of repeated blood donations on the iron status of Iranian blood donors attending the Iranian blood transfusion organization. *Int J Vitam Nutr Res* 2006; 76:132-7.

Djazayery A, Keshavarz A, Ansari F, Mahmoudi M. Iron status and socioeconomic determinants of the quantity and quality of dietary iron in a group of rural Iranian women. *East Mediterr Health J* 2001; 7:652-7.

Doherty CP, Cox SE, Fulford AJ, Austin S, Hilmers DC, Abrams SA, Prentice AM. Iron incorporation and post-malaria anaemia. *PLoS ONE* 2008; 3:e2133.

Dólka E, Kámer B, Lukamowicz J. Soluble transferrin receptor's value in diagnosis infants and small children iron deficiency. *Pol Merkuri Lekarski* 2007; 23:352-5.

Dos Santos MM, Nogueira Ndo N, Diniz Ada S. Effectiveness of different iron supplementation strategies on hemoglobin and ferritin levels among schoolchildren in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saude Publica* 2007; 23:1547-52.

Dossa RA, Ategbro EA, de Koning FL, van Raaij JM, Hautvast JG. Impact of iron supplementation and deworming on growth performance in preschool Beninese children. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 223-8.

Du S, Zhai F, Wang Y, Popkin BM. Current methods for estimating dietary iron bioavailability do not work in China. *J Nutr* 2000; 130:193-8.

Dubost M. *La nutrition*. 2nd ed. Montréal: Chernelière Education, 2005.

Engle-Stone R, Yeung A, Welch R, Glanville R. Meat and ascorbic acid can promote Fe availability from Fe-phytate but not from Fe-tannic acid complexes. *J Agric Food Chem* 2005; 53:276-84.

English M, Snow RW. Iron and folic acid supplementation and malaria risk. *Lancet* 2006; 367:90-1.

Engmann C, Adanu R, Lu TS, Bose C, Lozoff B. Anemia and iron deficiency in pregnant Ghanaian women from urban areas. *Int J Gynaecol Obstet* 2008; 101:62-6.

Espanel C, Kafando E, Héroult B, Petit A, Héroult O, Binet C. Iron deficiency anaemia: clinical presentation, biological diagnosis and management. *Transfus Clin Biol* 2007; 14:21-4.

Fairbanks VF. Iron in medicine and nutrition. 9th ed. In: Shils ME, Olson JA et al. *Modern nutrition in health and disease*. Baltimore, MD: Lea and Febiger, 1998: chap 10.

FAO. Aperçus nutritionnels par pays - Bénin. 2003. 30p.

FAO. Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique subsaharienne. Dossier pour l'accroissement des soutiens publics. Rome, Italie: Département de la coopération technique, 2006. [Série de l'assistance aux politiques, document de travail no. 01.]

FAO. State of food insecurity (SOFI). Rome, Italy: Economic and Social Department, 2004.

FAO/OMS. Rapport final de l'atelier sous-régional sur le suivi de la CIN dans les pays africains francophones. Ouagadougou, Burkina Faso, 2000: 9.

FAOSTAT. Statistique de sécurité alimentaire: Bénin. Division de la statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation. 2008 [En ligne] <http://www.fao.org/ag/AGN/nutrition/BEN-f.stm> (Consulté le 10 Mai 2008).

Ferreira MU, da Silva-Nunes M, Bertolino CN, Malafrente RS, Muniz PT, Cardoso MA. Anemia and iron deficiency in school children, adolescents, and adults: a community-based study in rural Amazonia. *Am J Public Health* 2007; 97: 237-9.

Fewtrell L, Kaufmann RB, Kay D, Enanoria W, Haller L, Colford JM Jr. Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis* 2005; 5:42-52.

Fidler MC, Davidsson L, Zeder C, Walczyk T, Hurrell RF. Iron absorption from ferrous fumarate in adult women is influenced by ascorbic acid but not by Na₂EDTA. *Br J Nutr* 2003; 90:1081-5.

Fiedler JL, Sanghvi TG, Saunders MK. A review of the micronutrient intervention cost literature: program design and policy lessons. *Int J Health Plann Manage* 2008. doi: 10.1002/hpm.928

Fontenay M, Cathelin S, Amiot M, Gyan E, Solary E. Mitochondria in hematopoiesis and hematological diseases. *Oncogene* 2006; 25:4757-67.

Fourn L, Salami L. Diagnostic value of tegument pallor in anemia in pregnant women in Benin. *Santé Publique* 2004; 16:123-32.

Ganz T. Iron homeostasis: fitting the puzzle pieces together. *Cell Metab* 2008; 7:288-90.

García-Casal MN, Carotenoids increase iron absorption from cereal-based food in the human. *Nutr Res* 2006; 26: 340-4.

Garcia-Casal MN, Leets I, Layrisse M. B-carotène and inhibitors of iron absorption modify iron uptake by Caco-2 cells. *J Nutr* 2000; 130:5-9.

Gargari BP, Razavieh SV, Mahboob S, Niknafs B, Kooshavar H. Effect of retinol on iron bioavailability from Iranian bread in a Caco-2 cell culture model. *Nutrition* 2006; 22:638-44.

Gawarika R, Gawarika S, Mishra AK. Prevalence of anemia in adolescent girls belonging to different economic groups. *Ind J Comm Med* 2006; 31: 287-8.

Ghosh A, Bala SK. Anthropometric characteristics and nutritional status of Kondh: a tribal population of Kandhmal District, Orissa, India. *Ann Hum Biol* 2006; 33:641-7.

Ghosh K. Non haematological effects of iron deficiency - a perspective. *Indian J Med Sci* 2006; 60:30-7.

Gibson RS. Principles of nutritional assessment. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005.

Gibson RS. Strategies for preventing micronutrient deficiencies in developing countries. *Asia Pac J Clin Nutr* 2004; 13:S23.

Gisbert JP, Gomollón F. Common misconceptions in the diagnosis and management of anemia in inflammatory bowel disease. *Am J Gastroenterol* 2008; 103:1299-307.

Glahn RP, Wortley GM, South PK, Miller DD. Inhibition of iron uptake by phytic acid, tannic acid and ZnCl₂: studies using an in vitro digestion /Caco-2 cell model. *J Agric Food Chem* 2002; 50:390-5.

Gleason G, Srimshaw NS. An overview of the functional significance of iron deficiency. In: Badham J, Zimmermann MB, Hurrell RF, Kraemer K. Nutritional anemia. Basel, Switzerland: Sight and life Press, 2007: 337-58.

Gorstein J, Sullivan KM, Parvanta I, Begin F. Indicators and methods for cross-sectional surveys of vitamin and mineral status of populations. The Micronutrient Initiative and the Centers for Disease Control and Prevention, 2007, 155p.

Gould R, Russell J, Barker ME. School lunch menus and 11 to 12 year old children's food choice in three secondary schools in England-are the nutritional standards being met? *Appetite* 2006; 46:86-92.

Graham RD, Welch RM, Bouis HE. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives, and knowledge gaps. *Adv Agron* 2001; 70:77-142.

Greiner T. Fortification of processed cereals should be mandatory. *Lancet* 2007; 369:1766-8.

Grillenberger M, Murphy SP, Neumann CG, Bwibo NO, Verhoef H, Hautvast JG. The potential of increased meat intake to improve iron nutrition in rural Kenyan schoolchildren. *Int J Vitam Nutr Res* 2007; 77:193-8.

Gropper SS, Smith JL, Groff JL. *Advanced nutrition and human metabolism*. 5th ed. Belmont: Wadsworth, 2009.

Gunnarsson BS, Thorsdottir I, Palsson G. Associations of iron status with dietary and other factors in 6-year-old children. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61:398-403.

Haas JD, Beard JL, Murray-Kolb LE, del Mundo AM, Felix A, Gregorio GB. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. *J Nutr* 2005; 135:2823-30.

Hall A, Bobrow E, Brooker S, Jukes M, Nokes K, Lambo J, Guyatt H, Bundy D, Adjei S, Wen ST, Satoto, Subagio H, Rafiluddin MZ, Miguel T, Moulin S, de Graft Johnson J, Mukaka M, Roschnik N, Sacko M, Zacher A, Mahumane B, Kihamia C, Mwanri L, Tatala S, Lwambo N, Siza J, Khanh LN, Khoi HH, Toan ND. Anaemia in schoolchildren in eight countries in Africa and Asia. *Public Health Nutr* 2001; 4:749-56.

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. *Matern Child Nutr* 2008; 4:118-236.

Hallberg L, Brune M, Erlandsson M, Sandberg AS, Rossander-Hulthén L. Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr* 1991; 53:112-9.

Hallberg L, Hulthén L. Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. *Am J Clin Nutr* 2000; 71:1147-60.

Hallberg L. Does calcium interfere with iron absorption? *Am J Clin* 1998; 68:3.

Handelman GJ, Levin NW. Iron and anemia in human biology: a review of mechanisms. *Heart Fail Rev* 2008; 13:393-404.

Harris SS. The effect of calcium consumption on iron absorption and iron status. *Nutr Clin Care* 2002; 5:231-5.

Hart CL, Hole DJ, Lawlor DA, et al. How many cases of type 2 diabetes mellitus are due to being overweight in middle age? Evidence from the Midspan prospective cohort studies using mention of diabetes mellitus on hospital discharge or death records. *Diabet Med* 2007; 24:73-80.

Harvey LJ, Armah CN, Dainty JR, Foxall RJ, John Lewis D, Langford NJ, Fairweather-Tait SJ. Impact of menstrual blood loss and diet on iron deficiency among women in the UK. *Br J Nutr* 2005; 94:557-64.

Hashizume M, Chiba M, Shinohara A, Iwabuchi S, Sasaki S, Shimoda T, Kunii O, Caypil W, Dauletbaev D, Alnazarova A. Anaemia, iron deficiency and vitamin A status among school-aged children in rural Kazakhstan. *Public Health Nutr* 2005; 8:564-71.

Hashizume M, Shimoda T, Sasaki S, Kunii O, Caypil W, Dauletbaev D, Chiba M. Anaemia in relation to low bioavailability of dietary iron among school-aged children in the Aral Sea region, Kazakhstan. *Int J Food Sci Nutr* 2004; 55:37-43.

Hassan AE, Kamal MM, Fetohy EM, Turkey GM. Health education program for mothers of children suffering from iron deficiency anemia in United Arab Emirates. *J Egypt Public Health Assoc* 2005; 80:525-45.

Hatzis CM, Bertias GK, Linardakis M, Scott JM, Kafatos AG. Dietary and other lifestyle correlates of serum folate concentrations in a healthy adult population in Crete, Greece: a cross-sectional study. *Nutr J* 2006; 5:5.

Heath AL, Skeaff CM, O'Brien SM, Williams SM, Gibson RS. Can dietary treatment of non-anemic iron deficiency improve iron status? *J Am Coll Nutr* 2001; 20:477-84.

Held MR, Bungiro RD, Harrison LM, Hamza I, Cappello M. Dietary iron content mediates hookworm pathogenesis in vivo. *Infect Immun* 2006; 74:289-95.

Helfand M, Freeman M, Nygren P, Walker M. Screening for iron deficiency anemia in childhood and pregnancy: update of 1996 USPSTF review. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality, 2006. [Evidence synthesis no.3.]

Herberg S, Chauliac M, Galan P, Devanlay M, Zohoun I, Agboton Y, Soustre Y, Bories C, Christides JP, Potier de Courcy G. Relationship between anaemia, iron and folacin deficiency, haemoglobinopathies and parasitic infection. *Hum Nutr Clin Nutr* 1986; 40:371-9.

Hercberg S, Chauliac M, Galan P, Devanlay M, Zohoun I, Agboton Y, Soustre Y, Auvert B, Masse-Raimbault AM, Dupin H. Prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anaemia in Benin. *Public Health* 1988; 102:73-83.

Hercberg S, Galan P, Chauliac M, Masse-Raimbault AM, Devanlay M, Bileoma S, Alihonou E, Zohoun I, Christides JP, Potier de Courcy G. Nutritional anaemia in pregnant Beninese women: consequences on the haematological profile of the newborn. *Br J Nutr* 1987; 57:185-93.

Hershko C, Patz J, Ronson A. The anemia of achylia gastrica revisited. *Blood Cell Mol Dis* 2007; 39:178-83.

Hinderaker SG, Olsen BE, Lie RT, Bergsjø PB, Gasheka P, Bondevik GT, Ulvik R, Kvåle G. Anemia in pregnancy in rural Tanzania: associations with micronutrients status and infections. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56:192-9.

Hinton PS, Sinclair LM. Iron supplementation maintains ventilatory threshold and improves energetic efficiency in iron-deficient non anemic athletes. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61:30-9.

Hong ST, Chai JY, Choi MH, Huh S, Rim HJ, Lee SH. A successful experience of soil-transmitted helminth control in the Republic of Korea. *Korean J Parasitol* 2006; 44:177-85.

Horjus P, Aguayo VM, Roley JA, Pene MC, Meershoek SP. School-based iron and folic acid supplementation for adolescent girls: findings from Manica Province, Mozambique. *Food Nutr Bull* 2005; 26:281-6.

Horton J, Ross S. The economics of iron deficiency. *Food Policy* 2003; 28:51-75.

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: 226-37.

Hotz C, Gibson RS. Traditional food-processing and preparation practices to enhance the bioavailability of micronutrients in plant-based diets. *J Nutr* 2007;137:1097-100.

Howarth NC, Murphy SP, Wilkens LR, Hankin JH, Kolonel LN. Dietary energy density is associated with overweight status among 5 ethnic groups in the multiethnic cohort study. *J Nutr* 2006; 136:2243-8.

Huh EC, Hotchkiss A, Brouillette J, Glahn RP. Carbohydrate fractions from cooked fish promote iron uptake by Caco-2 cells. *J Nutr* 2004; 134:1681-9.

Huma N, Salim-Ur-Rehman, Anjum FM, Murtaza MA, Sheikh MA. Food fortification strategy--preventing iron deficiency anemia: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2007; 47: 259-65.

Hurrell RF, Reddy MB, Juillerat M, Cook JD. Meat protein fractions enhance nonheme iron absorption in humans. *J Nutr* 2006; 136:2808-12.

Hurrell RF, Reddy MB, Juillerat MA, Cook JD. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:1213-9.

Hutchinson C, Geissler CA, Powell JJ, Bomford A. Proton pump inhibitors suppress absorption of dietary non-haem iron in hereditary haemochromatosis. *Gut* 2007; 56:1291-5.

Icard-Vernière C, Greffeuille V, Caporiccio B, Trèche S, Besançon P. Influence du trempage, de la germination, de la fermentation et de l'ajout de phytases sur la biodisponibilité du fer et du zinc dans les farines de mil. 2ème Atelier international / 2nd International Workshop Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles. Food-based approaches for a healthy nutrition. Ouagadougou. 2003.

Imhoff-Kunsch B, Flores R, Dary O, Martorell R. Wheat flour fortification is unlikely to benefit the neediest in Guatemala. *J Nutr* 2007; 137:1017-22.

INACG (International Nutritional Anemia Consultative Group), World Health Organization and UNICEF. Guidelines for the use of iron supplements to prevent and treat iron deficiency anemia, Washington DC: International Life Sciences Institute, 1998.

INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique), Programme National de Lutte contre le Sida (PNLS). Enquête démographique et de santé (EDSB-III). Cotonou, Bénin: Ministère du développement, de l'économie et des finances, 2007.

INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique). Le Bénin en statistique. 2008 [En ligne] <http://www.insae-bj.org/> (Consulté le 02 Juillet 2008)

IOM (Institute of Medicine). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Standing committee on the scientific evaluation of dietary reference intakes. Food and nutrition board. Washington, DC: National Academy Press, 2001.

IOM (Institute of Medicine). Dietary reference intakes: Applications in dietary planning. Standing committee on the scientific evaluation of dietary reference intake, Food and Nutrition Board. Washington, DC: National Academy Press, 2003.

IOM (Institute of Medicine). Les apports nutritionnels de référence: le guide essentiel des besoins en nutriments. Washington, DC: National Academy Press, 2006.

Ito H, Gonthier MP, Manach C, Morand C, Mennen L, Remesy C, Scalbert A. Polyphenol levels in human urine after intake of six different polyphenol-rich beverages. *Br J Nutr* 2005; 94:500-9.

IZinCG. La prévention des carences en zinc par la diversification et la modification des habitudes alimentaires, Résumé technique n°5, 2007.

Jaceldo-Siegl K, Fraser GE, Chan J, Franke A, Sabaté J. Validation of soy protein estimates from a food-frequency questionnaire with repeated 24-h recalls and isoflavonoid excretion in overnight urine in a Western population with a wide range of soy intakes. *Am J Clin Nutr* 2008; 87:1422-7.

Jaffré Y, Olivier de Sardan JP. Les dysfonctionnements des systèmes de soins. Rapport du volet socio-anthropologique. Enquêtes sur l'accès aux soins dans cinq capitales d'Afrique de l'Ouest. Rapport de recherche (Projet santé urbaine UNICEF Coopération française). Marseille. 2001.

Jain NB, Laden F, Guller U, Shankar A, Kazani S, Garshick E. Relation between blood lead levels and childhood anemia in India. *Am J Epidemiol* 2005; 161:968-73.

Jarrah SS, Halabi JO, Bond AE, Abegglen J. Iron deficiency anemia (IDA) perceptions and dietary iron intake among young women and pregnant women in Jordan. *J Transcult Nurs* 2007; 18:19-27.

Kaaks R, Ferrari P. Dietary intake assessments in epidemiology: can we know what we are measuring? *Ann Epidemiol* 2006; 16:377-80.

Kabatereine NB, Brooker S, Tukahebwa EM, Kazibwe F, Onapa A. Epidemiology and geography of *Schistosoma mansoni* in Uganda: implications for planning control. *Trop Med Int Health* 2004; 9, 372-80.

Kafatos I, Manios Y, Moschandreas J, Kafatos A. Preventive medicine and nutrition clinic university of Crete research team. Health and nutrition education program in primary schools of Crete: changes in blood pressure over 10 years. *Eur J Clin Nutr* 2007; 61:837-45.

Kamadjeu RM, Edwards R, Atanga JS, Kiawi EC, Unwin N, Mbanya JC. Anthropometry measures and prevalence of obesity in the urban adult population of Cameroon: an update from the Cameroon burden of diabetes baseline survey. *BMC Public Health* 2006; 6:228.

Kanamaru A. Iron deficiency anemia. *Nippon Rinsho* 2008; 66:499-504.

Kapur D, Sharma S, Agarwal KN. Effectiveness of nutrition education, iron supplementation or both on iron status in children. *Indian Pediatr* 2003; 40: 1131-44.

Kara B, Cal S, Aydogan A, Sarper N. The prevalence of anemia in adolescents: a study from Turkey. *J Pediatr Hematol Oncol* 2006; 28:316-21.

Kelleher SL, Lonnerdal B. Low vitamin A intake affects milk iron level and iron transporters in rat mammary gland and liver. *J Nutr* 2005; 135: 27-32.

Keskin Y, Moschonis G, Dimitriou M, Sur H, Kocaoglu B, Hayran O, Manios Y. Prevalence of iron deficiency among schoolchildren of different socio-economic status in urban Turkey. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59:64-71.

Killip S, Bennett JM, Chambers MD. Iron deficiency anemia. *Am Fam Physician*. 2007; 75:671-8.

Kleven KJ, Blohowiak SE, Kling PJ. Zinc protoporphyrin/heme in large-for-gestation newborns. *Neonatology* 2007; 92:91-5.

Koukpo RS. Le droit de la santé au Bénin: état des lieux. Cotonou, Bénin: Agence universitaire de la francophonie (AUF), 2005.

Koury MJ, Ponka P. New insights into erythropoiesis: the roles of folate, vitamin B12, and iron. *Annu Rev Nutr* 2004; 24:105-31.

Kristiansen S. Linkages and rural non-farm employment creation: changing challenges and policies in Indonesia. Rome, Italy: Agricultural and Development Economics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO - ESA), 2003. [ESA Working Paper no. 03-22.]

Kurniawan YA, Muslimatun S, Achadi EL, Sastroamidjojo S. Anaemia and iron deficiency anaemia among young adolescent girls from the periurban coastal area of Indonesia. *Asia Pac J Clin Nutr* 2006; 15:350-6.

Laverdière S, Turgeon-O'Brien H. État nutritionnel en fer d'un groupe d'enfants âgés de 12 à 20 mois de la région de Charlevoix au Québec. *Méd Nut* 1997; 33:181-9.

Layrisse M, García-Casal MN, Solano L, Barón MA, Arguello F, Llovera D, Ramírez J, Leets I, Tropper E. Iron bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. *J Nutr* 2000; 130:2195-9.

Lechtig A, Gross R, Paulini J, de Romañ DL. Costs of the multimicronutrient supplementation program in Chiclayo, Peru. *Food Nutr Bull* 2006; 27:S151-9.

Leenstra T, Kariuki SK, Kurtis JD, Oloo AJ, Kager PA, Ter Kuile FO. Prevalence and severity of anemia and iron deficiency: cross-sectional studies in adolescent schoolgirls in western Kenya. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58, 681-91.

Leenstra T, Kariuki SK, Kurtis JD, Oloo AJ, Kager PA, Ter Kuile FO. The effect of weekly iron and vitamin A supplementation on hemoglobin levels and iron status in adolescent schoolgirls in western Kenya. *Eur J Clin Nutr* 2007; doi:10.1038/sj.ejcn.1602919.

Lestienne I, Icard-Vernière C, Mouquet C, Picq C, Trèche S. Effect of soaking cereal grains and legumes seeds on iron, zinc, and phytate contents. *Food Chem* 2005; 89:421-5.

Loffeld RJ. Hyperferritinaemia is not always a sign of iron overload. *Acta Gastroenterol Belg* 2007; 70:360-2.

Lopez MA, Martos FC. Iron availability: an updated review. *Int J Food Sci Nutr* 2004; 55:597-606.

Loukas A, Bethony JM, Mendez S, Fujiwara RT, Goud GN, Ranjit N, Zhan B, Jones K, Bottazzi ME, Hotez PJ. Vaccination with recombinant aspartic hemoglobinase reduces parasite load and blood loss after hookworm infection in dogs. *PLoS Med* [En ligne] 2005;2:e295.http://medicine.plosjournals.org/archive/1549-1676/2/10/pdf/10.1371_journal.pmed.0020295-L.pdf (Consulté le 12 Mai 2008).

Lozoff B, Jimenez E, Smith JB. Double burden of iron deficiency in infancy and low socioeconomic status: a longitudinal analysis of cognitive test scores to age 19 years. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2006; 160:1108-13.

Lutsey PL, Dawe D, Villate E, Valencia S, Lopez O. Iron supplementation compliance among pregnant women in Bicol, Philippines. *Public Health Nutr* 2008; 11:76-82.

Lynch S. Influence of infection/inflammation, thalassemia and nutritional status on iron absorption. *Int J Vitam Nutr Res* 2007; 77:217-23.

Lynch SR. The impact of iron fortification on nutritional anaemia. *Best Pract Res Clin Haematol* 2005; 18:333-46.

Ma G, Jin Y, Li Y, Zhai F, Kok FJ, Jacobsen E, Yang X. Iron and zinc deficiencies in China: what is a feasible and cost-effective strategy? *Public Health Nutr* 2008; 11:632-8.

Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. Polyphénols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr* 2004; 79:727-47.

Marquis M, Dubeau C, Thibault I. Canadians' level of confidence in their sources of nutrition information. *Can J Diet Pract Res* 2005; 66:170-5.

Martinez I, Bathen T, Standal IB, Halvorsen J, Aursand M, Gribbestad IS, Axelson DE. Bioactive compounds in cod (*Gadus morhua*) products and suitability of ¹H NMR metabolite profiling for classification of the products using multivariate data analyses. *J Agric Food Chem* 2005; 53:6889-95.

Matsumura I, Kanakura Y. Pathogenesis of anemia of chronic disease. *Nippon Rinsho* 2008; 66:535-9.

Mayer JE, Pfeiffer WH, Beyer P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Curr Opin Plant Biol* 2008; 11:166-70.

McCann JC, Ames BN. An overview of evidence for a causal relation between iron deficiency during development and deficits in cognitive or behavioral function. *Am J Clin Nutr* 2007; 85:931-45.

McClung JP, Marchitelli LJ, Friedl KE, Young AJ. Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia among three populations of female military personnel in the US Army. *J Am Coll Nutr* 2006; 25: 64-9.

McCreary DR, Karvinen K, Davis C. The relationship between the drive for muscularity and anthropometric measures of muscularity and adiposity. *Body Image* 2006; 3: 145-52.

McLean E, Egli I, Cogswell M, Benoist B, Wojdyla D. Worldwide prevalence of anemia in preschool aged children, pregnant women and non-pregnant women of reproductive age. In: Zimmermann MB, Hurrell RF. *Nutritional anemia*. Basel, Switzerland: Sigh and life Press, 2007:337-58.

McNaughton SA, Mishra GD, Bramwell G, Paul AA, Wadsworth MEJ. Comparability of dietary patterns assessed by multiple dietary assessment methods: results from the 1946 British birth cohort. *Eur J Clin Nutr* 2005; 59: 341-52.

Mehansho H. Iron fortification technology development: new approaches. *J Nutr* 2006; 136:1059-63.

Melamed N, Ben-Haroush A, Kaplan B, Yogev Y. Iron supplementation in pregnancy-does the preparation matter? *Arch Gynecol Obstet* 2007; 276:601-4.

Mennen LI, Bertrais S, Galan P, Arnault N, Potier de CG, Hercberg S. The use of computerised 24-h dietary recalls in the French SUVIMAX study: number of recalls required. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56:659-65.

Metzgeroth G, Adelberger V, Dorn-Beineke A, Kuhn C, Schatz M, Maywald O, Bertsch T, Wissler H, Hehlmann R, Hastka J. Soluble transferrin receptor and zinc protoporphyrin--competitors or efficient partners? *Eur J Haematol* 2005; 75: 309-17.

MI (Micronutrient Initiative). The role of food-based approaches in addressing micronutrient deficiencies and health in Africa. Presented at 1st FANUS conference 7-9, May 2007 Ouarzazate Morocco.

MI/UNICEF (Initiative pour les micronutriments/Fond des Nations Unies pour l'Enfance). Carences en vitamines et minéraux: rapport sur les progrès dans monde. 2004. [En ligne] <http://www.micronutrient.org/reports/> (consulté le 25 janvier 2006).

Miglioranza LH, Matsuo T, Caballero-Cordoba GM, Dichi JB, Cyrino ES, Oliveira IB, Martins MS, Polezer NM, Dichi I. Effect of long-term fortification of whey drink with ferrous bisglycinate on anemia prevalence in children and adolescents from deprived areas in Londrina, Parana, Brazil. *Nutrition* 2003; 19:419-21.

Mikkilä V, Räsänen L, Raitakari OT, Marniemi J, Pietinen P, Rönnemaa T, Viikari J. Major dietary patterns and cardiovascular risk factors from childhood to adulthood. The cardiovascular risk in young finns study. *Br J Nutr* 2007; 98:218-25.

Mills A, Bennett S, Gilson L. Protecting the poor from the cost of services through health financing reform. In: Bennett S, Gilson L, Mills A, ed. *Health, economic development and household poverty: from understanding to action*. London: Routledge, 2007: Chapter 9.

Mirmiran P, Azadbakht L, Azizi F. Dietary behaviour of Tehranian adolescents does not accord with their nutritional knowledge. *Public Health Nutr* 2007; 10:897-901.

Mitchikpè CES. Towards a food-based approach to improve iron and zinc status of rural Beninese children: enhancing mineral bioavailability from sorghum-based food. Thèse de doctorat. Université de Van Wageningen. 2007, 151p.

Mittal R, Marwaha N, Basu S, Mohan H, Ravi Kumar A. Evaluation of iron stores in blood donors by serum ferritin. *Indian J Med Res* 2006; 124:641-6.

Modiano D, Bancone G, Ciminelli BM, Pompei F, Blot I, Simporé J, Modiano G. Haemoglobin S and haemoglobin C: 'quick but costly' versus 'slow but gratis' genetic adaptations to *Plasmodium falciparum* malaria. *Hum Mol Genet* 2008; 17:789-99.

Mølgaard C, Kaestel P, Michaelsen KF. Long-term calcium supplementation does not affect the iron status of 12-14-y-old girls. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:98-102.

Monsen ER, Balintfy JL. Calculating dietary iron bioavailability: refinement and computerization. *J Am Diet Assoc* 1982; 80:307-11.

Monsen ER, Hallberg L, Layrisse M, Hegsted DM, Cook JD, Mertz W, Finch CA. Estimation of available dietary iron. *Am J Clin Nutr* 1978; 31:134-41.

Mora JO. Iron supplementation: overcoming technical and practical barriers. *J Nutr* 2002; 132: S853-5.

MSP (Ministère de la Santé Publique)/UNICEF. Enquête nationale sur la carence en vitamine A et la disponibilité en sel iodé dans les ménages. Direction de la Santé Familiale, Ministère de la Santé Publique, République du Bénin, Cotonou, Bénin, 2000.

Muckenthaler MU, Galy B, Hentze MW. Systemic iron homeostasis and the iron-responsive element/iron-regulatory protein (IRE/IRP) Regulatory Network. *Annu Rev Nutr* 2008; 28:197-213.

Müller O, Krawinkel M. Malnutrition and health in developing countries. *CMAJ* 2005; 173:279-86.

Murphy SP, Guenther PM, Kretsch MJ. Using the dietary reference intakes to assess intakes of groups: pitfalls to avoid. *J Am Diet Assoc* 2006; 106:1550-3.

Murray-Kolb LE, Beard JL. Iron treatment normalizes cognitive functioning in young women. *Am J Clin Nutr* 2007; 85:778-87.

Nakamura T. The integration of school nutrition program into health promotion and prevention of lifestyle-related diseases in Japan. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008; 17: S349-51.

Nápoles-Springer AM, Ortíz C, O'Brien H, Díaz-Méndez M. Developing a Culturally Competent Peer Support Intervention for Spanish-speaking Latinas with Breast Cancer. *J Immigr Minor Health* 2008; doi 10.1007/s10903-008-9128-4.

NCHS (National Center for Health Statistics). 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. *Vital and health Statistics* 2002; 11:1-190.

Nelson M, Lowes K, Hwang V; members of the Nutrition Group, School Meals Review Panel, Department for Education and Skills. The contribution of school meals to food consumption and nutrient intakes of young people aged 4-18 years in England. *Public Health Nutr* 2007; 10:652-62.

Nelson M, Poulter J. Impact of tea drinking on iron status in the UK. *J Hum Nutr Diet* 2004; 17:43.

Nemeth E, Ganz T. Regulation of iron metabolism by hepcidin. *Annu Rev Nutr* 2006; 26:323-42.

Nemeth E. Iron regulation and erythropoiesis. *Curr Opin Hematol* 2008; 15:169-75.

Nething J, Ringwald-Smith K, Williams R, Hancock ML, Hale GA. Establishing the use of body mass index as an indicator of nutrition risk in children with cancer. *JPEN* 2007; 31: 53-7.

Neumann CG, Murphy SP, Gewa C, Grillenberger M, Bwibo NO. Meat supplementation improves growth, cognitive, and behavioral outcomes in Kenyan children. *J Nutr* 2007; 137:1119-23.

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.

Nojilana B, Norman R, Dhansay MA, Labadarios D, van Stuijvenberg ME, Bradshaw D, South African comparative risk assessment collaborating group. Estimating the burden of disease attributable to iron deficiency anaemia in South Africa in 2000. *S Afr Med J* 2007; 97:741-6.

Norashikin J, Roshan TM, Rosline H, Zaidah AW, Suhair AA, Rapiaah M. A study of serum ferritin levels among male blood donors in Hospital Universiti sains Malaysia. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2006; 37:370-3.

Olafsdottir AS, Thorsdottir I, Gunnarsdottir I, Thorgeirdottir H, Steingrimsdottir L. Comparison of women's diet assessed by FFQs and 24-hour recalls with and without underreporters: associations with biomarkers. *Ann Nutr Metab* 2006; 50:450-60.

Olney DK, Pollitt E, Kariger PK, Khalfan SS, Ali NS, Tielsch JM, Sazawal S, Black R, Mast D, Allen LH, Stoltzfus RJ. Young Zanzibari children with iron deficiency, iron deficiency anemia, stunting, or malaria have lower motor activity scores and spend less time in locomotion. *J Nutr* 2007; 137:2756-62.

OMS (Organisation Mondiale de la santé). Thalassémie et autres hémoglobinopathies. 2006. [Conseil exécutif, rapport du secrétariat no. EB118/5.]

Ouendo EM, Makoutodé M, Paraiso MN, Wilmet-Dramaix M, Dujardin B. Itinéraire thérapeutique des malades indigents au Bénin (Pauvreté et soins de santé). *Trop Med Int Health* 2005; 10: 179-86.

Ozawa K. Pathophysiology, diagnosis and treatment of anemia. *Nippon Rinsho* 2008; 66:423-8.

Pagana KD, Pagana TJ. *Mosby's manual of diagnostic and laboratory tests*. 2nd ed. St. Louis: Mosby, 2002.

Pan Y, Jackson RT. Insights into the ethnic differences in serum ferritin between black and white US adult men. *J Hum Biol* 2008; 20:406-16.

Pasricha SR, Caruana SR, Phuc TQ, Casey GJ, Jolley D, Kingsland S, Tien NT, MacGregor L, Montresor A, Biggs BA. Anemia, iron deficiency, meat consumption, and hookworm infection in women of reproductive age in northwest Vietnam. *Am J Trop Med Hyg* 2008; 78:375-81.

Patterson AJ, Brown WJ, Roberts DC, Seldon MR. Dietary treatment of iron deficiency in women of childbearing age. *Am J Clin Nutr* 2001; 74:650-6.

Pena-Rosas J, Viteri F. Effects of routine oral iron supplementation with or without folic acid for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev* 2006: CD004736.

Péneau S, Dauchet L, Vergnaud AC, Estaquio C, Kesse-Guyot E, Bertrais S, Latino-Martel P, Hercberg S, Galan P. Relationship between iron status and dietary fruit and vegetables based on their vitamin C and fiber content. *Am J Clin Nutr* 2008; 87:1298-305.

Penny ME, Creed-Kanashiro HM, Robert RC, Narro MR, Caulfield LE, Black RE. Effectiveness of an educational intervention delivered through the health services to

improve nutrition in young children: a cluster-randomised controlled trial. *Lancet* 2005; 365:1863-72.

Perlas L, Gibson RS. Household dietary strategies to enhance the content and bioavailability of iron, zinc and calcium of selected rice- and maize- based Philippine complementary foods. *Maternal Child Nutr* 2005; 1: 263-73.

Petkeviciene J, Similä M, Becker W, Kriaucioniene V, Valsta LM. Validity and reproducibility of the NORBAGREEN food frequency questionnaire. *Eur J Clin Nutr* 2007; doi: 10.1038/sj.ejcn.1602893.

Philpott CC. Iron uptake in fungi: a system for every source. *Biochim Biophys Acta* 2006; 1763:636-45.

Pirouznia M. The correlation between nutrition knowledge and eating behavior in an American school: the role of ethnicity. *Nutrition and Health* 2000; 14: 89-107.

PNUD. Benin: the human development index - going beyond income. 2007. [En ligne] http://hdrstats.undp.org/countries/country_fact_sheets/cty_fs_BEN.html (Consulté le 02 Juillet 2008).

Pon LW, Noor-Aini MY, Ong FB, Adeeb N, Seri SS, Shamsuddin K, Mohamed AL, Hapizah N, Mokhtar A, Wan HW. Diet, nutritional knowledge and health status of urban middle-aged Malaysian women. *Asia Pac J Clin Nutr* 2006; 15:388-99.

Prentice AM, Ghattas H, Doherty C, Cox SE. Iron metabolism and malaria. *Food Nutr Bull* 2007; 28:S524-39.

Proulx AK, Reddy MB. Fermentation and lactic acid addition enhance iron bioavailability of maize. *J Agric Food Chem* 2007; 55:2749-54.

Rabie T, Curtis V. Handwashing and risk of respiratory infections: a quantitative systematic review. *Trop Med Int Health* 2006; 11:258-67.

Ranjit N, Jones MK, Stenzel DJ, Gasser RB, Loukas A. A survey of the intestinal transcriptomes of the hookworms, *Necator americanus* and *Ancylostoma caninum*, using tissues isolated by laser microdissection microscopy. *Int J Parasitol* 2006; 36:701-10.

Reddy MB, Hurrell RF, Cook JD. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. *Am J Clin Nutr* 2000; 71:937-43.

Reddy MB, Hurrell RF, Cook JD. Meat consumption in a varied diet marginally influences nonheme iron absorption in normal individuals. *J Nutr* 2006; 136:576-81.

Ringbäck Weitoft G, Eliasson M, Rosén M. Underweight, overweight and obesity as risk factors for mortality and hospitalization. *Scand J Public Health* 2008; 36:169-76.

Roughead ZK, Zito CA, Hunt JR. Inhibitory effects of dietary calcium on the initial uptake and subsequent retention of heme and nonheme iron in humans: comparisons using an intestinal lavage method. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:589-97.

Roughead ZK, Zito CA, Hunt JR. Initial uptake and absorption of nonheme iron and absorption of heme iron in humans are unaffected by the addition of calcium as cheese to a meal with high iron bioavailability. *Am J Clin Nutr* 2002; 76:419-25.

Ruel MT. Can food-based strategies help reduce vitamin A and iron deficiencies? A review of recent evidences. Washington, D.C: International Food Policy Research Institute (INFRI), 2001. [Food Policy review no.5.]

Ruivard M, Feillet-Coudray C, Rambeau M, Gerbaud L, Mazur A, Rayssiguier Y, Philippe P, Coudray C. Effect of daily versus twice weekly long-term iron supplementation on iron absorption and status in iron-deficient women: a stable isotope study. *Clin Biochem* 2006; 39:700-7.

Sadighi J, Sheikholeslam R, Mohammad K, Pouraram H, Abdollahi Z, Samadpour K, Kolahdooz F, Naghavi M. Flour fortification with iron: a mid-term evaluation. *Public Health* 2008; 122:313-21.

Salehi M, Kimiagar SM, Shahbazi M, Mehrabi Y, Kolahi AA. Assessing the impact of nutrition education on growth indices of Iranian nomadic children: an application of a modified beliefs, attitudes, subjective-norms and enabling-factors model. *Br J Nutr* 2004; 91:779-87.

Sanchaisuriya K, Fucharoen S, Ratanasiri T, Sanchaisuriya P, Fucharoen G, Dietz E, Schelp FP. Thalassemia and hemoglobinopathies rather than iron deficiency are major causes of pregnancy-related anemia in northeast Thailand. *Blood Cells Mol Dis* 2006; 37:8-11.

Sazawal S, Black RE, Ramsan M, Chwaya HM, Stoltzfus RJ, Dutta A, Dhingra U, Kabole I, Deb S, Othman MK, Kabole FM. 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, randomised, placebo-controlled trial. *Lancet* 2006; 367:133-43.

Schatzkin A, Kipnis V, Carroll RJ, Midthune D, Subar AF, Bingham S, Schoeller DA, Troiano RP, Freedman LS. A comparison of a food frequency questionnaire with a 24-hour recall for use in an epidemiological cohort study: results from the biomarker-based observing protein and energy nutrition (OPEN) study. *Int J Epidemiol* 2003; 32:1054-62.

Schauer C, Zlotkin S. Home fortification with micronutrient sprinkles-a new approach for the prevention and treatment of nutritional anemias. *Pediatr Child Health* 2003; 8: 87-90.

Schneider JM, Fujii ML, Lamp CL, Lönnerdal B, Zidenberg-Cherr S. The prevalence of low serum zinc and copper levels and dietary habits associated with serum zinc and copper in 12- to 36-month-old children from low-income families at risk for iron deficiency. *J Am Diet Assoc* 2007; 107:1924-9.

Schneider JM, Fujii ML, Lamp CL, Lönnerdal Bo, Dewey KG, Zidenberg-Cherr S. Anemia, iron deficiency, and iron deficiency anemia in 12–36-mo-old children from low-income families. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:1269–75.

Seal A, Kafwembe E, Kassim IA, Hong M, Wesley A, Wood J, Abdalla F, van den Briel T. Maize meal fortification is associated with improved vitamin A and iron status in adolescents and reduced childhood anaemia in a food aid-dependent refugee population. *Public Health Nutr* 2008; 11:720-8.

Seck BC, Jackson RT. Determinants of compliance with iron supplementation among pregnant women in Senegal. *Public Health Nutr* 2008; 11:596-605.

Seeram NP. Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *J Agric Food Chem* 2008; 56: 627-9.

Sen A, Kanani SJ. Deleterious functional impact of anemia on young adolescent school girls. *Indian Pediatr* 2006; 43:219-26.

Shayeghi M, Latunde-Dada GO, Oakhill JS, Laftah AH, Takeuchi K, Halliday N, Khan Y, Warley A, McCann FE, Hider RC, Frazer DM, Anderson GJ, Vulpe CD, Simpson RJ, McKie AT. Identification of an intestinal heme transporter. *Cell* 2005; 122:789-801.

Shimada T, Hiraishi H. Iron deficiency anemia and *H. pylori*. *Nippon Rinsho*. 2008; 66:584-9.

Shobha S, Sharada D. Efficacy of twice weekly iron supplementation in anemic adolescent girls. *Indian Pediatrics* 2003; 40:1186-90.

Shojaeizadeh D. A study on knowledge, attitude and practice of secondary school girls in Qazvin on iron deficiency anemia. *Iranian J Publ Health* 2001; 30: 53-6.

Siegenberg D, Baynes RD, Bothwell TH, Macfarlane BJ, Lamparelli RD, Car NG, MacPhail P, Schmidt U, Tal A, Mayet F. Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. *Am J Clin Nutr* 1991; 53:537-41.

Skoglund L, Lönnerdal B, Sandberg AS. Inositol phosphates influence iron uptake in Caco-2 cells. *J Agric Food Chem* 1999; 47:1109-13.

SNU (Système des Nations Unies au Bénin). Bilan commun de pays: consolider la démocratie, PNUD, Cotonou, Bénin, 2002.

Sodjinou R, Agueh V, Fayomi B, Delisle H. Dietary patterns of urban adults in Benin: relationship with overall diet quality and socio-demographic characteristics. *Eur J Clin Nutr* 2007; doi: 10.1038/sj.ejcn.1602906.

Sodjinou RS. Evaluation of food composition tables commonly used in Benin: limitations and suggestions for improvement. *J Food Compos Anal* 2006; 19:518–23.

Spivak JL. Iron and the anemia of chronic disease. *Oncology (Williston Park)* 2002; 16:25-33.

Stang J, Story M. Guidelines for adolescent nutrition services. Minneapolis, MN: Center for leadership, education and training in maternal and child nutrition, division of epidemiology and community health, School of Public Health, University of Minnesota; 2005.

Stein AJ, Meenakshi JV, Qaim M, Nestel P, Sachdev HP, Bhutta ZA. Potential impacts of iron biofortification in India. *Soc Sci Med* 2008; 66:1797-808.

Subar AF, Kipnis V, Troiano RP, Midthune D, Schoeller DA, Bingham S, Sharbaugh CO, Trabulsi J, Runswick S, Ballard-Barbash R, Sunshine J, Schatzkin A. Using intake biomarkers to evaluate the extent of dietary misreporting in a large sample of adults: the OPEN study. *Am J Epidemiol* 2003; 158:1-13.

Sun X, Guo Y, Wang S, Sun J. Social marketing improved the consumption of iron-fortified soy sauce among women in China. *J Nutr Educ Behav* 2007; 39:302-10.

Swain JH, Tabastabai LB, Reddy MB. Histidine content of low-molecular-weight beef proteins influences nonheme iron bioavailability in Caco-2 cells. *J Nutr* 2002; 132:245-51.

Taketani S. Acquisition, mobilization and utilization of cellular iron and heme: endless findings and growing evidence of tight regulation. *Tohoku J Exp Med* 2005; 205:297-318.

Taylor-Robinson DC, Jones AP, Garner P. Deworming drugs for treating soil-transmitted intestinal worms in children: effects on growth and school performance. *Cochrane Database Syst Rev* 2007; 4:CD000371.

Thankachan P, Walczyk T, Muthayya S, Kurpad AV, Hurrell RF. Iron absorption in young Indian women: the interaction of iron status with the influence of tea and ascorbic acid. *Am J Clin Nutr* 2008; 87:881-6.

Thompson B. Food-based approaches for combating iron deficiency. In: Zimmermann MB, Hurrell RF. Nutritional anemia. Basel, Switzerland: Sight and life Press, 2007:337-58.

Thorpe DL, Knutsen SF, Lawrence Beeson W, Rajaram S, Fraser GE. Effects of meat consumption and vegetarian diet on risk of wrist fracture over 25 years in a cohort of peri- and postmenopausal women. *Public Health Nutr* 2007; 9:1-9.

Thurlow RA, Winichagoon P, Green T, Wasantwisut E, Pongcharoen T, Bailey KB, Gibson RS. Only a small proportion of anemia in northeast Thai schoolchildren is associated with iron deficiency. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:380-7.

Tielsch JM, Khatry SK, Stoltzfus RJ, Katz J, LeClerq SC, Adhikari R, Mullany LC, Shresta S, Black RE. Effect of routine prophylactic supplementation with iron and folic acid on preschool child mortality in southern Nepal: community-based, cluster-randomised, placebo-controlled trial. *Lancet* 2006; 367:144-52.

Tolentino K, Friedman JF. An update on anemia in less developed countries. *Am J Trop Med Hyg* 2007; 77:44-51.

Tseng M, Chakraborty H, Robinson DT, Mendez M, Kohlmeier L. Adjustment of iron intake for dietary enhancers and inhibitors in population studies: bioavailable iron in rural and urban residing Russian women and children. *J Nutr* 1997; 127:1456-68.

Tuntipopipat S, Judprasong K, Zeder K, Wasantwisut E, Winichagoon P, Charoenkiatkul S, Hurrell R, Walczyk T. Chili, but not turmeric, inhibits iron absorption in young women from an iron-fortified composite meal. *J Nutr* 2006; 136:2970-4.

Tupe R, Chiplonkar SA, Kapadia-Kundu N. Influence of dietary and socio-demographic factors on the iron status of married adolescent girls from Indian urban slums. *Int J Food Sci Nutr* 2008; 7:1-9.

UNICEF. Statistiques: Bénin. 2008 [En ligne]: http://www.unicef.org/french/infobycountry/benin_statistics.html (Consulté, le 02 Juillet 2008).

Van der Werf MJ, de Vlas SJ, Brooker S, Looman CWN, Nagelkerke NJD, Habbema JDF, Engels D. Quantification of clinical morbidity caused by schistosome infection in sub-Saharan Africa. *Acta Tropica* 2003; 86:125-39.

Van Stuijvenberg ME, Smuts CM, Wolmarans P, Lombard CJ, Dhansay MA. The efficacy of ferrous bisglycinate and electrolytic iron as fortificants in bread in iron-deficient school children. *Br J Nutr* 2006; 95:532-8.

Van Thuy P, Berger J, Nakanishi Y, Khan NC, Lynch S, Dixon P. The use of NaFeEDTA-fortified fish sauce is an effective tool for controlling iron deficiency in women of childbearing age in rural Vietnam. *J Nutr* 2005; 135:2596-601.

Vazirinejad R, Esmaeili A, Vazirinejad H, Hassanshahi G. Ferritin concentration and pregnancy outcome: linear models for predicting birthweight and birth length. *Food Nutr Bull* 2007; 28:419-25.

Veenemans J, Andang'o PE, Mbugi EV, Kraaijenhagen RJ, Mwaniki DL, Mockenhaupt FP, Roewer S, Olomi RM, Shao JF, Meer JW, Savelkoul HF, Verhoef H. Alpha(+)-thalassemia protects against anemia associated with asymptomatic malaria: evidence from community-based surveys in Tanzania and Kenya. *J Infect Dis* 2008; 198:401-8.

Viatte L, Vaulont S. L'hepcidine, une histoire de fer au cœur du foie. *Hématologie* 2007; 13:165-76.

Vitolo MR, Bortolini GA. Iron bioavailability as a protective factor against anemia among children aged 12 to 16 months. *J Pediatr* 2007; 83:33-8.

Waelkens M. Exemptions for cost recovery systems in sub-Saharan Africa: a review of policies and practices. A dissertation submitted to the division of international health. Master of community health (McoomH) degree. Liverpool School of Tropical Medicine. University of Liverpool. 1999.

Walczyk T, Davidsson L, Rossander-Hulthen L, Hallberg L, Hurrell RF. No enhancing effect of vitamin A on iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr* 2003; 77: 144-9.

Wallace CM, Legro MW. Using formative evaluation in an implementation project to increase vaccination rates in high-risk veterans: queri series. *Implement Sci* 2008; 3:22.

Watanapaisantrakul R, Chavasit V, Kongkachuichai R. Fortification of soy sauce using various iron sources: sensory acceptability and shelf stability. *Food Nutr Bull* 2006; 27:19-25.

Weiss G, Goodnough LT. Anemia of chronic disease. *N Engl J Med* 2005; 352:1011-23.

Whiting SJ. The inhibitory effect of dietary calcium on iron bioavailability: a cause of concern? *Nutr Rev* 1995; 53:77.

WHO. Malaria. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2007. [Fact Sheet no.94.]

WHO/CDC. Assessing the iron status of populations. 2nd ed. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2004.

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

WHO/FAO. Guidelines on food fortification with micronutrients. Edited by Allen L, de Benoist B, Dary O, Hurrell R. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2006.

WHO/UNICEF/UNU. Iron deficiency anemia assessment, prevention, and control: A guide for programme managers. 2001:WHO/NHD.01.3.2001.

WHO (World Health Organization). Micronutrient deficiencies: iron deficiency anemia. 2008. [En ligne] <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/print.html> (consulté le 12 Mai 2008).

Wians FH Jr, Urban JE, Keffer JH, Kroft SH. Discriminating between iron deficiency anemia and anemia of chronic disease using traditional indices of iron status vs transferrin receptor concentration. *Am J Clin Pathol* 2001; 115:112-8.

Wieringa FT, Berger J, Dijkhuizen MA, Hidayat A, Ninh NX, Utomo B, Wasantwisut E, Winichagoon P, SEAMTIZI (South-East Asia multi-country trial on iron and zinc supplementation in infants) study group. 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: 466-71.

Wilson MG, Goetzel RZ, Ozminkowski RJ, DeJoy DM, Della L, Roemer EC, Schneider J, Tully KJ, White JM, Baase CM. Using formative research to develop environmental and ecological interventions to address overweight and obesity. *Obesity* 2007; 15:S37-47.

Winichagoon P. Coexistence of micronutrient malnutrition: implication for nutrition policy and programs in Asia. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008; 17:346-8.

World Bank. World bank data. 2005. [En ligne] <http://sima-ext.worldbank.org> (Consulté le 12 Mai 2008).

WHO (World Health Organisation). Micronutrient deficiencies: iron deficiency anaemia. 2005. [En ligne] <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/> (Consulté le 10 Mai 2008).

Wrighting DM, Andrews NC. Iron homeostasis and erythropoiesis. *Curr Top Dev Biol* 2008; 82:141-67.

Yaktine AL, Nesheim MC, James CA. Nutrient and contaminant tradeoffs: exchanging meat, poultry, or seafood for dietary protein. *Nutr Rev* 2008; 66:113-22.

Yeudall F, Gibson RS, Cullinan TR, Mtimuni B. Efficacy of a community-based dietary intervention to enhance micronutrient adequacy of high-phytate maize-based diets of rural Malawian children. *Public Health Nutr* 2005; 8:826-36.

Yeudall F, Gibson RS, Kayira C, Umar E. Efficacy of a multi-micronutrient dietary intervention based on haemoglobin, hair zinc concentrations, and selected functional outcomes in rural Malawian children. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56:1176-85.

Yun S, Habicht JP, Miller DD, Glahn RP. An in vitro digestion/Caco-2 cell culture system accurately predicts the effects of ascorbic acid and polyphenolic compounds on iron bioavailability in humans. *J Nutr* 2004; 134:2717-21.

Zacharski LR, Ornstein DL, Woloshin S, Schwartz LM. Association of age, sex, and race with body iron stores in adults: analysis of NHANES III data. *Am Heart J* 2000; 140:98-104.

Zapka J, Lemon SC, Estabrook BB, Jolicoeur DG. Keeping a step ahead: formative phase of a workplace intervention trial to prevent obesity. *Obesity* 2007; 15:S27-36.

Zijp IM, Korver O, Tijburg LB. Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2000; 40:371-98.

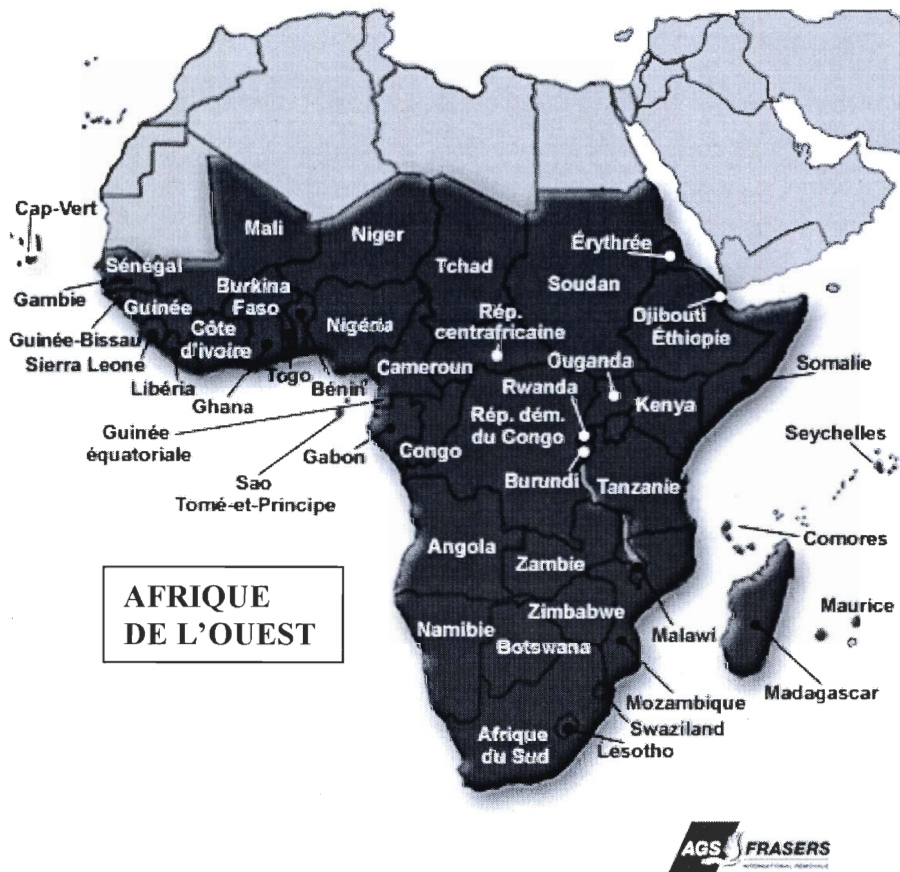
Zimmermann MB, Chaouki N, Hurrell RF. Iron deficiency due to consumption of a habitual diet low in bioavailable iron: a longitudinal cohort study in Moroccan children. *Am J Clin Nutr* 2005; 81:115-21.

Zimmermann MB, Hurrell RF. Nutritional iron deficiency. *Lancet* 2007; 370:511-20.

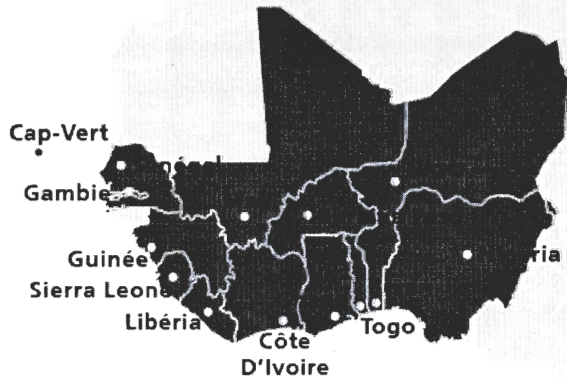
Zlotkin SH, Christofides AL, Ziauddin Hyder SM, Schauer CS, Tondeur MC, Sharieff W. Controlling iron deficiency anemia through the use of home-fortified complementary foods. *Indian J Pediatr* 2004; 71:1015-9.

Annexes

ANNEXE 1: Carte d'Afrique



AFRIQUE SUBSAHARIENNE



ANNEXE 2: Carte générale du Bénin



ANNEXE 3: Formulaire de consentement (Parents)**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ A: ÉVALUATION D'UNE
INTERVENTION NUTRITIONNELLE**

Titre de l'étude: Évaluation d'une intervention nutritionnelle visant à prévenir l'anémie ferriprive chez des adolescentes pensionnaires au Bénin.

Chercheur: Alaofè Halimatou
C/181 Scoa Gbéto
BP 1160 Cotonou (Bénin)
Tél: 229 31 34 92
Mail: alaofe@yahoo.fr

Directrice de recherche: Turgeon O'Brien Huguette
Directrice programmes de 2^e et 3^e cycles en nutrition
Université Laval

Codirecteur de recherche: Zee John
(Canada) Directeur du bureau Amérique du Nord
Agence Universitaire de la francophonie (AUF)

Codirecteur de recherche: Dossa Romain
(Bénin) Directeur du département de nutrition et sciences
alimentaires
Faculté des sciences agronomiques
Université d'Abomey-Calavi
01 BP 526 Cotonou (Bénin)
Tel: 229-022528
Email: ansromarc@yahoo.fr

Date d'approbation:

A. RENSEIGNEMENTS AUX PARENTS DES PARTICIPANTES

Description du projet

La carence en fer est l'un des principaux problèmes de santé qui affectent les adolescentes en Afrique et surtout au Bénin. Dans les pays en développement, elle résulte tout autant d'un apport en fer inadéquat que d'un environnement sanitaire déficient. Les mauvaises conditions sanitaires augmentent le risque de contracter des maladies et de souffrir d'infections, particulièrement les infections parasitaires. La carence en fer a de graves répercussions sur la santé, sur le développement cognitif des individus et sur l'économie du pays. Un développement cognitif plus lent affecte négativement le niveau d'instruction. À l'âge adulte, l'accumulation des effets à long terme de la carence en fer réduit la productivité et augmente l'absentéisme au travail, diminuant ainsi le revenu potentiel des individus durant leur vie et leur contribution à l'économie nationale. Enfin, la carence en fer provoque de complications graves pendant la grossesse.

Malheureusement, la carence en fer a fait l'objet de très peu d'études au Bénin où elle touche environ 65% des femmes âgées de 15 à 49 ans. La cause majeure de la carence en fer semble être le faible apport alimentaire de fer. Cependant, des sources alimentaires peu coûteuses de fer facilement absorbable (abats, crain-crain, légumes verts, etc.) semblent disponibles localement. L'amélioration des pratiques alimentaires et l'éducation nutritionnelle constituent donc des approches essentielles afin de réduire la carence en fer. Il est à noter que la carence en fer induit peu de symptômes visibles facilement identifiables par les individus qui ne réalisent pas la gravité du problème et ses conséquences sur la santé. Aucune intervention nutritionnelle visant à améliorer les apports et la biodisponibilité du fer n'a été effectuée au Bénin jusqu'à maintenant. Quelques études réalisées au Malawi et en Iran ont montré qu'une amélioration des pratiques alimentaires en fer ainsi qu'une éducation nutritionnelle étaient efficaces pour réduire la carence en fer. Cependant, les travaux effectués dans d'autres pays africains ne sont pas nécessairement applicables au Bénin à cause des différences dans la disponibilité des aliments locaux riches en fer et en vitamine C et dans les habitudes alimentaires des individus.

Ainsi, afin de vérifier l'impact d'une intervention nutritionnelle visant à réduire la carence en fer, 80 adolescentes âgées de 12 à 17 ans, pensionnaires dans deux établissements scolaires au sud du Bénin et souffrant d'anémie légère par carence en fer seront sollicitées afin de participer à cette étude. La moitié des participantes sera soumise à l'intervention nutritionnelle d'une durée de 20 semaines (Janvier - Mai 2006), tandis que l'autre moitié continuera à s'alimenter de façon habituelle. Les adolescentes du premier groupe constitueront le groupe d'intervention (Lycée 1) et celles du deuxième groupe, le groupe témoin (Lycée 2).

Participation à la recherche

Si vous acceptez que votre fille participe à cette étude, elle sera rencontrée à deux reprises dans le milieu scolaire. Une première entrevue individuelle de 20 minutes environ effectuée tôt le matin nous permettra d'obtenir différentes mesures (poids, taille, température corporelle) et d'effectuer les prélèvements sanguins afin de déterminer si elle souffre de

carence en fer et d'anémie ainsi que de paludisme. Des prélèvements de selles recueillis dans des pots stérilisés devront également être apportés à l'école afin d'analyser les infections parasitaires. Ces différents prélèvements seront acheminés au Centre de santé de Mènontin pour les analyses. Une deuxième entrevue, d'une durée de 60 minutes environ permettra d'évaluer la consommation alimentaire de votre fille au cours des deux jours précédant l'entrevue. De plus, un questionnaire comprenant des données socio-économiques, des informations médicales et des informations sur ses habitudes alimentaires lui sera administré. Toutes ces mesures, à l'exception du questionnaire sur les données socio-économiques seront effectuées six mois plus tard. Les données sur les maladies infectieuses communes à savoir la toux, la fièvre ou la diarrhée, etc. seront enregistrées quotidiennement par l'infirmière et collectées tous les mois jusqu'à la fin de l'étude. Les adolescentes recrutées dans les deux Lycées ne devront pas prendre de suppléments de vitamines et de minéraux incluant le fer pendant toute la durée de l'étude.

Lycée 1: Si votre fille est pensionnaire au Lycée 1 et si elle souffre d'anémie légère causée par un manque de fer, elle sera soumise à une intervention nutritionnelle qui sera constituée d'une éducation nutritionnelle. Elle comprendra quatre rencontres de groupe (1 par semaine) et trois rencontres individuelles au cours desquelles elle recevra des conseils nutritionnels. Parallèlement, les menus de la cafétéria scolaire seront améliorés à partir des aliments locaux peu coûteux mais riches en fer et en vitamine C afin de lui permettre d'améliorer son apport en fer.

Lycée 2: Si votre fille est pensionnaire au Lycée 2, elle va continuer à s'alimenter de façon habituelle car le menu de la cafétéria scolaire où elle est pensionnaire n'aura pas été modifié et elle ne bénéficiera pas de l'éducation nutritionnelle et ce, durant les 20 semaines de l'étude. Elle sera référée au médecin traitant si elle présente un problème de santé pendant cette période ou si l'anémie devient modérée ou sévère. Immédiatement après les 20 semaines de l'étude, elle bénéficiera des conseils nutritionnels qui lui seront donnés lors de rencontres individuelles. Elle pourra également prendre des suppléments de vitamines et de minéraux incluant le fer.

Confidentialité

Toutes les données qui seront recueillies au sujet des participantes seront codées de façon à préserver leur confidentialité: leur nom ne paraîtra sur aucun rapport, un numéro sera utilisé pour identifier le questionnaire, les prélèvements sanguins et de selles. Seule l'agente de recherche aura accès à la liste des noms et des numéros. Quant aux prélèvements sanguins, ils seront transportés dans des glacières et amenés le plus rapidement possible au laboratoire afin d'éviter l'altération des échantillons sanguins. Les renseignements personnels seront détruits après vérification de toutes les données.

Avantages et inconvénients

Risques et inconvénients: Au début et à la fin de l'étude, un échantillon sanguin sera obtenu à jeun par ponction dans une veine du bras au moyen d'une aiguille stérile comme cela se pratique régulièrement à l'hôpital. Cette technique ne comporte aucun risque majeur

et peut tout au plus donner lieu dans certains cas à la formation d'un léger hématome (épanchement de sang sous la peau). Quant aux inconvénients qui peuvent survenir, nous avons l'inconfort du prélèvement sanguin, le désagrément de faire une collecte de selles et d'amener l'échantillon au site de prélèvement, et enfin les participantes doivent être à jeun pour les différents prélèvements qui seront effectués le matin dès leur arrivée à l'école.

Minimisation des risques et des inconvénients: Ces différents risques et inconvénients seront minimisés par la présence d'un médecin au moment du prélèvement. Un petit déjeuner leur sera également offert après les prélèvements.

Si votre fille est pensionnaire au Lycée 2, elle bénéficiera, en plus des prélèvements sanguins effectués au début et à la fin de l'étude, d'un prélèvement de sang entre la 9^{ème} et la 11^{ème} semaine afin de déterminer la présence d'anémie. Si elle souffre d'anémie modérée ou sévère, elle sera retirée de l'étude et référée au médecin pour un traitement approprié. L'anémie légère ne comporte pas de conséquences indésirables graves sur l'état de santé des adolescentes pendant la courte période d'étude (20 semaines). De plus, n'eut été de la présente étude, les adolescentes seraient demeurées anémiques et n'auraient pas été référées au médecin traitant pour corriger une anémie modérée à sévère.

Bénéfices escomptés

Les participantes des deux groupes qui souffriront d'infections parasitaires (paludisme, infections par les amibes et les helminthes) seront traitées au début de l'étude. De même, les adolescentes des deux groupes qui n'auront pas été sélectionnées pour participer à l'étude seront référées aux autorités médicales pour traitement si elles souffrent d'anémie modérée à sévère (hémoglobine < 100 g/L) ou d'infections parasitaires (paludisme, infections par les amibes et les helminthes). À la fin de l'étude, les résultats des examens sanguins et de selles seront remis à toutes les participantes gratuitement. De plus, pendant toute la durée de l'étude et en toutes circonstances, les adolescentes pourront recevoir des informations supplémentaires au sujet de l'étude. Quant aux participantes du groupe témoin qui devront continuer leur alimentation habituelle, elles seront suivies pendant toute la durée de l'étude et des conseils nutritionnels leur seront prodigués à la fin des 20 semaines d'étude. Toute participante des deux groupes à l'étude sera référée à un médecin si elle présente un problème de santé pendant l'étude.

De plus, il n'y a aucun effet néfaste à consommer des aliments riches en fer pour atteindre les recommandations en fer absorbable. Cette étude permettra à votre fille non seulement d'améliorer son état nutritionnel en fer mais aussi d'acquérir de meilleures habitudes alimentaires. Enfin, en permettant à votre fille de participer à cette recherche, vous pourrez contribuer à l'avancement des connaissances et à l'amélioration des menus offerts aux jeunes. Sa participation à la recherche pourra également vous donner l'occasion de mieux la connaître.

Droit de retrait

La participation de votre fille est entièrement volontaire et n'entraînera aucune dépense de votre part. Vous êtes libre de la retirer en tout temps par avis verbal, sans préjudice et sans

devoir justifier votre décision. Si vous décidez de la retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec l'agente de recherche, au numéro de téléphone indiqué à la dernière page de ce document. Si vous retirez votre fille de la recherche, les renseignements personnels la concernant et qui auront été recueillis au moment de son retrait seront détruits.

B. CONSENTEMENT

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur la participation de ma fille à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens librement à permettre à ma fille à participer à cette recherche. Je sais qu'elle peut se retirer en tout temps sans préjudice et sans devoir justifier ma décision.

Signature: _____ Date: _____
(parents ou tuteurs)

Nom: _____ Prénom: _____

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du chercheur _____ Date: _____
(ou de son représentant)

Nom: _____ Prénom: _____

Signature du témoin _____ Date: _____

Nom: _____ Prénom: _____

Pour toute question relative à la recherche ou pour retirer votre fille de la recherche, vous pouvez communiquer avec la responsable du projet ou le professeur Romain Dossa (Directeur du département de nutrition et des Sciences alimentaire à l'Université d'Abomey Calavi au Bénin), au numéro de téléphone suivant: **229-022528** ou à l'adresse courriel suivante: ansromarc@yahoo.fr

Toute plainte relative à la participation de votre fille à cette recherche peut être adressée à la responsable du projet ou M. Romain Dossa, au numéro de téléphone **229-022528** ou à l'adresse courriel ansromarc@yahoo.fr.

ANNEXE 4: Formulaire de consentement (Adolescentes)**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ A: ÉVALUATION D'UNE
INTERVENTION NUTRITIONNELLE**

Titre de l'étude: Évaluation d'une intervention nutritionnelle visant à prévenir l'anémie ferriprive chez des adolescentes pensionnaires au Bénin.

Chercheur: Alaofè Halimatou
C/181 Scoa Gbéto
BP 1160 Cotonou (Bénin)
Tél: 229 31 34 92
Mail: alaofe@yahoo.fr

Directrice de recherche: Turgeon O'Brien Huguette
Directrice programmes de 2^e et 3^e cycles en nutrition
Université Laval

Codirecteur de recherche: Zee John
(Canada) Directeur du bureau Amérique du Nord
Agence Universitaire de la francophonie (AUF)

Codirecteur de recherche: Dossa Romain
(Bénin) Directeur du département de nutrition et sciences alimentaires
Faculté des sciences agronomiques
Université d'Abomey-Calavi
01 BP 526 Cotonou (Bénin)
Tel: 229-022528
Email: ansromarc@yahoo.fr

Date d'approbation:

A. RENSEIGNEMENTS AUX PARENTS DES PARTICIPANTES

Description du projet

La carence en fer est l'un des principaux problèmes de santé qui affectent les adolescentes en Afrique et surtout au Bénin. Dans les pays en développement, elle résulte tout autant d'un apport en fer inadéquat que d'un environnement sanitaire déficient. Les mauvaises conditions sanitaires augmentent le risque de contracter des maladies et de souffrir d'infections, particulièrement les infections parasitaires. La carence en fer a de graves répercussions sur la santé, sur le développement cognitif des individus et sur l'économie du pays. Un développement cognitif plus lent affecte négativement le niveau d'instruction. À l'âge adulte, l'accumulation des effets à long terme de la carence en fer réduit la productivité et augmente l'absentéisme au travail, diminuant ainsi le revenu potentiel des individus durant leur vie et leur contribution à l'économie nationale. Enfin, la carence en fer provoque de complications graves pendant la grossesse.

Malheureusement, la carence en fer a fait l'objet de très peu d'études au Bénin où elle touche environ 65% des femmes âgées de 15 à 49 ans. La cause majeure de la carence en fer semble être le faible apport alimentaire de fer. Cependant, des sources alimentaires peu coûteuses de fer facilement absorbable (abats, crain-crain, légumes verts, etc.) semblent disponibles localement. L'amélioration des pratiques alimentaires et l'éducation nutritionnelle constituent donc des approches essentielles afin de réduire la carence en fer. Il est à noter que la carence en fer induit peu de symptômes visibles facilement identifiables par les individus qui ne réalisent pas la gravité du problème et ses conséquences sur la santé. Aucune intervention nutritionnelle visant à améliorer les apports et la biodisponibilité du fer n'a été effectuée au Bénin jusqu'à maintenant. Quelques études réalisées au Malawi et en Iran ont montré qu'une amélioration des pratiques alimentaires en fer ainsi qu'une éducation nutritionnelle étaient efficaces pour réduire la carence en fer. Cependant, les travaux effectués dans d'autres pays africains ne sont pas nécessairement applicables au Bénin à cause des différences dans la disponibilité des aliments locaux riches en fer et en vitamine C et dans les habitudes alimentaires des individus.

Ainsi, afin de vérifier l'impact d'une intervention nutritionnelle visant à réduire la carence en fer, 80 adolescentes âgées de 12 à 17 ans, pensionnaires dans deux établissements scolaires au sud du Bénin et souffrant d'anémie légère par carence en fer seront sollicitées afin de participer à cette étude. La moitié des participantes sera soumise à l'intervention nutritionnelle d'une durée de 20 semaines (Janvier - Mai 2006), tandis que l'autre moitié continuera à s'alimenter de façon habituelle. Les adolescentes du premier groupe constitueront le groupe d'intervention (Lycée 1) et celles du deuxième groupe, le groupe témoin (Lycée 2).

Participation à la recherche

Si vous acceptez que votre fille participe à cette étude, elle sera rencontrée à deux reprises dans le milieu scolaire. Une première entrevue individuelle de 20 minutes environ effectuée tôt le matin nous permettra d'obtenir différentes mesures (poids, taille, température corporelle) et d'effectuer les prélèvements sanguins afin de déterminer si elle souffre de

carence en fer et d'anémie ainsi que de paludisme. Des prélèvements de selles recueillis dans des pots stérilisés devront également être apportés à l'école afin d'analyser les infections parasitaires. Ces différents prélèvements seront acheminés au Centre de santé de Ménontin pour les analyses. Une deuxième entrevue, d'une durée de 60 minutes environ permettra d'évaluer la consommation alimentaire de votre fille au cours des deux jours précédant l'entrevue. De plus, un questionnaire comprenant des données socio-économiques, des informations médicales et des informations sur ses habitudes alimentaires lui sera administré. Toutes ces mesures, à l'exception du questionnaire sur les données socio-économiques seront effectuées six mois plus tard. Les données sur les maladies infectieuses communes à savoir la toux, la fièvre ou la diarrhée, etc. seront enregistrées quotidiennement par l'infirmière et collectées tous les mois jusqu'à la fin de l'étude. Les adolescentes recrutées dans les deux Lycées ne devront pas prendre de suppléments de vitamines et de minéraux incluant le fer pendant toute la durée de l'étude.

Lycée 1: Si votre fille est pensionnaire au Lycée 1 et si elle souffre d'anémie légère causée par un manque de fer, elle sera soumise à une intervention nutritionnelle qui sera constituée d'une éducation nutritionnelle. Elle comprendra quatre rencontres de groupe (1 par semaine) et trois rencontres individuelles au cours desquelles elle recevra des conseils nutritionnels. Parallèlement, les menus de la cafétéria scolaire seront améliorés à partir des aliments locaux peu coûteux mais riches en fer et en vitamine C afin de lui permettre d'améliorer son apport en fer.

Lycée 2: Si votre fille est pensionnaire au Lycée 2, elle va continuer à s'alimenter de façon habituelle car le menu de la cafétéria scolaire où elle est pensionnaire n'aura pas été modifié et elle ne bénéficiera pas de l'éducation nutritionnelle et ce, durant les 20 semaines de l'étude. Elle sera référée au médecin traitant si elle présente un problème de santé pendant cette période ou si l'anémie devient modérée ou sévère. Immédiatement après les 20 semaines de l'étude, elle bénéficiera des conseils nutritionnels qui lui seront donnés lors de rencontres individuelles. Elle pourra également prendre des suppléments de vitamines et de minéraux incluant le fer.

Confidentialité

Toutes les données qui seront recueillies au sujet des participantes seront codées de façon à préserver leur confidentialité: leur nom ne paraîtra sur aucun rapport, un numéro sera utilisé pour identifier le questionnaire, les prélèvements sanguins et de selles. Seule l'agente de recherche aura accès à la liste des noms et des numéros. Quant aux prélèvements sanguins, ils seront transportés dans des glacières et amenés le plus rapidement possible au laboratoire afin d'éviter l'altération des échantillons sanguins. Les renseignements personnels seront détruits après vérification de toutes les données.

Avantages et inconvénients

Risques et inconvénients: Au début et à la fin de l'étude, un échantillon sanguin sera obtenu à jeun par ponction dans une veine du bras au moyen d'une aiguille stérile comme cela se pratique régulièrement à l'hôpital. Cette technique ne comporte aucun risque majeur

et peut tout au plus donner lieu dans certains cas à la formation d'un léger hématome (épanchement de sang sous la peau). Quant aux inconvénients qui peuvent survenir, nous avons l'inconfort du prélèvement sanguin, le désagrément de faire une collecte de selles et d'amener l'échantillon au site de prélèvement, et enfin les participantes doivent être à jeun pour les différents prélèvements qui seront effectués le matin dès leur arrivée à l'école.

Minimisation des risques et des inconvénients: Ces différents risques et inconvénients seront minimisés par la présence d'un médecin au moment du prélèvement. Un petit déjeuner leur sera également offert après les prélèvements.

Si votre fille est pensionnaire au Lycée 2, elle bénéficiera, en plus des prélèvements sanguins effectués au début et à la fin de l'étude, d'un prélèvement de sang entre la 9^{ème} et la 11^{ème} semaine afin de déterminer la présence d'anémie. Si elle souffre d'anémie modérée ou sévère, elle sera retirée de l'étude et référée au médecin pour un traitement approprié. L'anémie légère ne comporte pas de conséquences indésirables graves sur l'état de santé des adolescentes pendant la courte période d'étude (20 semaines). De plus, n'eut été de la présente étude, les adolescentes seraient demeurées anémiques et n'auraient pas été référées au médecin traitant pour corriger une anémie modérée à sévère.

Bénéfices escomptés

Les participantes des deux groupes qui souffriront d'infections parasitaires (paludisme, infections par les amibes et les helminthes) seront traitées au début de l'étude. De même, les adolescentes des deux groupes qui n'auront pas été sélectionnées pour participer à l'étude seront référées aux autorités médicales pour traitement si elles souffrent d'anémie modérée à sévère (hémoglobine < 100 g/L) ou d'infections parasitaires (paludisme, infections par les amibes et les helminthes). À la fin de l'étude, les résultats des examens sanguins et de selles seront remis à toutes les participantes gratuitement. De plus, pendant toute la durée de l'étude et en toutes circonstances, les adolescentes pourront recevoir des informations supplémentaires au sujet de l'étude. Quant aux participantes du groupe témoin qui devront continuer leur alimentation habituelle, elles seront suivies pendant toute la durée de l'étude et des conseils nutritionnels leur seront prodigués à la fin des 20 semaines d'étude. Toute participante des deux groupes à l'étude sera référée à un médecin si elle présente un problème de santé pendant l'étude.

De plus, il n'y a aucun effet néfaste à consommer des aliments riches en fer pour atteindre les recommandations en fer absorbable. Cette étude permettra à votre fille non seulement d'améliorer son état nutritionnel en fer mais aussi d'acquérir de meilleures habitudes alimentaires. Enfin, en permettant à votre fille de participer à cette recherche, vous pourrez contribuer à l'avancement des connaissances et à l'amélioration des menus offerts aux jeunes. Sa participation à la recherche pourra également vous donner l'occasion de mieux la connaître.

Droit de retrait

La participation de votre fille est entièrement volontaire et n'entraînera aucune dépense de votre part. Vous êtes libre de la retirer en tout temps par avis verbal, sans préjudice et sans

devoir justifier votre décision. Si vous décidez de la retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec l'agente de recherche, au numéro de téléphone indiqué à la dernière page de ce document. Si vous retirez votre fille de la recherche, les renseignements personnels la concernant et qui auront été recueillis au moment de son retrait seront détruits.

B. CONSENTEMENT

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur la participation de ma fille à la recherche et comprendre le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de cette recherche.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens librement à participer à cette recherche. Je sais que je peux me retirer en tout temps sans préjudice et sans devoir justifier ma décision.

Signature: _____ Date: _____
(Adolescente)

Nom: _____ Prénom: _____

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du chercheur _____ Date: _____
(ou de son représentant)

Nom: _____ Prénom: _____

Signature du témoin _____ Date: _____

Nom: _____ Prénom: _____

Pour toute question relative à la recherche ou pour retirer votre fille de la recherche, vous pouvez communiquer avec la responsable du projet ou le professeur Romain Dossa (Directeur du département de nutrition et des Sciences alimentaire à l'Université d'Abomey Calavi au Bénin), au numéro de téléphone suivant: **229-022528** ou à l'adresse courriel suivante: ansromarc@yahoo.fr

Toute plainte relative à la participation de votre fille à cette recherche peut être adressée à la responsable du projet ou M. Romain Dossa, au numéro de téléphone **229-022528** ou à l'adresse courriel ansromarc@yahoo.fr.

ANNEXE 5: Questionnaire général

A. PROFIL SOCIO- DÉMOGRAPHIQUE

- A1. Numéro d'identification** Q1 [][][]
- A2. Lycée 1 ou Lycée 2?** Q2 []
 1. Lycée 1 (intervention)
 2. Lycée 2 (témoin)
- A3. Date de l'entrevue (jour, mois, année)** Q3 [][][][][][]
J M A
- A4. Quel âge as-tu? (années)** Q4 [][]
- A5. Quelle est ta date de naissance?** Q5 [][][][][][]
J M A
- A6. Quelle est ta religion ?** Q6 []
 1. Catholique
 2. Musulmane
 3. Protestante
 4. Ne sais pas
 5. Autre (*préciser*) _____
- A7. Quelle est ton ethnie?** Q7 []
 1. Fon 5. Adja
 2. Goun 6. Toffin
 3. Yoruba 7. Autre (*préciser*) _____
 4. Mahis
- A8. Quelle langue parles-tu?** Q8 []
 1. Fon 5. Goun
 2. Yoruba 6. Mina
 3. Bariba 7. Autre (*préciser*) _____
 4. Adja
- A9. Quel est ton pays de naissance?** Q9 []
 1. Bénin – *Passer à la question A11.*
 2. Autre (*préciser*) _____ – *Passer à la question A10.*
- A10. Depuis combien de temps résides-tu au Bénin? (mois)** Q10 [][][]
- A11. Depuis combien de temps vis-tu dans la même maison? (mois)** Q11 [][][]
- A12. Combien de personnes vivent habituellement dans la maison?** Q12 [][]
- A13. Étais-tu dans cet internat l'année passée?** Q13 []
 0. Non – *Passer à la question A14.*
 1. Oui – *Passer à la question B1.*

- A14. Où étais-tu?** Q14
1. Un autre internat
 2. À la maison avec les parents.
 3. Autre (*préciser*) _____
- B. INDICES ÉCONOMIQUES** (Ne pas lire le choix de réponses)
- B1. Combien de chambres y a-t-il dans la maison?** Q15
- B2. Quelle est la principale source d'eau pour la famille?** Q16
1. Robinet à la maison – *Passer à la question B5.*
 2. Robinet du voisin – *Passer à la question B5.*
 3. Puits fermé – *Passer à la question B3.*
 4. Puits ouvert – *Passer à la question B3.*
- B3. Est-ce que l'eau est traitée?** Q17
0. Non – *Passer à la question B5.*
 1. Oui – *Passer à la question B4.*
- B4. Par quelle méthode?** Q18
1. Bouillir
 2. Désinfection chimique
 3. Autre (*préciser*) _____
- B5. Quel genre de toilette utilisez-vous à la maison?** Q19
- | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Latrine traditionnelle avec eau | 4. Toilette moderne avec papier |
| 2. Latrine traditionnelle avec papier | 5. Pas de toilette ni de latrine |
| 3. Toilette moderne avec eau | 6. Autre (<i>préciser</i>) _____ |
- B6. En quel matériel le mur de votre maison est-il construit?** Q20
1. Boue
 2. Brique
 3. Tôle
 4. Autre (*préciser*) _____
- B7. En quel matériel le toit de votre maison est-il construit?** Q21
1. Paille
 2. Carreau
 3. Tôle
 4. Autre (*préciser*) _____
- B8. En quel matériel les fenêtres de votre maison sont-elles construites?** Q22
1. Bois
 2. Verre
 3. Tôle
 4. Autre (*préciser*) _____
- B9. Est-ce que vous avez des animaux à la maison?** Q23
0. Non – *Passer à la question B12.*
 1. Oui – *Passer à la question B10.*

B10. Lesquels?

0= Ne mentionne pas cet animal.

1= Mentionne cet animal.

Vache	Q24 <input type="checkbox"/>	Porc	Q28 <input type="checkbox"/>
Chèvre	Q25 <input type="checkbox"/>	Chien	Q29 <input type="checkbox"/>
Poulet	Q26 <input type="checkbox"/>	Chat	Q30 <input type="checkbox"/>
Mouton	Q27 <input type="checkbox"/>	Autre (<i>préciser</i>) _____	Q31 <input type="checkbox"/>

B11. Avec quel(s) parent(s) vis-tu à la maison?Q32

1. Mon père
2. Ma mère
3. Mon père et ma mère
4. Je n'ai plus mes parents.
5. Je ne vis pas avec mes parents (*préciser*) _____

B12. Quelle est la principale occupation de ta maman?Q33

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Commerçante | 7. Petit propriétaire |
| 2. Ménagère | 8. Agente administrative |
| 3. Étudiante | 9. Professionnelle scientifique et technique |
| 4. Enseignante | 10. Travailleuse indépendante |
| 5. Propriétaire de ferme | 11. Mère décédée |
| 6. Policière et militaire | 12. Autre (<i>préciser</i>) _____ |

B13. Quel est le niveau d'instruction de ta maman?Q34

- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| 1. Moins de 8 ans | 4. Université |
| 2. 8 à 10 ans | 5. Ne sais pas |
| 3. Technique | 6. Autre (<i>préciser</i>) _____ |

B14. Quelle est la principale occupation de ton papa?Q35

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Commerçant | 7. Petit propriétaire |
| 2. Chômeur | 8. Agent administratif |
| 3. Étudiant | 9. Professionnel scientifique et technique |
| 4. Enseignant | 10. Travailleur indépendant |
| 5. Propriétaire de ferme | 11. Père décédé |
| 6. Policier et militaire | 12. Autre (<i>préciser</i>) _____ |

B15. Quel est le niveau d'instruction de ton papa?Q36

- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| 1. Moins de 8 ans | 4. Université |
| 2. 8 à 10 ans | 5. Ne sais pas |
| 3. Technique | 6. Autre (<i>préciser</i>) _____ |

C. ÉTAT DE SANTÉ (Ne pas lire le choix de réponses)**C1. As-tu eu ta première menstruation?**Q37

0. Non - Passer à la question C5.
1. Oui - Passer à la question C2.

- C2. Es-tu menstruée actuellement?** Q38
0. Non - *Passer à la question C4*
1. Oui - *Passer à la question C3*
- C3. Depuis combien de jours es-tu menstruée?** Q39
- C4. Quelle est la date de tes dernières menstruations?** Q40
J M A
- C5. Souffres-tu d'une maladie particulière?** Q41
1. Drépanocytose 4. Maladie cardiaque
2. Diabète 5. Ne sais pas
3. Asthme 6. Autre (*préciser*) _____
- C6. Comment vous soignez-vous la plupart du temps à la maison?** Q42
1. Soins médicaux modernes (hôpital)
2. Médecin traditionnel
3. Automédication
4. Autre (*préciser*) _____
- C7. Es-tu allée dans un centre de santé au cours des 4 derniers mois?** Q43
0. Non - *Passer à la question C10.*
1. Oui - *Passer à la question C8.*
2. Ne sais plus - *Passer à la question C10.*
- C8. Combien de fois es-tu allée dans un centre de santé au cours des 4 derniers mois (nombres de visites)?** Q44
98. Beaucoup, ne peut compter (*préciser*) _____
99. Ne sais pas
- C9. Quelles sont les raisons de tes visites au centre de santé?** Q45
1. Visite systématique
2. Consultation pour paludisme
3. Autre (*préciser*) _____
- C10. As-tu l'habitude d'aller dans un centre de santé quand tu es malade?** Q46
0. Non - *Passer à la question C11.*
1. Oui - *Passer à la question C12.*
- C11. Pourquoi?** Q47
1. Coût élevé des médicaments
2. Pas de pharmacie à proximité
3. Allergique ou n'aime pas les médicaments
4. Autre (*préciser*) _____
- C12. Où vous procurez-vous les médicaments dont vous avez besoin à la maison?** Q48
1. Pharmacie
2. Marché

3. Médecin ou infirmière
4. Autre (*préciser*) _____

C13. As-tu l'habitude de prendre des suppléments de vitamines et de minéraux? Q49 []

0. Non - *Passer à la question C16.*
1. Oui - *Passer à la question C14.*

C14. Pour quelles raisons? Q50 []

1. Fatigue
2. Maladie
3. Sans raison (recommandation des parents)
4. Ne sais pas
5. Autre (*préciser*) _____

C15. À quelle fréquence prends-tu des suppléments de vitamines et de minéraux? Q51 []

- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1. Quotidiennement | 5. < 1 fois par mois |
| 2. 3 à 6 fois par semaine | 6. Ne sais pas |
| 3. < de 3 par semaine | 7. Autre (<i>préciser</i>) _____ |
| 4. 2 à 3 fois par mois | _____ |

C16. As-tu consommé des suppléments de vitamines et de minéraux au cours des 2 derniers mois? Q52 []

0. Non - *Passer à la question C18.*
1. Oui - *Passer à la question C17.*

C17. Quelle sorte et combien de comprimés (suppléments) as-tu consommés au cours des 4 dernières semaines? Q53 [][]

C18. Prends-tu d'autres médicaments actuellement ? Q54 [][][][]

0. Non - *Passer à la question C20.*
1. Oui (*préciser*) _____
_____ - *Passer à la question C19.*

C19. Combien de comprimés as-tu consommés au cours des 4 dernières semaines? Q55 [][][][]

C20. As-tu subi une transfusion sanguine ces 2 derniers mois? Q56 []

0. Non
1. Oui, pourquoi? (*préciser*) _____

C21. Que signifie pour toi l'hygiène?

0= Ne mentionne pas cette raison

1 = Mentionne cette raison

1. Propreté physique	Q57 []	5. Manipuler les aliments avec soin et propreté	Q61 []
2. Propreté des vêtements	Q58 []	6. Ne sais pas ou ne comprend pas	Q62 []
3. Laver les mains avant de manger	Q59 []	Autre (<i>préciser</i>) _____ _____	Q63 []
4. Laver les mains après passage aux toilettes	Q60 []		

C22. Quand te laves-tu habituellement les mains?

Q64 []

1. Avant les repas
2. Après les repas
3. Avant et après les repas
4. Autre (*préciser*) _____

C23. Est-ce qu'il y a quelque chose que tu peux faire pour rester en santé?

0= Ne mentionne pas cette raison 1 = Mentionne cette raison

1. Boire de l'eau potable	Q65 []	5. Consommer de la viande à tous les repas	Q69 []
2. Avoir une bonne alimentation	Q66 []	6. Ne sais pas ou ne comprend pas	Q70 []
3. Visiter régulièrement le médecin	Q67 []	Autre (<i>préciser</i>) _____ _____	Q71 []
4. Faire régulièrement des exercices	Q68 []		

C24. Où trouves-tu des informations sur la santé?

0= Ne mentionne pas cette raison 1 = Mentionne cette raison

1. Parents	Q72 []	4. Agent de santé (hôpital)	Q75 []
2. École	Q73 []	5. Autre (<i>préciser</i>) _____ _____	Q76 []
3. Télévision ou radio	Q74 []		

C25. Fais-tu du sport ou une activité physique ?

Q77 []

0. Non
1. Oui (*préciser*) _____

C26. As-tu l'habitude de faire du sport ou une activité physique?

Q78 []

0. Non
1. Oui (*préciser*) _____

- C27. À quelle fréquence faisais-tu du sport à la maison?** Q79 []
 1. Quotidiennement 4. Deux à trois fois par mois
 2. Chaque semaine 5. Ne sais pas
 3. Moins d'une fois par mois 6. Autre (*préciser*) _____
- C28. À quelle fréquence faites-vous du sport à l'école?** Q80 []
 1. Une fois par semaine
 2. Deux fois par semaine
 3. Autre (*préciser*) _____
- C29. Quelle est la durée de votre activité physique? (minutes)** Q81 [][]
- C30. Comment te sens-tu actuellement?** Q82 []
 1. Bien
 2. Ne sais pas
 3. Mal (*préciser*) _____

Commentaires

D. NUTRITION

MICRONUTRIMENTS (Ne pas lire le choix de réponses)

- D1. Que penses-tu de l'anémie?** Q83 []
 1. Manque de fer 4. Faiblesse
 2. Faible hémoglobine 5. Ne sais pas
 3. Vertige 6. Autre (*préciser*) _____
- D2. As-tu déjà entendu parler du fer dans les aliments?** Q84 []
 0. Non
 1. Oui
- D3. Selon toi, quel rôle joue le fer dans notre corps?** Q85 []
 1. Ajoute du sang au corps 4. Protège une personne contre les maladies
 2. Aide une personne à se développer 5. Ne sais pas
 3. Rend une personne forte 6. Autre (*préciser*) _____
- D4. Selon toi, de quels problèmes peut souffrir une personne qui manque de fer dans le sang?** Q86 []
 1. Fatigue 4. Etre faible 7. Souvent malade
 2. Peau pâle 5. Perte d'appétit 8. Ne sais pas
 3. Maigre 6. Œdème/gonflement 9. Autre (*préciser*) _____
- D5. Qu'est-ce qu'une personne peut faire pour prévenir le manque de fer?** Q87 []
 1. Aller à l'hôpital
 2. Prendre des vitamines prescrites dans les hôpitaux
 3. Varier les aliments
 4. Manger des fruits et des légumes

5. Manger des viandes et substituts

6. Autre (*préciser*) _____

D6. Selon toi, où trouve-t-on du fer? Q88 []

1. Aliments

2. Suppléments

3. Fruits et légumes

4. Produits céréaliers

5. Produits laitiers

6. Viandes et substituts

7. Ne sais pas

8. Autre (*préciser*) _____

D7. Y a-t-il des aliments qui contiennent plus de fer que d'autres? Q89 []

0. Non – *Passer à la question D9.*

1. Oui – *Passer à la question D8.*

2. Ne sais pas- *Passer à la question D11.*

D8. Lesquels? Q90 []

1. Fruits et légumes

2. Produits céréaliers

3. Produits laitiers

4. Viandes et substituts

5. Ne sais pas

6. Autre (*préciser*) _____

D9. Selon toi, existe-t-il des aliments dont le fer est mieux absorbé? Q91 []

1. Fruits et légumes

2. Produits céréaliers

3. Produits laitiers

4. Viandes et substituts

5. Ne sais pas

6. Autre (*préciser*) _____

D10. Crois-tu que certaines personnes ont besoin de plus de fer que d'autres? 92 []

0. Non – *Passer à la question D13.*

1. Oui – *Passer à la question D11.*

D11. Quelles sont ces personnes? Q93 []

1. Nourrissons et enfants

2. Adolescents

3. Adolescentes

4. Femmes adultes

5. Femmes enceintes

6. Femmes allaitantes

7. Ne sais pas

8. Autre (*préciser*) _____

D12. Que peut-on faire pour s'assurer que ces personnes sont bien nourries? Q94 []

1. Leur faire des repas spécifiques

2. Leur donner leur propre plat

3. Ne sais pas

4. Autre (*préciser*) _____

D13. As-tu déjà entendu parler de la vitamine C dans les aliments? Q95 []

0. Non

1. Oui

2. Ne sais pas

D14. Selon toi, est-ce que la vitamine C protège notre corps contre l'anémie? Q96

0. Non
1. Oui
2. Ne sais pas

D15. Selon toi, où trouve-t-on de la vitamine C? Q97

1. Suppléments
2. Aliments
3. Fruits et légumes
4. Produits céréaliers
5. Produits laitiers
6. Viandes et substituts
7. Ne sais pas
8. Autre (*préciser*) _____

PRÉPARATION ET TRAITEMENT DES ALIMENTS (Ne pas lire le choix de réponses)

D16. Quel mode de cuisson des aliments utilisez-vous à la maison? Q98

1. Gaz
2. Charbon
3. Bois
4. Autre (*préciser*) _____

D17. Dans quel type de marmites (ou casseroles) la nourriture est-elle habituellement préparée à la maison? Q99

1. Aluminium
2. Acier inoxydable
3. Argile
4. Fer
5. Ne sais pas
6. Autre (*préciser*) _____

D18. Qui fait la cuisine à la maison? Q100

1. Moi
2. Père ou mère
3. Frère ou sœur
4. Autre (*préciser*) _____

D19. Existe-t-il une façon de préparer les aliments afin de réduire la perte de vitamines? Q101

0. Non - *Passer à la question D21.*
1. Oui - *Passer à la question D20.*
2. Ne sais pas

D20. Laquelle ou lesquelles? 0 = Ne mentionne pas cette raison

1 = Mentionne cette raison

Éviter un excès de cuisson	Q102 <input type="checkbox"/>	Consommer les légumes frais et crus	Q105 <input type="checkbox"/>
Ne pas utiliser beaucoup d'eau pour les légumes	Q103 <input type="checkbox"/>	Ne sais pas	Q106 <input type="checkbox"/>
Couper les aliments en gros morceaux	Q104 <input type="checkbox"/>	Autre (<i>préciser</i>) _____ _____	Q107 <input type="checkbox"/>

D21. Au cours de la dernière année, avez-vous déjà utilisé les méthodes suivantes à la maison?

0 = Non 1 = Oui 2 = Ne sais pas

Fermenter la farine	Q108 []	Tremper les haricots	Q110 []
Tremper les grains de maïs	Q109 []	Décortiquer les céréales	Q111 []

D22. Au cours de la dernière année, pourquoi n'avez-vous jamais utilisé les méthodes suivantes

à la maison? 0 = Ne mentionne pas cette raison 1 = Mentionne cette raison

	Fermenter la farine	Tremper les haricots	Tremper les grains de maïs	Décortiquer les céréales
Trop long	Q112 []	Q118 []	Q124 []	Q130 []
Trop de travail	Q113 []	Q119 []	Q125 []	Q131 []
N'ont jamais essayé	Q114 []	Q120 []	Q126 []	Q132 []
Contre la tradition	Q115 []	Q121 []	Q127 []	Q133 []
Ne sais pas	Q116 []	Q122 []	Q128 []	Q134 []
Autre (<i>préciser</i>) _____	Q117 []	Q123 []	Q129 []	Q135 []

D23. Pourquoi utilisez-vous les méthodes suivantes à la maison?

0 = Ne mentionne pas cette raison 1 = Mentionne cette raison

	Fermenter la farine	Tremper les haricots	Tremper les grains de maïs	Décortiquer les céréales
Meilleur pour la santé	Q136 []	Q141 []	Q146 []	Q151 []
On l'a toujours fait	Q137 []	Q142 []	Q147 []	Q152 []
Meilleur goût	Q138 []	Q143 []	Q148 []	Q153 []
Ne sais pas	Q139 []	Q144 []	Q149 []	Q154 []
Autre (<i>préciser</i>) _____	Q140 []	Q145 []	Q150 []	Q155 []

D24. Dans quels aliments utilisez-vous les méthodes suivantes à la maison?

0 = Ne mentionne pas cette raison 1 = Mentionne cette raison

	Fermenter la farine	Tremper les grains de maïs	Décortiquer les céréales
Coco ou zogbon	Q156 []	Q167 []	Q178 []
Akassa	Q157 []	Q168 []	Q179 []
Lio	Q158 []	Q169 []	Q180 []
Akpan	Q159 []	Q170 []	Q181 []
Gbagba	Q160 []	Q171 []	Q182 []

Com	Q161 []	Q172 []	Q183 []
Ablo	Q162 []	Q173 []	Q184 []
Massa	Q163 []	Q174 []	Q185 []
Manwè	Q164 []	Q175 []	Q186 []
Ne sais pas	Q165 []	Q176 []	Q187 []
Autre (<i>préciser</i>) _____	Q166 []	Q177 []	Q188 []

D25. À quelle fréquence utilisez-vous les méthodes suivantes à la maison?

	Fermenter la farine	Tremper les haricots	Tremper les grains de maïs	Décortiquer les céréales
1. Quotidiennement	Q189 []	Q190 []	Q191 []	Q192 []
2. 3 à 6 fois par semaine				
3. < de 3 par semaine				
4. 2 à 3 fois par mois				
5. < 1 fois par mois				
7. Ne sais pas				
8. Autre (<i>préciser</i>) _____				

HABITUDES ALIMENTAIRES

D26. Combien de personnes partagent habituellement le même repas à la maison ? Q193 [] []

D27. À la maison, mangez-vous ensemble? Q194 [] []

0. Non – Passer à la question D28.

1. Oui (*préciser*) _____ - Passer à la question D29.

D28. Si non, pourquoi? Q195 []

Préciser _____

D29. Combien de fois par semaine environ prends-tu trois repas par jour? Q196 []

1. Semaine _____ /5 jours

2. Fin de semaine _____ /2 jours

D30. Consommes-tu les mêmes types d'aliments la semaine et à la fin de semaine? Q197 []

1. Non (les aliments consommés la semaine sont habituellement différents de ceux consommés la fin de semaine).

2. Oui (les aliments sont habituellement les mêmes la semaine et la fin de semaine).

3. Autre (*préciser*) _____

D31. Existe-t-il des aliments que tu évites de manger? Q198 []

0. Non - Passer à la question D33.

1. Oui (*préciser*) _____ – Passer à la question D32.

- D32. Pour quelles raisons évites-tu de manger ces aliments?** Q199
1. Religion
 2. Tradition
 3. Je ne les ai jamais mangés.
 4. Ne sais pas
 5. Autre (*préciser*) _____
- D33. Existe-t-il des aliments que tu n'apprécies pas particulièrement?** Q200
0. Non – *Passer à la question D35.*
 1. Oui (*préciser*) _____ – *Passer à la question D34.*
- D34. Pour quelles raisons n'aimes-tu pas manger ces aliments?** Q201
1. Religion
 2. Tradition
 3. Je ne les ai jamais mangés.
 4. Ne sais pas
 5. Autre (*préciser*) _____
- D35. Existe-t-il des aliments que tu aimes énormément?** Q202
0. Non – *Passer à la question D37.*
 1. Oui (*préciser*) _____ – *Passer à la question D36.*
- D36. Pour quelles raisons aimes-tu manger ces aliments?** Q203
1. Religion
 2. Tradition
 3. Goût
 4. Souvent préparés à la maison.
 5. Ne sais pas
 6. Autre (*préciser*) _____
- D37. Existe-t-il des aliments auxquels tu es allergique?** Q204
0. Non – *Passer à la question D39.*
 1. Oui (*préciser*) _____ – *Passer à la question D38.*
- D38. Comment le sais-tu?** Q205
1. Par mes parents
 2. Examen à l'hôpital
 3. J'ai été malade après les avoir mangés
 4. Autre (*préciser*) _____
- D39. Peux-tu me dire si tu manges les aliments suivants en m'indiquant s'il y a lieu la fréquence à laquelle tu les consommes et le nombre de repas contenant ces aliments que tu as consommés au cours des 7 derniers jours?**

Codes de la fréquence:

- | | |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1. Quotidiennement | 5. < 1 fois par mois |
| 2. 3 à 6 fois par semaine | 6. Ne sais pas |
| 3. < de 3 par semaine | 7. Autre (<i>préciser</i>) _____ |
| 4. 2 à 3 fois par mois | _____ |

ALIMENTS		FRÉQUENCE		NOMBRE DE REPAS 1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine ___ / 6 repas
Bœuf 0. Non 1. Oui	Q206 []	Q207 []	Q208 [] []	
Veau ou porc 0. Non 1. Oui	Q209 []	Q210 []	Q211 [] []	
Agneau ou mouton 0. Non 1. Oui	Q212 []	Q213 []	Q214 [] []	
Volaille (poulet, dinde, pintade) 0. Non 1. Oui	Q215 []	Q216 []	Q217 [] []	
Poisson 0. Non 1. Oui	Q218 []	Q219 []	Q220 [] []	
Légumineuses 0. Non 1. Oui	Q221 []	Q222 []	Q223 [] []	
Tubercules ou racines 0. Non 1. Oui	Q224 []	Q225 []	Q226 [] []	
Légumes verts (fotêté; avounvo) 0. Non 1. Oui	Q227 []	Q228 []	Q229 [] []	
Épinards 0. Non 1. Oui	Q230 []	Q231 []	Q232 [] []	
Fruits 0. Non 1. Oui	Q233 []	Q234 []	Q235 [] []	

D40. Est-ce que tu consommes les fruits suivants? 0 = Non 1 = Oui

Orange	Q236 []	Papaye	Q239 []
Citron	Q237 []	Goyave	Q240 []
Mangue	Q238 []	Autre (préciser) _____	Q241 []

D41. Comment obtiens-tu les fruits précédemment cités? Q242 []

1. Je les achète.
2. De la part des parents
3. Autre (*préciser*) _____

D42. Est-ce qu'il t'arrive de consommer du café ou du café au lait? Q243 [][]

0. Non – Passer à la question E1.
1. Oui – Passer à la question D43.

D43. À quelle fréquence consommes-tu du café ou du café au lait? 244 []

1. Quotidiennement
2. 3 à 6 fois par semaine
3. < de 3 par semaine
4. 2 à 3 fois par mois
5. < 1 fois par mois
6. Ne sais pas
7. Autre (*préciser*) _____

D44. À quel moment de la journée bois-tu du café ou du café au lait?

0 = Non 1 = Oui

Pendant les repas	Q245 []	Deux heures après les repas	Q248 []
Juste après les repas	Q246 []	Autre (<i>préciser</i>) _____	Q249 []
Une heure après les repas	Q247 []	_____	

D45. À quel moment de la journée bois-tu du thé? 0 = Non 1 = Oui

Pendant les repas	Q250 []	Deux heures après les repas	Q253 []
Juste après les repas	Q251 []	Autre (<i>préciser</i>) _____	Q254 []
Une heure après les repas	Q252 []	_____	

RAPPEL DE 24 HEURES (J1)

Aliments ou boissons	Description (ingrédients, mode de préparation)	Quantité

RAPPEL DE 24 HEURES (J2)

Aliments ou boissons	Description (ingrédients, mode de préparation)	Quantité

E. DONNÉES HÉMATOLOGIQUES

- E1. Numéro d'identification Q255 [][][][]
- E2. Lycée 1 ou Lycée 2? Q256 []
 1. Lycée 1 (intervention)
 2. Lycée 2 (témoin)
- E3. Date de prélèvement (jour, mois, année) Q257 [][][][][][]
 J M A

NUMÉRATION SANGUINE

- E4. GB (G/l) Q258 [][][][]
- E5. GR (T/l) Q259 [][][][]
- E6. Hb (g/dl) Q260 [][][][]
- E7. Ht (%) Q261 [][][][]
- E8. VGM (fl) Q262 [][][][][]
- E9. TGMH (pg/GR) Q263 [][][][][]
- E10. CGMH (g/dl) Q264 [][][][][]

FORMULE LEUCOCYTAIRE

- E11. Neutr(G/l) Q265 [][][][][]
- E12. Eosino (G/l) Q266 [][][][][]
- E13. Lympho (G/l) Q267 [][][][][]
- E14. Mono (G/l) Q268 [][][][][]
- E15. Baso (G/l) Q269 [][][][][]

ANOMALIES CYTOLOGIQUES SANGUINES

- E16. Anisocytose Q270 [][]
- E17. Poikilocytose Q271 [][]
- E18. Macrocytose Q272 [][]
- E19. Microcytose Q273 [][]

- E20. Hypochromie Q274 [] [] []
- E21. Ovalocytose Q275 [] [] []

F. DONNÉES BIOCHIMIQUES ET PARASITOLOGIQUES

ÉTAT NUTRITIONNEL EN FER

- F1. Fer sérique (mg/l) Q276 [] [] [] []
- F2. Capacité de fixation du fer (mg/l) Q277 [] [] [] []
- F3. Pourcentage de saturation de la transferrine (%) Q278 [] [] []
- F4. Ferritine sérique (mg/l) Q279 [] [] [] []

MORBIDITÉ

- F5. Coprologie parasitaire Q280 [] [] []
 0. Négative (-)
 1. Positive (+). Préciser _____
- F6. Inflammation Q281 [] []
 0. Négative (-)
 1. Positive (+)
- F7. Infections communes Q282 [] []
 0. Négative (-)
 1. Positive (+). Préciser _____

G- MESURES PRISES AU MOMENT DES PRÉLÈVEMENTS

- G1. Poids au moment de l'entrevue (kg) Q283 [] [] [] []
- G2. Taille (cm) Q284 [] [] [] [] []
- G3. Indice de masse corporelle Q285 [] [] [] []
- G4. Température corporelle au moment de l'entrevue (°C) Q286 [] [] [] []

ANNEXE 6: Questionnaire d'information

ÉVALUATION NUTRITIONNELLE
QUESTIONNAIRE D'INFORMATIONS PAR
ENTREVUE

INFORMATIONS SUR LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES (Entrevue auprès des maîtresses et des infirmières de l'internat)

Informations démographiques

Date:

1. Quel est le nom de l'école? _____
2. Est-ce une école privée, publique ou semi-privée? _____
3. Dans quelle région l'école est-elle localisée? (Département) _____
4. Quel est le nom de la responsable de l'école? _____
5. Combien de maîtresses y a-t-il pour la cafétéria? _____
6. Combien d'employés y a-t-il pour la cuisine? _____
7. Quel est le nombre actuel d'adolescentes dans la cafétéria? _____
Tranches _____

Informations économiques

8. Combien de chambres y a-t-il dans l'internat? _____
9. Combien de filles y a-t-il par chambres? _____
10. Est-ce qu'il y a de l'eau courante dans l'internat? _____
11. Sur quelle base les maîtresses sont-elles recrutées? _____
12. Quel est le niveau d'instruction des maîtresses des étudiantes? _____
13. En quel matériel le mur de l'internat est-il construit? _____
14. En quel matériel le toit de l'internat est-il construit? _____
15. En quel matériel les fenêtres de l'internat sont-elles construites? _____

Eau et hygiène

16. Quelle est la principale source d'eau pour les adolescentes? _____
17. À quel endroit se situe la source d'eau? _____
18. Est-ce que l'eau est traitée? Par quelle méthode? _____
19. Où jetez-vous les eaux sales des préparations des aliments et des toilettes? _____
20. Quel type de toilette utilisez-vous dans l'internat? _____
21. Combien de toilettes y a-t-il dans l'internat? _____
22. À quel endroit se situent les toilettes? _____
23. Combien de fois les filles doivent-elles se laver par jour? _____

Nutrition**Préparation et traitement des aliments**

24. Quel mode de cuisson des aliments utilisez-vous? _____
25. Dans quels types de marmites (ou casseroles) la nourriture est-elle habituellement préparée? _____
26. Avez-vous l'habitude d'utiliser de la farine fermentée? _____
27. À quelle fréquence utilisez-vous la farine fermentée? _____
28. Dans quels aliments utilisez-vous la farine fermentée? _____
29. Avez-vous l'habitude de tremper les grains de maïs? _____
30. À quelle fréquence utilisez-vous les grains de maïs trempés? _____
31. Dans quels aliments utilisez-vous les grains de maïs trempés? _____
32. Avez-vous l'habitude de tremper les haricots? _____
33. À quelle fréquence utilisez-vous les haricots trempés? _____

34. Avez-vous l'habitude de décortiquer les céréales? _____
35. À quelle fréquence utilisez-vous les céréales décortiquées? _____
36. Dans quels aliments utilisez-vous les céréales décortiquées? _____

Habitudes alimentaires

37. Combien de repas la cafétéria offre-t-elle aux enfants habituellement? _____
38. Les enfants sont-ils obligés de manger tous les repas? _____
39. Combien de personnes font-elles la cuisine? _____
40. Combien de fois ces personnes font-elles la cuisine? _____
41. À quels moments ces personnes commencent-elles à préparer les repas? _____
42. À quelle heure les filles mangent-elles habituellement? _____
43. Tous les enfants mangent-elles au même moment? _____
44. Les enfants reçoivent-ils la visite de leurs parents ou tuteurs? _____
45. Les parents leur amènent-ils de la nourriture? _____
46. Qui propose les menus? _____
47. Les menus tiennent-ils compte de la religion ou de la tradition ou des interdits alimentaires des adolescentes? _____
48. S'il en existe, citez-les et donnez-en les raisons.
-
49. Les menus tiennent-ils compte des problèmes nutritionnels à savoir les carences en micronutriments? _____
50. Quelle fut la composition du menu la semaine passée? _____

Jours de la semaine	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Petit déjeuner							
Déjeuner							
Dîner							

51. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de bœuf avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
52. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de veau ou du porc avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
53. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de d'agneau ou de mouton avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
54. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de la volaille (poulet, dinde, pintade, etc.) avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
55. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de poisson avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
56. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de légumineuses avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
57. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de tubercules ou racines avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
58. Au cours de la semaine dernière, combien de repas d'épinards avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
59. Au cours de la semaine dernière, combien de repas de légumes verts avez-vous préparés?
1. Semaine _____ / 15 repas 2. Fin de semaine _____ / 6 repas
60. À quel moment de la journée la cafétéria offre-t-elle du café ou du café au lait? _____

61. Y a-t-il régulièrement des changements majeurs dans les menus offerts dans la cafétéria scolaire? _____
62. La composition des menus changent-elle chaque semaine ou chaque mois ou chaque année? _____
63. Pourquoi ces changements surviennent-ils? _____
64. Les menus changent-ils en fonction des saisons? _____
65. Les menus changent-ils en fonction du coût des aliments? _____
66. Est-ce que la religion des enfants a une influence sur la composition des menus?
67. Qu'est-ce qui se passe quand les changements ne sont pas acceptés par les filles? Ou quand la plupart se plaignent? _____
68. Est-ce que l'on a déjà demandé aux enfants si les menus leur convenaient?

69. Est-ce que ce sont les mêmes aliments qui sont préparés pendant la saison sèche et la saison des pluies? _____
70. De quelle façon vous procurez-vous les aliments? _____
71. Qui s'occupe de l'achat des aliments? _____
72. Quels aliments achetez-vous? _____
73. Comment les aliments sont-ils stockés ? _____
74. Y a-t-il beaucoup de perte? Pourquoi ? _____
75. Quels problèmes rencontrez-vous pour nourrir les filles? _____

Informations sur les maladies et la santé

76. Combien d'infirmières y a-t-il pour l'internat? _____
77. Les adolescentes consultent-elles automatiquement les infirmières quand elles sont malades? _____
78. Quand un enfant est malade, comment ça se passe? _____

79. Dorment-elles sous des moustiquaires? _____
80. Les moustiquaires sont-ils imprégnés? _____
81. Chaque enfant a-t-il une fiche de maladie? _____
82. Est-ce qu'il y a une visite médicale chaque année? _____
83. Quels sont les principaux problèmes de santé et leur cause? _____
84. Est-ce que ces problèmes de santé sont spécifiques à un certain âge? _____
85. Quelles sont les principales choses qui affectent la santé des filles? (ie qui ont besoin d'être changées) _____
86. Y a-t-il dans l'école un programme de prévention de maladie pour les filles? (paludisme, carence en fer, anémie) _____
87. Combien d'adolescentes en moyenne sont-elles malades chaque mois? _____
88. Quelles sont les principales causes? _____
89. Quels groupes d'âge tombent souvent malades? _____
90. Des moyens sont-ils utilisés pour prévenir ces maladies? _____

RAPPORT D'ÉTAPES ET D'ACTIVITÉS

1. Date: _____
2. Lycée: _____
3. L'adoption des méthodes fut-elle facile? _____
4. Pourquoi? _____
5. Observations/ commentaires des cuisinières et des maîtresses (personnel) _____
6. Problèmes/Suggestions notés par cuisinières et des maîtresses _____
7. Problèmes/Suggestions notés par la responsable du Lycée _____
8. Participation des adolescentes et du personnel _____

RAPPORT DES CHANGEMENTS

1. Utilisation des aliments riches en vitamine C _____
Faisabilité d'adoption: Élevé/ Faible/ Adoption probable
2. Utilisation des aliments riches en fer _____
Faisabilité d'adoption: Élevé/ Faible/ Adoption probable
3. Utilisation des techniques de trempage des haricots _____
Faisabilité d'adoption: Élevé/ Faible/ Adoption probable
4. Utilisation des techniques de préparation des légumes _____
Faisabilité d'adoption: Élevé/ Faible/ Adoption probable

ANNEXE 7: Évaluation du projet

(Entrevue auprès des maîtresses et des adolescentes de l'internat)

1. Date:
2. Lycée:

Changements dans la cafétéria scolaire

3. Que signifie ce projet pour vous? Que vous-a-t-il rapporté?

4. Pensez-vous que les gens ont réellement changé leurs habitudes alimentaires selon les recommandations du projet?

5. Selon vous, qu'est-ce qui va pousser les gens à adopter les nouvelles pratiques alimentaires recommandées par le projet?

6. Est-ce que vous avez remarqué des changements attribuables à la réalisation du projet?

7. Le projet vous a-t-il aidée à prendre conscience de l'importance de la santé et de la nutrition?

8. Pensez-vous que la mise en œuvre des différentes pratiques se poursuivra même en absence du projet? Des changements seront-ils poursuivis?

Changements individuels

1. Est-ce que la réalisation de ce projet a amélioré votre connaissance en matière de santé et de nutrition? _____
2. Quelles sont les choses les plus importantes que vous avez retenues? _____
3. Avec toutes ces connaissances acquises, quel rôle pensez-vous jouer dans vos familles respectives? _____
4. Une fois que le projet sera terminé, pensez-vous que les changements enseignés seront poursuivis dans la cafétéria de façon définitive? _____
5. Pensez-vous que vous avez assez d'informations pour transmettre les messages concernant la santé et la nutrition à vos proches, camarades ainsi que les membres de votre famille. _____
6. Comment ce projet vous a-t-il changé individuellement? _____
7. Depuis que le projet a commencé, vous avez eu des discussions avec vos camarades et vos responsables? Quels effets ont-elles sur votre vie? _____

Évaluation du projet

8. Le projet a utilisé un certain nombre de méthodes pour faire passer ses messages (rencontres de groupes, rencontres individuelles. Quelle méthode pensez-vous qui était la plus efficace qui a eu plus d'impact sur les gens ? _____
9. Qu'est qui vous a le plus plu dans ce projet ? _____
10. Qu'est-ce qui vous a le plus déçu ? _____
11. À quels facteurs pouvez-vous attribuer les problèmes que le projet a rencontrés pour obtenir la participation complète des étudiantes et du personnel ?

12. À quels facteurs pouvez-vous attribuer les problèmes que le projet a rencontrés pour changer les habitudes alimentaires des étudiantes ?

13. Que pensez-vous que le projet aurait pu faire de meilleur ? _____

