

UNIVERSITE MONTPELLIER 2
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

Thèse

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Montpellier 2

Ecole doctorale : Sciences des Procédés – Sciences des Aliments

Discipline : Nutrition, Santé

Présentée et soutenue publiquement par

Waliou B.A. AMOUSSA HOUNKPATIN

Le 13 Décembre 2011

Titre

**Evaluation du potentiel de couverture des besoins en vitamine
A des jeunes enfants à partir des sauces accompagnant les
aliments de base consommés au Bénin**

Thèse dirigée par M. Serge Trèche et co-encadrée par Claire Mouquet-Rivier

JURY :

M^{me} Marie-Josèphe AMIOT-CARLIN, Directeur de Recherche, Faculté de Médecine de la Timone, Marseille

Rapporteur

M. Jacques BERGER, Directeur de recherche, IRD

Examineur

M. Jean-François GRONGNET, Professeur, Agrocampus Ouest, Rennes

Rapporteur

M. Joseph D. HOUNHOUIGAN, Professeur, Université Abomey-Calavi

Examineur

M^{me} Claire MOUQUET-RIVIER, Chargé de recherche, IRD

Co-encadrante

Dédicace

A tous les enfants malnutris des pays en voie de développement en général et en Afrique subsaharienne en particulier, je dédie ce travail qui n'est qu'un modeste apport au problème de la carence en vitamine A.

A mon feu père Mounirou AMOUSSA HOUNKPATIN, de qui j'ai hérité très tôt le courage et le sens du travail bien fait, je dédie ce travail à titre posthume. Paix à son âme.

A ma mère, Christine AMOUSSA HOUNKPATIN, pour son Amour immense et son soutien de tous les jours. Chère maman, reçois ce travail comme le signe de tes prières.

A mes enfants, Kamélia, Khady, Nimat, et Kolawolé, pour leur patience et leur grande affection. C'est bientôt fini mes longues absences répétées. Que ce travail soit pour vous un exemple à dépasser.

A mon épouse, Valérie Amoussa Hounkpatin, ton amour, ta patience, ton courage et ton soutien ont été pour moi des sources sûres de motivation pour venir à bout de cette lourde expérience scientifique. Val, ce travail est aussi le tien. Je t'aime.

Remerciements

Avant la présentation des résultats de cette étude, il m'est agréable de remercier toutes les personnes morales et physiques qui, de par leurs divers soutiens, ont facilité l'élaboration du projet de thèse et son exécution d'une part au Bénin et d'autre part, dans les laboratoires de l'IRD à Montpellier au sein de l'UMR 204 Nutripass.

Ce travail a été réalisé grâce au cofinancement du projet INSTAPA et du Gouvernement de la République du Bénin. Je voudrais en remercier les responsables, qui par leur décision favorable de financement de cette étude, ont contribué à la réalisation de cette thèse. Veuillez recevoir l'expression de ma profonde gratitude

Ma grande reconnaissance à Serge TRECHE, pour avoir accepté d'être mon Directeur de thèse et qui le 1^{er}, a porté l'idée de mon encadrement en thèse à Montpellier au sein de l'équipe Nutrition & Aliment après plusieurs échanges scientifiques, avant de passer la main à deux vaillantes et clairvoyantes dames, Claire MOUQUET-RIVIER et Sylvie AVALLONE pour encadrement.

Mes vifs et sincères remerciements à Claire MOUQUET-RIVIER, Co-directeur de thèse qui a encadré ce travail de mains de maître, en faisant preuve de rigueur dans la convivialité et le respect de l'autre, de grandes capacités techniques et scientifiques et d'une constante disponibilité. Chère Claire, ce travail est aussi le tien. Ton soutien moral constant pendant mes moments difficiles, le chaleureux accueil que tu m'as toujours réservé dans ton bureau, la confiance que tu m'as témoignée et tes multiples conseils m'ont tout le temps rassuré et ont permis de réaliser ce travail dans de très bonnes conditions. J'ai beaucoup appris à tes côtés.

Ma profonde gratitude à Sylvie AVALLONE, qui a co-encadré ce travail avec engagement et rigueur. Ce travail est aussi le tien. Chère Sylvie, malgré tes multiples occupations, familiales, scientifiques, tu as toujours su trouver le temps pour ma thèse et faire preuve d'une patience et d'une attention particulières, pour mes travaux afin de me conduire aujourd'hui à bon port. Je t'en remercie vivement. J'ai beaucoup appris avec toi.

J'exprime mes sincères remerciements au Professeur Joseph HOUNHOUIGAN, porte flambeau de l'opportunité de cette thèse, depuis l'administration du Bénin jusqu'à INSTAPA en passant par Serge TRECHE. Cher Professeur, ce travail est le signe de votre combat quotidien pour le transfert de vos connaissances et assurer la relève dans le domaine de la Nutrition et des Sciences Alimentaires à l'Université d'Abomey-Calavi, au Bénin. Merci d'avoir accepté être membre de mon jury pour examiner ce travail.

Ma grande reconnaissance à Jean-Pierre GUYOT, pour m'avoir accepté au sein de l'équipe Nutrition & Aliments, pour m'avoir soutenu tout ce temps par tes nombreux conseils. Jean-Pierre, j'ai de façon naturelle beaucoup de respect pour toi.

Je m'en voudrais de ne pas remercier très sincèrement Jacques BERGER, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche 204 Nutripass, pour son ouverture, sa disponibilité, son soutien moral et scientifique et sa joie de vie communicative. C'était un réel plaisir pour moi de t'avoir mieux

connu après avoir changé de bureau. Merci d'avoir accepté d'être membre de mon jury pour examiner ce travail.

Je remercie particulièrement, toute l'administration de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) au Bénin, et spécialement le Doyen de la Faculté, le Professeur Jean-Claude CODJIA, et le Vice-Doyen, le Professeur Guillaume AMADJI pour leurs soutiens divers et leur sympathie.

Je ne saurais oublier son excellence, le Professeur Mathurin C. NAGO, actuel Président de l'Assemblée Nationale du Bénin qui a beaucoup œuvré dans le cadre de ma formation à l'Université d'Abomey-Calavi. Je suis sensible à votre amour naturel pour moi.

J'adresse mes vifs remerciements à Polycarpe KAYODE et Philippe BOHUON, pour leurs assistances, conseils et leurs nombreuses et appréciables contributions scientifiques au sein de mon comité de thèse.

J'associe à mes remerciements Saturnin HOUNDJI pour son soutien et son assistance à ma famille pendant mon absence et ses réponses spontanées à mes nombreuses sollicitations.

Un grand merci à tous les autres membres de l'Unité, Christèle ICARD-VERNIERE, Valérie GREFFEUILLE, Isabelle ROCHETTE, Christian PICQ, Christèle HUMBLLOT, Catherine Philibert-GAY, Pierre TRAISSAC, Yves Martin-PREVEL, Sonia FORTIN, Elodie DELALANDE, Barbara BAYE et Edwige LANDAIS, pour leur sympathie, leur assistance et leur amitié.

Je remercie aussi tous mes autres collègues et aînés du Département de Nutrition et Sciences Alimentaires notamment, Noël AKISSOE, actuel chef du Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, Eric ATEGBO à qui je fais un clin d'œil, Léopold FAKAMBI, Romain DOSSA, Evariste MITCHIKPE, Victor ANIHOUVI, Générose DALODE, Balbine AMOUSSOU.

A mon ami de naissance, mon ami particulier depuis mon enfance et dont le soutien incommensurable ne m'a jamais fait défaut quelle que soit la distance, Sébastien KANDJI, je dis infiniment merci. Les mots me manquent.

A mes frères Océni, Djribil, Saliou, Latif, Rafiou king AMOUSSA HOUNKPATIN, Fatiou AKPLOGAN et Brice LATOUNDJI, merci pour vos soutiens respectifs.

Chaleureux merci aussi à mes amis et soutiens de Montpellier :

- Hervé AHOLOUKPE, un autre frère ami combattant de Montpellier, les mots me manquent pour te remercier. Tu es un amour.
- Fatoumata HAMA, ma sœur thésarde engagée dans le même combat que moi à Montpellier
- Muriel, Kadnel, Djibril, Julien, Maeva, Adélaïde, Octavio, merci pour vos contributions.

Merci à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Aux honorables membres de jury qui ont bien voulu juger ce travail, je dis sincèrement merci pour le temps consacré pour la correction de ce document. Je m'engage à tenir entièrement compte des commentaires, critiques et suggestions pour améliorer sa qualité scientifique.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	7
1.1. Situation alimentaire et nutritionnelle au Bénin et en Afrique subsaharienne	9
1.1.1. Situation alimentaire et nutritionnelle en Afrique subsaharienne	9
1.1.2. Situation alimentaire et nutritionnelle au Bénin	9
1.1.2.1. <i>Présentation sommaire du Bénin</i>	9
1.1.2.2. <i>La malnutrition pluricarentielle chez les jeunes enfants au Bénin</i>	10
1.1.2.3. <i>Les pratiques d'alimentation des jeunes enfants au Bénin</i>	14
1.2. Vitamine A et caroténoïdes	15
1.2.1. Les caroténoïdes : définitions, nature et classification	16
1.2.2. Propriétés et rôles des caroténoïdes	16
1.2.3. Structure et fonction de la vitamine A et des caroténoïdes	17
1.2.4. Utilisation des caroténoïdes et métabolisme de la vitamine A	19
1.2.5. Sources alimentaires potentielles: rétinol, caroténoïdes	20
1.3. Unités d'expression de la vitamine A, rétention et bioconversion des caroténoïdes	20
1.3.1. Unités d'expression des caroténoïdes, évolution et variation des facteurs de bioconversion des caroténoïdes	20
1.3.2. Bioaccessibilité et rétention des caroténoïdes à activité provitaminique A	21
1.3.2.1. <i>Facteurs déterminant la bioaccessibilité ou la bioconversion des caroténoïdes</i>	21
1.3.2.2. <i>Facteurs alimentaires affectant la bioaccessibilité des caroténoïdes : rôles des fibres, des lipides et interaction avec d'autres nutriments</i>	22
1.3.2.3. <i>Influence des infections et des infestations parasitaires sur le statut vitaminique A</i>	23
1.4. Effet des modes de préparation sur la stabilité et/sur la bioaccessibilité des caroténoïdes à activité pro vitaminique A	25
1.4.1. Effet du stockage post-récolte	24

1.4.2.	Effets des procédés thermiques	25
1.4.3.	Effets de traitements combinés de séchage, stockage et traitements thermiques	26
1.5.	Carence en vitamine A, conséquences et populations à risque	27
1.5.1.	Définition de la carence en vitamine A, individus et facteurs de risques associés	27
1.5.2.	Indicateurs biologiques de la carence en vitaminique A	28
1.5.2.1.	<u>Signes cliniques de la carence en vitamine A au niveau de l'œil</u>	28
1.5.2.2.	<u>Méthodes d'évaluation du statut en vitamine A</u>	28
1.5.3.	Evaluation de l'apport en vitamine A	30
1.5.4.	Distribution géographique de la carence en vitamine A	31
1.6.	Recommandations pour les besoins en vitamine A et toxicité	32
1.6.1.	Besoins et apports recommandés en vitamine A	32
1.6.2.	Toxicité	33
1.7.	Stratégies possibles de lutte contre la carence en vitamine A	33
1.7.1.	Solution non alimentaire : la supplémentation	34
1.7.2.	Approches alimentaires	35
1.7.2.1.	<u>Enrichissement ou fortification: définition, avantages potentiels et limites</u>	35
1.7.2.2.	<u>Bio-fortification : définition, avantages potentiels et limites</u>	37
1.7.2.3.	<u>Diversification : définition, avantages potentiels et limites</u>	38
1.8.	Potentialités de quelques ressources traditionnelles végétales dans la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays en développement	40
1.8.1.	Importance de l'huile de palme rouge dans la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays en développement	40
1.8.1.1.	<u>La noix de palme et ses utilisations</u>	40
1.8.1.2.	<u>Traitements technologiques traditionnels de l'huile de palme rouge</u>	42
1.8.1.3.	<u>Caractéristiques nutritionnelles de l'huile de palme rouge</u>	43
1.8.1.4.	<u>Importance potentielle de l'huile de palme de rouge dans la lutte contre la carence en vitamine A</u>	43
1.8.1.5.	<u>Interrelation entre santé et consommation de l'huile de palme rouge</u>	44
1.8.2.	Les légumes-feuilles dans l'alimentation au Bénin et en Afrique subsaharienne	45

1.8.2.1.	<u>Importance et formes d'utilisation des légumes-feuilles traditionnels en Afrique subsaharienne et au Bénin</u>	45
1.8.2.2.	<u>Intérêt nutritionnel des légumes-feuilles</u>	50
1.8.2.3.	<u>Contraintes liées à l'utilisation des légumes-feuilles dans l'alimentation</u>	53
1.8.2.4.	<u>Utilisation des légumes-feuilles dans l'alimentation des enfants</u>	56

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES **61**

2.1 Enquête de consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants dans quatre zones du Bénin **63**

2.1.1	Milieus d'étude et sujets	63
<u>2.1.1.1</u>	<u>Calcul de la taille de l'échantillon</u>	64
<u>2.1.1.2</u>	<u>Mode de recrutement des ménages</u>	64
<u>2.1.1.3</u>	<u>Considérations éthiques</u>	64
<u>2.1.1.4</u>	<u>Critères d'éligibilité des enfants</u>	64
2.1.2	Méthodes d'enquête	65
<u>2.1.2.1</u>	<u>Recueil de l'âge</u>	65
<u>2.1.2.2</u>	<u>Mesures anthropométriques</u>	65
<u>2.1.2.3</u>	<u>Mesure de la consommation alimentaire par pesées directes</u>	67
<u>2.1.2.4</u>	<u>Questionnaires de fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A, d'aliments riches ou enrichis en fer et d'aliments à base de céréales ou de manioc.</u>	68
<u>2.1.2.5</u>	<u>Questionnaire portant sur les pratiques alimentaires, le suivi sanitaire et le statut socio-économique des ménages</u>	68
2.1.3.	Matériels et personnels nécessaires	69
<u>2.1.3.1</u>	<u>Questionnaires et fiches de recueil d'information</u>	69
<u>2.1.3.2</u>	<u>Formation des enquêteurs et pré-test des questionnaires</u>	69
<u>2.1.3.3</u>	<u>Matériels de mesures anthropométriques, de mesure des ingérés alimentaires et de prélèvement d'échantillons</u>	70
<u>2.1.3.4</u>	<u>Calendrier d'enquête</u>	70
2.1.4.	Traitement des données	70
<u>2.1.4.1</u>	<u>Calcul des indices anthropométriques</u>	71
<u>2.1.4.2</u>	<u>Apurement des données</u>	71
<u>2.1.4.3.</u>	<u>Compilation d'une table de composition des aliments adaptée au contexte béninois.</u>	73
<u>2.1.4.4.</u>	<u>Constitution des groupes d'aliments pour le calcul du score de diversité alimentaire</u>	74
<u>2.1.4.5.</u>	<u>Calcul des apports et couvertures des besoins en énergie, protéines et micronutriments</u>	75

2.2.	Caractérisation de la valeur nutritionnelle des plats.	77
2.2.1.	Protocoles d'études des enquêtes d'observation des modes de préparation des plats fréquemment consommés par les jeunes enfants	77
<i>2.2.1.1.</i>	<i>Suivi des procédés de préparation des recettes traditionnelles</i>	77
<i>2.2.1.2.</i>	<i>Reproduction des recettes dans les ménages</i>	79
<i>2.2.1.3.</i>	<i>Reproduction des recettes au laboratoire</i>	80
<i>2.2.1.4.</i>	<i>Méthodes d'évaluation de l'acceptabilité des sauces améliorées</i>	81
2.2.2.	Analyses biochimiques	83
<i>2.2.2.1.</i>	<i>Mesure de la teneur en matière sèche</i>	83
<i>2.2.2.2.</i>	<i>Mesure de pH</i>	84
<i>2.2.2.3.</i>	<i>Teneur en lipides</i>	84
<i>2.2.2.4.</i>	<i>Teneur en protéines</i>	84
<i>2.2.2.6.</i>	<i>Teneurs en cendres totales</i>	84
<i>2.2.2.7.</i>	<i>Calcul de la densité énergétique</i>	84
<i>2.2.2.8.</i>	<i>Teneur en fer et en zinc</i>	85
<i>2.2.2.9.</i>	<i>Teneur en caroténoïdes</i>	85
<i>2.2.2.10.</i>	<i>Calcul de la teneur en équivalent rétinol</i>	86
2.3.	Analyses statistiques des données	86
2.3.1.	Pour les enquêtes de consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants	86
2.3.2.	Pour la caractérisation de la valeur nutritionnelle des plats	86
CHAPITRE 3 :	RESULTATS	87
3.1.	Situation alimentaire et nutritionnelle et couverture des besoins en énergie et en nutriments des jeunes enfants en milieu urbain et rural au Bénin	89
3.1.1.	Article 1 (projet): Nutritional status, food consumption and inadequate micronutrient intakes of young children in urban and rural areas in Benin	91
3.1.2.	Fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A, fer et plats amylacés	116
<i>3.1.2.1.</i>	<i>Appréciation de la fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A</i>	116
<i>3.1.2.2.</i>	<i>Appréciation de la fréquence de consommation d'aliments riches ou</i>	117

<i>enrichis en fer</i>	
<i>3.1.2.3. Appréciation de la fréquence de consommation des plats à base de céréales et de manioc</i>	119
3.2. Intérêt nutritionnel des sauces à base de légumes-feuilles et autres sources végétales pour les jeunes enfants.	121
3.2.1. Article 2: Contribution of plant-based sauces to the vitamin A intake of young children in Benin	121
3.2.2. Composition biochimique et valeur nutritionnelle des sauces traditionnelles consommées au Bénin : résultats complémentaires	131
3.3. Amélioration du potentiel pro-vitaminique A des sauces aux feuilles d'amarante et jus de noix de palme ou huile de palme rouge et acceptabilité	134
3.3.1. Article 3: Carotenoid behaviour in a multi-step preparation of amaranth and palm nut sauces	134
3.3.2. Caractérisation de la valeur nutritionnelle et de l'acceptabilité des sauces améliorées : Résultats complémentaires	154
3.3.2.1. <i>Composition globale et teneurs en fer, zinc et activité équivalent rétinol des sauces aux feuilles d'amarante et à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge préparées sur le terrain</i>	155
3.3.2.2. <i>Appréciation des sauces aux feuilles d'amarante et à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge par les mères à Natitingou</i>	158
3.3.2.3. <i>Quantité ingérées et couverture des besoins en vitamine A par les sauces améliorées formulées chez les jeunes enfants à Natitingou</i>	158
CHAPITRE 4 : DISCUSSION GENERALE	160
4.1. Consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants	162
4.2. Consommation d'aliments riches en vitamine A et couverture potentielle des besoins	164
4.3. Introduction de l'huile de palme rouge en fin de cuisson	167
4.4. Absorption de la vitamine et statut en vitamine A	167
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	169

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	174
------------------------------------	------------

ANNEXES	195
----------------	------------

FIGURES

Chapitre 1. Synthèse bibliographique

Figure 1.1. Carte des 12 départements administratifs du Bénin	10
--	----

Figure 1.2. Les multiples causes de la malnutrition (D'après le schéma initial de l'Unicef, 1990)	11
--	----

Figure 1.3. Prévalences de malnutrition chronique chez les enfants de 6 à 59 mois ($P/T < -2$) dans les différentes régions du Bénin (Source : GdB, 2009).	13
---	----

Figure 1.4. Structure chimique du rétinol (all- <i>trans</i> 2-retinol)	15
--	----

Figure 1.5. Promotion de la santé ou actions attribuées aux caroténoïdes (Source : Rodriguez-Amaya, 1997)	17
--	----

Figure 1.6. Structure du rétinol et des caroténoïdes présents dans le plasma sanguin. (Mark et al, 2005)	18
---	----

Figure 1.7. Formation de rétinoïdes à partir de β -carotène lors du mécanisme de digestion chez l'homme (Stahl <i>et al.</i> , 1994)	18
---	----

Figure. 1.8. Spectre des risques associés à la CVA (West, 2002)	27
--	----

Figure 1.9. Signes cliniques d'avitaminose A (Latham, 2001)	28
--	----

Figure 1.10. Prévalences de carences en vitamine A (estimée par le nombre de personnes ayant un taux de rétinol sérique $< 0,70\mu\text{mol/l}$) dans le monde chez les enfants de moins de 5 ans- données de 1995-2005 suivant les pays (OMS, 2009).	31
---	----

Chapitre 2. Matériels et méthodes

Figure 2.1. Carte du Bénin montrant les quatre zones d'étude	63
---	----

Chapitre 3. Résultats

Figure 3.1. Aliments riches en vitamine A consommés au moins une fois au cours de la semaine précédant l'enquête par les jeunes enfants sur les 4 sites d'enquête.	116
---	-----

PHOTOS

Chapitre 1. Synthèse bibliographique

Photos 1.8.1. Le régime et la noix de palme. (a) Le régime de noix de palme est directement relié à l'arbre, le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). Ce régime contient une centaine de noix ou graines. Lorsque le régime est débarrassé de ses graines, il est utilisé traditionnellement en milieu rural pour attiser le feu à la cuisine. (b) Coupe transversale de la graine de palme. 41

Photo 1.8.2. Extraction du jus de noix de palme 41

Photo 1.8.3. Production traditionnelle de l'huile de palme rouge (photos Claire Mouquet-Rivier) 42

Photo.1.8.4. Feuilles d'amarante (*Amaranthus cruentus*) 48

Photo 1.8.5 : Etal de légumes-feuilles sur un marché de Ouagadougou 48

Photo 1.8.6. Parage et découpe de feuilles d'amarante 49

Photo 1.8.7. Les boules de feuilles cuites 50

Chapitre 2. Matériels et méthodes

Photo 2.1. Mesure du poids d'un jeune enfant par la méthode de la double-pesée avec une balance Uniscale de l'Unicef. 66

Photo 2.2. à partir de 2 ans, mesure de la taille debout 67

Photo 2.3. avant 2 ans, Mesure de la taille en position couchée 67

Photo 2.4. Les enfants et leurs mères au cours de la séance de dégustation. 242

TABLEAUX

Chapitre 1. Synthèse bibliographique

Tableau 1.1. Indicateurs généraux et nutritionnels de la situation au Bénin de 1999 à 2008 (FAO 2011)	192
Tableau 1.2 : Evolution des prévalences ¹ des différentes formes de malnutrition (maigreur, retard de croissance et insuffisance pondérale) au cours des différentes enquêtes réalisées depuis 1996.	12
Tableau 1.3 : Facteurs de bioconversion d'équivalent « activité rétinol » selon les apports recommandés (IOM, 2001) de l'Institut de Médecine	21
Tableau 1.4 : Indicateurs de la CVA chez les mères et les enfants de 6 à 71 mois.	29
Tableau 1.5 : Critères de prévalence permettant de déterminer si la xérophtalmie est un problème de santé publique (source : OMS, 1982)	30
Tableau 1.6 : Indicateurs et seuils de risque pour la carence en vitamine A (Maire et Delpeuch, 2004)	31
Tableau 1.7 : Besoins moyens et apports de sécurité en vitamine A, en fonction de l'âge (WHO/FAO, 2004)	32
Tableau 1.8: Légumes-feuilles les plus cultivés ou récoltés et consommés sur différents continents	46
Tableau 1.9 : Noms de quelques LF consommés au Bénin.	49
Tableau 1.10 : Composition en nutriments (pour 100g MF) de quelques LF comparée à d'autres aliments (extrait de la table de composition des aliments adaptée au contexte béninois, annexe 2.8).	51
Tableau 1.11: Composition des sauces proposées pour l'amélioration de l'alimentation de complément par le CREDESA	59

Chapitre 2. Matériels et méthodes

Tableau 2.1 : Calendrier des enquêtes de consommation alimentaire	70
Tableau 2.2 : Indicateurs anthropométriques de la malnutrition pluricarentielle	71
Tableau 2.3 : Apurement des données de mesures anthropométriques.	72
Tableau 2.4 : Apurement de données pour les mesures d'ingérés	73

Tableau 2.5 : Coefficients de conversion du rétinol et des caroténoïdes en équivalent rétinol.	74
---	----

Tableau 2.6 : Groupes alimentaires préconisés par l'OMS (2008) pour le calcul des scores de diversité alimentaire chez les jeunes enfants, et classement des principaux aliments rencontrés pendant l'enquête selon ces groupes.	75
---	----

Tableau 2.7 : Nom des sauces et des légumes-feuilles correspondants	78
--	----

Chapitre 3. Résultats

Tableau 3.1 : Comparaison des résultats de consommation d'aliments riches en vitamine A entre questionnaire de fréquence (déclaration) et pesée (observation).	117
---	-----

Tableau 3.2 : Pourcentage d'enfants ayant consommé des aliments riches ou fortifiés en fer au cours de la semaine précédant l'enquête sur les 4 sites	119
--	-----

Tableau 3.3 : Pourcentage d'enfants ayant consommé les plats à base de maïs, sorgho, mil et manioc par région	120
--	-----

Tableau 3.4: Composition des principaux légumes-feuilles utilisés pour la préparation de sauces au Bénin.	132
--	-----

Tableau 3.5: Composition des sauces traditionnelles à base de légumes-feuilles ou de gombo sauces du Bénin.	133
--	-----

Tableau 3.6 : Recettes des trois sauces testées pour la dégustation et la consommation des enfants.	155
--	-----

Tableau 3.7 : Composition globale des trois sauces traditionnelles améliorées à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge	157
---	-----

Tableau 3.8: Composition en fer, zinc et vitamine A des sauces améliorées préparées à Natitingou	157
---	-----

Tableau 3.9: Appréciation des sauces par les mères des enfants	158
---	-----

Tableau 3.10 : Ingérés de sauces au cours d'un repas par les jeunes enfants (6-23 mois) et contribution à la couverture des AJR en vitamine A	159
--	-----

Tableau 4.1 : Comparaisons des teneurs en AER de différentes sauces, des quantités consommées par repas, et des taux de participation à la couverture des AJR lors des enquêtes de consommation alimentaire et lors des mesures d'ingérés chez les jeunes enfants à Natitingou.	166
--	-----

Sigles et abréviations

AER : Activité Equivalent Rétinol

AFNOR : Agence Française de Normalisation

AGVSAN : Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition

AJR : Apports journaliers recommandés

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

BME : Besoins Moyens Estimés.

CIA: Central Intelligence Agency

CREDESA : Centre Régional pour le Développement et la Santé

CVA : Carence en Vitamine A

DANA : Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

FAOstat : Statistiques de la FAO

FNB : Food and Nutrition Board

FSA : Faculté des Sciences Agronomiques.

g : Gramme (s).

GdB: Gouvernement du Bénin

HPR: Huile de Palme Rouge

IDH : Indice de Développement Humain

IM : Micronutrient Initiative

INSTAPA: Improved Nutrition through Staple Food in Africa.

IRD : Institut de Recherche pour le Développement.

kcal : Kilocalorie (s).

kJ : Kilojoule (s).

km² : kilomètre carré.

LF : Légumes-feuilles.

MDG : Objectifs du Millénaire pour le Développement

MF : Matière Fraîche

mg : Milligramme (s).

MRDR : Modified-relative-dose-response

MS : Matière sèche

MSPB : Ministère de la santé publique du Bénin

OAAS : Organisation Ouest-Africaine de la Santé.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PED : Pays en développement

PILSA : Projet d'Intervention locale pour la sécurité Alimentaire

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

RAE : Retinol Activity Equivalent

RDR : Relative Dose Response

RNI : Recommended Nutrient Intake

TDCI : Troubles Dus à la Carence en Iode

TMS : Teneur en Matière Sèche

UAC : Université d'Abomey-Calavi.

UM2 : Université de Montpellier 2

UMR : Unité Mixte de Recherche

UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance.

USAID : Agence des Etats-Unis pour le Développement International.

USDA : United States Department of Agriculture

VA : Vitamine A

WHO : World Health Organization

µg ER : Microgramme Equivalent Rétinol

Introduction

La malnutrition continue de sévir dans le monde en général et dans les pays en développement (PED) en particulier. Bien que la réduction de la faim soit l'un des objectifs du millénaire pour le développement (MDG report, 2010), le nombre de personnes sous-alimentées dans le monde était en 2005-2007 de 830 millions. Récemment, entre 2008 et 2009, ce nombre a augmenté de 10% pour atteindre près d'un milliard de personnes dont plus du quart vivent en Afrique Subsaharienne (FAO, 2009). Les enfants d'âge préscolaire constituent la couche vulnérable la plus touchée. Encore 8,8 millions d'enfants meurent chaque année avant leur cinquième anniversaire (You et *al.*, 2010) et les causes sont multiples. Mais la malnutrition par carence contribue pour 35 % de ces décès (Black et *al.*, 2008). Selon le rapport sur la situation des enfants dans le monde le plus récent (Unicef, 2011), le retard de croissance, l'émaciation et l'insuffisance pondérale ont affecté respectivement, 34%, 12% et 22% des enfants de moins de cinq ans dans les PED (par comparaison à la nouvelle référence de croissance (OMS, 2006). En Afrique subsaharienne, ces prévalences sont de 42%, 9% et 22%.

Parmi les 40 pays où la malnutrition chronique (retard de croissance) sévit avec une prévalence de 40% et plus, 23 sont situés en Afrique, 16 en Asie et un seul en Amérique Latine (Black et *al.*, 2008). En Afrique, les prévalences de retard de croissance chez les enfants d'âge préscolaire stagnent autour de 40% (référence OMS 2006) depuis 1990. Etant donné la croissance de la population, cela signifie que le nombre d'enfants touchés (d'une taille trop petite pour leur âge) en Afrique est passé d'environ 45 millions en 1990 à 60 millions en 2010, avec une prévision à 64 millions en 2020 si la tendance actuelle se poursuit (de Onis et *al.*, 2011). Cette malnutrition chronique au cours de la petite enfance se traduit à l'âge adulte par une réduction de la capacité productive. Au Bénin, selon les dernières données disponibles au plan national (2008) provenant de l'Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition, le retard de croissance est de 37% (référence OMS 2006) chez les enfants de moins de 5 ans (GdB et *al.*, 2009), dépassant de 7 points le seuil qui détermine une situation nutritionnelle grave et stationnaire (Maire et Delpeuch, 2004). La malnutrition se répercute sur le développement psychomoteur, les capacités d'apprentissage et de travail des enfants. Ainsi, la malnutrition constitue dans les PED un véritable problème de santé publique. Dans ces pays au nombre desquels le Bénin, les conséquences des déficiences nutritionnelles retentissent négativement sur l'éducation, la productivité et surtout la santé et la survie en augmentant les risques de morbidité et de mortalité des groupes les plus vulnérables que sont les femmes et les enfants (MSPB & USAID-Bénin, 2004).

S'agissant des micronutriments, la situation n'est guère satisfaisante. Les principaux micronutriments déficients dans les PED sont la vitamine A (VA), le zinc, le fer et l'iode. Les conséquences de ces carences sont multiples avec un impact néfaste sur la croissance économique des PED. Les carences en VA et en zinc sont estimées être responsables de 0,6 et 0,4 millions de décès respectivement, et ensemble elles sont la cause de 9% des décès pendant l'enfance (Black et *al.*, 2008). Si l'incidence des carences en fer et en iode sur la mortalité infanto-juvénile est moindre (0,2% des décès pendant l'enfance), leurs conséquences néfastes sont nombreuses. La carence en fer affecte le développement intellectuel, la capacité physique et les capacités d'apprentissage des élèves. La carence en iode provoque un retard mental dévastateur et irréversible et réduit significativement la productivité future (MSPB & USAID-

Bénin, 2004). La VA selon Tanumihardjo (2011) est essentielle pour l'accomplissement de multiples fonctions chez l'homme telles que la vision, la croissance, la reproduction, l'immunité). La carence en VA ou avitaminose A affecte environ 127 millions d'enfants d'âge préscolaire et 7 millions de femmes enceintes. Les pays d'Afrique au sud du Sahara sont parmi ceux où les prévalences sont les plus élevées, souvent plus de 50% (WHO, 2009). La carence en zinc est un des facteurs majeurs de retard de croissance dont la prévalence est ainsi un indicateur de l'adéquation de la teneur et de la biodisponibilité du zinc des aliments traditionnellement consommés (IZiNCG, 2004; Brown et *al.*, 2001). La carence en zinc chez les enfants accroît la sévérité des épisodes de diarrhée, de pneumonie et de paludisme (Brooks et *al.*, 2004 ; Walker et Black, 2004 ; Tielsch et *al.*, 2007). Ainsi, en Afrique, nombreux sont les enfants qui au cours des toutes premières années de leur vie, sont affectés par l'une ou l'autre forme de malnutrition ou carences en micronutriments, voire plusieurs formes simultanément. Et pourtant, les trois premières années de vie constituent la phase de croissance la plus importante chez l'homme. C'est la principale période de développement psychomoteur, métabolique et physique de l'enfant: ainsi, entre 0 et 3 ans, le poids est multiplié par 4 (3,3 kg à 12,0kg), la taille par 2 (50 cm à 95 cm) et la masse osseuse par 4 (30 g à 102 g) (Salle, 2009). La période de croissance et de développement physique la plus rapide chez l'enfant est aussi celle de sa plus grande vulnérabilité (UNICEF, 2009).

Les présents travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre du projet européen INSTAPA, intitulé : « Novel staple food-based strategies for better health and development in sub-Saharan Africa ». Ce projet vise à tester différentes stratégies telles que la biofortification, la fortification, et la diversification alimentaire couplée à l'amélioration des procédés de transformation pour améliorer le statut en fer, zinc et vitamine A des femmes en âge de procréer et des enfants de moins de 5 ans, ceci en s'appuyant sur les plats traditionnels à base de mil, maïs, sorgho et manioc et leurs accompagnements. Différents pays du sud sont partenaires de ce projet (le Burkina Faso, le Bénin, le Nigéria, le Kenya et le Mali) et travaillent avec des pays du nord (la France, la Suisse, la Hollande et le Royaume Uni) à différents volets du projet. Ce travail de thèse a été réalisé dans le cadre du volet portant sur la mise au point de stratégies basées sur la diversification et l'amélioration des procédés, dont est en charge l'IRD. Il s'agissait plus spécifiquement de contribuer à évaluer le potentiel de couverture des besoins en vitamine A des jeunes enfants à partir des sauces accompagnant les aliments de base consommés au Bénin.

La carence en VA représente la plus importante mais pourtant évitable cause de morbidité, de mortalité et de troubles visuels chez l'enfant (WHO, 2009). Au Bénin, peu de données récentes sont disponibles. Une enquête d'envergure nationale conduite en 1999 (MSPB & UNICEF, 2000) a conclu à un risque de prévalence élevée d'avitaminose A, avec des disparités importantes du Nord (82,8 %) au Sud (63,6%). En 2004, les résultats de l'Analyse Profiles au Bénin indiquaient que si des actions adéquates n'étaient pas mises en œuvre pour réduire la carence en VA d'ici à 10 ans, près de 105 000 enfants de moins de cinq ans pourraient mourir (MSPB & USAID-Bénin, 2004). Depuis 2000, la carence en VA est reconnue comme un problème de santé publique au Bénin. La distribution de capsules de VA qui se faisait seulement dans le nord s'est étendue depuis 2001 à l'ensemble du territoire, à tous les enfants de 6-59 mois par des campagnes biannuelles spécifiques ou couplées avec les journées nationales de vaccination (INSAE et Macro Int. Inc., 2007). Récemment, de

nouvelles mesures ont été définies pour lutter contre les carences en micronutriments, basées sur la fortification de l'huile de coton en VA et la fortification de la farine de blé en fer, zinc, acide folique et en vitamines du groupe B (FAO, 2011). Cependant, l'accessibilité de ces produits aux groupes les plus vulnérables n'est pas encore assurée. Ils sont plus vendus vers le Nigéria voisin et l'impact de ces mesures reste encore à évaluer.

En ce qui concerne les aliments riches en provitamines A, bien qu'ils soient parfois disponibles et présents dans l'alimentation de plusieurs populations des PED et du Bénin en particulier, la carence en VA persiste. Ce phénomène constitue un paradoxe qui reste à élucider. Eu égard à tout ce qui précède, la cause de la carence en VA au Bénin pourrait être multiple et multiforme. Le régime alimentaire est composé généralement d'un aliment de base (céréales, racines ou tubercules) accompagné de sauces (INSAE et Macro Inc. Inc., 2007) dont les modes de préparation (cuisson et formulation) sont variables. Les risques liés aux procédés traditionnels de préparation en vue de garantir une bonne rétention des caroténoïdes, principales sources de VA de ces populations sont méconnus. Dans les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest, une des principales sources de provitamines A est l'huile de palme rouge, largement utilisée pour la cuisson.

Il apparaît que le modèle alimentaire des populations béninoises participe à exposer les enfants de façon chronique à la malnutrition et aux carences en micronutriments. Pour avancer vers une résolution du problème de la malnutrition des nourrissons et des jeunes enfants, il faut des actions synergiques pluridisciplinaires. Du côté de la nutrition des enfants, il importe de leur rendre accessible une alimentation adaptée à leur âge et nutritionnellement adéquate et sûre (UNICEF, 2009), ainsi qu'acceptable sur les plans organoleptique et culturel. Aussi Guyot *et al.* (2010) proposent la mise en œuvre de démarches telles que la complémentation avec des sources végétales de protéines, de lipides et de micronutriments comme les légumes-feuilles, lesquels selon Dansi *et al.* (2008), sont des aliments à haute valeur nutritive qui peuvent être utilisés pour les enfants en période de croissance. Au Bénin, à notre connaissance, aucune étude approfondie n'a été faite sur l'effet des procédés de préparation sur la teneur en caroténoïdes provitamines A des sauces potentiellement riches en VA comme les sauces légumes-feuilles.

Ainsi, la présente étude a eu pour objectif d'identifier les principaux aliments potentiellement riches en VA consommés par les jeunes enfants et d'étudier l'influence des procédés traditionnels de préparation sur la rétention des composés à activité provitaminique A en vue de proposer des améliorations. **Ces résultats pourront être utilisés pour la définition de stratégies de lutte contre la carence en VA basées sur l'alimentation, pour un bon développement et une meilleure santé des enfants au Bénin et plus largement en Afrique sub-saharienne. Ce travail contribuera aussi à enrichir les tables de composition en usage au Bénin et dans la sous-région Ouest-Africaine.**

Pour ce faire, quatre questions de recherche ont fondé notre réflexion : (1) Quels sont les apports nutritionnels de l'alimentation des enfants de 6 à 35 mois dans les régions Nord et Sud du Bénin, en milieux urbain et rural? (2) Quels sont les aliments locaux riches en VA les plus fréquemment consommés par ces jeunes enfants? (3) Quelle est la participation des sauces légumes-feuilles, lorsqu'elles sont consommées, à la couverture des besoins en VA des jeunes enfants? (4) Quelles sont les étapes unitaires critiques pour les caroténoïdes provitaminiques A lors du procédé traditionnel de préparation de ces sauces ?

A la suite de cette introduction, ce mémoire de thèse s'articule en 4 chapitres :

- ✓ Le chapitre 1 propose une synthèse des données bibliographiques qui sous-tendent ce travail. Il aborde successivement (a) La situation alimentaire et nutritionnelle et les pratiques d'alimentation du jeune enfant au Bénin ; (b) La VA et les caroténoïdes; (c) L'effet des procédés de préparation sur la stabilité et la bioaccessibilité des caroténoïdes à activité provitaminique A ; (d) La carence en VA et les différents aspects qui lui sont liés ; (e) Les stratégies possibles de lutte contre la carence en VA et enfin ; (f) les potentialités de quelques ressources végétales traditionnelles dans la lutte contre la carence en VA dans les PED.
 - ✓ Le chapitre 2 présente les protocoles d'étude, ainsi que les matériels et les méthodes utilisés au cours des différentes études menées.
 - ✓ Le chapitre 3 aborde les résultats obtenus sous forme de trois articles ou projet d'article. Chaque article comportera une présentation résumée en français et un addendum avec des résultats complémentaires. Le 1er article (projet) est axé sur une enquête de consommation alimentaire par pesées et mesures anthropométriques auprès de 420 enfants et a permis de caractériser les sujets, d'évaluer les prises alimentaires des enfants, la couverture des besoins en énergie et en nutriments, la diversité alimentaire ainsi que les individus à risque de carence en fer, zinc et VA. Le 2ème article (accepté) est basé de façon spécifique sur l'identification des principaux aliments locaux sources de VA dans l'alimentation du jeune enfant au Bénin, leur valeur nutritionnelle ainsi que la contribution, lorsqu'elles sont consommées, de diverses sauces aux apports journaliers recommandés en VA des jeunes enfants. Le 3ème article (soumis) est axé sur le suivi au niveau ménage des procédés traditionnels de préparation des sauces les plus prometteuses notamment les sauces aux feuilles d'amarante à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge, l'identification et la rétention des caroténoïdes provitamines A lors des étapes unitaires critiques de préparation des sauces en vue de la formulation de sauces traditionnelles acceptables, riches en activité équivalent rétinol et dont la consommation pourrait être promue avantageusement dans le cadre d'approches alimentaires de lutte contre la carence en VA.
- Enfin,
- ✓ Le chapitre 4 comporte une discussion générale des résultats ainsi que la conclusion de l'ensemble des travaux, de ses limites ainsi que des recommandations qui en découlent.

Chapitre 1. Synthèse bibliographique

1.1. Situation alimentaire et nutritionnelle au Bénin et en Afrique subsaharienne

Seuls des êtres humains nutritionnellement bien portants peuvent mener une vie saine et active. En Afrique au sud du Sahara, la situation alimentaire et nutritionnelle des populations est plus que préoccupante. L'insécurité alimentaire, la pauvreté, le déséquilibre des bases agro-écologiques de la production alimentaire et les soins de santé inadéquats sont à l'origine de cette situation. La crise alimentaire en Afrique reflète une rupture graduelle de l'équilibre délicat entre le milieu physique, la population, la technologie, les structures et systèmes sociaux, tandis que les autres facteurs découlent d'un manque d'infrastructures, de savoir et de savoir-faire.

1.1.1. Situation alimentaire et nutritionnelle en Afrique subsaharienne

Formée de 49 pays et peuplée d'environ 718 millions d'habitants au début du XXI^{ème} siècle, l'Afrique subsaharienne dispose d'un PIB par habitant très faible, elle est l'une des régions les plus pauvres au monde, et les plus sous alimentées (FAO/SMIAR, 2005).

L'Afrique subsaharienne est la seule région du monde où les conditions nutritionnelles ne se sont pas améliorées ces dix dernières années. L'analyse de la situation alimentaire en Afrique sub-saharienne montre un écart croissant entre les besoins de consommation et de nutrition et les disponibilités alimentaires au niveau global des pays. La faiblesse des gains de productivité dans la production alimentaire et des capacités d'importation constituent les contraintes majeures à la réalisation de la sécurité alimentaire dans la région (FAO, 2005). Cependant, l'augmentation de la productivité agricole est aussi confrontée à des contraintes d'ordre naturel (calamités naturelles), socio économique (pauvreté, accès économiques, etc.), politique (guerres et conflits), etc. (FAO/SMIAR, 2005).

1.1.2. Situation alimentaire et nutritionnelle au Bénin

1.1.2.1. Présentation sommaire du Bénin

Le Bénin, situé en Afrique de l'Ouest couvre une superficie totale de 114 763 km², regroupant 12 départements administratifs (figure 1.1). Selon le rapport récent de l'Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN) concernant la République du Bénin en 2009 (GdB et al, 2009), le Bénin a bénéficié d'une certaine croissance depuis le début des années 90 (INSAE, 2008) mais cette croissance reste encore faible et était de 3% en 2010 (C.I.A, 2011). Le pays a connu des progrès encourageants avec des réductions des niveaux de mortalité infantile, infanto-juvénile et maternelle (UNICEF et GdB, 2008). Il reste cependant un des pays les plus pauvres au monde. La pauvreté touche environ deux personnes sur cinq (INSAE et Macro Int. Inc., 2007). Le pays figure parmi les pays les moins développés, et était classé 133^{ème} sur 182 pour l'indice de développement humain (IDH) d'après les derniers chiffres datant de 2009 (PNUD, 2010). L'économie est principalement basée sur l'agriculture. Le Bénin est l'un des premiers pays africain producteurs de coton et a été très affecté par la crise du secteur en 2005.



Figure 1.1. Carte des 12 départements administratifs du Bénin
(Modifiée d'après http://fr.wikipedia.org/wiki/Catégorie:Département_du_Bénin)

Par ailleurs, le pays a récemment traversé plusieurs crises telles que les inondations de 2007 qui ont déstabilisé la production agricole, et surtout la crise alimentaire globale avec son impact sur la disponibilité et l'accessibilité des denrées essentielles (Gdb et al., 2009). Ces crises ont entraîné une dégradation de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, avec des répercussions néfastes sur l'éducation, la santé et la protection des enfants et d'autres groupes vulnérables. Un récapitulatif des indicateurs généraux et nutritionnels de la situation du Bénin est présenté en annexe 1.1.

1.1.2.2. La malnutrition pluricarentielle chez les jeunes enfants au Bénin

La malnutrition s'explique par des causes multiples et complexes (Figure 1.2). La notion de malnutrition pluricarentielle, autrefois évoquée resurgit. Les concepts dans ce domaine ont fort évolué. Actuellement, on considère que la malnutrition est due à des carences multiples, ce qui fait que l'on parle de plus en plus de la malnutrition pluricarentielle et certains auteurs conseillent actuellement d'abandonner le terme erroné de malnutrition protéino-énergétique, trop restreint, pour celui de malnutrition pluricarentielle, ou plus simplement de malnutrition (Suskind et al, 1990).

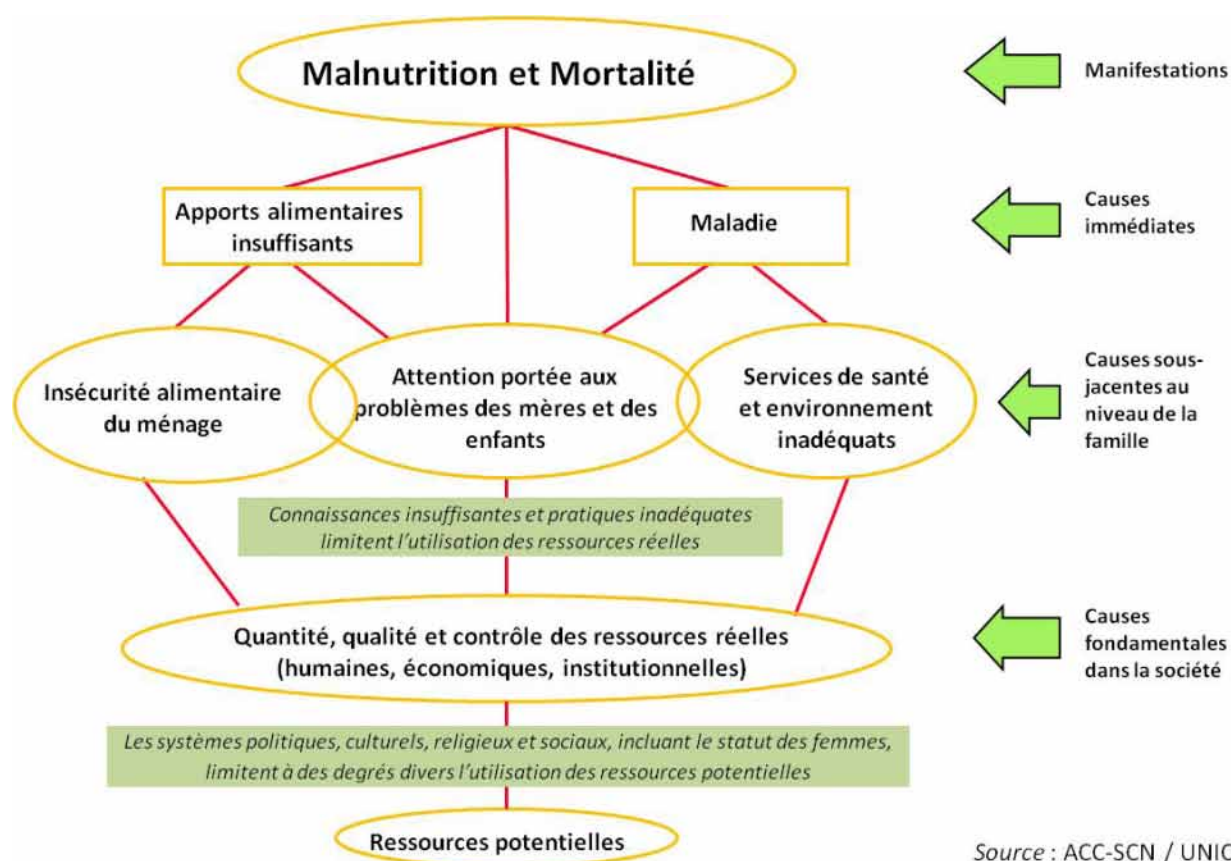


Figure 1.2. Les multiples causes de la malnutrition (D'après le schéma initial de l'Unicef, 1990)

Selon le profil nutritionnel-pays établi pour le Bénin, les disponibilités énergétiques alimentaires sont supérieures aux besoins de la population. La prévalence de sous-alimentation, en baisse, est d'environ 10%, correspondant à la moyenne des pays d'Afrique de l'Ouest (FAO, 2011). L'insécurité alimentaire touche 12,2% des ménages et est notamment liée à une inégalité de répartition des disponibilités alimentaires dans le pays et à une forte incidence de pauvreté dans un contexte récurrent de hausse des prix des denrées alimentaires de base.

Dans le tableau 1.2 ci-dessous, nous avons synthétisé l'évolution des différentes formes de malnutrition au Bénin à partir des résultats des différentes enquêtes démographiques et de santé du Bénin (EDSB), suivi de ceux de l'enquête AGVSAN. Ces quatre enquêtes successives nationales ont eu lieu respectivement en 1996 (EDSB-I), 2001 (EDSB-II), 2006 (EDSB-III) puis en 2008 (AGVSAN). Les différentes enquêtes réalisées couvrant des classes d'âge parfois différentes, les chiffres concernant la classe d'âge des 12-23 mois, classe commune à toutes les enquêtes sont également présentés dans le tableau 1.2, afin de mieux mettre en évidence les tendances évolutives.

Tableau 1.2 : Evolution des prévalences¹ des différentes formes de malnutrition (maigre, retard de croissance et insuffisance pondérale) au cours des différentes enquêtes réalisées depuis 1996.

Prévalence %	EDSB-I (INSAE et Macro Int. Inc., 1997)	EDSB-II (INSAE et ORC Macro, 2002)	EDSB-III (INSAE et Macro Int. Inc., 2007)	AGVSAN (GdB et <i>al.</i>, 2009)
Période d'enquête	<i>juin-août 1996</i>	<i>août-nov 2001</i>	<i>août-nov 2006</i>	<i>nov-déc 2008</i>
Classe d'âge	0-35 mois	0-59 mois	0-59 mois	6-59 mois
Maigre Poids pour Taille < -2 Z-scores	17,5	9,0	8,4	4,7
Retard de croissance Taille pour âge < -2 Z-scores	34,5	39,1	43,1	37,0
Insuffisance pondérale Poids pour âge < -2 Z-scores	26,8	21,5	18,4	17,3
Classe d'âge	12-23 mois			
Maigre Poids pour Taille < -2 Z-scores	16,2	14,0	9,8	7,5
Retard de croissance Taille pour âge < -2 Z-scores	37,1	44,2	45,2	35,8
Insuffisance pondérale Poids pour âge < -2 Z-scores	26,8	25,7	19,6	18,9

¹ données basées sur les nouvelles références de croissance OMS (2006)

➤ La malnutrition chronique chez les enfants de 6 à 59 mois: la situation est grave.

Selon les données les plus récentes (Enquête AGVSAN, 2008), 37% des enfants de 6 à 59 mois souffrent de retard de croissance dont 12,2% de la forme sévère. Après une période de stabilité, voire d'aggravation entre 1996 et 2006, il semble qu'une tendance à la baisse se dessine entre 2006 et 2009. Malgré cela, dans tous les départements (sauf celui du Littoral), les prévalences dépassent 30%, ce qui traduit une situation nutritionnelle grave selon les seuils établis par l'OMS. L'Atacora, l'Alibori, le Plateau et le Couffo (figure 1.3) sont les quatre départements où la prévalence dépasse le seuil critique de 40% (Gdb et *al.*, 2009)

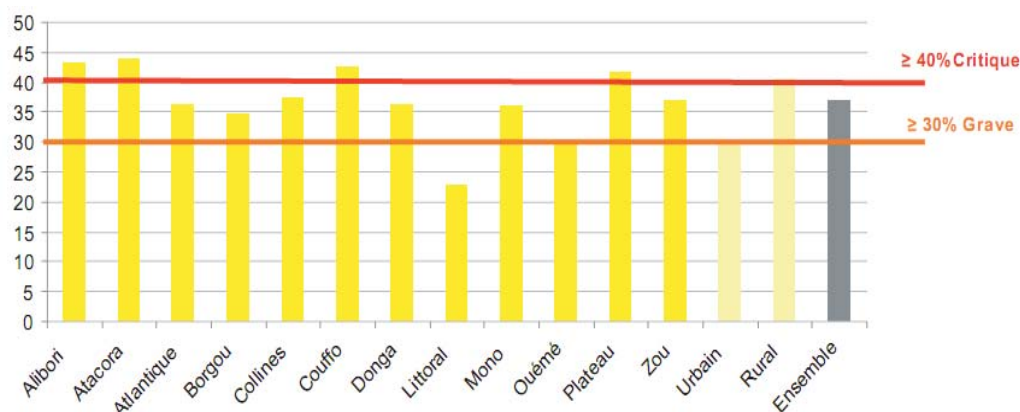


Figure 1.3. Prévalences de malnutrition chronique chez les enfants de 6 à 59 mois ($P/T < -2$) dans les différentes régions du Bénin (Source : GdB, 2009).

➤ La malnutrition aiguë chez les enfants de 6 à 59 mois: des zones à risques

Il apparaît que la prévalence de malnutrition aiguë ou maigreur a diminué régulièrement depuis 1996 et est devenu faible (4,7%) selon la classification de l'OMS (1979). Au niveau national, la prévalence de malnutrition aiguë chez les enfants de 6 à 59 mois est de 4,7%, et celle de la malnutrition aiguë sévère se situe à 0,7%. L'Atacora, département où nous avons choisi de localiser deux de nos sites d'enquête, est le département le plus touché avec une prévalence de maigreur de 7,8%. Il est important de noter que la prévalence de la malnutrition aiguë peut varier significativement d'une saison à une autre et que la collecte des données de l'enquête AGVSAN a été réalisée durant la période de récolte.

Au niveau national, 9% des femmes de 15 à 49 ans présentent un déficit énergétique chronique. Des différences interdépartementales existent et les femmes vivant en milieu rural sont plus touchées par cette forme de malnutrition. D'autre part, l'obésité touche 7% des femmes au niveau national, et est plus marquée en milieu urbain (11,5%) ce qui témoigne de la transition nutritionnelle résultant de modifications des habitudes de consommation alimentaire et d'activité physique (INSAE et Macro Int. Inc., 2007)

➤ L'insuffisance pondérale chez les enfants de 6 à 59 mois.

Ce dernier reflète une malnutrition combinée qui peut être provoqué par la malnutrition aiguë comme par la malnutrition chronique. Tout comme pour la maigreur, les prévalences d'insuffisance pondérale sont en diminution depuis 1996. Cependant, au regard des seuils établis par l'OMS pour la prévalence de l'insuffisance pondérale, la situation nutritionnelle reste médiocre. Au niveau national, 17,3% des enfants de 6 à 59 mois souffrent d'insuffisance pondérale, dont 3,4% de forme sévère. Les départements les plus touchés par cette forme de malnutrition sont ceux du Plateau, de l'Atacora et de l'Atlantique (prévalence $\geq 20\%$). Il existe une différence significative entre milieu rural et milieu urbain ($p < 0,05$) avec des prévalences de 18,8% et 14,2%, respectivement. Il n'y a pas de différence significative entre filles (16,4%) et garçons (18,1%) pour ce qui concerne l'insuffisance pondérale (GdB, 2009).

➤ Carences en micronutriments

Quatre types de carences en micronutriments sont fréquemment enregistrées au Bénin. Il s'agit des carences en vitamine A, iode, fer et zinc.

Selon le rapport sur le profil nutritionnel du Bénin le plus récent (FAO, 2011), les données disponibles à ce jour sur la carence en vitamine (CVA) des jeunes enfants sont anciennes et proviennent d'une enquête nationale conduite en 1999. Elles indiquent un problème de santé publique sévère, plus marqué dans le nord (82,8%) qu'au sud (63,6%) du pays. Chez les femmes, la CVA est peu fréquente. La prévalence de la carence sub-clinique en vitamine A chez les enfants d'âge préscolaire est de 66% (MSPB & UNICEF, 2000). Ces prévalences étaient très largement supérieures au seuil de 20% défini par l'OMS (pour les enfants d'âge préscolaire) pour définir la carence en vitamine A comme un problème de santé publique de niveau sévère (WHO, 2009). Des données plus récentes sont cependant nécessaires.

Grâce à la stratégie d'iodation universelle du sel adoptée en 1994 et à des campagnes de sensibilisation, d'interdiction d'importation de sel non iodé et de vulgarisation de la consommation de sel iodé au niveau des ménages, un net recul des troubles dus à la carence en iode (TDCI) a été observé (SNU Bénin, 2002). Les TDCI ne constituent plus un problème surtout dans les départements côtiers (GdB et al., 2009; DANA/UNICEF, 2001). Etant donné que la proportion de ménages utilisant du sel adéquatement iodé atteint 67%, (GdB et al., 2009), sans toutefois atteindre le niveau de 2001 mettant en évidence des apports excessifs en iode, il importe de promouvoir la consommation de sel iodé mais il est également nécessaire de mieux contrôler le niveau d'iode du sel consommé par les ménages.

L'anémie aussi est un grave problème de santé publique, touchant plus de trois-quarts des jeunes enfants et environ 60% des femmes (INSAE et Macro Int. Inc., 2007).

La carence en zinc est peu documentée au Bénin mais ses relations de causalité avec le retard de croissance sont connues. En effet, la carence en zinc est un des facteurs majeurs de retard de croissance (IZiNCG, 2004; Brown et al., 2001) dont la gravité de la prévalence au Bénin a été présentée plus haut.

1.1.2.3. Les pratiques d'alimentation des jeunes enfants au Bénin

Le régime alimentaire de la population béninoise est basé sur les racines et tubercules (manioc, igname) et les céréales qui contribuent pour respectivement 30,4 et 40,4 % soit au total près de 71% de l'apport énergétique journalier (FAOStat, 2011). Des variations importantes s'observent entre le nord et le sud du Bénin. Au sud, le régime est davantage basé sur le maïs et le poisson notamment, alors que dans le nord les céréales traditionnelles (en particulier le mil et le sorgho) occupent toujours une place importante et la viande et les produits laitiers sont plus disponibles, mais peu consommés par les enfants. Le riz prend progressivement de l'importance dans l'alimentation, en milieu urbain mais aussi en milieu rural (FAO, 2011). Selon les données FAOstat, l'huile de palme est de loin celle qui est la plus consommée devant l'huile de coton, l'huile d'arachide, et l'huile de palmiste. Cependant, les proportions d'huile de palme rouge (riche en provitamines A) et d'huile de palme raffinée (quasiment exempte de provitamines A) ne sont pas indiquées.

➤ Allaitement et alimentation de complément

L'allaitement maternel exclusif est recommandé par l'OMS et l'UNICEF au cours des six premiers mois de vie parce qu'il contient tous les éléments nutritifs nécessaires et de plus permet la transmission à l'enfant des anticorps de la mère. Par ailleurs, l'OMS recommande qu'à partir de six mois, âge auquel l'allaitement seul ne suffit plus pour garantir la meilleure croissance des enfants, soient introduits des aliments de complément adaptés. Selon les résultats issus de la dernière enquête EDSB-III on note que la pratique de l'allaitement est quasi-générale au Bénin, puisque 99% des enfants de 0-5 mois sont allaités. L'allaitement continue également pendant une longue période puisque 93% des enfants de 12-17 mois sont allaités et 65% le sont encore chez les 18-23 mois. On est tenté de dire que l'allaitement exclusif s'est beaucoup amélioré au Bénin puisque 70% des enfants de moins de 6 mois reçoivent exclusivement le lait maternel. Selon les résultats des enquêtes démographiques et de santé précédents (1996 et 2001), la pratique de l'allaitement exclusif aurait augmenté de façon très importante puisqu'elle était estimée à 17% en 1996 et à 38% en 2001 (INSAE et Macro Int. Inc., 1997; INSAE et ORC Macro, 2002).

Pratiquement tous les enfants sont allaités pendant leur première année, cependant à 6-9 mois, seulement 44% des enfants reçoivent, conformément aux recommandations OMS, à la fois le lait maternel et des aliments de complément solides ou semi-solides. Et chez les 9-11 mois, ils ne sont encore que 70% des enfants à recevoir les deux types d'alimentation. Par ailleurs, l'utilisation du biberon qui est fortement déconseillée est assez peu fréquente au Bénin puisque 7% des enfants de moins de 6 mois et 10% de ceux de 6-9 mois reçoivent des liquides quels qu'ils soient au biberon (INSAE et Macro Int. Inc., 2007).

Avec les récents résultats enregistrés en 2007 (EDSB-III) il semble que les pratiques d'allaitement des jeunes enfants (initiation précoce et allaitement maternel exclusif notamment) se sont notablement améliorées. L'alimentation de complément est donnée en temps opportun cependant, elle manque encore de diversité et notamment d'aliments riches en micronutriments (FAO, 2011).

1.1. Vitamine A et caroténoïdes

La VA correspond à un groupe de composés appelés rétinoïdes. Tous les rétinoïdes dérivent d'un composé monocyclique possédant cinq doubles liaisons carbone-carbone et un groupe fonctionnel à la fin de la partie acyclique (Figure 1.4). Le terme de «vitamine A» s'utilise comme générique pour désigner tous les dérivés de la β -ionone (autres que les caroténoïdes) qui ont l'activité biologique du all-*trans*-rétinol (McLaren et Frigg, 2002).

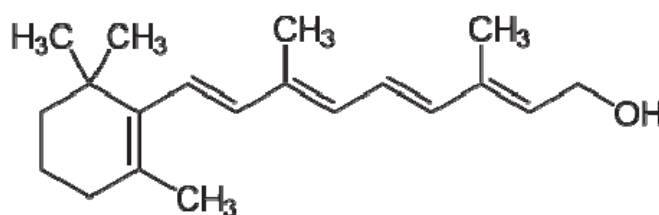


Figure 1.4. Structure chimique du rétinol (all-*trans*2-rétinol)

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:All-trans-Retinol2.svg>

1.2.1. Les caroténoïdes : définitions, nature et classification

La VA et les caroténoïdes sont solubles dans la plupart des solvants organiques. Leur sensibilité à l'oxydation, à l'isomérisation et à la polymérisation conduit à leur destruction rapide en présence de lumière et d'oxygène. Les caroténoïdes sont majoritairement des xanthophylles, possédant un ou plusieurs groupes oxygénés sur le noyau ou au long de la chaîne. Dans la littérature, il existe plusieurs manières de classer les caroténoïdes en fonction de leur composition chimique, de leur cyclisation (acyclique, monocyclique, dicyclique), de l'activité spectrale (la coloration) ou de leurs propriétés fonctionnelles (Bauernfeind, 1972). Dans la pratique, chaque pigment a un spectre qui lui est propre et qui reflète son organisation moléculaire (Robert et Roland, 1989).

1.2.2. Propriétés et rôles des caroténoïdes

Dans les végétaux, les caroténoïdes sont présents au niveau des chloroplastes des cellules. Une de leur fonction est l'absorption de la lumière au cours de la photosynthèse et la protection des cellules de la photosensibilisation (Lecerf et al., 2004). Le β -carotène est un pigment de la famille des caroténoïdes, pigment jaune orangé qui donne leur couleur vive à de nombreux fruits et légumes : carottes, melons, abricots, mangues, poivron rouge, épinards, etc.

Tous les caroténoïdes ne sont pas des provitamines A ; parmi les 600 caroténoïdes répertoriés en ne se basant que sur des considérations structurales, environ 50 auraient une activité provitamine A. Les rôles et principales actions attribuables aux caroténoïdes sont résumés dans la figure 1.5 ci-après.

➤ Caroténoïdes à activité provitamine A

Certains caroténoïdes dits « à activité provitamine A » sont susceptibles d'être convertis en VA dans l'organisme humain. Le β -carotène a la particularité de pouvoir se transformer en VA dans le corps ainsi que le α -carotène, le β -carotène et la β -cryptoxanthine (3-hydroxy carotène). Le β -carotène a, de loin, la plus importante contribution aux apports en provitamine A dans l'alimentation humaine ; les autres caroténoïdes provitaminiques ont un rôle moindre. Selon Brat et al. (2002), pour qu'intervienne une activité provitamine A, un certain nombre de conditions de structure moléculaire sont requises. Le composé doit comprendre au moins un noyau β -ionone non substitué (il s'agit d'un cycle hexagonal, non hydroxylé en C3 dont l'insaturation se traduit par une double liaison entre C5 et C6 conjuguée avec la double liaison de la chaîne latérale) et une chaîne latérale polyène (Figure 1.4.). L'autre extrémité de la molécule peut posséder une structure cyclique ou acyclique.

➤ Pouvoir antioxydant des caroténoïdes

Les caroténoïdes possèdent de précieuses propriétés antioxydantes neutralisant les radicaux libres. Cependant, l'excès de radicaux libres est dangereux pour l'organisme. Structuellement, les caroténoïdes des végétaux (lutéine, lycopène, violaxanthine, β -carotène etc.) sont d'excellents antioxydants, ce qui leur confère un pouvoir protecteur des cellules sensibles. Le pouvoir antioxydant des caroténoïdes est dû à leur capacité à pouvoir neutraliser certains molécules d'oxygène actif et les radicaux libres formés au cours du métabolisme ou

produits dans l'environnement (pollution, rayons ultraviolets, tabagisme etc.) (Kotíková Z *et al.*, 2011).

En règle générale, l'action des caroténoïdes consiste en la prévention des dommages oxydatifs causés par les radicaux libres sur les cellules membranaires (Roberfroid, 2000). De nombreuses études épidémiologiques montrent qu'une alimentation riche en ces éléments diminue le risque de cancers, d'affections cardiovasculaires et d'autres maladies chroniques. Ces effets ont été confirmés par diverses études d'intervention dont le concept et les conditions de réalisation évoluent sensiblement vers la prévention nutritionnelle de maladies voire vers de véritables essais thérapeutiques (Nève, 2002).

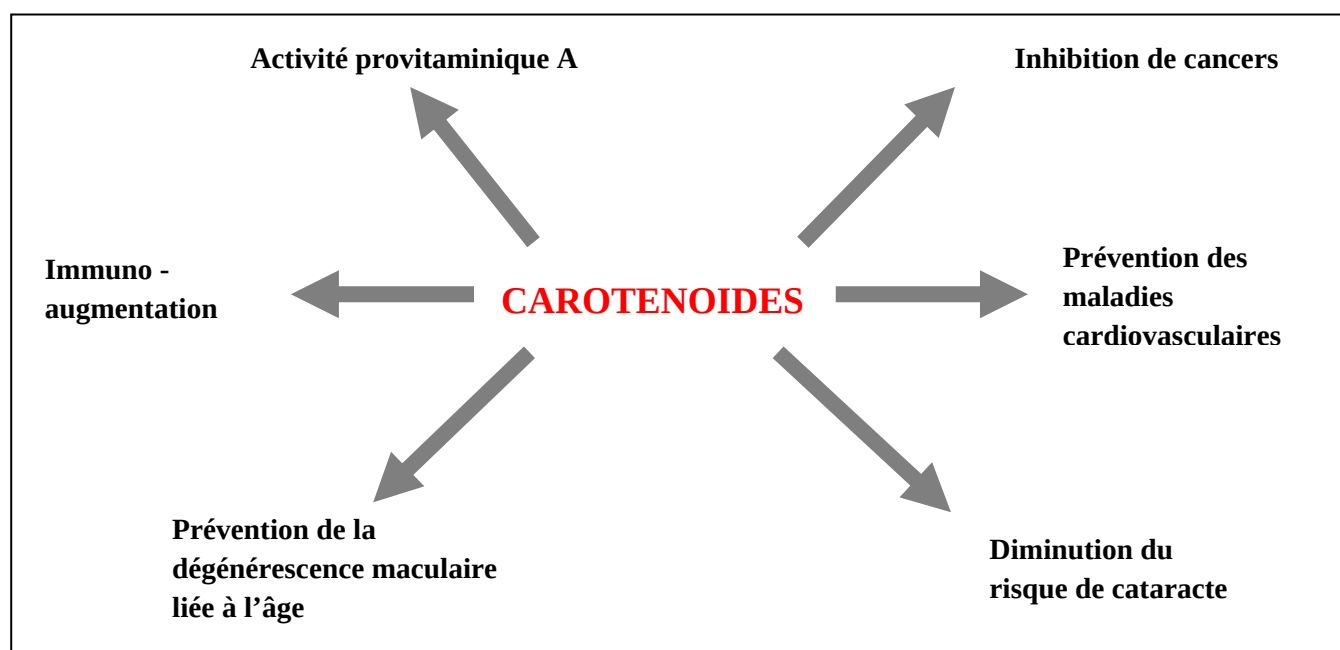


Figure 1.5. Promotion de la santé ou actions attribuées aux caroténoïdes (Source : Rodriguez-Amaya, 1997)

1.2.3. Structure et fonction de la vitamine A et des caroténoïdes

La VA est un micronutriment essentiel dont l'organisme humain a besoin en petites quantités pour assurer notamment un fonctionnement normal du système de vision, la croissance et le développement, la maintenance et l'intégrité des cellules épithéliales, la fonction immunitaire et la reproduction (FAO/WHO, 2004). En général, les caroténoïdes les plus abondants dans le plasma (Figure 1.6) sont l' α et le β -carotène, la lutéine, la zéaxanthine et la β -cryptoxanthine ainsi qu'une forte concentration plasmatique de lycopène chez les populations ingérant régulièrement des tomates et des produits dérivés.

La VA est nécessaire à la santé et au bon fonctionnement de tous les tissus de l'organisme humain. Elle agit sur l'activité cellulaire, favorise la formation du squelette (croissance osseuse), protège l'intégrité des membranes et des muqueuses permettant ainsi de lutter contre les infections cutanées. Ainsi, elle favorise la cicatrisation. Elle participe au mécanisme de la vision et elle est importante pour la croissance des tissus kératinisés (dents, ongles, cheveux), la reproduction, la grossesse et la lactation.

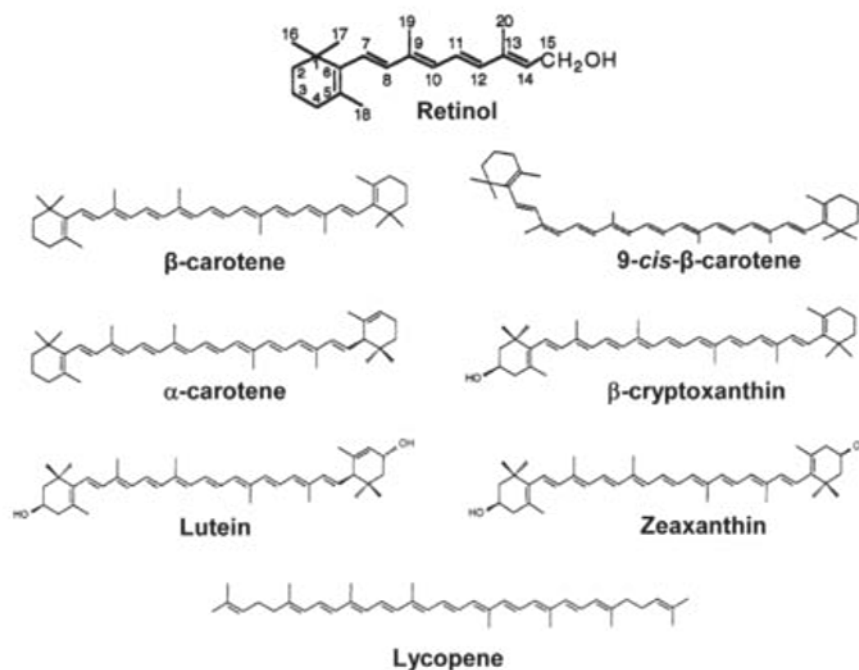


Figure 1.6. Structure du rétinol et des caroténoïdes présents dans le plasma sanguin. (Mark et al, 2005)

C'est sous sa forme aldéhyde (rétinal) que la VA est active au niveau de l'œil. Les autres vertus de la VA ne sont pas dues au rétinol mais à l'acide rétinoïque, formé par l'oxydation irréversible du rétinol sous l'effet de la rétinol-oxydase (Figure 1.7). Cet acide rétinoïque peut agir comme une hormone stéroïdienne dans la régulation de l'expression de nombreux gènes.

Dans l'organisme, la conversion des caroténoïdes (Figure 1.7) en VA (essentiellement sous forme de rétinol) est assurée par une enzyme de type oxygénase (la 15,15'-dioxygénase pour le β -carotène).

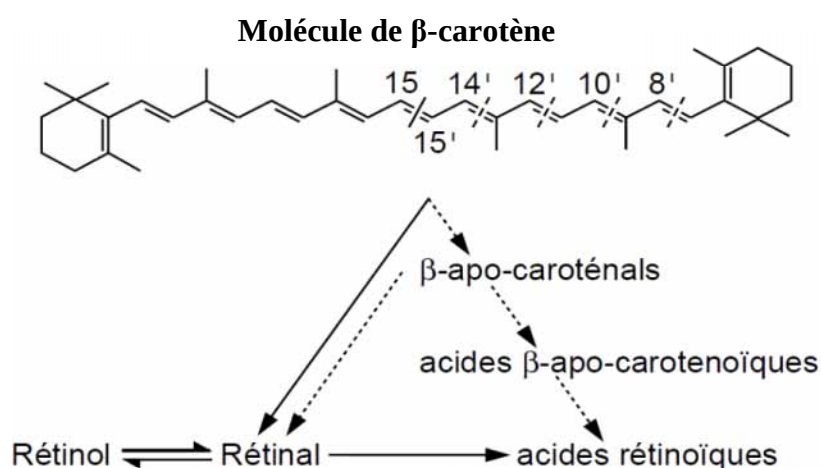


Figure 1.7. Formation de rétinoïdes à partir de β -carotène lors du mécanisme de digestion chez l'homme (Stahl *et al.*, 1994)

1.2.4. Utilisation des caroténoïdes et métabolisme de la vitamine A

L'absorption du rétinol et des caroténoïdes a lieu dans l'intestin (entérocytes) et nécessite la présence des produits de la digestion des lipides (acides gras, phospholipides, etc.) et des sels biliaires pour la formation de micelles digestives favorisant la solubilisation du rétinol et des caroténoïdes (β -carotène) lipophiles. Cette solubilisation est nécessaire à la bonne absorption de ces composés par les entérocytes. L'absorption intestinale du rétinol est plus intense que celle des caroténoïdes (coefficient de l'ordre de 80% contre 35%) et cette absorption intestinale de la VA est également maximisée si elle est combinée à l'ingestion de protéines (SFVB et al., 2006). Une partie des caroténoïdes est convertie en rétinol par l'intermédiaire d'une enzyme après diffusion au travers de la muqueuse intestinale tandis que l'autre partie reste inchangée.

Au cours du métabolisme de la VA, les esters de rétinol sont dégradés surtout dans l'épithélium intestinal en rétinaldéhyde par une déshydrogénation. A ce niveau une partie de la VA est rapidement absorbée, métabolisée et excrétée. La quantité qui dépasse les besoins immédiats est stockée dans le foie sous forme d'ester de rétinyl. Ce qui explique pourquoi l'huile de foie de poisson est si riche en VA. Chez une femme bien nourrie, ces réserves hépatiques dépassent plus de 90% de la VA totale de l'organisme (FAO/OMS, 1989). Il convient de signaler que le foie n'est pas le seul organe de stockage de la VA bien qu'il soit l'organe majeur. Les reins et d'autres organes servent également de site de stockage de la VA (IVACG, 1982).

En cas de besoin en VA, les esters de rétinyl sont hydrolysés pour libérer du rétinol. Pour le transport jusqu'aux tissus cibles, le rétinol est fixé à une protéine vectrice spécifique, la protéine fixatrice de rétinol (PFR) ou RBP (Retinol Binding Protein). Cette protéine est synthétisée par le foie puis excrétée dans le plasma sous forme de complexe PFR-Rétinol. Les concentrations plasmatiques de VA sont très dépendantes des concentrations de RBP, et inversement la RBP ne peut être libérée dans le plasma que si les réserves en rétinol sont suffisantes. C'est pourquoi selon Latham (2001) un déficit protéique peut compromettre le métabolisme de la VA en réduisant la synthèse de cette protéine PFR. Le niveau de protéine PFR dans le plasma augmente avec l'âge mais l'absorption de la VA chez les enfants, les nouveau-nés et les personnes âgées est très lente (Jelliffe et al, 1962).

Le stockage hépatique est très important car, dans de nombreux pays tropicaux, les aliments contenant de la VA ou des caroténoïdes provitamines A ont une disponibilité saisonnière. S'ils sont consommés en quantité suffisante lorsqu'ils sont disponibles (*i.e.* généralement pendant la saison des pluies), le stockage peut permettre de traverser au moins en partie la saison sèche sans carence. La courte saison des mangues, par exemple, constitue une excellente occasion pour les jeunes de récolter ces fruits pour reconstituer en principe, et dans les conditions normales, leur stock hépatique. En l'absence de consommation de produits d'origine animale, il faut donc consommer une grande quantité de β -carotène pour couvrir les besoins en VA. L'utilisation du β -carotène est médiocre lorsque l'alimentation est pauvre en graisses et les régimes carencés en VA sont souvent aussi déficients en lipides (Latham, 2001).

1.2.5. Sources alimentaires potentielles: rétinol, caroténoïdes

La VA ne pouvant être synthétisée par l'organisme humain, elle doit être apportée à l'homme par l'alimentation sous forme de rétinol préformé (principalement ester de rétinyl) dans les aliments d'origine animale et sous forme de provitamines A (caroténoïdes) dans les aliments d'origine végétale. Elle est abondante dans les produits animaux tels que les foies de veau et de volaille, les œufs, certains poissons, et pour les produits végétaux dans les légumes-feuilles, les carottes, les mangues (FAO/WHO, 2004). Une alimentation variée de produits naturels est une solution qui permet de couvrir les besoins de l'homme en limitant les risques de toxicité éventuels des molécules de synthèse (parfois cancérigène dans le cas de doses conseillées trop élevées) (§ 1.6.2).

Mais, dans les PED, la majorité de la population ne peut compter que sur le β -carotène comme source de VA. On le trouve dans de nombreuses plantes. Les feuilles vert foncé de l'épinard, de l'amarante, des patates douces ou du manioc sont une meilleure source que les feuilles vert clair de la laitue ou du chou. On en trouve également de bonnes quantités dans des fruits et légumes colorés comme les papayes et les tomates ainsi que dans les patates douces de couleur jaune et dans des légumes jaunes comme le potiron. Dans les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest, le produit le plus riche est l'huile de palme rouge, largement utilisée pour la cuisson. La culture du palmier à huile s'est maintenant répandue à d'autres pays tropicaux (Latham, 2001).

1.3. Unités d'expression de la vitamine A, rétention et bioconversion des caroténoïdes

1.3.1. Unités d'expression des caroténoïdes, évolution et variation des facteurs de bioconversion des caroténoïdes

Pour exprimer l'activité vitaminique A des caroténoïdes dans les aliments sur une base commune, un groupe d'Experts FAO/WHO (1967) avait introduit depuis 1967, le concept d'équivalent rétinol (ER) et avait établi les relations suivantes pour les aliments sources de VA :

$1\mu\text{g}$ rétinol = $1\mu\text{g}$ ER

$1\mu\text{g}$ β -carotène = $1/6\mu\text{g}$ ER

$1\mu\text{g}$ autres caroténoïdes provitaminique A = $1/12\mu\text{g}$ ER

Il avait été admis à ce moment là que ces facteurs de conversion permettaient une meilleure estimation pour des régimes alimentaires mixtes, ce qui pourrait surestimer ou sous estimer la biodisponibilité en fonction des aliments sources de VA et de leurs modes de préparation (par exemple cuit ou cru, entier ou purée, avec ou sans la graisse)

Sur la base des résultats disponibles aujourd'hui, une faible biodisponibilité a été rapportée pour les légumes-feuilles vertes et les carottes crues (Castenmiller et al., 1998 ; de Pee et al., 1998) et une forte biodisponibilité s'agissant des régimes riches en fruits et tubercules ; cependant il existe en ce moment, une controverse autour des facteurs de conversion. Ceci a conduit à l'établissement de nouvelles unités de conversion de l'activité vitaminique A dans les aliments, l'équivalent d'activité de rétinol (RAE) (Tableau 1.3). En

Hollande, van het Hot et al. (1991) ont recommandé 1/14 (β -carotène) et 1/28 (autres caroténoïdes pro-vitaminique A) comme facteurs de conversion dans le cas de régimes mixtes. Selon FAO/WHO (2004), dans les contextes où les fruits ou les légumes-feuilles vertes sont plus fréquemment consommés qu'en Hollande, l'ajustement à des facteurs de conversion plus élevés ou inférieurs pourraient être considérés. Par exemple, aux Etats-Unis où les fruits constituent une plus grande part du régime, la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition de l'Institut de Médecine propose des facteurs de conversion en équivalent d'activité de rétinol (RAE) de 1/12 pour le β -carotène et de 1/24 pour les autres caroténoïdes pro-vitaminiques A (Food and Nutrition Board, 2002). Ces mêmes facteurs (1/12 et 1/24) ont été utilisés par Murphy (2002), Solomons et Orozco (2003) et FAO/WHO(2004) pour la bioconversion des caroténoïdes pro-vitaminique A ; ils correspondent aux régimes d'alimentation mixte.

Tableau 1.3 : Facteurs de bioconversion d'équivalent « activité rétinol » selon les apports recommandés (IOM, 2001) de l'Institut de Médecine

Forme consommée	Absorbé	Bioconverti
Aliment ou supplément VA (1 μ g)	Rétinol	Rétinol (1 μ g)
Supplément de β -carotène (2 μ g)	β -carotène	
β -carotène alimentaire (12 μ g)	β -carotène	
α -carotène ou en β -cryptoxanthine alimentaire (24 μ g)	α -carotène ou β -cryptoxanthine	

Source : IOM Apports alimentaires recommandés

Cependant les anciennes tables de composition des aliments (et certaines doses d'intervention) exprimaient fréquemment la VA en unité internationale (UI). Selon FAO/WHO (2004), la conversion ci-après pourrait être utilisée pour calculer des valeurs comparables en μ g ER :

$$1 \text{ UI rétinol} = 0,3 \mu\text{g rétinol} \quad \text{et inversement, } 1 \text{ ER} = 1 \mu\text{g rétinol} = 3,33 \text{ UI}$$

$$1 \text{ UI } \beta\text{-carotène} = 0,6 \mu\text{g } \beta\text{-carotène}$$

1.3.2. Bioaccessibilité et rétention des caroténoïdes à activité pro vitaminique A

La rétention des caroténoïdes est la proportion de caroténoïdes retenue dans l'aliment au cours d'un traitement technologique. C'est le rapport des teneurs en caroténoïdes totaux après et avant transformation (Rodríguez, Rodriguez-Amaya, 2007). La bioaccessibilité des caroténoïdes est, quant à elle, la proportion de caroténoïdes libérée de la matrice végétale dans le tube digestif et qui est potentiellement absorbable par l'organisme (Borel, 2000).

1.3.2.1. Facteurs déterminant la bioaccessibilité ou la bioconversion des caroténoïdes

La bioaccessibilité et la bioconversion sont deux concepts qui pourraient être inclus dans une description plus affinée de la biodisponibilité. Les deux terminologies sont importantes dans l'évaluation de la biodisponibilité (Hurrell, 2002). La matrice alimentaire, la teneur en lipide et les procédés de préparation sont trois facteurs déterminants de la

bioaccessibilité des caroténoïdes pro-vitaminiques A et de leur bioconversion en VA (Ribaya-Mercado et al., 2007 ; Tang, 2010). La bioaccessibilité d'une vitamine correspond à la proportion de la vitamine qui est libérée de la matrice alimentaire dans le tube digestif (avant le site d'absorption) et qui est ainsi potentiellement absorbable par l'organisme. En effet, les caroténoïdes doivent être libérés dans un premier temps de leur matrice végétale, puis ils sont transférés dans la phase lipidique du repas, avant d'être solubilisés dans des micelles mixtes (Borel, 2000). Selon Fernandez-Garcia et al. (2009), la **bioaccessibilité** correspond à la quantité de composé d'intérêt mise à disposition des entérocytes pour l'absorption (méthode *in vitro*), tandis que la **biodisponibilité** englobe le processus total allant jusqu'à la réponse physiologique (méthode d'évaluation *in vivo*).

Au niveau de l'homme, la bioaccessibilité conditionne la biodisponibilité des caroténoïdes. En effet, la biodisponibilité d'un nutriment contenu dans un aliment est la proportion de ce nutriment qui est effectivement utilisable pour assurer les fonctions de l'organisme. La biodisponibilité se réfère à l'efficacité d'absorption d'un composé ingéré, à son métabolisme de libération et à son utilisation par les tissus cibles (Kamonpatana et al., 2007). Trois phénomènes entrent en jeu : (i) l'absorption par les cellules de l'intestin, (ii) le transport vers les organes et (iii) l'utilisation par l'organisme (Lestienne, 2004). Ainsi, la biodisponibilité d'un nutriment varie non seulement en fonction de l'aliment ingéré, mais aussi en fonction des conditions physiologiques propres à l'individu (statut en ce nutriment, état de santé, sécrétions et pH gastriques, durée du transit) (Benito et Miller, 1998 ; Hallberg et Hulten, 2002).

Les méthodes d'estimation sont différentes. La biodisponibilité est évaluée *in vivo* sur des animaux (Lee et al., 1999 ; Mills et al., 2009) ou sur des humains (van het Hof et al., 2000 ; Assai et al., 2008). La bioaccessibilité quant à elle, est évaluée par digestion *in vitro* incluant pour les lipides, une étape de micellarisation (Tyssandier et al., 2001) couplée ou non à des mises en contact avec des cellules Caco-2 (Ryan et al., 2008 ; Tumuhimbise et al., 2009, Yonekura et Nagao, 2009 ; Daly et al., 2010).

Malgré ses inconvénients, la digestion *in vitro* reste la méthode la plus accessible pour faire du screening car elle est moins coûteuse, plus rapide et plus éthique. Ainsi elle permet de comparer des matrices alimentaires ou d'évaluer l'impact des traitements technologiques (Failla et al., 2008). Il existe de nombreux protocoles, d'où la nécessité de choisir le protocole le plus adapté à la problématique. Les méthodes de Hedren et al. (2002a) et Garrett et al. (1999) sont les méthodes les plus citées de nos jours.

La digestion *in vitro* a pour but de reproduire les étapes de la digestion physiologique dont les trois principales phases sont les phases buccale, gastrique et intestinale successivement.

1.3.2.2. Facteurs alimentaires affectant la bioaccessibilité des caroténoïdes : rôles des fibres, des lipides et interaction avec d'autres nutriments

L'apport alimentaire en lipides améliore la biodisponibilité des caroténoïdes. Mieux, les lipides riches en acides gras non saturés augmentent la bioaccessibilité des caroténoïdes:

l'huile de soja, l'huile d'olive, l'huile de canola (Kamonpatana et al., 2007). Une amélioration du statut en VA de tout l'organisme et une augmentation de la réserve hépatique en VA a été observée suite à la consommation d'une quantité suffisante de légumes-feuilles verts et une quantité minimale de 2,4 g lipides/repas pouvant assurer la bioaccessibilité des caroténoïdes pro-vitaminiques A (Ribbaya-Mercado et al., 2007; Tang et al., 2010; Chandrika et al., 2010). A la différence des lipides, les fibres enferment et/ou piègent les caroténoïdes diminuant de ce fait leur bioaccessibilité (van het Hof et al., 2000; Maiani et al., 2009).

1.3.2.3. Influence des infections et des infestations parasitaires sur le statut vitaminique A

Il est connu que la CVA n'est pas un problème isolé mais qu'elle s'accompagne presque toujours d'une malnutrition pluricarentielle et d'infections. Par ailleurs, le statut en protéine et en énergie influencent fortement le métabolisme de la VA (OMS/FISE et al., 1982). Les infections et les infestations parasitaires qui sont endémiques dans les PED compromettent l'utilisation des caroténoïdes et augmentent les besoins individuels en VA (Maiani et al., 2009). **On peut se demander dans quelle mesure la CVA peut être entièrement jugulée par la consommation d'aliments d'origine végétale, lorsque les apports en corps gras sont bas et les parasitoses intestinales très courantes.**

1.3.2.4. Autres facteurs modulant la bioaccessibilité/biodisponibilité des caroténoïdes : facteurs SLAMENGHI

Un autre acronyme a été développé pour lister les facteurs influençant la biodisponibilité des caroténoïdes : SLAMENGHI (West et Castenmiller, 1998 ; Tanumihardjo, 2002)

S : Species ou espèce de caroténoïdes : selon son hydrophobicité et l'isomère considéré (cis ou trans) l'absorption intestinale est plus ou moins favorisée. Par exemple, l'alpha carotène semble être moins bien absorbé que le bêta-carotène. L'isomère trans du bêta-carotène est mieux absorbé que l'isomère cis tandis que le cis lycopène est mieux absorbé que le trans.

L : Linkage, correspondant à liaison moléculaire : le bêta-carotène issu des légumes verts (épinards...) est associé avec les protéines des chloroplastes et le bêta-carotène issu des racines (carotte) ou des tomates est sous forme semi-cristalline. Dans les deux cas, ces interactions moléculaires sont des facteurs limitants de l'absorption intestinale. L'existence de certains caroténoïdes estérifiés peut également influencer la biodisponibilité.

A : Amount, quantité consommée

M : Matrix, matrice dans laquelle sont inclus les caroténoïdes. L'augmentation du fractionnement de la matrice, ainsi que les traitements thermiques qui déstabilisent les parois cellulaires des végétaux, conduisent à une meilleure libération du bêta-carotène et à une meilleure biodisponibilité.

E : Effectors of absorption and bioconversion, qui correspond aux éléments du chyme pouvant augmenter l'inclusion des caroténoïdes dans les micelles et donc l'absorption dans l'entérocyte (la proportion de lipide, la taille des gouttelettes lipidiques) ou la limiter (la consommation de fibres qui peut diminuer jusqu'à 42% l'absorption de bêta-carotène). Les facteurs de variation inter individus sont aussi inclus dans ces paramètres.

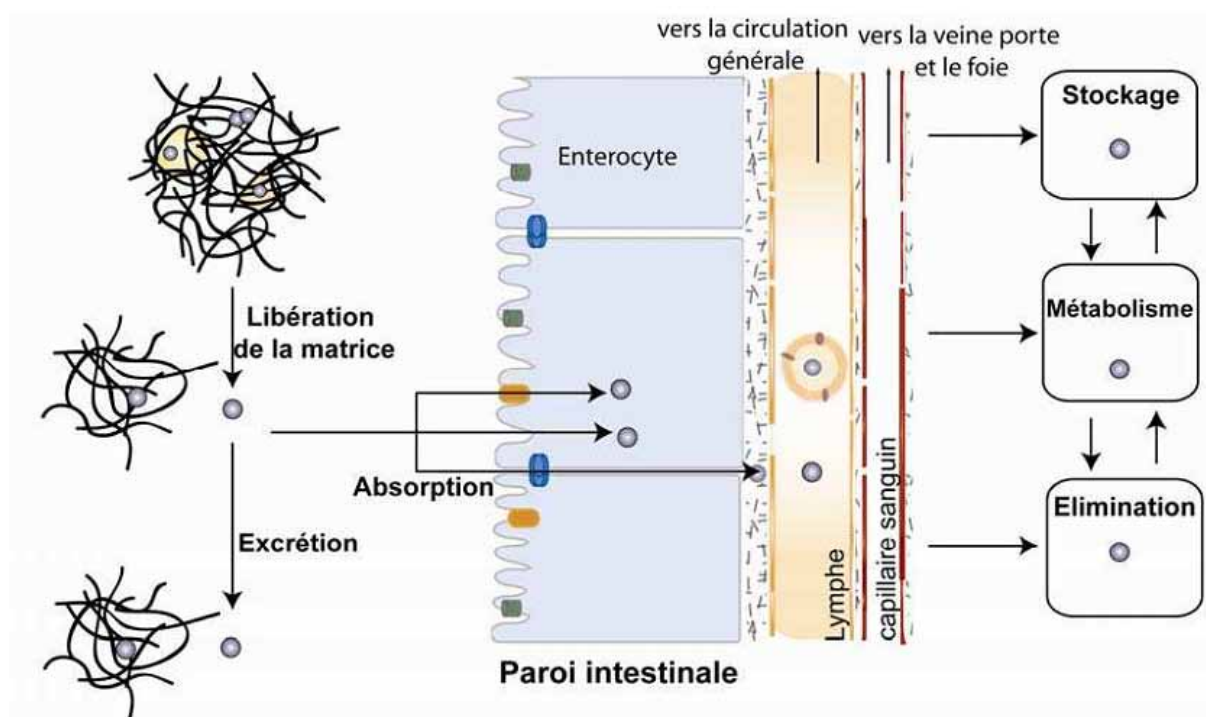
N : Nutrient status : statut nutritionnel de l'individu.

G : Genetic factors : L'absorption des caroténoïdes dans l'entérocyte peut s'effectuer par diffusion simple ou facilitée à travers des transporteurs membranaires. L'abondance ou l'efficacité de ces transporteurs peuvent être régies par des facteurs génétiques. La variabilité d'absorption entre les sujets des études citées peut être en partie expliquée par ce facteur. L'efficacité de la conversion enzymatique du bêta-carotène en rétinol peut aussi être affectée par ce paramètre.

H : Host related factors (facteurs dépendants de l'hôte). Déficiences dans l'absorption des lipides, mais aussi en fonction de l'âge, du sexe etc.

M : Mathematical Interactions (interactions mathématiques): correspond aux interactions entre ces facteurs.

Cette approche est plus spécifique, mais elle met en évidence les mêmes facteurs et interactions que le concept ADME (Absorption, Distribution, Métabolisme, Elimination) résumé dans le schéma ci-dessous.



Concept ADME (Absorption, Distribution, Métabolisation, Elimination) (West et Castenmiller, 1998).

1.4. Effet des modes de préparation sur la stabilité et/sur la bioaccessibilité des caroténoïdes à activité pro vitaminique A

Les modes de préparation sont multiples et distincts ; il serait alors très utile de connaître le comportement des caroténoïdes suite aux principales transformations subies par des aliments.

1.4.1. Effet du stockage post-récolte

L'effet du stockage sur la stabilité (rétention) des caroténoïdes a été étudié par plusieurs chercheurs. Mayer-Miebach et Spieß (2003) rapportent une réduction de 30% de la teneur en caroténoïdes totaux de la carotte Kintoki après 8 semaines de stockage à 1°C avec un taux d'humidité de 97%. Une importante réduction d'environ 60 % de la teneur en lycopène contre seulement 20 % de β -carotène a été observée. Kopas-Lane et Warthesen (1995) ont constaté une relative stabilité de la lutéine des feuilles d'épinard pendant 8 jours de stockage à 48°C ; cependant, la perte peut s'élever à 22% quand les feuilles sont exposées à la lumière. La rétention des provitamines A pendant le stockage des aliments traités est favorisée par une basse température de stockage, la protection contre la lumière et l'exclusion de l'oxygène. En général, les traitements au sel et aux sulfites améliorent également cette rétention. Les provitamines A dans les aliments conservés en boîte ou mis en bouteille sont généralement stables pendant au moins une année. Les caroténoïdes dans les produits déshydratés ont tendance à subir une dégradation pendant le stockage parce que la superficie et la porosité plus grandes augmentent leur exposition à l'oxygène et à la lumière. Les produits blanchis résistent généralement mieux à la dégradation des caroténoïdes au cours du stockage que ceux non blanchis (Rodriguez-Amaya, 1997).

1.4.2. Effets des procédés thermiques

La teneur en caroténoïdes est en général modifiée au cours des procédés domestiques ou industriels de transformation des aliments (Ribeiro, 2006). Il existe une littérature abondante sur l'effet des traitements thermiques sur la rétention et la bioaccessibilité des caroténoïdes. Tandis que le traitement thermique impliqué dans la cuisson est une étape nécessaire rendant la nourriture agréable au goût tout en améliorant la digestibilité de ses composants, dans le même temps, des changements indésirables peuvent se produire tels que la réduction des teneurs en vitamines causée par les réactions chimiques (Veda et al., 2010). Les teneurs en caroténoïdes des aliments sont diminuées par les divers traitements thermiques des procédés de préparation (i.e. blanchiment, chauffage, cuisson, friture) et leur structure est également affectée. Aux basses températures (60-100°C), la plupart des caroténoïdes sont stables et l'isomérisation est négligeable au cours du blanchiment (Maiani et al., 2009).

Les traitements thermiques diminuent les teneurs en caroténoïdes, mais en même temps peuvent être avantageux grâce à la rupture des matrices cellulaires de l'aliment qu'ils provoquent, facilitant ainsi la libération et la solubilisation des caroténoïdes (libres ou sous forme d'esters) entraînant une augmentation de la biodisponibilité des caroténoïdes (Hedren et al., 2002 ; Brown et al., 2004 ; Hornero-Méndez et al., 2007 ; Huo et al., 2007). C'est ainsi qu'il a été noté ces dernières années que le traitement thermique des légumes par la chaleur lors des fritures en présence d'huile a une influence avantageuse sur la bioaccessibilité du β -carotène des légumes (Veda et al., 2006). Mais les traitements thermiques intenses réduisent la rétention des caroténoïdes (Rodriguez et Rodriguez-Amaya, 2007).

Au Nigéria, une étude effectuée par Thakkar et al (2009) sur l'impact des procédés sur le β -carotène des variétés de manioc bio-fortifiées en VA confirme que les méthodes de

préparation affectent la rétention et la bioaccessibilité du manioc bio-fortifié en β -carotène. La rétention augmente de 63% avec une réduction de la température de grillage (de 195 à 165°C) du Gari (produit sec roulé issu du broyage, de la fermentation et du grillage du manioc) bio-fortifié en VA. Ces différences de rétention et de bioaccessibilité en β -carotène des produits issus des traitements traditionnels du manioc bio-fortifié suggèrent que le gari et le fufu (pâte fermentée issue de la farine tamisée de manioc) fourniraient moins d'activité équivalent rétinol qu'une consommation de manioc bouilli.

En règle générale, selon Rodriguez-Amaya (1997), la rétention des caroténoïdes provitamines A diminue dans l'ordre suivant :

- ✓ cuisson aux micro-ondes,
- ✓ cuisson à la vapeur
- ✓ ébullition.
- ✓ friture intense, cuisson prolongée, combinaison de plusieurs méthodes de préparation et de transformation, traitement au four, et marinage (à l'exception possible du marinage des olives) : tous provoquent des pertes importantes de provitamines A.
- ✓ Quelle que soit la méthode de transformation choisie, la rétention des provitamines A diminue quand la durée est longue, les températures du procédé plus élevées, ou la découpe plus importante.

La rétention est significativement améliorée par des modifications simples, telles que :

- ✓ la cuisson sous couvercle;
- ✓ la réduction du délai entre l'épluchage/découpe et cuisson/transformation ;
- ✓ la durée de la cuisson et le temps d'entreposage minimum.

En conclusion, les effets des traitements thermiques des procédés de préparation sur la rétention et la bioaccessibilité de caroténoïdes dépendent principalement de la sévérité des traitements thermiques appliqués. Aux températures plus basses (60–100°C), la plupart des caroténoïdes sont stables et l'isomérisation est négligeable pendant le blanchiment, la pasteurisation, la cuisson, le séchage et la friture à basse température (Maiani, 2009).

1.4.3. Effets de traitements combinés de séchage, stockage et traitements thermiques

Au Zimbabwe, Benhura et al. (1997) ont étudié la teneur en β -carotène extractible des feuilles de Guku (*Bidens pilosu*) après cuisson, séchage et stockage. La teneur en β -carotène extractible des feuilles bouillies pendant 20 minutes était de 31% plus élevée que celle des feuilles blanchies pendant 1 minute. L'ébullition de jeunes feuilles tendres jusqu'à 60 min a eu comme conséquence, une diminution de 6 % de β -carotène comparée à la concentration dans des feuilles blanchies.

Par ailleurs, après séchage au soleil de feuilles, d'importantes pertes de β -carotène (allant de 37 à 79%) sont observées et seulement une partie mineure des β -carotènes retenus (8-29%) est bioaccessible (Hedrén, 2002). La stabilité ou la rétention des caroténoïdes diffère d'un aliment à un autre, même lorsque les conditions de traitement et de stockage appliquées sont les mêmes. De la même manière, les conditions optimales pour la conservation des provitamines A pendant la préparation ou le traitement diffèrent d'un aliment à l'autre (Rodriguez-Amaya, 1997).

1.5. Carence en vitamine A, conséquences et populations à risque

La CVA est fréquente dans les pays en développement et touche plus particulièrement les groupes vulnérables (femmes enceintes et allaitantes, jeunes enfants). Elle a des conséquences importantes sur la santé et le bon fonctionnement de l'organisme.

1.5.1. Définition de la carence en vitamine A, individus et facteurs de risques associés

La CVA peut être due à un déficit d'apports en carotène ou en VA préformée dans l'alimentation ou bien à une mauvaise absorption intestinale ou encore à un besoin accru. Parmi ces trois causes majeures de CVA, la première est de loin la plus courante. La CVA se traduit par une sécheresse pathologique de l'œil aboutissant à une xérophtalmie et parfois au stade final à une kératomalacie et une cécité (Figure 1.8.). D'autres tissus épithéliaux peuvent être affectés; la peau peut présenter une kératose folliculaire (Latham, 2001). La CVA peut aussi limiter la croissance, affaiblir des défenses innées et acquises, aggraver l'infection et augmenter le risque de mortalité. Elle peut également s'étendre aux enfants d'âge scolaire, aux adolescents jusqu'à l'âge adulte et ses conséquences (Figure 1.8) sont identifiées comme les troubles dus à la CVA (West, 2002).

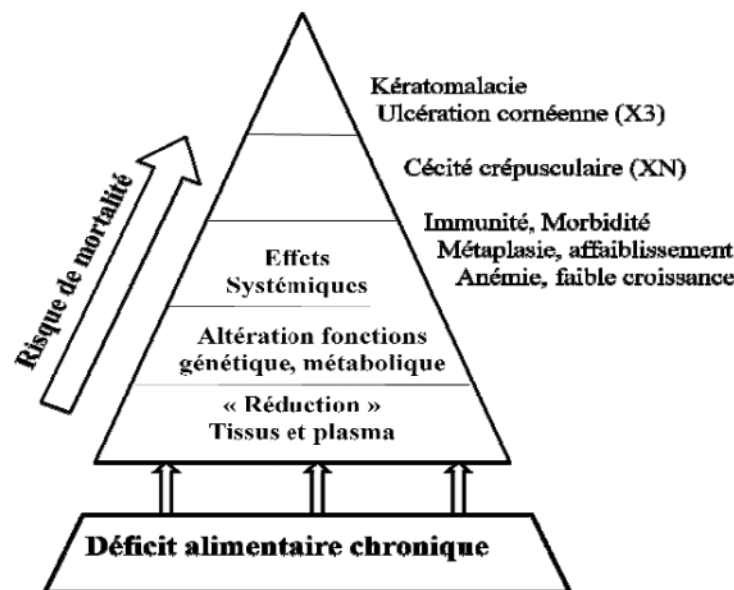


Figure. 1.8. Spectre des risques associés à la CVA (West, 2002)

Les travaux de Christian (2000 ; 2001a) indiquent que la CVA chez les femmes en âge de procréer peut augmenter la morbidité et la mortalité pendant la grossesse et la période postpartum. Une CVA sévère chez la mère peut aussi influencer sur le nouveau-né et augmenter la mortalité au cours des 6 premiers mois après la naissance (Humphrey, 1996 ; Christian, 2001b; Tielsch, 2001).

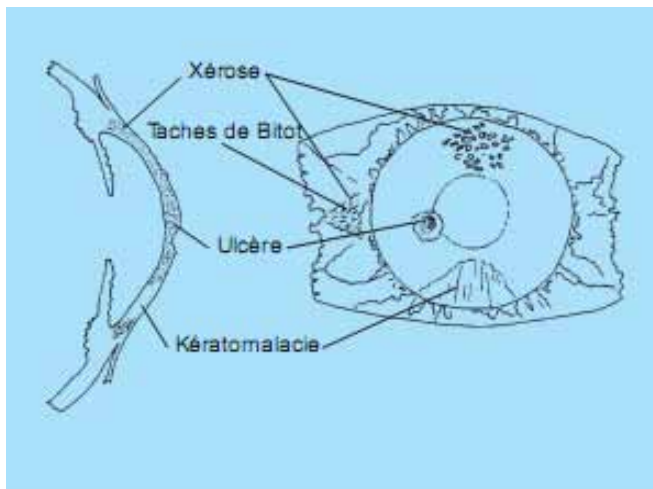
La carence secondaire en VA est liée à une transformation insuffisante du carotène en VA, ou à des anomalies au niveau de l'absorption, du stockage ou du transport de la VA.

1.5.2. Indicateurs biologiques de la carence en vitaminique A

L'évaluation du statut en VA peut être fait par des examens biologiques basés notamment sur le dosage hépatique, le dosage du rétinol sérique et la cytologie d'impression conjonctivale. Cependant, les premiers signes cliniques de la CVA sont les troubles de vision nocturne, la sensibilité à la lumière, la sécheresse de la peau, l'intolérance cutanée au soleil.

1.5.2.1. Signes cliniques de la carence en vitamine A au niveau de l'œil

- La *cécité crépusculaire* (ou Héméralopie) est l'un des premiers signes cliniques : elle correspond à l'incapacité de voir au crépuscule et quand la lumière est faible.
- La *xérophthalmie* : lors de CVA sévère, la cécité crépusculaire peut évoluer vers un dessèchement de la conjonctive (taches de Bitot) et de la cornée (kératomalacie) et évoluant vers la cécité (perte de la vision) en l'absence de traitement



- Les *taches de Bitot* : Ce sont des plaques blanches, des lésions superficielles de coloration blanche quelquefois grisâtre de la conjonctive.
- La *kératomalacie* : Phase évolutive de xérosis cornéenne marquée par une desquamation, une destruction totale de la cornée. (Figure 1.9.)

Figure 1.9. Signes cliniques d'avitaminose A (Latham, 2001)

1.5.2.2. Méthodes d'évaluation du statut en vitamine A

De nombreuses méthodes biologiques existent pour évaluer le statut en VA. La plupart reposent sur la réserve hépatique, étant donné que la VA est stockée dans le foie.

➤ La *méthode de dosage hépatique* est la méthode de référence permettant d'établir l'existence d'une CVA ou pas. Ainsi, un déficit induit forcément une baisse du stock hépatique, mais celui-ci n'est mesurable que lors des autopsies. On préfère utiliser maintenant des techniques plus complexes comme le test RDR (Relative Dose Response) et le test RDR modifié (Modified Relative Dose Response), qui donnent une meilleure idée des stocks hépatiques.

Le *test RDR* est une méthode dynamique qui permet d'estimer la réserve du foie en VA à partir du dosage du rétinol sérique avant et 5h après administration d'une dose orale de VA. Le désavantage majeur de cette méthode est la nécessité de deux prélèvements à 5 heures d'intervalle. Pour remédier à ce problème, les chercheurs ont proposé le *test MRDR* pour simplifier cet examen : l'ingestion du rétinol (R) est remplacée par du 3,4 didéhydrorétinol

(DR) qui n'affecte pas le taux sanguin de rétinol. Ce test permettrait de n'effectuer qu'un seul prélèvement veineux (Sherry et al., 1990). Les tests RDR et MRDR sont généralement utilisés pour déterminer le statut en VA avant l'apparition des signes cliniques.

➤ La *méthode de dosage du rétinol sérique* est la plus fiable. Cette méthode fait appel à la chromatographie liquide à haute performance. C'est une méthode précise, rapide et reproductible qui permet de séparer les différents composés vitaminiques A (OMS et al., 1982). La mesure du taux de rétinol sérique est utile lors des enquêtes communautaires. En cas de carence, le rétinol sérique tombe souvent d'un taux normal de 30-50 µg par 100 ml de plasma à un taux aussi bas que 20 µg/100 ml. En cas de xérophtalmie, ce taux est inférieur à 10 µg/100 ml de plasma (Latham, 2001).

➤ La *méthode d'impression oculaire* basée sur la cytologie d'impression conjonctivale, dans laquelle des cellules conjonctivales sont colorées et examinées au microscope, semble elle prometteuse pour le dépistage précoce de la CVA (Latham, 2001).

Le diagnostic de la sévérité de la CVA en termes de santé publique repose sur des indicateurs cliniques et biologiques (Tableau 1.4). Ces indicateurs cliniques ont été standardisés par l'OMS et sont basés sur la prévalence des signes de xérophtalmie et les indicateurs biologiques basés sur le taux de rétinol sérique. Les tests biologiques doivent cependant être couplés aux tests cliniques pour estimer l'ampleur de la carence. Ainsi le Tableau 1.5 présente les seuils de santé publique permettant de juger de la sévérité de l'avitaminose A.

Tableau 1.4 : Indicateurs de la CVA chez les mères et les enfants de 6 à 71 mois.

Indicateur	Seuil indicateur de carence
Cécité nocturne (24-71 mois)	au moins 1% de la population cible est concernée par une histoire de cécité nocturne
Biologique	
taux rétinol lait maternel	$\leq 1,05 \mu\text{mol/l}$ ($\leq 8\mu\text{g/g}$ lipide du lait)
taux rétinol sérique	$\leq 0,70 \mu\text{mol/l}$
Dose Réponse Relative (RDR)	$\geq 20 \%$
Dose Réponse Relative Modifiée (MRDR)	Ratio $\geq 0,06$

Source : FAO/WHO(2004)

Tableau 1.5 : Critères de prévalence permettant de déterminer si la xérophtalmie est un problème de santé publique (source : OMS, 1982)

Signe	Seuil de prévalence (%)
-------	-------------------------

Héméralopie (Cécité crépusculaire)	1
Tache de Bitot	0,5
Xérosis/Ulcération cornéenne / Kératomalacie	0,01
Taie cornéenne	0,05
Vitamine A plasmatique < 10 µg/dl	5

1.5.3. Evaluation de l'apport en vitamine A

Les méthodes généralement utilisées pour évaluer les apports de l'alimentation en VA et caroténoïdes reposent sur les enquêtes de consommation alimentaire. Ces enquêtes fournissent des données sur les apports alimentaires et nutritionnels, la structure de la ration alimentaire, les habitudes alimentaires, le pourcentage de personnes à risque de carence en VA (Tableau 1.6), etc.

Plusieurs méthodes de collecte de données de consommation alimentaire existent. On peut citer notamment

- les enquêtes par pesée directe
- le rappel des 24-heures,
- les questionnaires de fréquences de consommation portant sur les aliments riches en vitamine A

Les deux premières méthodes sont des méthodes quantitatives, alors que la troisième est surtout qualitative ou au mieux semi-quantitative. *Le rappel des 24h* est le plus souvent utilisé et a montré la possibilité d'obtenir des données fiables chez des adultes, pour peu qu'un travail important de calibration de la mesure des ingérés soit réalisé au préalable. Cette méthode est rapide et permet d'enquêter de grands échantillons. *La méthode par pesée directe* en revanche est beaucoup plus lourde et ne permet l'observation des ingérés que d'un seul sujet par jour et par enquêteur. En outre, des répétitions chez le même sujet sont recommandées pour l'identification des personnes à risque. Cependant, l'enquête par pesée reste utilisée à cause de la meilleure précision qu'elle offre et la fiabilité des données recueillies. C'est la méthode qualifiée de "Gold Standard", permettant une meilleure estimation des ingérés issus de la consommation alimentaire individuelle (Pekkarinen, 1970 ; Thompson et Byers, 1994, Blaney et al., 2009). C'est une méthode classique utilisée par de nombreux chercheurs pour déterminer les apports en énergie et nutriments.

Tableau 1.6 : Indicateurs et seuils de risque pour la carence en vitamine A (Maire et Delpeuch, 2004)

Indicateurs de risque de carence en vitamine A	Groupes vulnérables	Seuils de consommation
• % d'individus et/ou de familles qui ont une faible consommation d'aliments riches en vitamine A	• Enfants de 1-6 ans et femmes de 15-45 ans	• < 50% des AJR en vitamine A (Apport en vitamine A issu de la consommation alimentaire inférieur à 50% des AJR)

	• Famille	• < 3 fois/semaine (Consommation d'aliments riches en vitamine A moins de 3 fois par semaine)
--	---	--

1.5.4. Distribution géographique de la carence en vitamine A

D'après les données d'enquêtes menées 1955 à 2005, environ 190 millions d'enfants d'âge préscolaire et 19,1 millions de femmes enceintes ont un taux de rétinol sérique faible ($< 0,70 \mu\text{mol/l}$), et 5,2 millions d'enfants d'âge préscolaire et 9,8 millions de femmes enceintes souffrent de cécité crépusculaire (OMS, 2009). La distribution de la CVA dans le monde, estimée par le pourcentage d'enfants d'âge préscolaire ayant un faible taux de rétinol sérique est présentée sur la figure 1.10.

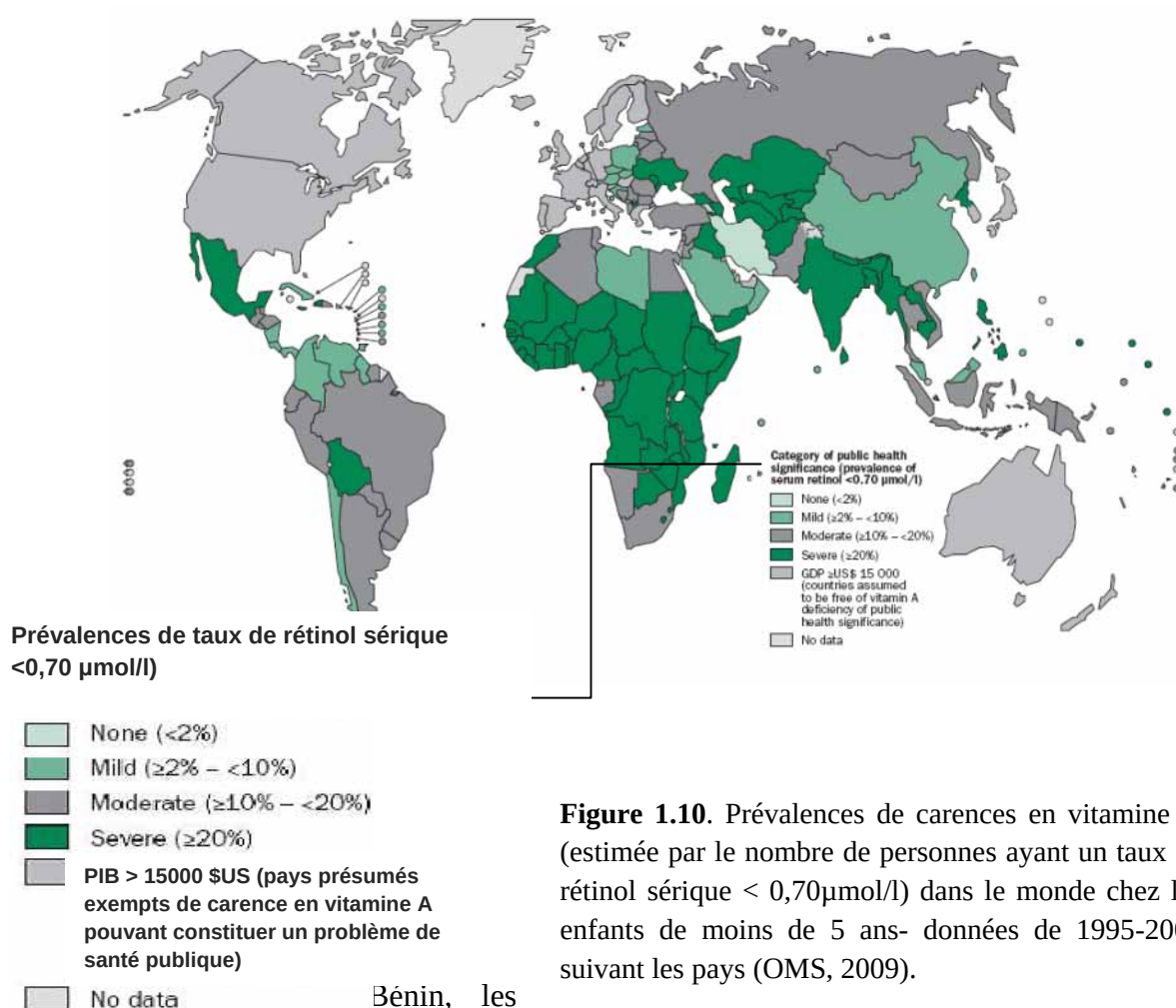


Figure 1.10. Prévalences de carences en vitamine A (estimée par le nombre de personnes ayant un taux de rétinol sérique $< 0,70 \mu\text{mol/l}$) dans le monde chez les enfants de moins de 5 ans- données de 1995-2005 suivant les pays (OMS, 2009).

données publiées par l'OMS (2009) sont des données anciennes et datent de 1999, mais elles restent celles issues de la dernière enquête nationale relative à la CVA. Selon cette enquête, environ 70,7% d'enfants d'âge préscolaire avaient un taux de rétinol sérique faible ($< 0,70 \mu\text{mol/l}$). Cette prévalence dépasse largement le seuil des 20% et la CVA est en conséquence considérée comme un problème de santé publique sévère (figure 1.10). Chez les femmes enceintes en revanche, la CVA était modérée avec une prévalence de 18,0%. Il importe de rappeler qu'il existe des disparités entre les prévalences de la CVA des enfants de moins de

cinq ans entre le nord et le sud du Bénin (cf. § 1.1. 2). Des données plus récentes sont indispensables pour mieux apprécier la situation actuelle.

1.6. Recommandations pour les besoins en vitamine A et toxicité

1.6.1. Besoins et apports recommandés en vitamine A

L'ensemble des apports recommandés pour les différentes classes d'âge et en fonction du sexe et de l'état physiologique est présenté dans le tableau 1.7. L'apport journalier recommandé ou apport de sécurité correspond à la moyenne des besoins individuels d'une population augmentée de deux écart-types, qui permet de couvrir les besoins d'une grande majorité de la population (> 96%). Cela est valable pour une alimentation diversifiée comportant à la fois du rétinol préformé et du β -carotène. Si l'alimentation est entièrement d'origine végétale, un apport plus important de β -carotène est recommandé pour compenser la faible conversion en VA (Latham 2001).

Tableau 1.7 : Besoins moyens et apports de sécurité en vitamine A, en fonction de l'âge (WHO/FAO, 2004)

Groupe	Besoins moyens ($\mu\text{g ER/j}$)	Apport de sécurité ($\mu\text{g ER/j}$) AJR*
Nourrissons et enfants		
0-6 mois	180	375
7-12 mois	190	400
1-3 ans	200	400
4-6 ans	200	450
7-9 ans	250	500
Adolescents		
10-18 ans	330-400	600
Adultes		
Femmes		
19-65 ans	270	500
+ de 65 ans	300	600
Hommes		
+ de 19 ans	300	600
Femmes enceintes	370	800
Femmes allaitantes	450	850

*Apports Journaliers Recommandés

1.6.2. Toxicité

La VA préformée (rétinol libre ou estérifié) est toxique si elle est consommée en excès (toxicité aiguë) ou de façon routinière sur une longue période (toxicité chronique). Les effets les plus remarquables sont l'épaississement de certains os longs, accompagné de céphalées, de vomissements, d'hépatomégalie, d'altérations cutanées et de chute des cheveux. Chez les

nouveau-nés et les nourrissons, on peut observer un gonflement de la fontanelle. Le plus petit supplément quotidien de vitamine A préformée pris pendant 6 ans rapporté associé à la cirrhose du foie est de 7 500 µg (Hathcock, 1997 ; Hathcock et *al.*, 1990). Les effets toxiques surviennent rarement à cause d'un apport alimentaire –les rares cas observés correspondent généralement à une consommation très fréquente de foies– mais constituent un risque en cas de supplémentation. Aucune toxicité liée à la consommation des caroténoïdes à activité pro-vitaminique A à partir de produits végétaux n'a été rapportée, à l'exception d'un jaunissement de la peau. Les symptômes de toxicité aiguë sont plutôt des effets tératogènes : une supplémentation administrée avant la conception ou pendant la grossesse peut induire des anomalies congénitales (Latham, 2001). Une revue attentive d'un Groupe d'Experts de l'OMS (1998) a recommandé d'éviter toute prise quotidienne dépassant 3 000 µg de Vitamine A préformée, ou prise hebdomadaire dépassant 7 500 µg pendant la période de gestation. De fortes doses de VA (60 000 µg) peuvent être données sans risque pendant l'allaitement des mères jusqu'à 2 mois après l'accouchement et jusqu'à 6 semaines pour les mères qui n'allaitent pas (FAO/WHO, 2004). La toxicité chronique se caractérise par une diminution de la densité osseuse pouvant induire une augmentation du risque de fracture de la hanche. Cette augmentation continue en fonction du niveau d'exposition et il est difficile de déterminer une dose en dessous de laquelle tout risque est exclu. Cependant, des ingérés totaux supérieurs à 1 500 µg ER/jour semblent inappropriés sur le long terme (Expert Group on Vitamins and Minerals, 2003). Chez les nourrissons (<12 mois) ou chez les enfants de 1 à 6 ans, des doses uniques respectivement de 15 000-30 000 ou de 60 000 µg ER administrées tous les 6 mois n'ont pas révélé d'effets défavorables. Enfin, il est recommandé de ne pas dépasser la dose chronique de 900 µg ER/jour chez les enfants avant 12 mois, alors qu'au-delà de cet âge, aucun effet délétère n'a été observé pour des doses journalières allant jusqu'à 7 500 µg ER sur des périodes de temps prolongées (FAO/WHO, 2004).

1.7. Stratégies possibles de lutte contre la carence en vitamine A

Étant données les prévalences élevées de carence en VA dans les PED et les conséquences qu'elles engendrent sur la santé des populations vulnérables, notamment les jeunes enfants et les femmes en âge de procréer, de nombreuses stratégies de lutte ont déjà été proposées et pour certaines, mises en œuvre. Différentes approches telles que la supplémentation, l'enrichissement, la biofortification, la diversification et la modification des procédés de préparation des aliments peuvent être utilisées. Mais le choix de l'approche doit dépendre des caractéristiques du contexte, des moyens (financiers, logistique), des ressources locales disponibles des populations et des considérations pratiques en vue d'une solution efficace et durable. L'existence ou non de prévalences élevées de carences en d'autres micronutriments, notamment en fer et en zinc devrait être, tant que faire se peut, prise en compte pour une approche intégrée qui améliorerait plus efficacement l'état nutritionnel du groupe cible.

Selon la FAO, les approches fondées sur l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation permettent de répondre durablement aux besoins nutritionnels propres à chaque groupe de population (Kennedy et *al.*, 2003). Par ailleurs, il est important de noter que de

nombreux facteurs (soins de santé, éducation, assainissement, approvisionnement en eau, conditions de logement) peuvent également influencer les résultats de telles stratégies. D'où l'intérêt d'une lutte intégrée des spécialistes des domaines impliqués afin d'obtenir un effet synergique. Ne perdons pas de vue que les stratégies les plus efficaces sont celles qui intègrent l'ensemble des problèmes de manière coordonnée.

1.7.1. Solution non alimentaire : la supplémentation

La supplémentation est d'abord une approche curative d'intervention pour contrôler la carence mais aussi pour la prévenir ; elle s'avère efficace lorsque les moyens existent. Elle repose sur la délivrance directe du micronutriment considéré par le biais d'injections, de sirop ou de comprimés. La supplémentation peut être quotidienne ou hebdomadaire (Olivares et *al.*, 1999) ou seulement périodique.

Depuis 1998 dans de très nombreux pays dont le Bénin, MI (Micronutrient Initiative, agence internationale luttant contre les carences en vitamines et minéraux dans le monde) appuie les gouvernements (notamment le ministère de la santé au Bénin) pour organiser la distribution deux fois par an, à des fins préventives, de suppléments de vitamine A parce que cette mesure bien établie constitue un des moyens les plus efficaces d'améliorer de façon importante la survie des enfants. MI, de même que l'UNICEF, l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Agence canadienne de développement international (ACDI), USAID, et plusieurs autres organisations, travaille de près avec les gouvernements nationaux pour appuyer ces programmes. En 2004, une couverture mondiale de presque 60 % avait été réalisée ainsi que la fourniture aux pays d'appuis techniques et de services d'acquisition de vitamine A par l'entremise de l'UNICEF. En 2006 seulement, grâce à une subvention de l'ACDI, les programmes de MI ont assuré la fourniture de suffisamment de vitamine A pour répondre aux besoins de 347 millions d'enfants vivant dans plus de 70 pays (MI, 2011). Les partenaires ont créé récemment l'Alliance Mondiale pour la Vitamine A.

La supplémentation est l'approche la plus appropriée pour des populations cibles à haut risque de carence ou dans des situations particulières telles que la grossesse, l'allaitement ou les pénuries ou crises alimentaires. Pour les jeunes enfants, la supplémentation est envisageable lorsque des aliments de complément enrichis ou naturellement riches en micronutriments comme la VA, le fer ne sont pas disponibles (Yip, 1997).

La supplémentation est coûteuse en termes de production et de distribution de la source de micronutriment (Yip, 1997). C'est pourquoi les programmes de supplémentation ne devraient être utilisés qu'en tant que mesure à court terme et devraient être ensuite remplacés par des mesures plus durables, basées sur l'alimentation, telles que la fortification ou la diversification (Kennedy et *al.*, 2003). La jonction de la distribution de capsule de VA avec la vaccination contre la poliomyélite notamment, a permis d'assurer à un coût relativement modeste la logistique de la distribution une fois par an avec une bonne couverture des populations ciblées, mais pour une stratégie efficace, deux distributions annuelles sont requises. L'évaluation postpartum au Ghana de la supplémentation en VA chez des mères après administration soit d'une dose unique de 200 000 UI (60 000 µg ER) de VA ou de 400 000 UI (120 000 µg ER) divisés en 2 doses, au cours des 6 semaines suivant l'accouchement, révèle une amélioration significative de leur statut en vitamine A par le test MRDR (*modified-relative-dose-response*). Le rétinol sérique ne change pas après le

traitement mais la réserve hépatique est significativement améliorée et cette amélioration se maintient pendant au moins 5 mois (Tchum et al, 2006).

Au Bénin, la couverture de la supplémentation en VA, insuffisante en 2001 s'est largement étendue à tous les enfants de 6-59 mois sur l'ensemble du territoire ces dernières années (2006) par des campagnes biannuelles spécifiques ou couplées avec les journées nationales de vaccination et ce deux fois par an. La couverture est de 61% chez les jeunes enfants et 41% chez les mères (FAO, 2011 ; INSAE et Macro Int. Inc., 2007). Enfin, la supplémentation est recommandée et son intérêt est reconnu, mais en pratique, la mise en œuvre ne répond pas encore aux besoins. Il est aussi largement reconnu que des approches alimentaires doivent faire partir de l'ensemble des moyens de lutte contre l'avitaminose A dans une perspective de pérennité (Delisle et al, 2003).

1.7.2. Approches alimentaires

Nous présenterons les stratégies d'intervention axées sur les approches de fortification, de bio-fortification et de diversification alimentaire.

Il est important de noter que les matrices alimentaires influant sur la biodisponibilité des micronutriments initialement présents dans le régime, influent également sur celle des micronutriments ajoutés, même si ceux-ci sont hautement bio-disponibles au départ (Hurrell, 2002).

1.7.2.1. Enrichissement ou fortification: définition, avantages potentiels et limites

L'enrichissement est défini comme l'addition à un aliment d'un ou plusieurs nutriments essentiels, normalement contenus ou non dans l'aliment, avec pour objectif de prévenir ou de corriger une carence en un ou plusieurs nutriments, au sein d'une population ou de groupes de population spécifiquement vulnérables (FAO/WHO, 1994). Les stratégies d'enrichissement utilisent des aliments vecteurs facilement accessibles et de grande consommation tels que l'eau, le sel, l'huile, le sucre, le lait, la farine comestible etc. Cependant, dans les PED des contraintes se posent car il est très difficile d'identifier de bons aliments vecteurs : pour une fortification aisée, l'aliment vecteur doit être produit de façon centralisée, si possible à l'échelle industrielle, alors que les populations à risque sont situées en milieu rural et n'ont que très peu accès aux produits manufacturés. Ils consomment des produits transformés artisanalement ou à domicile.

Un exemple d'enrichissement particulièrement réussi et à grande échelle est l'enrichissement du sel en iode. C'est d'ailleurs l'exemple le plus ancien d'enrichissement, qui a commencé en Suisse dès 1923, et s'est étendu depuis à la majorité des pays dans le monde. Dans cette optique, MI (Micronutrient Initiative), HKI et l'UNICEF développent depuis plusieurs années un programme de fortification en vitamine A des huiles et en fer, zinc et folates, des farines de céréales dans la sous-région de l'Afrique de l'Ouest.

Au Bénin, la fortification des aliments en micronutriments a démarré en 2009. Selon le rapport sur les interventions au Bénin (Houindoté, 2010), HKI a doté en juillet 2009 certaines industries Béninoises (Fludor, Société des Huileries du Bénin, Industrie Béninoise des Corps Gras, les grands moulins du Bénin) de premix de VA pour la fortification des huiles végétales (huile de coton, etc.) et de premix de fer, de zinc, d'acide folique, et autres vitamines du

groupe B pour la fortification de la farine de blé qu'ils produisent (Grands Moulins du Bénin). Il importe de rappeler que Fludor avait en fait démarré la fortification des huiles en VA de façon intermittente depuis 2002 pour mieux répondre aux exigences du marché Nigérian (90% de leurs ventes d'huile) malheureusement au détriment du marché béninois (10%).

On peut noter principalement 3 types de fortification des aliments reconnus à ce jour:

- ✓ **Fortification de masse:** il s'agit de fortifier les produits alimentaires comestibles consommés par tous, comme les céréales, les huiles, les matières grasses, le lait, le sucre et les condiments.
- ✓ **Fortification ciblée:** Ce processus est conçu pour répondre aux exigences d'un groupe spécifique de population. Les exemples incluent des aliments de complément pour les nourrissons, les enfants d'âge préscolaire ou scolaire et les aliments qui sont nécessaires dans des situations d'urgence.
- ✓ **Fortification axée sur le marché:** Ces fortifications sont faites par les fabricants dans l'industrie alimentaire pour augmenter la teneur en éléments nutritifs de certains produits alimentaires spécifiques pour attirer les consommateurs, et augmenter la vente de leurs produits.

Cependant l'efficacité des programmes de fortification dans les PED est encore entravée par un certain nombre de problèmes:

- Manque d'équipement au niveau national pour le contrôle des niveaux de fortification de l'huile
- Faible pouvoir d'achat de la population béninoise, trouvant ces huiles trop chères
- Approvisionnement insuffisant en matières premières. A titre d'exemple, sur une capacité d'utilisation de 100 000 t de matières premières sur commande, Fludor n'a reçu que 57 000t en 2008.
- Cherté des matières premières disponibles : Graines de coton 43 000 FCFA /t en 2008, 71 000 FCFA/t en 2009, etc.

Il importe de préciser que de nombreuses populations en milieu rural n'achètent pas de produits fabriqués industriellement, mais plutôt de manière artisanale, par exemple l'huile de palme ou d'arachide artisanale. Ces populations majoritairement pauvres, consomment très peu de farine de blé, plutôt réservée aux sites urbains. Une autre limite majeure de la stratégie de fortification est que les niveaux de fortification sont calculés en tenant compte des quantités importantes d'aliments consommés par les plus gros consommateurs du coup, l'apport en fortifiant chez les jeunes enfants qui consomment de petites quantités reste assez limité.

Certaines de ces difficultés rencontrées dans les PED pourraient être considérées comme temporaires et nécessiteraient d'associer à la fortification, des actions de valorisation de produits alimentaires locaux. Selon Berger (2003) le succès d'un programme d'enrichissement requiert une volonté politique affirmée et la collaboration du secteur privé, des scientifiques, des consommateurs, des agences internationales et des ONG. Une fois le véhicule alimentaire choisi, le choix de chaque micronutriment à ajouter dépend de sa

biodisponibilité dans l'aliment et de sa stabilité au cours du procédé de préparation et au cours du stockage. Pour fonctionner et être efficace à long terme, le procédé d'enrichissement doit être simple et l'aliment enrichi acceptable par le consommateur en terme de propriétés organoleptiques (goût, texture mais aussi odeur et couleur) et d'accessibilité (approvisionnement et prix). L'efficacité de la fortification d'aliments dans la lutte contre l'avitaminose A, l'anémie et pour améliorer la croissance des enfants a pu être prouvée dans certaines conditions. En effet, en Chine, la consommation journalière de biscuits fortifiés en vitamine A par des enfants d'âge préscolaire pendant 3 mois (100% apport quotidien recommandé) a eu le même effet positif sur la réduction de la CVA et de l'anémie et sur la croissance physique que celui de l'administration d'une dose orale hebdomadaire de 6 000 µg ER et celui d'une seule dose orale de 6 000 µg ER (Zhang *et al.*, 2010).

1.7.2.2. Bio-fortification : définition, avantages potentiels et limites

La bio-fortification consiste à améliorer les propriétés nutritionnelles de certaines variétés de plantes, au travers de la sélection variétale classique ou de modifications génétiques. Les techniques de marquages moléculaires ont rendu possible l'identification chez certains végétaux du matériel génétique contrôlant les teneurs en nutriments et anti-nutriments, de sorte qu'il est aujourd'hui possible d'effectuer des sélections variétales en fonction de ces critères (Kennedy *et al.*, 2003). Cependant, il est nécessaire avant d'investir dans de telles recherches, de se poser la question de la réalité agronomique et économique de ces possibilités (Welch, 2002).

La bio-fortification en caroténoïdes provitamines A semble la plus aisée et a été faite sur plusieurs produits agricoles (i.e. riz doré, maïs orange, patate douce à chair orange, manioc orange). Au Nigéria par exemple la bio-fortification en VA a été testée sur le manioc, un tubercule initialement très pauvre en provitamines A. Dans un premier temps, les résultats ont fourni des éléments clés pour d'une bonne sélection génétique pour améliorer la teneur en VA de l'aliment (Thakkar *et al.*, 2007). Une autre étude effectuée au Nigéria par le même auteur révèle en effet que la teneur en β -carotène du manioc bio-fortifié varie entre 600 et 800 µg/100 g matière brute et une forte corrélation entre la bioaccessibilité, la rétention et la teneur en β -carotène de plusieurs variétés bio-fortifiées de manioc a été constatée (Thakkar *et al.*, 2009). Dans le cadre du projet INSTAPA et en collaboration avec le projet HarvestPlus, une étude d'efficacité biologique de la consommation du manioc bio-fortifié est en cours au Kenya.

En effet, HarvestPlus est un programme de recherche de grande envergure coordonné par le CIAT et l'IFPRI, centré sur la mise au point de variétés bio-fortifiées, i.e. enrichies en micronutriments. Le programme cible prioritairement les cultures de subsistance dont se nourrissent les populations pauvres. Par cette approche nouvelle, HarvestPlus a pour objectif de contribuer à réduire les carences en micronutriments. Il se concentre sur trois micronutriments d'importance cruciale, et reconnus par l'Organisation mondiale de la santé comme étant les plus limitants dans les régimes alimentaires des populations pauvres : la vitamine A, le fer et le zinc. HarvestPlus prévoit que d'ici 15 ans, jusqu'à 500 millions de personnes souffrant de carences en micronutriments consommeront des cultures vivrières riches en micronutriments.

Certaines interventions utilisant cette approche de bio-fortification (maïs riche en protéines, manioc et patate douce riches en carotène, riz riche en fer, riz doré riche en vitamine A) semblent avoir montré une certaine efficacité (IFPRI, 2002). Cette stratégie peut être appropriée pour les populations dont au moins 50% des apports énergétiques sont fournis par une seule culture. Cependant, il faut au préalable s'assurer que les cultures modifiées ne présentent pas d'inconvénient agronomique et qu'elles permettent réellement une amélioration de l'état nutritionnel des consommateurs (Gibson et Hotz, 2001).

1.7.2.3. Diversification : définition, avantages potentiels et limites

La consommation des aliments traditionnels à base de céréales ou de racines et tubercules dans les pays du Sud permet généralement de couvrir les besoins énergétiques des adultes mais ne permet pas de couvrir ceux des jeunes enfants, ni les besoins quantitatifs et qualitatifs en protéines, lipides et micronutriments de l'ensemble de la population. Ces besoins peuvent, en principe, être satisfaits par une diversification du régime alimentaire (Guyot et al, 2010). En effet, les stratégies basées sur la diversification alimentaire visent à augmenter la disponibilité, l'accessibilité, la consommation et la bio-efficacité des aliments sources de micronutriments. Elles sont particulièrement appropriées pour le contrôle de la CVA, en raison de l'existence d'un grand nombre d'aliments riches en vitamine A et provitamines A et pour faire reculer les carences en fer (Delisle et al, 2003), et semble engendrer un meilleur état nutritionnel général. En effet, Ruel et Arimond (2003) ont analysé l'importance de la diversité du régime alimentaire sur la croissance des enfants de 6 à 23 mois à partir des résultats de onze enquêtes démographiques et de santé effectuées dans différents pays (Afrique, Asie, Amérique latine) et ont montré un lien évident entre une importante diversification alimentaire et un meilleur état nutritionnel des enfants dans la majorité des populations. Malheureusement, dans de nombreuses situations les possibilités pour les individus d'accéder à une alimentation variée sont limitées. L'absence ou la rareté de produits animaux comme le foie d'animaux, les œufs, le beurre, et autres produits riches en VA caractérise le régime alimentaire des populations pauvres des PED.

L'addition adéquate de légumes-feuilles verts, de fruits oranges ou jaunes ou d'huile de palme rouge dans ces régimes alimentaires peut permettre d'augmenter significativement les apports en VA tout en augmentant légèrement les apports en fer et zinc.

Au Kenya, les études de Muoki (2009) ont révélé que consommées en des quantités acceptables pour les enfants et les femmes, les mangues fraîches ou séchées sont capables de fournir 50% et plus, des recommandations journalières en VA pour les enfants et pour les femmes. Wasanwisut et al. (2000) ont montré qu'une supplémentation quotidienne de feuilles vertes, de fruits et légumes verts et orangés, ainsi que de matières grasses augmentaient tant le rétinol sérique que la teneur en rétinol du lait des femmes allaitantes, au nord-est de la Thaïlande. En Chine, des essais contrôlés chez des enfants de classes de maternelle (5 et 6 ans) ont également montré l'aptitude des feuilles vertes à augmenter le rétinol sérique et à maintenir les réserves hépatiques en VA, d'après l'évaluation par une méthode isotopique (Tang et al., 2000). En Tanzanie, la consommation d'huile de palme rouge à travers son utilisation dans les préparations domestiques, au troisième trimestre de la grossesse chez des femmes enceintes a permis d'augmenter à la fois les concentrations du lait maternel et du sérum en α et β -carotènes et de maintenir les concentrations en rétinol du lait maternel

lorsqu'on ajoute cette huile vers la fin au cours des préparations domestiques et en évitant sa friture (Lietz et al., 2001 ; Solomons et Orozco, 2003).

Les parasites intestinaux influencent l'absorption et l'efficacité des provitamines A apportés par l'alimentation à améliorer le statut en vitamine A. Ceci a été mis en évidence chez des enfants d'âge préscolaire à Sumatra (Jalal et al., 1998): les provitamines A apportées par de la patate douce à chair orange et additionnées de matières grasses a augmenté significativement la rétinolémie, mais le déparasitage augmentait encore plus l'impact chez les enfants fortement infestés d'ascaris.

L'amélioration des procédés technologiques constitue aussi une voie pour améliorer la carence en vitamine A. En effet, les opérations unitaires qui ont plus d'effet sur les teneurs en caroténoïdes sont les traitements thermiques à températures très élevées, bien au-delà des 100°C. Ainsi, comme l'avaient montré les études de Lietz et al (2001), l'ajout de l'huile de l'huile de palme rouge vers la fin des préparations de recette afin d'éviter les opérations de friture à haute température, permet d'augmenter de manière plus stable la concentration en rétinol du lait maternel (Lietz et al., 2001).

La bioaccessibilité des caroténoïdes provitaminiques A de préparation de différents légumes-feuilles a été évaluée par digestion *in vitro*. Les légumes-feuilles verts cuits suivant la méthode modifiée caractérisée par le rajout d'huile vers la fin de la préparation ont une teneur en β -carotène bioaccessible (all-trans) 2 à 3 fois plus élevée que celle des légumes-feuilles préparés sans huile. En effet, les valeurs de bioaccessibilité des caroténoïdes des mêmes légumes-feuilles préparés traditionnellement sans huile ou par la méthode modifiée varient respectivement de 5 à 12% et 4 à 15%. La consommation d'une portion médiane (84g) de la recette améliorée contribuerait de 88 à 477 % aux apports journaliers recommandés en VA (400 μ g ER, FAO/WHO 2004) alors que la portion préparée sans huile contribue de 23-46% (Mulokozi et al., 2004).

Malgré les caractéristiques parfois favorables des matières premières, pour les produits riches en caroténoïdes ou en VA, les procédés technologiques sont les facteurs déterminants de la qualité nutritionnelle des aliments et ne doivent pas être négligés, même si d'autres stratégies (enrichissement, diversification) sont aussi nécessaires et intéressantes pour réussir à couvrir les apports journaliers recommandés des groupes cibles vulnérables.

1.8. Potentialités de quelques ressources traditionnelles végétales dans la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays en développement

Il existe dans les PED beaucoup de ressources endogènes riches en caroténoïdes à découvrir ou à valoriser dans le processus de lutte contre la carence en vitamine A. Il s'avère important de faire des investigations des recettes traditionnelles dans ces pays et de mesurer leur valeur nutritionnelle au laboratoire pour découvrir ou affiner le potentiel de ces recettes à contribuer significativement à la lutte contre les CVA. Dans ce chapitre seront abordés successivement les potentialités de l'huile de palme rouge et autres produits à base de noix de palme, puis celles des légumes-feuilles spécifiquement.

1.8.1. Importance de l'huile de palme rouge dans la lutte contre la carence en vitamine A dans les pays en développement

Le palmier à huile est une plante pouvant atteindre 15 à 20 mètres qui pousse de façon naturelle dans les régions tropicales de l'Afrique de l'Ouest. Dans les palmeraies de culture, pour des raisons pratiques, il ne dépasse pas 4 mètres. Exploité dans les pays côtiers africains depuis plusieurs siècles, le palmier à huile a été apporté au Brésil, et vers les années 90 a été introduit en Inde (Arumugam *et al.*, 1989.). Il est cultivé à grande échelle aujourd'hui en Asie à des fins commerciales (Rice & Burns, 2010). Les principaux producteurs sont : Togo, Côte d'Ivoire, Bénin, Nigéria et Congo pour l'Afrique, Malaisie et Indonésie pour l'Asie (Vigean, 2011).

1.8.1.1. La noix de palme et ses utilisations

Les noix de palme sont les drupes charnues de couleur rouge-orange (Photo 1.8.1.a) qui composent le régime de fruits du palmier à huile (*Elaeis guineensis*). La pulpe de ces noix contient 45 à 55% d'huile (Edem DO, 2002).

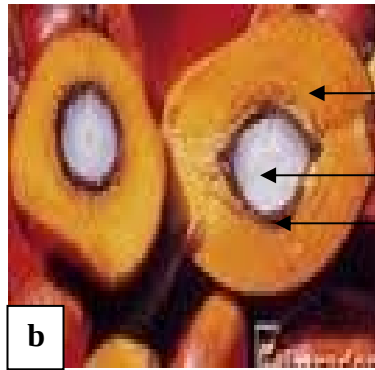
Après récolte, les noix sont séparées du régime. Les noix sont bouillies et la pulpe et le noyau (coque + amande) (photo 1.8.1.b) sont séparés par pilage et malaxage pour obtenir le jus de noix de palme (Photo 1.8.2) encore hydrique, et l'extraction par pression à chaud du fruit permet d'obtenir l'huile de palme brute (non raffinée ni traitée) ie l'huile de palme traditionnelle, encore appelée huile de palme rouge en raison de sa couleur rouge-orangé très intense (Photo 1.8.3). Ces produits sont très riches en β -carotène.

➤ Huile de palmiste

Les noyaux, après séchage, sont concassés et les amandes sont envoyées vers des usines en Europe où elles sont traitées pour donner une huile plus fluide que l'huile de palme rouge et qui est de couleur blanche, l'huile de palmiste. Pour son utilisation alimentaire (margarines, biscuiteries), elle est raffinée. Elle s'utilise aussi dans l'industrie chimique pour la fabrication de savons et poudres à laver. Les coques des noix de palme sont souvent utilisées pour attiser le feu à la cuisine. En Malaisie, elles sont utilisées comme biomasse, source d'énergie renouvelable par leur transformation en huile-bio par pyrolyse (Abnisa *et al.*, 2011)



a



b

Photos 1.8.1. Le régime et la noix de palme. (a) Le régime de noix de palme est directement relié à l'arbre, le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). Ce régime contient une centaine de noix ou graines. Lorsque le régime est débarrassé de ses graines, il est utilisé traditionnellement en milieu rural pour attiser le feu à la cuisine. (b) Coupe transversale de la graine de palme.

➤ Huile de palme

L'huile de palme rouge brute, extraite par pression à chaud de la pulpe (mésocarpe) des fruits du palmier à huile, est considérée comme une des sources les plus riches en provitamines A au monde (Choo, 1994.); (Rukmini, 1994). L'huile de palme est très utilisée sous la forme brute, non traitée, dans la cuisine africaine, brésilienne et asiatique. L'huile de palme est aussi l'huile végétale la plus consommée au monde (25%) : 42 millions de tonnes d'huile de palme sur 12 mois en 2008-2009 selon l'USDA (United States Department of Agriculture). Elle est désormais surtout utilisée par l'industrie : 80% dans l'agroalimentaire, 19% pour les cosmétiques et 1 % pour les biocarburants (Battaglia 2010).



Photo 1.8.2 Extraction du jus de noix de palme



Photo 1.8.3 Production traditionnelle de l'huile de palme rouge (photos Claire Mouquet-Rivier)

1.8.1.2. Traitements technologiques traditionnels de l'huile de palme rouge

L'huile de palme rouge (HPR) est utilisée au cours de nombreuses opérations culinaires surtout dans les zones où elle est traditionnellement produite. Dans certains pays d'Afrique notamment au Nigéria, au Cameroun, en Côte d'Ivoire, au Togo et au Bénin où l'HPR est largement consommée, pour des questions de goût et parfois par ignorance, l'huile est parfois « blanchie » par un chauffage intense lors de son utilisation, ce qui a pour conséquence de détruire une partie importante des caroténoïdes précurseurs de la VA (Delisle *et al.*, 2003).

En effet, des efforts continuent à être faits pour améliorer les technologies traditionnelles afin de réduire au maximum des pertes de caroténoïdes provitaminiques A pendant le traitement de l'HPR et pour augmenter son incorporation dans différentes recettes (Nestel & Nalubola, 2003). Dans quatre recettes indiennes (Cake, Maruku, Suji halwa, Upma) qui ont été cuites au four, légèrement frites ou profondément frites à l'huile de palme rouge, la rétention des β -carotènes de l'huile de palme rouge brute incorporée a été estimée à 70-88% (Manorama et Rukmini, 1991a).

Du point de vue organoleptique, au Cameroun, les frites préparées dans l'huile de palme rouge ou ses dérivés semblent plus appréciées, au contraire des frites préparées dans l'huile brute d'*Irvingia. Gabonensis* (mangue sauvage). Cette dernière, en raison de sa teneur élevée en insaponifiables, semble présenter une meilleure aptitude cosmétique (Ndjouenkeu et Ngassoum, 2002). L'HPR n'est pas approprié pour l'usage en tant qu'huile de friture pour plus d'une friture (Nestel et Nalubola, 2003). Après quatre fritures profondes consécutives, tous les β -carotènes de l'huile sont perdus. Dans un premier temps, l'incorporation des β -carotènes

dans la matrice alimentaire a semblé prévaloir sur la destruction par le chauffage (Rodriguez-Amaya, 1997).

1.8.1.3. Caractéristiques nutritionnelles de l'huile de palme rouge

L'HPR non raffinée occupe une place à part parmi les sources végétales de VA, en raison de l'absence de matrice végétale, d'un milieu lipidique favorable à l'absorption et de la forte concentration du produit en caroténoïdes (Delisle *et al.*, 2003). Sa couleur très caractéristique est due à l'abondance de ses caroténoïdes (Cottrell, 1991). 90 % de l'huile de palme produite dans le monde est utilisée à des fins d'alimentation (Idris et Samsuddin, 1993). Dans les pratiques culinaires, elle est utilisée pour faire des fritures, les ragoûts et pour les préparations des potages (Isong, 1988 ; Okiy et Oke, 1984). Selon Manorama et Rukmini (1991b), l'HPR n'a aucun effet adverse sur la croissance, le ratio d'efficacité des protéines, l'utilisation nette des protéines, la digestibilité, l'absorption de graisse, l'équilibre en azote et la rétention du phosphore et du calcium.

1.8.1.4. Importance potentielle de l'huile de palme de rouge dans la lutte contre la carence en vitamine A

L'HPR est la plus riche source naturelle de β -carotène, un caroténoïde que l'organisme humain peut transformer en rétinol (Rice et Burns, 2010). Elle est l'une des meilleures sources de caroténoïdes provitamine A très biodisponible à cause de son milieu gras et cause de l'absence de matrice végétale (Choo, 1993; You *et al.*, 2002). De nombreuses études ont conclues à une forte efficacité de l'HPR dans l'amélioration du statut vitaminique A des populations à risque de déficience en de vitamine (Rice et Burns, 2010). En effet, dans le cadre d'un projet pilote de promotion de l'HPR non-raffinée au Burkina Faso, sous l'égide de plusieurs chercheurs notamment de l'Institut de Recherche pour le développement, de l'Université de Montréal et de l'Institut de Recherche en Science de la Santé de Ouagadougou, il a été étudié de 1999 à 2001 l'efficacité de l'HPR sur le statut en VA des mères et d'enfants de moins de cinq ans dans le Centre-Est du pays, région où elle n'est pas consommée habituellement. Aussi, l'impact positif de la supplémentation de cette huile sur le rétinol sérique des sujets a été relevé. On enregistre en effet un accroissement de 41 à 120 % des apports de sécurité chez les mères et de 36 à 97 % chez les enfants. Parallèlement, la proportion de mères et d'enfants présentant au début de l'étude, un taux de rétinol sérique inférieur au seuil recommandé ($0,70 \mu\text{mol/l}$), donc fortement carencés, a décru, passant ainsi de 62 à 30 % pour les femmes, et de 84,5 à 67 % pour les enfants: il y a eu une réduction importante et significative de la carence, puisque le taux de faible rétinolémie est passé de 85 à 67 % chez les enfants et de 62 à 28 % chez les mères (Zagré *et al.*, 2003).

De nombreuses études menées au Burkina Faso, en Inde, au Honduras, en Tanzanie et en Afrique du Sud ont montré des effets positifs de la consommation de l'HPR sous différentes formes sur l'amélioration du statut en vitamine A chez les enfants et les femmes (Delisle *et al.*, 2003 ; Zéba *et al.* 2006 ; Mahapatra et Manorama, 1997 ; Canfield et Kaminsky, 2000, Lietz *et al.*, 2000 ; van Stuijvenberg et Benadé, 2000).

Enfin, on peut dire sans risque de se tromper qu'il existe des preuves scientifiques suffisantes montrant clairement l'efficacité de l'utilisation de l'huile de palme rouge comme une source alimentaire de provitamine A et sa capacité d'amélioration du statut en VA. Les

interventions gagneraient donc à explorer l'utilisation de cette source végétale de provitamine A.

1.8.1.5. Interrelation entre santé et consommation de l'huile de palme rouge

Les effets bénéfiques de l'huile de palme rouge sur la santé sont nombreux et incluent la réduction du risque de thrombose et d'athérosclérose artérielle, l'inhibition de la biosynthèse endogène de cholestérol, l'agrégation de plaquette, et la réduction de la tension artérielle. En plus de son effet de réduction des risques de maladies cardiovasculaires, l'HPR, grâce à la vertu des β -carotènes qu'elle contient, protégerait contre les maladies liées à la déficience en VA et certains cancers (Edem, 2002).

L'huile de palme rouge est non seulement une source de VA mais aussi d'antioxydants, en particulier la vitamine E, qui a un effet réducteur sur le taux de cholestérol (Qureshi *et al.*, 1991). Les caroténoïdes antioxydants pourraient aussi jouer un rôle protecteur important contre les maladies chroniques comme la dégénérescence maculaire (Brown *et al.*, 1999) et le cancer (Chasan-Taber *et al.*, 1999). Cependant comparée à l'huile de palme raffinée, l'huile de palme rouge a moins d'effets nuisibles sur le profil des lipides (Scholtz *et al.*, 2004).

L'HPR et l'huile de palme raffinée ont une bonne stabilité oxydative due à la présence de leurs antioxydants naturels (tocophérol et tocotrienol) et l'absence d'acide linoléique (Edem, 2002). En outre il convient de souligner que les caroténoïdes même quand ils ne présentent pas d'activité pro-vitaminique A (comme la lutéine, le lycopène) présente d'autres propriétés bénéfiques pour la santé. Il a été prouvé que la consommation d'aliments riches en antioxydants est associée à une réduction de l'incidence de plusieurs maladies spécialement les cancers (Riboli & Norat, 2003). L'huile de palme contient à la fois les acides gras saturés et insaturés en quantité presque égale, qui ont des effets contraires sur le système cardiovasculaire (Edem, 2002) et l'HPR a été ciblée principalement pour les campagnes : évitez les graisses saturées, car les graisses saturées élèvent le niveau de cholestérol (Cottrell, 1991). En 1996, les études expérimentales de Osim *et al.*, (1996), relatives à l'effet de l'HPR sur la pression artérielle moyenne avaient donné la preuve qu'un régime alimentaire contenant 15% de HPR pendant 18 semaines ne provoquait d'augmentation de la tension artérielle. Selon Owu *et al.*, (1997), l'HPR a un effet protecteur sur les vaisseaux endothélium sanguins.

La consommation alimentaire de l'huile de palme rouge protège le cœur contre des dommages ischémiques (Wergeland *et al.*, 2011). Une étude comparative entre l'huile de palme rouge et l'huile de tournesol connue pour ne pas contenir de caroténoïdes, a révélé que l'HPR était plus efficace que l'huile de tournesol pour réduire de la taille de l'infarctus du myocarde après des dommages d'ischémie (Bester *et al.*, 2010).

De nombreuses autres études épidémiologiques ont aussi montré que les régimes alimentaires riches en caroténoïdes s'accompagnent d'une diminution du risque de certaines maladies chroniques comme le cancer (van Poppel & Goldbohm, 1995), les maladies cardiovasculaires (Gaziano & Hennekens, 1993), la dégénérescence maculaire liée à l'âge (Seddon *et al.*, 1994) ; et les cataractes (Jacques *et al.*, 1988; Hankinson *et al.*, 1992). D'après les travaux de Tang (2010) le β -carotène et les autres caroténoïdes favorisent une bonne santé chez l'homme lorsqu'ils sont consommés à des doses physiologiquement acceptables dans les aliments mais en revanche, ils présentent des effets nuisibles en cas d'une forte dose

consommée et dans des conditions élevées d'oxydation. Cela avait été révélé par Edem, (2002) lorsqu'il rapportait qu'un apport alimentaire trop élevé en HPR (environ 30% du régime alimentaire) peut induire une toxicité au niveau du foie et aussi un facteur de risque pour les maladies cardiovasculaires en réduisant significativement la concentration du cholestérol-HDL et en augmentant la concentration en cholestérol-LDL. Cependant, la consommation d'une quantité modérée de HPR et la réduction du niveau d'oxydation pourraient prévenir les risques liés à sa consommation. Un apport d'HPR dans un régime alimentaire normal, réduit le niveau de cholestérol du plasma sanguin et est, ainsi, sans risque pour le consommateur.

1.8.2. Les légumes-feuilles dans l'alimentation au Bénin et en Afrique subsaharienne

Un légume-feuille (LF) est un légume dont la partie principalement consommée correspond à la feuille de la plante. Les légume-feuilles font partie du groupe plus général des « légumes ». Le terme « légume » n'a pas une définition scientifique claire et correspond plutôt à un terme culinaire largement utilisé aujourd'hui pour désigner toutes les parties de la plante utilisées comme des « accompagnements » d'un « aliment de base » dans un plat. Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « légume ». Grubben et Denton (2004) désignent les légumes comme des « parties succulentes des plantes consommées en accompagnement d'un plat céréalier » toutefois, ils ont reconnu les limitations d'une telle définition qui pourrait chevaucher avec d'autres groupes de denrée.

Une définition plus simple a été proposée par Achigan-Dako et al. (2009) : un légume est « toute partie de plante consommée à l'état frais ou après de légers traitements pour non seulement faciliter la consommation des principaux aliments mais également pour leurs micronutriments » (Achigan-Dako *et al.*, 2009). Pour ce qui est du terme *légumes-feuilles*, il désigne les feuilles des plantes (herbe, liane, arbuste, arbre) utilisées dans la préparation d'aliments (Westphal *et al.*, 1985 ; Chweya *et al.*, 1999; CTA, 2004).

1.8.2.1. Importance et formes d'utilisation des légumes-feuilles traditionnels en Afrique subsaharienne et au Bénin

- Importance

L'importance des LF dans la consommation des populations en Afrique est aujourd'hui établie, comme en témoigne la grande diversité des feuilles consommées à travers le continent.

Dansi *et al.* (2008) distinguent deux groupes : les LF modernes du type européen comme le chou (*Brassica oleracea*) et la laitue (*Lactuca sativa*) et les LF traditionnels ou indigènes comme l'amarante (*Amaranthus cruentus*) et le moringa (*Moringa oleifera*).

Selon Muandu *et al.* (2009), l'adjectif « traditionnel » fait référence à une ressource qui a été utilisée pendant une période de temps suffisante pour être considérée comme faisant partie intégrante des habitudes alimentaires locales, des systèmes de savoirs et des coutumes des communautés. Les LF traditionnels sont donc des plantes à feuilles qui ont été intégrées dans la culture d'une communauté et utilisées comme des aliments pendant une longue période de temps (Orech *et al.* 2005). Ces espèces végétales sont soit originaires d'Afrique, soit

naturalisées dans différents pays africains et utilisées dans l'alimentation (Ogoye, 2003 ; CTA, 2004). Signalons aussi qu'il existe des LF sauvages, produits de cueillette dont la récolte est forcément plus aléatoire par rapport aux LF cultivés.

Le tableau 1.8 présente les LF les plus consommés dans les PED. Dans cette région, les feuilles d'Amarante (*Amaranthus cruentus*) de manioc (*Manihot esculenta*), de taro (*Colocasia esculenta*), et d'autres arbres comme le baobab (*Adansonia digitata*) représentent un appoint alimentaire non négligeable en micronutriments. En Afrique Subsaharienne, un millier d'espèces végétales peuvent être consommées comme LF parmi lesquelles de nombreuses espèces traditionnelles (Maundu et al., 1999).

Tableau 1.8: Légumes-feuilles les plus cultivés ou récoltés et consommés sur différents continents.

Légumes-feuilles		Afrique	Asie	Océanie
Amarantes (plusieurs espèces)	<i>Amaranthus spp.</i>	XX	XX	X
Baobab	<i>Adansonia digitata L.</i>	X	0	0
Céleri	<i>Apium graveolens L.</i>	X	XX	Y
Pakchoy/petsaï/choysum	<i>Brassica rapa/campestris L.</i>	Y	XX	XX
Chou kanak	<i>Hibiscus manihot L.</i>	0	0	X
Chou pommé	<i>Brassica oleracea L. var capitata</i>	X	X	X
Chrysanthème	<i>Chrysanthemum coronarium L.</i>	0	X	0
Cive	<i>Allium fistulosum L.</i>	Y	X	X
Corète potagère	<i>Corchorus olitorius L.</i>	X	X	Y
Cresson	<i>Nasturtium officinale L.</i>	X	X	Y
Echalote	<i>Allium cepa var Aggregatum</i>	Y	XX	X
Epinard/Baselle	<i>Basella alba/rubra L.</i>	X	X	XX
Gombo	<i>Abelmoschus esculentus L.</i>	XX	X	Y
Liseron d'eau	<i>Ipomea aquatica L.</i>	X	XX	XX
Morelle	<i>Solanum americanum L.</i>	XX	Y	X
Moringa/Mouroungue	<i>Moringa oleifera L.</i>	X	Y	0
Moutarde	<i>Brassica juncea L.</i>	Y	X	Y

Source : Kahane *et al.*, 2005.

XX : usage généralisé au continent ; X : usage fréquent dans de nombreux pays ;

Y : usage peu répandu dans le continent et 0 : absence

Les enquêtes ethnobotaniques ont révélé l'existence, au Bénin, d'un grand nombre de plantes utilisées comme LF : 187 espèces de plantes appartenant à 52 familles et 141 genres différents ont été inventoriées (Adjatin 2006, Faladé 2007, Dansi *et al.*, 2008). Les LF les plus consommés au Bénin (amarante (Photo 1.8.4), *Vernonia*, niébé, etc.) sont présentés dans le tableau 1.9

Tableau 1.9 : Noms de quelques LF consommés au Bénin.

Nom commun	Nom scientifique	Famille botanique	Noms en langues vernaculaires
Amarante	<i>Amaranthus cruentus</i>	Amaranthaceae	Bariba : <i>Affônou</i> Fon : <i>Fotètè</i> Yorouba : <i>Tètè-foufou</i>
Baobab	<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	Bariba : <i>Sônân</i> ou <i>Sônânworossou</i> Idasha/Tchabè : <i>Otché</i> Fon : <i>Kpassa</i>
Célosie	<i>Celosia argentea</i>	Amaranthaceae	Bariba : <i>Affônou</i> Tchabè : <i>Odjogodo</i> ou <i>tchokoyokoto</i> Fon : <i>Soman</i>
Crincrin	<i>Corchorus olitorius</i>	Tiliceae	Bariba : <i>Yôyôkoun</i> Idasha : <i>Ayôyô</i> , <i>Yôyô</i> Fon : <i>Nainnouwi</i>
Manioc	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	Bariba : <i>Kpakiwouloussou</i> Yorouba : <i>Kpaki</i> Fon : <i>Faingnignainman</i>
Morelle	<i>Solanum macrocarpon</i>	Solanaceae	Bariba : <i>Sanbinou</i> Yorouba : <i>Kpatakpakô</i> Fon : <i>Gboma</i>
Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	Moringaceae	Bariba : <i>Yorouyara</i> Idatcha/Tchabè : <i>Lagalanga</i> Fon : <i>Kpatiman</i>
Niébé	<i>Vigna unguiculata</i>	Leguminosae-Papilionoideae	Bariba : <i>Suiwouloussou</i> Tchabè : <i>Oson</i> Fon : <i>Ayiman</i>
Ocimum	<i>Ocimum gratissimum</i>	Lamiaceae	Bariba : <i>Wounonwounon</i> Yorouba : <i>Alounmamba</i> Fon : <i>Tchiayo</i>
Vernonie/Ndole	<i>Vernonia amygdalina</i>	Asteraceae	Bariba : <i>Touwan</i> Yorouba : <i>Anôkôrô</i> , <i>Aloukôlô</i> Fon : <i>Amanvivè</i>
Prune noire	<i>Vitex doniana</i>	Verbenaceae	Ditamari : <i>Timantounn'ti</i> Yorouba : <i>Ikoua</i> , <i>Okoun</i> Fon : <i>Fonman</i>

Source : réalisé à partir de Dansi *et al.*, 2008.



Photo.1.8.4 Feuilles d'amarante (*Amaranthus cruentus*)

Dans leur grande majorité, les LF sont présents sur les marchés toute l'année (photo 1.8.5), même pendant les périodes de soudure. Ils jouent donc un rôle économique dans la stratégie de sécurité alimentaire des populations aussi bien des zones urbaines que rurales, contribuent à l'équilibre nutritionnel et procurent par leur vente de petits revenus (Torreilles, 1991 ; Gockowski, 2003 ; Moustier *et al.*, 2005).



Photo 1.8.5 : Etal de légumes-feuilles sur un marché de Ouagadougou

- **Formes d'utilisation**

- Utilisations alimentaires

Il existe une grande variabilité dans les modes et formes de préparation des LF traditionnels. Les sauces constituent les principales formes de consommation. Cependant, pour les « LF moderne » il y a aussi la consommation sous forme crue assaisonnée, c'est le cas de la laitue.

Au Bénin, les modes de préparation des LF varient selon les espèces et les ethnies. Mais, d'une manière générale, quatre principaux modes de préparation ont été décrits (Adjatin, 2006). Il s'agit de :

- ✓ Quelques jeunes feuilles parées suite à l'enlèvement de toutes les parties non consommées sur les LF notamment le pétiole, la tige les tigelles etc. (Photo 1.8.6), sont écrasées, pilées ou découpées en petites tranches et saupoudrées dans une sauce à base d'huile à base de tomate et autres ingrédients. Les légumes préparés de cette manière sont seulement utilisés pour donner un certain goût, un arôme particulier ou une légère viscosité à la sauce.
- ✓ De jeunes feuilles (en quantité suffisante) débarrassées des pétioles sont découpées en petites tranches et précuites dans l'eau additionnée optionnellement d'un peu de « potasse traditionnelle » (filtrat de cendres au pH très alcalin). Une fois cuites, les feuilles sont pressées entre les paumes de la main pour éliminer l'eau de cuisson qui est fade, amère ou acide. Les feuilles cuites sont ensuite introduites dans une sauce à base d'huile et divers ingrédients. Les boules de feuilles cuites sont parfois commercialisées telles quelles sur les marchés (photo1.8.7)
- ✓ Une poudre issue de feuilles séchées et broyées est ajoutée à une eau bouillante et assaisonnée pour obtenir une sauce.



Photo 1.8.6. Parage et découpe de feuilles d'amarante



Photo 1.8.7. Les boules de feuilles cuites

1.8.2.2. Intérêt nutritionnel des légumes-feuilles

La consommation des légumes permet de donner un meilleur goût aux plats (Grubben, 1977) mais ils sont aussi d'excellente source de micronutriments et d'antioxydants.

➤ Légumes-feuilles : aliments riches en micronutriments

Les légumes jouent un rôle important dans les régimes alimentaires de millions d'Africains dans les zones rurales et urbaines ; ces légumes et notamment les LF, en raison de leur forte consommation, jouent un rôle important d'apports en micronutriments dans les régimes alimentaires essentiellement à base de produits végétaux comme ceux de nombreuses populations des PED (Rubaihayo, 2002 ; Batawila *et al.*, 2005). Ils contiennent de nombreux composés caroténoïdes avec ou sans activité provitamine A, diverses vitamines B (acide folique, thiamine, riboflavine, niacine), de la vitamine C, des minéraux et des protéines (Stevels, 1990; Patrick, 2005). Pour la vitamine C, on estime qu'environ 100 grammes de plusieurs LF consommés par jour permettrait de couvrir largement les besoins en vitamine C des personnes de tous les groupes d'âges même en tenant compte d'une perte de 50% due à l'oxydation ou aux traitements thermiques pendant la préparation (Stevels, 1990).

Les légumes-feuilles sont souvent plus riches en minéraux que les autres légumes. Baily (2003) montre que les légumes traditionnels (ou indigènes, par opposition aux légumes exotiques des pays tempérés dont la culture a été introduite plus récemment) sont généralement plus riches en minéraux, vitamines et facteurs nutritionnels. Les LF tropicaux apportent 10 à 100 fois plus de micronutriments que la salade, le chou ou le poireau. Les glucides riches en fibres et les vitamines favorisent les effets positifs des LF sur l'organisme (Grubben, 1975). Le tableau 1.10 compare la composition en nutriments de certains LF aux aliments habituellement considérés comme d'excellentes sources de vitamine A (huile de palme rouge et carotte) ou de vitamine C (piment). Dans la table de composition des aliments du Mali (Barikmo *et al.*, 2004), pour les LF pour lesquels la teneur en vitamine A n'est pas connue spécifiquement, une classification en trois catégories en fonction de leur couleur et de leur AER a été proposée : les LF vert clair, vert medium et vert foncé avec des teneurs en ER de respectivement 6, 113 et 275 µg ER/100 g MF.

Il importe de souligner que cette richesse apparente en minéraux, vitamines et autres constituants font des légumes-feuilles, des aliments intéressants dans le cadre d'approches alimentaires de lutte contre les carences en micronutriments.

Tableau 1.10 : Composition en nutriments (pour 100g MF) de quelques LF comparée à d'autres aliments (extrait de la table de composition des aliments adaptée au contexte béninois, annexe 2.8).

Nutriments	MS g	Pro- téine g	Fer mg	Zinc mg	Vit C mg	Vit A µg ER	Folate mg
Huile de palme rouge	99,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8000	0,0
Carotte, crue	11,0	0,9	0,7	0,3	8,0	500	8,0
Piment, frais/demi-sec	65,3	7,9	ND	ND	194	ND	ND
Légumes-feuilles							
Amarante	15,8	3,6	3,4	2,6	44,5	419	85,
Célosie	15,8	4,8	3,6	2,7	ND	352	ND
Crinclin	14,6	3,4	4,2	0,4	80,0	268	ND
Baobab (fraîches)	23,0	3,8	1,1	0,4	52,0	260	104,
Baobab (séchée)	92,7	16,6	66,7	1,9	1,8	486	486
Niébé	15,0	4,7	5,7	0,4	56,0	58	135
Moringa	13,1	2,5	5,3	0,0	120,0	185	0
Grande morelle	12,0	4,3	1,6	0,7	6,0	317	25
Manioc	26,6	9,1	3,0	2,7	310,0	961	ND

➤ Variabilité de la composition des légumes-feuilles.

La composition d'un LF varie suivant plusieurs facteurs. Pour une même espèce végétale, le lieu de production, la récolte et l'exposition au soleil affectent la composition en nutriments des feuilles. Des variations ont également été mises en évidence en fonction de l'âge de la feuille, de la partie prélevée, notamment le limbe ou le pétiole (Nafir-Zénati, 1992). A titre d'exemple, De Saint Sauveur et al. (2010) indiquent que la valeur nutritionnelle des feuilles de Moringa peut varier en fonction des conditions environnementales (sol, climat), des méthodes de culture (irrigation, fertilisants), de la maturité des feuilles (les feuilles foncées et mures sont généralement plus riches que les feuilles jeunes et claires), de la saison de récolte et, dans une moindre mesure, du patrimoine génétique des arbres.

➤ Biodisponibilité des micronutriments des légumes-feuilles.

On note que les LF sont riches en micronutriments mais la présence des micronutriments ne suffit pas, il faut aussi qu'ils soient biodisponibles pour l'organisme. Plusieurs études ont mis en évidence la présence dans les légumes-feuilles d'un certain nombre d'éléments qui perturbent leur biodisponibilité. Il s'agit, par exemple, des composés phénoliques (Orech et al., 2005) qui complexent les minéraux tels que le fer et le zinc ainsi

que les protéines et de l'acide oxalique qui complexe les ions calcium, fer, sodium, potassium et magnésium et forment des cristaux insolubles pouvant favoriser la formation de calculs rénaux (Grubben, 1975). Les LF, en revanche, ne contiennent que très peu de phytates (<15mg/100gMF) (Gupta et al, 1989). Certaines publications font état de teneur en phytates non négligeables dans les LF (Aletor et al., 1995), mais cela peut être attribué à l'utilisation d'une méthode de dosage colorimétrique et par conséquent peu spécifique.

Au final, malgré une forte consommation de légumes et de fruits dans certaines régions, les problèmes de carence en micronutriments demeurent importants (Hedré et al., 2002), ce qui peut être attribué à une faible biodisponibilité.

En ce qui concerne la VA, de Pee et al. (1995) avaient montré que les LF vertes n'amélioreraient pas le statut en VA des individus et avaient évoqué que l'approche visant la lutte contre la carence en VA par l'augmentation d'ingérés de LF devrait être réexaminée. Mais depuis, de nombreuses études ont montré que la consommation d'une quantité minimale d'huile associée à celle des LF assure une meilleure bioaccessibilité des caroténoïdes provitamines A, augmente la réserve hépatique, améliore le rétinol sérique et par conséquent la statut en vitamine A chez les enfants carencés et les personnes vulnérables (van het Hof et al., 2000, Ribaya-Mercado et al., 2007 ; Tang et al. 2010; Chandrika UG et al, 2010). Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer l'absence de résultats observés par de Pee et al (1995), l'étude avait été conduite sur des femmes allaitantes peu carencées en VA, les suppléments de LF donnés au cours de l'intervention n'étaient pas accompagnés d'huile et enfin les sujets n'avaient pas été déparasités avant l'intervention.

➤ Légumes-feuilles comme sources d'antioxydants

L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydo-réduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Les réactions d'oxydation sont nécessaires à la vie. Par exemple, la respiration est une réaction d'oxydation ; l'exercice physique également permet l'oxydation des graisses. Mais les réactions d'oxydation peuvent aussi produire des « radicaux libres » ou pro-oxydants qui entraînent des réactions en chaîne destructrices. Les radicaux libres peuvent endommager certaines molécules des cellules comme les acides nucléiques, les enzymes, les protéines, les lipides et les glucides, et par conséquent, affecter dangereusement les fonctions immunitaires (Nilsson, et al., 2004).

Un antioxydant est une molécule qui diminue ou empêche l'oxydation d'autres substances chimiques. Du point de vue chimique, un antioxydant est un composé réducteur qui va neutraliser les radicaux libres qui deviennent alors inoffensifs. Les antioxydants présents dans les aliments protègent les molécules organiques, par exemple les graisses ou l'ADN, de l'oxydation et semblent jouer un rôle protecteur contre la cancérogenèse et de nombreuses maladies.

Les sources d'antioxydants sont multiples. Il s'agit des caroténoïdes, des tocophérols (vitamine E), de l'acide ascorbique (vitamine C) et des composés phénoliques. Ils sont pour l'homme et leurs apports peuvent prévenir et même aider au traitement des maladies liées au stress oxydant.

Les fruits et les légumes sont de bonnes sources naturelles d'antioxydants (Bajpai et al., 2005). Des études épidémiologiques ont révélé une corrélation négative entre la consommation de ces aliments et certaines maladies telles que les cancers, les maladies

cardiovasculaires et la cataracte (Ismail *et al.*, 2004). Les parties aériennes de certains LF comme *Coriandrum sativum*, *Spinacia oleracea*, *Trigonella corniculata* et *Trigonella foenum-graecum* ont des concentrations importantes en antioxydants et possèdent un pouvoir anti-radicalaire élevé (Bajpai *et al.*, 2005). Les feuilles de Moringa sont une excellente source d'antioxydants naturels. Selon Yang *et al.* (2006), les teneurs en phénols totaux, provitamines A, et vitamines C et E des feuilles de Moringa sont élevées, supérieures à celle de fruits et légumes réputés pour leur forte teneur en antioxydants, tels que les fraises pour les phénols, le piment pour l'acide ascorbique, la carotte pour le β -carotène et le soja pour les tocophérols. Une étude réalisée en Thaïlande en 2007 a montré que les substances antioxydantes présentes dans le Moringa peuvent faire baisser le taux de lipides sanguins (Hurtel, 2008). Compte tenu de ce qui précède, les LF seraient actifs dans la protection contre le cancer, la baisse du mauvais cholestérol sanguin et la réduction de la glycémie chez les diabétiques (Seck, 2008).

1.8.2.3. Contraintes liées à l'utilisation des légumes-feuilles dans l'alimentation

➤ Les interdits alimentaires et les tabous.

Les enquêtes effectuées par Dansi *et al.* (2008) révèlent l'existence d'un grand nombre d'interdits et de tabous relatifs aux légumes-feuilles dans les différentes aires ethniques du Bénin. Dans les régions du sud et du nord-ouest où la religion traditionnelle (vaudou) est très développée, certains LF (*Ipomea aquatica*, *Solanum nigrum*, *Corchorus tridens* et *Launaea taraxacifolia* par exemple) sont interdits aux adeptes de certaines divinités du fait de croyances mythiques. Ces interdits ont même des influences sur les habitudes alimentaires des collatéraux. Au Sud Ouest du Bénin, le simple fait qu'un membre d'une famille soit adepte de la divinité « Sakpata » suffit pour que les autres membres de cette famille ne préparent plus jamais *Launaea taraxacifolia*.

➤ Effets des technologies de transformation sur les nutriments.

Après récolte, les LF sont soit commercialisés directement sous forme fraîche, mais alors leur durée de conservation est très réduite (1-3 jours) soit sont séchés pour pouvoir les conserver sur une plus longue durée. Toutefois, la façon de préparer et de conserver les LF est susceptible d'affecter de façon significative la concentration et la disponibilité des minéraux, vitamines et autres nutriments essentiels.

Effet du séchage

La conservation des LF est assez difficile. Pour certains LF, des méthodes de stabilisation et de conservation des feuilles ont été développées. Il s'agit surtout du séchage et de la mise en poudre. Le séchage à l'air libre, au soleil ou à l'ombre, est le procédé couramment utilisé en Afrique pour sécher les feuilles (Lyimo *et al.*, 1991). Des études ont rapporté une importante perte de provitamines A au cours de ce type de séchage. Mulokozi *et al.* (2003) ont comparé l'effet de deux méthodes différentes de séchage de feuilles d'épinards blanchies : un séchage traditionnel au soleil versus un séchage dans un séchoir solaire à l'abri des rayons UV. La rétention en provitamines A était respectivement de 53 et 76% pour le β -carotène et de 38 et 71% pour l' α -carotène. Ce procédé amélioré de séchage à température modérée et à l'abri des rayons directs du soleil peut être reproduit au foyer en utilisant un

four, et assure une conservation à long terme et un approvisionnement continu en micronutriments essentiels (Yang *et al.*, 2006). Après des travaux sur divers légumes-feuilles verts, Mulokozi *et al.* (2003) ont trouvé qu'avec cette forme de séchage, les feuilles séchées utilisées dans l'alimentation peuvent apporter 120 à 275% des AJR en VA.

Effet du stockage

Le stockage des feuilles séchées peut aussi entraîner une perte en beta-carotène et acide ascorbique. Mais cette perte dépend des conditions de conservation : température, humidité et exposition à la lumière. Dans des expériences conduites au Kenya, la rétention de ces deux vitamines variait respectivement de 23% à 52% et de 4% à 7%. Les échantillons conservés pendant trois mois à 32°C présentent les pertes les plus élevées tandis qu'à une température de 18°C les pertes sont les plus faibles (Muchoki *et al.*, 2007).

Effet du blanchiment ou de la cuisson

Les conséquences néfastes des traitements thermiques sur les teneurs en micronutriments des LF peuvent être doubles : (1) une perte par dégradation sous l'effet de la chaleur (vitamines thermolabiles), (2) une perte par diffusion dans le milieu de cuisson qui dans le cas du blanchiment, est éliminée et dans ce cas on a une perte en minéraux et composés solubles (Nafir-Zénati *et al.*, 1992). Cependant, dans le cas des LF dans lesquels les micronutriments sont emprisonnés dans une matrice végétale riche en fibres, la cuisson peut permettre d'augmenter la biodisponibilité de certains minéraux tels que le fer (Yang *et al.*, 2002) ou les β -carotènes (Veda *et al.*, 2010). Hedrén *et al.* (2002) ont réalisé de nombreux travaux sur la biodisponibilité *in vitro* des carotènes contenus dans les feuilles d'amarante, de niébé, de patate douce, de manioc et de citrouille cuites avec de l'huile de tournesol ou de l'huile de palme rouge. Les effets des procédés sur la biodisponibilité et la couverture des besoins en VA ont déjà été évoqués à la section 1.4.

Du bicarbonate de sodium, de la potasse traditionnelle (filtrat de cendres séché), ou parfois directement de la cendre sont souvent ajoutés aux préparations de LF, pour accélérer la cuisson en favorisant l'attendrissement des feuilles (cas de *Solanum macrocarpum*) et/ou diminuer l'amertume (cas de *Vernonia amygdalina*) et l'acidité des feuilles (cas de *Hibiscus sabdariffa*) (Dansi *et al.*, 2008). Mais l'effet de ces adjuvants sur les teneurs en micronutriments et particulièrement en provitamines A ne semble pas avoir été étudié.

Une autre technique culinaire observée chez les ménagères du Sénégal et rapportée par Diouf *et al.* (1999) consiste à broyer les feuilles et ajouter directement la pâte dans la sauce sans cuisson préalable. Certes, cette technique permet de préserver certains sels minéraux mais présente des risques liés à la présence potentielle de composés nocifs (acide cyanhydrique). Certaines espèces de LF sont utilisées directement dans la sauce sans cuisson préalable (moringa, crinclin, etc.) ou cuites à la vapeur ce qui préserverait leurs qualités nutritives (baobab).

Autres traitements technologiques

Enfin, l'effet d'autres procédés de transformation sur les vitamines a été mis en évidence dans des expériences menées au Kenya. Il en ressort que la fermentation et les

traitements thermiques des feuilles de niébé permettaient de conserver les vitamines: 91% des β -carotènes et 15% de l'acide ascorbique (Muchoki *et al.*, 2007). En outre, les technologies de transformation pourraient influencer l'activité antioxydante des feuilles. Bajpai *et al.* (2005), qui se sont intéressés à quatre LF (*Coriandrum sativum*, *Spinacia oleracea*, *Trigonella corniculata* et *Trigonella foenum-graecum*), ont observé que les traitements thermiques réduisaient la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante.

➤ Toxicité des légumes-feuilles.

Certains LF contiennent des substances pouvant présenter des risques pour la santé des consommateurs. Le manioc (*Manihot esculentus*) et ses feuilles renferment, même à faible dose, des substances toxiques telles que les *glucosides cyanogénétiques* potentiellement dangereuses pour la santé (Oomen *et al.*, 1978 ; Chweya *et al.*, 1999). Dans les pays d'Afrique centrale, en particulier en République du Congo, un procédé basé sur la fermentation permet de réduire de 70% la teneur en glucosides cyanogénétiques présents dans les feuilles de manioc (Kobawila *et al.*, 2005). D'autres feuilles telles que les feuilles de moringa ou d'oseille contiennent également des facteurs antinutritionnels tels que les *oxalates* qui forment des cristaux avec les minéraux et augmente le risque de calcul rénal (Freiberger *et al.*, 1998 ; Yang *et al.*, 2006).

Ces LF doivent, par conséquent, être cuits avant la consommation. En effet, la pré-cuisson suivie de l'élimination de l'eau de cuisson débarrasse en partie ou totalement les LF de leurs substances nocives (Oomen *et al.*, 1978). Mais un certain nombre de sels minéraux et vitamines sont également éliminés avec cette eau. Westphal *et al.* (1985) cité par Diouf *et al.* (1999) signalent que, dans certains cas, les ménagères optent plutôt pour un ajout de cendres végétales, ou filtrat de cendres (potasse traditionnelle) pour neutraliser ces éléments toxiques (oxalates, acide cyanhydrique, raphides, etc.) et surtout lorsque les LF sont âgées.

Des études récentes de Bradbury *et al.* (2001) ont aussi révélé des méthodes douces de traitement de feuilles de manioc pour enlever les glucosides cyanogénétiques tout en préservant des nutriments clés. Les méthodes traditionnelles pour traiter les feuilles de manioc implique le pilage des feuilles suivi de cuisson dans l'eau chaude ou en cuisant les feuilles intactes à ébullition pendant au moins 30 min. L'ébullition des feuilles permet d'éliminer rapidement les composés cyanogénétiques mais libère également les vitamines, les protéines et les acides aminés (méthionines, cystéine) qui sont nécessaires pour la détoxification. Deux méthodes ont été développées pour enlever les glucosides cyanogénétiques tout en préservant les nutriments clés présents dans les feuilles de manioc. La première consiste à piler les feuilles dans un mortier jusqu'à ce que les feuilles soient bien macérées, suivies de 2 lavages dans deux fois leur poids d'eau à température ambiante, ce qui réduit le cyanure restant à 8%. La deuxième méthode consiste à immerger les feuilles de manioc dans dix fois leur poids d'eau à 50 ± 3 °C pendant 2 h, suivi d'un changement de l'eau et davantage d'immersion pendant 2 h à 50°C ce qui réduit la totalité de cyanure restant à 7%.

➤ Autres contraintes

Le mode d'approvisionnement de certaines populations en LF est la cueillette de nombreuses espèces inventoriées par Dansi, *et al.* (2008) qui poussent à l'état sauvage. La forte prédominance des LF sauvages traduit un manque de maîtrise de la production de ces

espèces. Leur domestication doit donc être une préoccupation majeure. Il importe que dans le cadre de la diversification de la production végétale et de la modernisation de l'agriculture qu'un soutien particulier soit apporté aux communautés locales en vue de la domestication de ces espèces et de la réduction de la pression incontrôlée exercée sur la nature.

1.8.2.4. Utilisation des légumes-feuilles dans l'alimentation des enfants

Les légumes-feuilles sont utilisés dans plusieurs pays pour nourrir les enfants en bas âge. Quelques cas sont présentés ci-dessous. Cette consommation s'inscrit soit dans les habitudes des populations soit dans les activités de certains projets ou structures d'intervention du domaine de la nutrition et de l'alimentation. Il peut s'agir également d'expériences menées par des chercheurs sur les LF.

➤ **Cas d'un pays d'Asie : l'Inde.**

En 2008, un inventaire des recettes alimentaires intéressantes du point de vue nutritionnel et utilisées dans l'alimentation de complément a été effectué dans ce pays (Food and Nutrition Board, 2008). Il ressort qu'il existe un grand nombre d'aliments préparés pour les nourrissons et les jeunes enfants dans lesquels sont utilisés les LF. Les LF sont absents dans les mélanges instantanés ou reconstitués à base de céréales et de noix mais se retrouvent dans plus de 45% des aliments frais préparés pour les enfants. Les LF cités sont, par ordre d'importance : l'épinard (dans 18,9% des aliments), les feuilles de coriandre (dans 13,5% des aliments), l'amarante (dans 10,8% des aliments), les feuilles de baguettes de bambous (dans 5,4% des aliments) et les feuilles de curcuma (dans 2,7% des aliments).

➤ **Cas des pays d'Afrique de l'Est et de Madagascar.**

L'utilisation des LF dans l'alimentation des populations est une tradition pour bien des populations d'Afrique de l'Est (FAO, 1987). *L'irio* par exemple, aliment traditionnel des *Kikuyus*, groupe le plus important du Kenya, est fait de maïs, de haricots, de pommes de terre et de feuilles vertes. Les LF sont également utilisés dans les recettes pour nourrissons et jeunes enfants. Certaines de ces recettes ont même été recensées par la FAO comme faisant partie des "mets convenant aux enfants lors du sevrage et dans les premières années" (FAO, 1987). Il s'agit en l'occurrence du *mchicha*, un plat de LF à l'œuf préparé avec de l'amarante ou d'autres feuilles comestibles, des œufs et éventuellement de l'huile et des purées de légumes réalisées avec des feuilles comestibles éventuellement additionnées de carotte, de tomate ou de pommes de terre.

A Madagascar, Moursi (2009) et Randrianatoandro (2010) avaient trouvé que l'essentiel des accompagnements du riz, aliment de base des enfants et de la population en général, était constitué en milieu urbain de différentes sortes de LF. Ils rapportent que pour les nourrissons, le riz est généralement cuit dans un excès d'eau pour obtenir le *vary sosoa* qui a une consistance se rapprochant de celle d'une bouillie. Des bouillons de LF ou de viandes et de la poudre de crevette sont ensuite ajoutés au *vary sosoa*. Les autres fruits et légumes, au même titre que les produits laitiers et les œufs sont relativement peu consommés. Dans les sauces malgaches, les LF représentent une part importante (41,2% à 58,8%) du poids total des ingrédients. Ces sauces sont riches en provitamines A de par l'addition de LF et/ou de

carottes, ce qui leur confère une activité rétinol équivalente élevée (Randrianatoandro et al, 2010).

➤ **Cas de certains pays de l'Afrique de l'Ouest.**

Le Ghana

Une étude réalisée au Ghana a exploré les possibilités d'utilisation de feuilles de manioc et de kapok comme sources de provitamines A pour améliorer le statut en rétinol d'enfants d'âge préscolaire. 519 enfants ont été répartis en 5 groupes, recevant différents apports en β -carotène et en lipides. Dans 3 de ces groupes, les enfants ont reçu une dose de β -carotène équivalente à 400 μg ER sous forme de LF pilés et cuits additionnés de quantité plus ou moins importante de lipides. Un groupe témoin « négatif » n'en a pas reçu. Un groupe témoin « positif » a ingéré le β -carotène sous forme de supplément à raison d'une dose équivalente aux apports alimentaires des autres groupes (400 μg ER). Les enfants nourris avec des LF ont vu leur statut en rétinol s'améliorer de façon plus ou moins importante selon les groupes, alors que le statut en rétinol du groupe sans LF est resté inchangé. Le pourcentage d'enfants carencés en rétinol (taux de rétinol sérique $<0,35\mu\text{mol/L}$), de 19,6% au début de l'étude, n'était plus que de 5,9% à la fin. En même temps, le pourcentage d'enfants au statut en rétinol satisfaisant est passé de 27,5 à 48,2%. Toutefois, les auteurs soulignent que la supplémentation en β -carotène pur du groupe contrôle a été plus efficace pour améliorer le statut en rétinol, sans doute pour des raisons de meilleure biodisponibilité. Cette étude montre qu'un apport alimentaire de LF de manioc ou de kapok, qui sont des sources de β -carotène facilement accessibles dans de nombreux PED, représente un moyen efficace d'améliorer le statut en VA des populations (Le Potentiel, 2005).

Le Niger

La teneur en provitamines A de 168 échantillons de feuilles vertes traditionnelles appartenant à 15 espèces différentes séchées ou cuites localement a été étudiée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) par Delisle et al. (1997) afin d'évaluer les apports en VA chez les enfants au Niger. Les feuilles séchées, qui entrent surtout dans la composition des sauces, contiennent en moyenne $2\,273 \pm 1\,152 \mu\text{g}$ ER, les feuilles fraîches bouillies $1\,333 \pm 596 \mu\text{g}$ ER et les feuilles fraîches étuvées avec le mil, $928 \pm 526 \mu\text{g}$ ER/100 g. Outre l'espèce, le mode de préparation est un important facteur de variation : les feuilles bouillies ont une teneur vitaminique A significativement plus élevée que les feuilles étuvées de la même espèce (sur la base du poids frais ou du poids sec), la différence n'étant pas modifiée par la durée de cuisson. Sur la base du poids sec, les feuilles fraîches cuites contiennent environ deux fois plus de provitamine A que les feuilles séchées. Selon les résultats de cette étude, les LF vertes consommés par des enfants de 2 à 4 ans permettraient une couverture moyenne de 66 % (30 à 87, 5 %) des AJR en vitamine A. Toutefois, le taux de couverture pourrait être réduit si la biodisponibilité des caroténoïdes de feuilles vertes se révélait surestimée ou si les besoins des enfants étaient accrus par les fréquentes infections qu'ils subissent (Delisle et al., 1997).

La Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, de nombreuses feuilles sont utilisées dans la préparation des sauces. Il

existe une grande diversité de feuilles consommables, variant énormément d'une région à une autre (Arnaud, 2004). Selon le même auteur, plus de la moitié des enfants de 3 à 24 mois consommeraient les sauces à base de feuilles entre 2 et 4 fois par semaine.

Le Burkina Faso

Dans une étude réalisée au nord-est du Burkina Faso, dans la province très enclavée de la Gnagna, le plat familial est introduit dans l'alimentation de l'enfant à partir du 6^{ème} ou 8^{ème} mois. Ce plat familial se compose de tô, l'aliment de base à base de céréales accompagné de sauce. Les trois sauces les plus fréquemment consommées par les jeunes enfants sont les sauces à base de feuilles de baobab, de feuilles de crincrin, ou de gombo. La sauce prédominante reste celle des feuilles sèches de baobab (Sawadogo, 2003). Les études effectuées par Avallone et al (2007) au Burkina Faso ont identifié les sauces LF préparées au niveau des ménages comme faisant partie des principales sources de micronutriments des enfants d'âges scolaire. En effet la sauce à base de feuilles d'oseille rouge a été identifiée parmi les plats constituant de bonne sources de micronutriments dans l'alimentation des jeunes enfants et contribuent pour $19,9 \pm 11,9$; $19,3 \pm 6,7$ et $25,7 \pm 15,5$ % aux AJR recommandés respectivement en fer, zinc et vitamine A chez des enfants burkinabè âgés de 2 à 5 ans pour des quantités de sauce à base d'oseille ingérée de $98,3 \pm 31,9$ g/jour . Les études de Nana et al (2003) axée sur la consommation alimentaire des enfants de 6 à 36 mois en milieu rural au Centre Ouest du Burkina Faso ont identifié 20 aliments sources de pro-VA dont 9 LF particulièrement intéressants. Il s'agit des LF de Arzentiga (*Moringa oleifera*), Boulvaka (*Corchorus olitorius /tridens*), Amarante (*Amaranthus candilis*), Kalguetuega (*Crateva adansonii*), oseille (*Hibiscus sabdariffa*), Baobab (*Adansonia digitata*), Kinebdo (*Cleome gynandra*), Boundo (*Ceratotheca sesamoides*), niébé (*Vigna unguiculata*). Cette étude qui s'inscrit dans la recherche des voies alimentaire en complément à la stratégie nationale de distribution de comprimés de VA révèle aussi que la consommation de ces aliments riches provitamines A est présente dans la zone d'étude, cependant des facteurs d'ordre socio-économiques ou des obstacles liés à la valeur sociale de l'aliment limitent leur consommation.

Le Bénin

Au Bénin, le sujet de l'utilisation des LF dans l'alimentation est peu documenté. Il existe néanmoins quelques expériences qui ont été menées dans ce domaine. L'expérience du CREDESA (Centre Régional pour le Développement et la Santé), sis à Pahou (Commune de Ouidah) au Bénin, a été présentée par Sagbohan (1995). Ainsi des aliments de complément ont été mis au point. Ce sont des bouillies simples ou enrichies, des pâtes et sauces et d'autres recettes alimentaires. Les LF sont utilisés dans la préparation des sauces qui rentrent dans l'alimentation des enfants à partir de l'âge de 6 mois. Bien que leur utilisation soit présentée comme facultative, ils représentent 46,5% du poids total des ingrédients qui entrent dans la préparation de ces sauces (Tableau 1.11). Les LF sont également utilisés dans la préparation des purées comme celle à base de haricot (composée de haricot sec, LF, farine de poisson et huile de palme rouge).

Tableau 1.11: Composition des sauces proposées pour l'amélioration de l'alimentation de complément par le CREDESA.

Ingrédients	Mesures locales	Equivalents-poids	Part des ingrédients (%)
Petits poissons Ou Farine de poissons	6 poissons Ou 3 cuillerées à soupe	60g	14,0
Graine de courge écrasée	1 boîte de conserve de tomate	40g	9,3
LF	1 botte	200g	46 ,5
Huile de palme	2 cuillerées à soupe	30g	7,0
Tomate fraîche	1 moyenne	50g	11,6
Oignon	2 tranches	50g	11,6
Sel	1 pincée	-	
Eau	½ litre environ	-	
Poids total des ingrédients		430	

(Sagbohan, 1995, in Trèche et al, 1995).

Dans le but d'améliorer l'état nutritionnel des nourrissons de 6 à 12 mois dans la commune de Bopa (Bénin), une farine infantile améliorée, à base de matières premières localement disponibles (maïs, arachide, niébé) et respectant les normes du Codex Alimentarius a été conçue. Pour améliorer l'apport en micronutriments, la bouillie dérivée de cette farine a été préparée avec l'eau de cuisson des LF de morelle. Le test d'accessibilité effectué dans le cadre de cette étude a montré que 65 à 83% des enfants ont accepté la bouillie et près de 77% des mères l'avaient trouvée agréable ou très agréable (Ahouandjinou, 2007). Cependant, aucune information sur l'amélioration effective des teneurs en micronutriments n'est donnée. Mais il faudra faire attention aux eaux de cuisson des LF car, comme évoqué plus haut, certaines feuilles comme par exemple celles de manioc, de moringa contiennent des substances toxiques. Aussi il serait utile de mesurer l'impact de cette bouillie après avoir mesuré sa valeur nutritionnelle.

La présente étude pour objectif principal, d'identifier les principaux aliments potentiellement riches en VA consommés par les jeunes enfants et d'étudier l'influence des procédés traditionnels de préparation sur la rétention des composés à activité pro-vitaminique A en vue de proposer des améliorations. Afin d'atteindre cet objectif, nous allons procéder à une investigation en trois étapes.

1^{ère} étape : Etudier la situation alimentaire et nutritionnelle et couverture des besoins en énergie et en nutriments des jeunes enfants en milieux urbain et rural au Bénin.

Pour ce faire, quatre objectifs spécifiques fonderont notre démarche :

- ✓ Dénombrer et caractériser les prises alimentaires des jeunes enfants
- ✓ Evaluer la couverture des besoins en énergie, protéines, fer, zinc et vitamine A à partir de l'alimentation
- ✓ Apprécier la diversité alimentaire
- ✓ Identifier les individus à risques de carences en fer zinc et vitamine A

2^{ème} étape : Intérêt nutritionnel des sauces à base de légumes-feuilles et autres sources végétales pour les jeunes enfants

Pour ce faire, trois objectifs spécifiques fonderont notre démarche

- ✓ Identifier les aliments locaux riches en VA les plus fréquemment consommés
- ✓ Apprécier leur valeur nutritionnelle et leur richesse en VA
- ✓ Evaluer leur contribution à la couverture des AJR en VA des jeunes enfants

3^{ème} étape : Amélioration du potentiel pro-vitaminique A des sauces aux feuilles d'amarante et jus de noix de palme ou huile de palme rouge et acceptabilité.

Pour ce faire deux objectifs spécifiques fonderont notre démarche :

- ✓ Caractériser l'influence des étapes à risque des procédés de préparation des sauces sur les teneurs en caroténoïdes
- ✓ Examiner l'acceptabilité des sauces améliorées par les populations locales

Afin d'atteindre ces objectifs spécifiques, des enquêtes de consommation alimentaire et l'évaluation de l'état nutritionnel de jeunes enfants dans quatre zones du Bénin ont été menées. Ensuite, les modes de préparation et la valeur nutritionnelle des principaux plats riches en vitamine A consommés par les enfants a été caractérisée à travers des enquêtes d'observation dans les ménages. Ces plats ont ensuite été reproduits au laboratoire et puis l'acceptabilité des sauces améliorées a été examinée sur le terrain.

Chapitre 2. Matériels et méthodes

2.1 Enquête de consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants dans quatre zones du Bénin

La situation alimentaire et nutritionnelle des enfants de 6-35 mois a été appréciée dans différents milieux au Bénin, au moyen de l'anthropométrie et d'enquêtes de consommation alimentaire. Les mesures anthropométriques (taille, poids) associées au recueil précis de l'âge de ces jeunes enfants permettent le calcul des indices poids pour taille, taille pour âge et poids pour âge. Comparés avec les seuils de référence de l'OMS, ils permettent d'apprécier le niveau des indicateurs nutritionnels respectivement, la maigreur, le retard de croissance et l'insuffisance pondérale caractérisant les groupes d'enfants enquêtés. En outre, le suivi de la consommation alimentaire par pesée directe des ingérés mené sur 3 jours non consécutifs a permis d'apprécier la diversité alimentaire, les apports en énergie et en nutriments de l'alimentation des enfants et le niveau de couverture des besoins en énergie, protéine et micronutriments ainsi que le nombre de personnes à risque sur le plan nutritionnel.

2.1.1 Milieux d'étude et sujets



Cette étude a été menée auprès d'enfants de 6 à 36 mois dans quatre zones urbaines et rurales au nord et au sud du Bénin (figure 2.1). Notre étude cible plus particulièrement le groupe à risque des jeunes enfants de 6 à 23 mois. Mais comme le but de l'étude est aussi de caractériser les potentiels aliments riches en vitamine A, les enfants de 24 à 36 mois ont été inclus dans l'échantillon afin d'identifier une plus large gamme de recettes traditionnelles consommées par ces jeunes enfants dans les ménages.

Figure 2.1. Carte du Bénin montrant les quatre zones d'étude

Au sud, l'étude a été conduite simultanément en milieu urbain à Cotonou (capitale économique du Bénin) et en milieu rural dans la commune de Zè situé à 40 km de Cotonou.

Au nord, l'étude a été menée simultanément en milieu urbain dans la commune de Natitingou (Chef lieu des départements de l'Atacora-Donga) et en milieu rural dans la commune de Boukoubé située à 50 km de Natitingou (figure 2.1).

2.1.1.1 . Calcul de la taille de l'échantillon

La formule utilisée pour calculer la taille de l'échantillon est celle utilisant la distribution normale et les principes de cette distribution.

$$n = t^2 ET^2 / d^2$$

- ❖ t est la probabilité associée à un niveau de confiance choisi ; Pour un niveau de confiance de 0,95, la probabilité associée est $t = 1,96$
- ❖ ET est l'écart-type de la variable suivie
- ❖ d est la marge d'erreur ou précision que l'on juge acceptable. Il a été opté $d = 8\%$.

L'écart-type a été estimé à partir des données d'apports moyens journaliers des différents nutriments (énergie, vitamine A, fer et zinc) de précédentes études effectuées au Bénin, par de nombreux chercheurs [dans le Sud (Dossa, 2001); dans le Nord (Atègbo, 1993 ; Mitchikpè, 2007)]. Pour le calcul, l'ET le plus élevé a été utilisé pour espérer avoir une taille d'échantillon suffisante, ici $ET=41$. Au niveau de chaque commune, la taille de l'échantillon devait donc être : $n=(1,96)^2*(41)^2/(8)^2=101$ enfants. **Au final**, en prévision des pertes, **105 enfants** par site ont été enquêtés. Ils sont répartis en trois classes d'âge :

- [6 -11] mois : 35 enfants ;
- [12 – 23] mois : 35 enfants
- [24- 35] mois : 35 enfants.

Ces tranches d'âge respectent la stratification idéale (6-11 et 24-35 mois) et acceptable (12-23 mois) recommandées par l'OMS (1995) pour une analyse plus appropriée des données.

2.1.1.2 . Mode de recrutement des ménages

Le choix des quartiers ou villages enquêtés dans les quatre communes retenues a été fait de manière aléatoire par numérotation et tirage au sort. Nous avons veillé à ce que tous les arrondissements de chaque site d'enquête soient représentés. Une fois sur place, dans les quartiers ou villages sélectionnés, nous nous sommes rendus au carrefour de la grande place publique ou du marché. Là, nous avons procédé au choix aléatoire des ménages en prenant une direction indiquée par la méthode de la bouteille vide (que l'on fait pivoter sur le sol). Une fois cette direction indiquée, le choix des ménages se fait à raison d'une maison sur deux.

Une fois dans le ménage, les objectifs de l'enquête ont été brièvement expliqués aux parents de l'enfant ou au chef du ménage. Ensuite, la fiche d'éligibilité (annexe 2.1) est utilisée pour vérifier si l'enfant répond aux critères de sélection, puis l'accord de participation du chef de ménage ou des parents est pris. En cas de refus, le ménage n'est pas enquêté. S'il n'y a pas d'enfant éligible dans un ménage, la maison suivante est contactée. Dans une maison contenant plusieurs enfants éligibles, un seul est enquêté.

2.1.1.3 . Considérations éthiques

Après vérification de l'éligibilité de l'enfant, un entretien dans le ménage sélectionné est fait afin de l'informer plus précisément des objectifs de l'étude pour susciter l'adhésion du ménage à l'enquête. Une mention sommaire des types d'information recherchée concernant l'enfant et le ménage est effectuée. En cas d'accord, le consentement matérialisé est recueilli sous forme de la signature du chef de ménage apposée sur la fiche de consentement ([Annexe 2.2](#)). Un rendez-vous est alors pris pour la première visite de l'enquête dans le ménage sélectionné. A la fin de l'enquête dans la commune et pour faciliter le travail pour d'autres enquêtes, un petit présent a été distribué dans les ménages enquêtés.

2.1.1.4 . Critères d'éligibilité des enfants

Les enfants retenus dans l'échantillon devaient répondre aux critères ci-après :

- Appartenir à l'une des trois classes d'âge : 6-11 mois, 12-23 mois ou 24-35 mois.
- Recevoir en dehors du lait maternel, des aliments de compléments.

2.1.2 Méthodes d'enquête

2.1.2.1 . Recueil de l'âge

L'âge des enfants a été calculé directement à partir de la date de naissance figurant sur des pièces justificatives (acte de naissance ou carnet de santé). En l'absence de ce type de document, il a été estimé à partir d'événements locaux servant de repères historiques (cf. Annexe 2.1). L'âge étant ainsi estimé au mois près, on considère que l'enfant est né au jour 15 du mois. Seuls les enfants dont les âges ont pu être calculés ou estimés ont été retenus. Le poids de naissance des enfants était systématiquement enregistré lorsque l'information était disponible dans le carnet de santé de l'enfant.

2.1.2.2 . Mesures anthropométriques

Des mesures anthropométriques (poids et taille de l'enfant ainsi que poids et taille de leurs mères) ont été effectuées au cours de la matinée dès le premier jour des observations des ingérés.

2.1.2.2.1. Mesure du poids

La mesure du poids a été faite entre le repas du matin et celui du midi. La mère, puis l'enfant portant un minimum de vêtements sont pesés au moyen d'une balance électronique UNISCALE conçue par l'Unicef (*portée : 150kg ; précision : 100g*) posée sur une surface stable et plane. Les poids respectifs de la mère et de l'enfant sont notés. Pour les nourrissons ne pouvant se tenir debout, les mesures ont été prises en utilisant la technique de double pesée. Après avoir pesé la mère ou un autre membre de la famille seul et avoir taré la balance, cette personne est de nouveau pesée avec l'enfant dans ses bras (Photo 2.1).



Affichage

cellules solaires

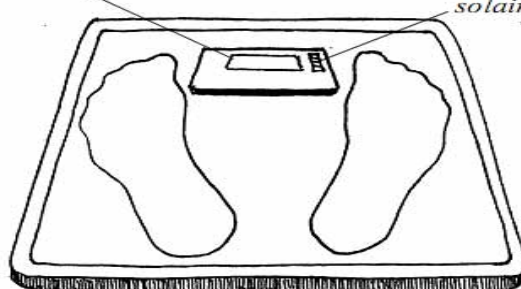


Photo 2.1 : Mesure du poids d'un jeune enfant par la méthode de la double-pesée avec une balance Uniscale de l'Unicef.

2.1.2.2.2. Mesure de la taille

Les tailles des enfants à partir de 2 ans et de leur mère ont été mesurées en utilisant une toise verticale posée contre un mur sur une surface plane. La mesure est faite sur le sujet debout sans chaussures, sans foulard. Les talons, les fesses et les épaules sont en contact avec la toise, le menton glissé dans le corps allongé, la tête vers le haut réalisant l'axe de Francfort (plan horizontal). La toise utilisée est en bois et équipée d'un mètre-ruban (Type : Shorr Productions, 17802 Shotley Bridge Place, Olney, Maryland 20832, USA ; précision 1 mm) recommandée par l'OMS (2004). La taille est lue avec une précision de 1 mm (Photo 2.2).

Pour les enfants de moins de 2 ans, la mesure a été prise avec la même toise horizontale (Photo 2.3) en position couchée avec une précision de 1 mm). Dans les rares cas où un enfant de moins de 2 ans refusait de garder la position couchée, il était mesuré debout et sa taille était convertie en taille couchée (longueur) en y rajoutant 0,7cm.

Pour l'enfant aussi bien que la mère, les mesures ont été effectuées jusqu'à obtenir 3 valeurs égales ou voisines; la taille ou le poids retenu correspondant à la moyenne de ces 3 valeurs. Outre les mesures anthropométriques du couple mère-enfant, les informations relatives au suivi sanitaire des enfants, et les données socio économiques du ménage ont été collectées au moyen d'un questionnaire portant sur l'enfant et le statut du ménage (annexe 2.3).



Photo 2.2 : à partir de 2 ans, mesure de la taille debout



Photo 2.3 : avant 2 ans, Mesure de la taille en position couchée

2.1.2.3. Mesure de la consommation alimentaire par pesées directes

L'enquête de consommation alimentaire avait un double objectif : (1) la détermination de la couverture des besoins nutritionnels des enfants par l'alimentation et (2) l'identification des plats et des recettes des aliments les plus fréquemment consommés. De plus, la méthode du rappel de 24h fréquemment utilisée pour estimer la consommation alimentaire paraissant peu adaptée à de jeunes enfants dont la consommation alimentaire doit être évaluée par une tierce personne, nous avons préféré la méthode par pesée directe des aliments consommés. Cette méthode est certes plus contraignante, mais plus fiable pour la mesure des ingérés alimentaires, surtout dans le contexte béninois où les enfants sont généralement servis dans la même assiette que leur mère. Cette méthode consiste à peser précisément (à 1 g près) tous les aliments consommés par l'enfant au cours de la *journée*. Les mesures ont été réalisées à l'aide de balances électroniques ménagères (Salter electronic scale, portée : 5000g ; précision : 1g). Pour cela, l'enquêteur passe toute la journée (du lever au coucher de l'enfant, soit environ de 6h à 20h) dans le ménage et pèse tous les aliments consommés par l'enfant en tenant compte des pertes. Pour chaque enfant, les mesures ont été répétées sur 3 jours non consécutifs pour évaluer la variabilité de la consommation des enfants en milieux urbain et rural. Les jours de la semaine ont été représentés de manière équivalente.

Concernant les plats pris habituellement dans la même assiette que la mère, il est demandé à la mère, le jour des mesures, de servir l'enfant dans une assiette séparée. L'enquêtrice suit également la préparation des plats et pèse tous les ingrédients entrant dans leur composition ainsi que le plat cuit.

Pour les plats préparés hors de la présence de l'enquêtrice, une description la plus exacte possible du plat est demandée à la mère. Deux cas de figures ont été notés :

- a) Plat préparé la veille, il est demandé à la mère d'indiquer tous les ingrédients contenus dans le plat et d'estimer leur quantité (selon la méthode utilisée pour le rappel de 24h).
- b) Pour les plats préparés hors domicile, achetés ou donnés, le nom précis du plat est relevé, et une recette moyenne a été établie à partir d'un minimum de trois observations de la préparation de ce plat dans différents autres ménages de la même localité. Une équivalence prix-volume-poids est également établie si possible pour les plats achetés (Annexe 2.9).

Prélèvement d'échantillons pour mesure de la teneur en matière sèche

Des échantillons représentatifs de chaque plat consommé par l'enfant ont été prélevés (15 à 20g) afin d'en mesurer les teneurs en matière sèche (TMS) (Cf § 2.4.1). Pour les plats qui ne sont pas homogènes (sauce avec morceaux de viande par exemple), l'échantillon prélevé devait contenir, un nombre de morceaux proportionnels à la composition du plat. Les aliments de base et les aliments d'accompagnement sont prélevés séparément. Ces échantillons ont été acheminés étiquetés dans des sachets plastiques et conservés au congélateur au laboratoire du Département de Nutrition et Sciences Alimentaires de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) jusqu'au moment où les mesures de TMS ont été effectuées.

Au final, les informations relatives aux mesures des ingérés pesés, le répertoire de tous les repas, snacks et boissons (à l'exception de l'eau) que l'enfant a consommé au cours de la journée, le poids de tous les ingrédients qui entraient dans la composition des plats préparés ont été consignés dans la Fiche de recueil d'ingérés par pesées (Annexe 2.4).

2.1.2.4. Questionnaires de fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A, d'aliments riches ou enrichis en fer et d'aliments à base de céréales ou de manioc.

Cette enquête vise à caractériser les habitudes alimentaires des enfants. Ainsi tous les aliments d'origine animale ou végétale riches en vitamine A ou en provitamine A disponibles localement à cette période de l'année ont été répertoriés et listés dans un questionnaire (Annexe 2.6) en prenant 100 µg ER/100g comme valeur seuil pour les aliments riches en vitamine A. Pour chacun des aliments, il a été demandé aux mères quels sont ceux que leur enfant a consommés au cours de la semaine précédant l'enquête. L'investigation a porté sur la forme mais aussi sur la fréquence de consommation de chacun des aliments répertoriés. Selon la même démarche, des questionnaires ont été élaborés pour évaluer les fréquences de consommation d'aliments naturellement riches ou enrichis en fer, et d'aliments à base de céréales ou de manioc. Ces trois questionnaires sont présentés en annexes 2.6 et 2.7.

2.1.2.5. Questionnaire portant sur les pratiques alimentaires, le suivi sanitaire et le statut socio-économique des ménages

Ces enquêtes ont permis de caractériser l'environnement socio-économique des enfants de l'échantillon ainsi que les pratiques des mères relatives à l'allaitement maternel, l'alimentation de complément, et les interdits alimentaires culturels et religieux de leurs enfants. Des informations sur la morbidité portant sur les 15 jours précédant l'enquête et sur

la nature du suivi sanitaire des enfants ont été aussi recueillies à l'aide des questionnaires présentés en annexe 2.3 et 2.5.

2.1.3. Matériels et personnels nécessaires

2.1.3.1 . Questionnaires et fiches de recueil d'information

Au final, l'ensemble des questionnaires et fiches de recueil d'information utilisés (annexe 2) comportait les pièces suivantes :

Questionnaires et fiches	N° d'annexe
- Fiche d'éligibilité	2.1
- Formulaire de consentement éclairé	2.2
- Questionnaire portant sur l'enfant et le statut du ménage et fiche de recueil de données anthropométriques	2.3
- Fiches de recueil des données de mesures d'ingérés par pesées et de description des plats consommés	2.4
- Questionnaire portant sur les pratiques alimentaires	2.5
- Questionnaire de fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A	2.6
- Questionnaire de fréquence de consommation d'aliments riches en Fer	2.6
- Questionnaire de fréquence de consommation d'aliments à base de céréales ou de manioc	2.7

2.1.3.2 . Formation des enquêteurs et pré-test des questionnaires

Trente enquêteurs de niveau universitaire et deux superviseurs de niveau ingénieur ont été formés durant 3 jours à la méthode de conduite des enquêtes sur le terrain et à l'utilisation des outils de collecte des données. La formation a démarré le 1^{er} jour en salle et a permis d'expliquer en détails aux enquêtrices/enquêteurs les objectifs de travail, et l'importance de la fiabilité des données collectées. Le comportement que doit avoir un enquêteur afin de gagner la confiance des populations et recueillir des données de qualité a été évoqué. Tous les questionnaires ont été parcourus et expliqués en détails avec traduction en langue locale (le fon) lorsque nécessaire. Des scénarii d'enquêtes par paire ont été organisés suivis de discussions et commentaires constructifs en séance plénière. Le 2^{ème} jour de formation s'est déroulé sur le terrain dans une zone pilote pour tester les questionnaires et familiariser les enquêteurs à l'utilisation des outils de collecte d'informations. Les mesures anthropométriques ont été réalisées par moi-même, assisté des deux superviseurs locaux. Le 3^{ème} jour de formation a consisté en un partage des expériences et des leçons tirées de cette phase de pré-test des questionnaires. Quelques corrections ont été apportées, portant surtout sur la reformulation des questions et sur leur séquence pour faciliter une meilleure compréhension des sujets et des enquêteurs.

2.1.3.3 . Matériels de mesures anthropométriques, de mesure des ingérés alimentaires et de prélèvement d'échantillons

L'ensemble du matériel utilisé pour la réalisation de l'enquête est récapitulé ci-dessous :

- 3 balances électroniques UNISCALE de portée = 150 kg et de précision = 100 g (Unicef)
- 2 toises en bois équipées d'un mètre-ruban de précision = 1 mm (Type : Shorr Productions, 17802 Shotley Bridge Place, Olney, Maryland 20832, USA ;) recommandée par l'OMS (2004)
- 30 balances ménagères électroniques de portée = 5000g et de précision = 1 g (Salter electronic scale)
- 50 pots à prélèvement de 100 ml (échantillons pour les mesures de TMS) complétés de 2 paquets de 100 sachets.

2.1.3.4 . Calendrier d'enquête

L'enquête a duré environ 2 mois et demi et le calendrier du déroulement des principales activités est résumé dans le tableau 2 .1.

Tableau 2.1 : Calendrier des enquêtes de consommation alimentaire

ACTIVITE	DATE	OBSERVATION
Formation des enquêteurs et pré-test des questions	19-21/01/2009	Enquêtes simultanées en milieux urbain et rural au nord du pays
Logistiques et formalités de mise en place sur le terrain	22-01/02/2009	
Enquête à Cotonou et Zè	02-28/02/2009	Enquête simultanée en milieux urbain et rural au sud-bénin
Pause et déplacement enquêteurs vers le nord	29/02/2009 au 02/03/2009	
Enquête à Natitingou et à Boukoumbé	03-29/03/2009	Enquête simultanée en milieux urbain et rural au nord-bénin

2.1.4. Traitement des données

Les données de toutes les enquêtes ont été dans un premier temps saisies grâce au logiciel EpiData 3.1. Le traitement des données a été fait grâce au logiciel EpiData Analysis V2.2.0.167. Les données relatives aux ingérés ont été transférées sous *Excel 2007* pour constituer une base de données *Excel* traitée séparément.

Le traitement des données d'ingérés s'est déroulé en plusieurs étapes : l'apurement des données ; le calcul des recettes moyennes pour les aliments consommés par les enfants mais achetés ou non préparés par les parents; la compilation d'une table de composition des aliments adaptée au contexte béninois, la saisie des données de consommation relatives à chaque enfant dans le logiciel *Komeet 4.0* et l'analyse statistique des données.

2.1.4.1 . Calcul des indices anthropométriques

Pour caractériser et apprécier l'état nutritionnel des enfants, les indices anthropométriques ont été calculés à l'aide du logiciel Anthro V3.0.1 (OMS, 2009). Ces indices sont exprimés en écart-type (ET) ou Z-score. Il s'agit du :

- Z-score *poids pour taille* < -2ET : cet indice caractérise l'état de maigreur traduisant une forme de malnutrition aiguë
- Z-score *taille pour âge* < -2ET : cet indice caractérise le retard de croissance traduisant une forme de malnutrition chronique
- Z-score *poids pour âge* < -2ET : cet indice caractérise l'insuffisance pondérale chez les enfants, forme mixte entre malnutrition aiguë et chronique.

Le tableau 2.2 ci-dessous présente les indicateurs de malnutrition utilisés dans le cadre de cette étude

Tableau 2.2 : Indicateurs anthropométriques de la malnutrition pluricarentielle

INDICATEURS	SEUILS
Enfants de 6 à 35 mois	
• % d'enfants ayant un faible poids à la naissance	• < 2500g
• % d'enfants ayant un indice poids-âge faible (insuffisance pondérale) global et par classe d'âge	• < -2 Z-scores de la référence OMS
• % d'enfants ayant un indice poids-taille faible (maigreur) global et par classe d'âge	• < -2 Z-scores de la référence OMS
• % d'enfants ayant un indice taille-âge faible (retard de croissance) global et par classe d'âge	• < -2 Z-scores de la référence OMS
Adultes (≥ 18 ans)	
Indice de masse corporelle IMC = Poids/taille ² (kg/m ²)	
• % de mères ayant un IMC faible (maigreur ou déficit énergétique chronique)	• < 18,5 kg/m ²
• % de mères ayant un IMC élevé	• 25 ≤ IMC < 30 kg/m ² (surpoids) • IMC ≥ 30 kg/m ² (obésité)

OMS, (1983; 1995) et Shetty & James (1993), in Maire et Delpuech (2004)

2.1.4.2 . Apurement des données

Sur les 420 enfants enquêtés, trois enfants dont l'âge ne correspondait pas aux critères d'éligibilité définis dans le cadre de cette étude ont finalement été détectés. Il s'agit de trois

enfants ayant plus de 35 mois dont 2 à Zè et 1 à Natitingou. Ces enfants ont été éliminés du traitement des données, ce qui ramène la taille de l'échantillon à 417 sujets.

- Apurement des données anthropométriques

Les données des 417 sujets saisies dans EpiData ont été transférées dans le logiciel Anthro V3.0.1 (OMS, 2009) pour le calcul des indices nutritionnels. La distribution des Z-scores taille/âge, poids/taille et poids/âge a alors été appréciée. Le calcul initial des Z-scores moyens pour les trois indices dans chacune des quatre localités donne des valeurs $> -1,5$ ce qui nous permet d'opter pour les critères d'exclusion fixes (cf. Tableau 2.3) afin d'éliminer selon les recommandations de l'OMS (1995), les sujets pour lesquels les valeurs anthropométriques constituent probablement des erreurs :

- taille/âge $Z < -5,0$ et $> +3,0$
- poids/taille $Z < -4,0$ et $> +5,0$
- poids/âge $Z < -5$ et $> +5$

Les enfants dont les Z-scores ne répondent pas aux critères ci-dessus ont été éliminés. Après exclusion des sujets aux données anthropométriques probablement aberrantes, l'effectif final retenu pour l'analyse des mesures anthropométriques des enfants est de 405 sujets. Les prévalences de malnutrition ainsi que les moyennes de Z-score présentées dans ce document de thèse ont été calculées par la suite sur la base de cet échantillon de 405 enfants.

Tableau 2.3 : Apurement des données de mesures anthropométriques.

	Cotonou	Zè	Natitingou	Boukoubé	Total
Effectif enquêté	105	105	105	105	420
Effectif hors critères d'âge	0	2	1	0	3
Effectif initial pour anthropométrie	105	103	104	105	417
Effectif valeur de $Z > +6$ ou $Z < -6$	0	0	0	0	0
Enfants taille/âge : $Z < -5,0$ et $> +3,0$	4	1	1	5	11
Enfants poids/taille $Z < -4,0$ et $> +5,0$	0	0	0	0	0
Enfants poids/âge : $Z < -5$ et $> +5$	0	0	0	1	1
Effectif final retenu pour l'évaluation de l'état nutritionnel	101	102	103	99	405

- Apurement des mesures d'ingérés

Pour mieux analyser les données de consommation alimentaire des enfants, certains enfants ont été écartés de l'échantillon initial en utilisant les critères suivants :

- Un ou deux jours de données de consommation manquants sur les trois jours d'enquête,
- Valeurs hors normes

S'agissant du deuxième apurement concernant les données de consommation alimentaire, la formule proposée par Snedecor *et al.*, (1989) pour rendre une série normale a

été utilisée. La valeur de l'écart réduit Z est estimée pour chaque enfant à partir de son apport total journalier en énergie et a permis de détecter les valeurs hors normes.

$$Z = \frac{E_i - E_m}{\sigma}$$

- E_i est la quantité d'énergie ingérée par l'enfant i (d'une tranche d'âge donnée) par jour ;
- E_m est la quantité moyenne d'énergie consommée par les enfants de la tranche d'âge
- σ est l'écart-type de la quantité moyenne d'énergie consommée par les enfants de la tranche d'âge.

L'élimination des individus s'est faite en prenant une marge d'erreur de 5%. Ainsi, les individus présentant un $Z > 1,96$ ou $Z < -1,96$ n'ont pas été pris en compte dans les calculs relatifs aux variables d'appréciation de la consommation alimentaire pour limiter les risques de surestimation ou de sous-estimation.

Les données de ces enfants ont été exclues et la taille de l'échantillon considéré pour l'analyse des données de consommation alimentaire est donc réduite à 387 enfants et est présentée dans le Tableau 2.4 ci-dessous.

Tableau 2.4 : Apurement de données pour les mesures d'ingérés

	Cotonou	Zè	Natitingou	Boukoubé	Total
Effectif initial sujets retenus	105	103	104	105	417
Absence de données sur les 3 jours	1	0	8	1	10
Effectif à écart réduit $Z > 1,96$ ou $Z < -1,96$	6	3	5	6	20
Effectif final retenu pour l'évaluation de l'adéquation des apports nutritionnels	98	100	91	98	387

2.1.4.3. Compilation d'une table de composition des aliments adaptée au contexte béninois.

Pour calculer les apports en énergie et en nutriments, une table de composition des aliments adaptée au contexte béninois (annexe 2.8) a été établie en compilant différentes sources de données par ordre de priorité décroissante dans :

- Les bases de données du Bénin.

La base de données comportant les valeurs nutritionnelles des légumes-feuilles, des sauces diverses et des aliments à base de céréales du Bénin dosés au laboratoire de l'IRD dans le cadre des présents travaux, complétée de la base de données antérieurement générée par d'autres chercheurs béninois (données non publiées) .

b) Les tables des pays de la sous-région.

La table de composition des aliments sélectionnés de l'Afrique de l'Ouest (Stadlmayr *et al.*, 2010), la table de composition des aliments du Mali (Barikmo *et al.*, 2004), la table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique (FAO, 1970), la table de composition des aliments consommés de l'Afrique de l'Est (West *et al.*, 1988), la table de composition des aliments de Tanzanie (Lukmanji *et al.*, 2008).

Les teneurs en nutriments des aliments ont été exprimées en base humide dans la table qui a été mise à jour pour son usage avec *komeet 4.0*.

Dans la table, la teneur en vitamine A d'un aliment est exprimée en équivalent rétinol en tenant compte des teneurs en rétinol, en β -carotène et autres caroténoïdes. Les facteurs de conversion utilisés pour estimer la teneur en vitamine A sont ceux de Murphy (2002) recommandées par le *Food and Nutrition Board* (2002). L'activité équivalent rétinol (AER) est calculée selon la formule suivante :

$$\text{AER} = \Sigma (\text{Teneur en Rétinol} + \text{Teneur en } \beta\text{-carotène} / 12 + \text{Teneur en autres caroténoïdes provitaminiques} / 24)$$

Dans certaines tables de composition des aliments, d'autres coefficients ont été utilisés. Il a donc été nécessaire de recalculer les activités équivalent rétinol en utilisant les mêmes facteurs. Des facteurs d'harmonisation ont été définis en faisant le rapport entre les coefficients utilisés (Tableau 2.5) dans la table et ceux retenus pour cette étude.

Tableau 2.5 : Coefficients de conversion du rétinol et des caroténoïdes en équivalent rétinol.

Paramètres	Coefficients de conversion utilisés				
	Facteur de conversion retenu	Stadlmayr (2010)	Dossa (2000)	Lukmandji (2008)	ECSA (1988)
Rétinol	1	1	1	1	1
β -carotène	12	6	6	12	6
Autres caroténoïdes	24	12	12	24	-
Facteurs d'harmonisation	1	½	½	1	½

2.1.4.4. Constitution des groupes d'aliments pour le calcul du score de diversité alimentaire

Des groupes d'aliments ont été constitués dans le but d'apprécier la diversité alimentaire du régime des enfants. Ainsi peut-on calculer, à partir des scores de diversité alimentaire, un des indicateurs principaux d'évaluation des pratiques d'alimentation du nourrisson et du jeune enfant définis par l'OMS (2008). Cet indicateur de « diversité alimentaire minimum » correspond à la proportion d'enfants de 6-23 mois ayant consommé des aliments appartenant à au moins 4 groupes alimentaires distincts sur les 7 groupes alimentaires décrits dans le tableau 2.6.

Tableau 2.6 : Groupes alimentaires préconisés par l'OMS (2008) pour le calcul des scores de diversité alimentaire chez les jeunes enfants, et classement des principaux aliments rencontrés pendant l'enquête selon ces groupes.

Groupe alimentaire	Aliments les plus fréquemment rencontrés pendant l'enquête
Céréales, racines et tubercules	- farine de maïs, akassa, farine de sorgho, riz, biscuit, spaghettis, pain, beignet de farine de blé - igname, manioc, beignet de manioc, gari, farine de cossette de manioc, patate douce, taro.
Légumineuses et noix	- farine de soja, fromage de soja, arachide, galettes de tourteau d'arachide <i>kluiklui</i> , niébé/haricot, moutarde, noix de coco.
Produits laitiers (lait, yaourt, fromage)	Très peu de produits laitiers ont été consommés pendant l'enquête : yaourt, fromage peulh
Produits carnés (viande, volaille, abats) et poissons	- viande, poulet, pintade - poissons frits, bouillis, fumés et séchés
Œufs	- œufs de poule
Fruits et légumes riches en vitamine A	- légumes-feuilles, mangue, papaye et tomate - jus de noix de palme, huile de palme rouge.
Autres fruits et légumes	- ananas, banane. - oignon, piment, gombo, champignon

Les autres aliments tels que les huiles, les épices et condiments (sucre, poivre, ail, bouillon-cube, sel, potasse, sodabi) n'ont pas été comptabilisés pour le calcul du score de diversité alimentaire.

2.1.4.4. Calcul des apports et couvertures des besoins en énergie, protéines et micronutriments

Les calculs des ingérés et de la couverture des besoins ont été réalisés à partir de la base de données *Excel* sur les ingérés et à l'aide du logiciel VBS Komeet qui permet le calcul des valeurs en énergie et en nutriments des ingérés alimentaires ainsi que leur gestion. Cette base renferme les codes d'identification de chaque enfant, les quantités quotidiennes d'aliments ingérées et les quantités d'ingrédients correspondantes. Lorsque la composition en ingrédients d'un aliment n'était pas connue, la composition moyenne d'aliments du même nom, déterminée à partir des données des autres ménages de la localité était appliquée. Une liste des recettes moyennes ainsi établies est fournie en annexe 2.9. Suite à cette mise à jour de la base, les quantités d'ingrédients ingérées à partir de chaque plat consommé ont été calculées et la saisie des données relatives à chaque plat consommé par chaque enfant a été faite sous *Komeet 4.0*. La table de composition des aliments compilée évoquée précédemment a été intégrée au logiciel et a permis le calcul des ingérés pour les 3 jours d'enquête de consommation alimentaire.

A partir des résultats obtenus, les paramètres suivants ont été calculés pour chaque enfant:

- les apports journaliers en énergie et en nutriments (protéines, fer, zinc et vitamine A) ;
- les niveaux de couverture des apports journaliers recommandés (AJR) en nutriments et des besoins moyens en énergie. Les valeurs des AJR utilisés sont présentées à l'annexe 2.10.

Les apports journaliers en énergie et en nutriments des aliments s'obtiennent par la somme algébrique des quantités d'énergie et de nutriments apportés par chacun des ingrédients composant les aliments consommés au cours de la journée. Soient X_i la quantité, en gramme, d'un ingrédient i faisant partie d'un plat consommé par l'enfant au cours de la journée ; Y_i la quantité d'énergie, en Kilojoules ou en Kilocalories, contenue dans 100g de l'ingrédient i conformément à la table de composition des aliments, l'ingéré énergétique journalier à partir des aliments de complément consommés par un enfant, IE_{AC} a été obtenu par la formule suivante :

$$IE_{AC} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i * Y_i}{100}$$

L'apport journalier pour les nutriments à partir des aliments de complément a été obtenu selon les mêmes formules, en utilisant les teneurs en nutriments de chaque ingrédient indiquées par la table de composition des aliments.

Pour les enfants allaités, les quantités de lait maternel ingérées au cours des journées d'observation n'ayant pu être mesurées, les apports énergétiques du lait maternel IE_{LM} ont été pris en compte en utilisant les données OMS (1998) de valeur énergétique du lait maternel ainsi que de quantités moyennes de lait consommée par les enfants à différents âges dans les pays en développement (annexe 2.11). Ainsi, les ingérés énergétiques journaliers totaux IE_{total} ont été calculés selon la formule suivante :

$$IE_{Total} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i * Y_i}{100} + IE_{LM}$$

Les apports journaliers totaux pour les nutriments ont été obtenus selon les mêmes formules, utilisant les données de composition du lait maternel OMS (1998).

Le taux de couverture des apports journaliers recommandés (« nutrient adequacy ratio ») est calculé comme le ratio des apports journaliers moyens pour chaque enfant (apports des aliments consommés sur les trois jours divisés par 3 + apports journaliers à partir du lait maternel si l'enfant est allaité) sur les besoins énergétiques moyens ou les apports de sécurité pour les nutriments proposés par la FAO et l'OMS (FAO/OMS, 2004) et multiplié par 100, selon la formule suivante :

$$\text{Taux de couverture énergie/nutriment \%} = \frac{\text{Apport journalier moyen énergie/nutriment à partir des aliments et du lait}}{\text{AJR énergie/nutriment}} * 100$$

Les valeurs utilisées pour les apports journaliers recommandés (besoins moyens pour l'énergie et apports de sécurité pour les nutriments) pour les jeunes enfants (6 - 35 mois) pour le traitement des données sont présentées en annexe 2.10.

2.2. Caractérisation de la valeur nutritionnelle des plats.

Afin d'apprécier d'une part la valeur nutritionnelle des plats consommés et de caractériser les procédés de préparation des sauces, deux enquêtes d'observation ont été réalisées dont l'une dans la région sud et l'autre dans la région nord du pays.

2.2.1. Protocoles d'études des enquêtes d'observation des modes de préparation des plats fréquemment consommés par les jeunes enfants

2.2.1.1. Suivi des procédés de préparation des recettes traditionnelles

Les premières enquêtes d'observation des modes de préparation se sont déroulées dans les deux communes du sud (Cotonou et Zè) et la collecte des données a été faite avec l'aide d'une étudiante en master (Gnimadi, 2009). Cette enquête s'est déroulée en 3 étapes: (i) l'identification des plats céréaliers et des sauces les accompagnant les plus fréquemment consommés par les enfants de 6-35 mois, (ii) le choix des foyers où les observations ont été réalisées, et (iii) l'observation du mode de préparation ($n \geq 4$).

Le parcours rapide des premiers questionnaires de l'enquête de consommation alimentaire menée à Zè et Cotonou, notamment le questionnaire de fréquence de consommation des plats à base de céréales (annexe 2.7), a permis d'identifier les plats céréaliers les plus fréquemment consommés au cours de la semaine précédant l'enquête. Les principales sauces d'accompagnement consommées ont été ensuite identifiées grâce à la consultation des fiches de recueil de mesures d'ingérés (Cf. § 2123). Les sauces les plus prometteuses dans le cadre de notre étude sont celles qui sont potentiellement riches en vitamine A et en fer. Il s'agit essentiellement des sauces légumes-feuilles dont le nom correspond à l'ingrédient principal utilisé pour leur préparation, ou de la sauce graine préparée avec du jus de noix de palme, avec ou sans légumes-feuilles. Le tableau 2.7 présente les différentes sauces observées et les légumes-feuilles correspondants.

Tableau 2.7 : Nom des sauces et des légumes-feuilles correspondants

Principales sauces consommées		Principaux ingrédients
Nom en langue Fon^a	Nom en français	Nom latin
Sauce	Légume-feuille	
<i>Amanvivè</i>	Vernonie	<i>Vernonia amygdalina (Delile)</i>
<i>Fotètè</i>	Amarante	<i>Amaranthus cruentus (L.)</i>
<i>Fingninman</i>	Manioc	<i>Manihot esculenta (Crantz)</i>
<i>Fonman</i>	Prune noire	<i>Vitex doniana (Sweet)</i>
<i>Gboman</i>	Grande morelle	<i>Solanum macrocarpon (L.)</i>
<i>Soman</i>	Célosie	<i>Celosie argentea (L.)</i>
<i>Tchiayo</i>	« Basilic »	<i>Ocimum gratissimum (L.)</i>
	Noix de palme	
<i>Dénoussounou^b</i> ou sauce « graine »	Jus de noix de palme	<i>Elaeis guineensis (Jacq.)</i>
	Fruit	
<i>Févi</i>	Gombo (Fruit)	<i>Hibiscus esculentus (L.)</i>

^a Principale langue locale parlée au Bénin

^b Existe sous deux formes. Dénoussounou simple et Dénoussounou avec légumes-feuilles

Pour l'observation des modes de préparation, 4 à 5 préparatrices ont été choisies au hasard dans les deux localités parmi les ménages dans lesquels la consommation de ces sauces avait été enregistrée. Les observations ont été réalisées à l'aide d'une fiche d'enregistrement des recettes (annexe 2.12.). Les informations suivantes ont été notées :

- La liste et l'ordre dans lequel les ingrédients sont utilisés
- Les différentes opérations unitaires appliquées aux ingrédients et aux mélanges
- Les quantités d'ingrédients et d'eau utilisées (déterminées par pesées)
- L'évolution de la température au cours de la cuisson
- Le pH et la température de la sauce finale
- La durée de cuisson et les heures d'ajouts des ingrédients dans la sauce.

A la fin de chaque préparation, les différents plats et sauces ont été prélevés pour mesurer leur teneur en matière sèche (Université d'Abomey Calavi) et analyser leur valeur nutritionnelle (IRD de Montpellier). Les analyses effectuées ont comporté la composition globale (protéines, lipides, fibres, cendres), le fer et le zinc, les phytates et les caroténoïdes.

Ces observations ont nécessité le suivi de plusieurs paramètres réalisés avec divers matériels :

- *Température* : un enregistreur de température à sonde pour suivre l'évolution de la température au cours des traitements thermiques.
- *pH* : un pH-mètre WTW 340i, étalonné chaque matin à l'aide de deux solutions tampons (une à pH 7 et l'autre à pH 4) pour mesurer le pH lors de l'ajout d'ingrédient supposé alcalinisant (potasse traditionnelle) et à la fin de la préparation de la recette.

- *Masse des ingrédients* : 2 balances Terrailon© de portées respectives 5kg et 10kg et avec une précision respective de 1g et 10g.
- *Durée de l'étape unitaire* : un chronomètre.
- *Prélèvements d'échantillon* : 3 pots à prélèvement, l'un pour la mesure de la TMS, les deux autres ont été congelés et rapportés à Montpellier pour analyse.

Pour chaque plat céréalier et chaque sauce observés, une recette moyenne basée sur les étapes unitaires les plus fréquemment observées et sur les quantités moyennes d'ingrédients utilisées a été établie. Cette recette moyenne a été réalisée par les ménages choisis.

2.2.1.2. Reproduction des recettes dans les ménages

Les premiers résultats des enquêtes effectuées ont permis d'identifier quelques aliments potentiellement très riches en vitamine A, notamment les sauces à base jus de palme et les sauces légume-feuilles à base d'huile de palme. Nous avons retenu plus particulièrement les sauces aux feuilles d'amarante, espèce riche en micronutriments (notamment fer et zinc), à court cycle végétatif et très répandue au Bénin. En vue d'étudier l'influence et éventuellement d'améliorer la qualité nutritionnelle de ces sauces, des suivis des procédés de préparation traditionnels ont été effectués à Natitingou. Sur la base des paramètres mesurés sur le terrain (température, durée, pH, etc.), les principales opérations unitaires de la préparation de ces sauces ont été reproduites au laboratoire pour en identifier les étapes critiques.

✓ *Faisabilité de recommandations visant à promouvoir la consommation de sauces à base de feuilles d'amarante et de jus de palme ou d'huile de palme rouge à Natitingou*

Pour des raisons agro-climatiques, le palmier à huile pousse moins aisément dans les régions nord du Bénin qu'au sud, et par conséquent l'huile de palme rouge et les noix de palme y sont moins souvent utilisées dans l'alimentation. Cependant, leur présence a été constatée au marché local «Yara » seul et unique marché de la ville de Natitingou.

Les préparations des sauces ont été suivies dans 10 ménages différents de Natitingou. Les recettes observées se répartissent de la façon suivante :

- 7 sauces de jus de noix de palme (« *Dénoussounou* ») aux feuilles d'amarante, parmi lesquelles 3 ont été préparées avec des feuilles non blanchies et 4 avec des feuilles blanchies
- 3 sauces aux feuilles d'amarante blanchies et à base d'huile de palme rouge.

Pour limiter la variabilité due à l'origine des ingrédients, les feuilles d'amarante, l'huile de palme rouge et les noix de palme ont été fournies aux ménages.

✓ *Les matières premières*

Pour la caractérisation de la composition des légumes-feuilles frais et du gombo entrant dans la composition des sauces, des échantillons ont été achetés chez les maraîchers qui approvisionnent les principaux marchés des villes. Les légumes-feuilles ont été emballées dans des tissus cousus. Tous les échantillons ont été étiquetés sur les lieux de collecte et conditionnés dans des glacières chargées en glace et transportés au laboratoire du Département de Nutrition et Sciences Alimentaires de l'Université d'Abomey-Calvi (Bénin) où ils ont été congelés. L'acheminement des échantillons destinés aux analyses de valeur

nutritionnelle au Laboratoire de l'UMR 204 Nutripass, IRD de Montpellier a été fait par conservation sous carboglace

Par ailleurs, les principales matières premières utilisées dans le cadre de la caractérisation des procédés traditionnels de préparation des sauces à Natitingou ont été échantillonnées sous forme brute ou après première transformations, pour analyses ainsi que pour la reproduction des principales opérations unitaires au laboratoire :

- *Feuilles fraîches d'Amarante* : elles ont été récoltées directement des planches d'une maraîchère à Natitingou.
- *Feuilles d'amarantes blanchies* : elles ont été prélevées après blanchiment, lorsque celui-ci était effectué.
- « *Potasse* » *traditionnelle* : il s'agit du résidu sec d'un filtrat de cendres de bois, optionnellement utilisé au cours du blanchiment des feuilles d'amarante et achetée au marché.
- *Huile de palme rouge* : un lot a été acheté au marché Yara à Natitingou, pour la préparation des sauces dans les ménages et pour les études au laboratoire.
- *Noix de palme achetées* au marché Yara à Natitingou

Les conditions de collecte, conditionnement et de transport des échantillons de matières premières et des 10 sauces suivies sont identiques à celles observées pour les échantillons de Cotonou/Zè.

✓ *Suivis des formulations et des procédés*

Au cours de chaque suivi réalisé dans les 10 ménages, la nature et la masse nette de chaque ingrédient utilisé, la chronologie et la durée des opérations unitaires, et les températures mises en œuvre lors de traitements thermiques ont été enregistrées. Une fiche de suivi de préparation a été élaborée pour la collecte des données (Annexe 2.13). La compilation de ces données a permis d'établir les diagrammes technologiques de préparation des sauces.

En raison des risques potentiels pour la teneur en caroténoïdes des sauces, une attention particulière a été portée sur la caractérisation des différents traitements thermiques observés

2.2.1.3. Reproduction des recettes au laboratoire

✓ *Blanchiment des feuilles*

Pour limiter les variations de teneurs en caroténoïdes d'une feuille à l'autre, il a été nécessaire de sélectionner attentivement le matériel (feuilles et noix) utilisé. Les feuilles d'amarante choisies sont des feuilles identiques (de même couleur, taille et aspect). Elles ont été dans un premier temps rincées, égouttées puis étalées à l'air libre sur du papier absorbant au laboratoire. Pour chaque expérience, la prise d'échantillon était de 2,5 g de feuille, composés de fragments d'environ 150 mg provenant d'une même feuille, dans l'optique de réduire la variabilité des teneurs en micronutriments au sein des échantillons. Les tigelles ont été coupées et enlevées. Les découpes d'échantillons de feuille d'amarante ont été faites presque au même niveau de la feuille.

De l'eau Volvic® a été ajoutée dans une proportion feuilles/eau de 0,135. Deux types de blanchiment ont été réalisés, l'un avec de l'eau seule, l'autre avec de l'eau additionnée de potasse traditionnelle. 1,8 g de potasse a été utilisé pour 100 g de feuilles fraîches afin de respecter les proportions moyennes utilisées au niveau ménage; la concentration finale de la solution de potasse était ainsi de 2,2 g/L et le pH=9,9. Après la cuisson, les feuilles ont été égouttées et refroidies pendant 5 minutes.

Le blanchiment a été fait à ébullition (en pratique, à 98°C) et la durée de blanchiment des feuilles a été de 27 min, correspondant aux conditions les plus drastiques observées dans les ménages. 4 répétitions de l'expérience ont été effectuées. Les feuilles blanchies ont été conservées pour l'analyse de leur teneur en caroténoïdes.

✓ *Extraction du jus de noix de palme*

Les noix de palme choisies sont des noix matures de tailles similaires. Pour chaque expérience (4 répétitions), la prise d'échantillon était de 8,5 g. La cuisson a été faite dans 17 g d'eau de Volvic® pendant 21 min à 98°C puis les noix sont écrasées et pilées pendant environ 15 min grâce à un mortier. Le jus a été recueilli pour l'analyse de sa teneur en caroténoïdes.

✓ *Blanchiment de l'huile de palme rouge*

Le chauffage de l'huile de palme rouge (environ 100 mg) a été étudié à 180 et 200°C pour des durées de traitement variant de 0 à 14 minutes. 4 répétitions de chaque expérience ont été effectuées.

Pour les trois opérations unitaires étudiées, les traitements thermiques ont été faits dans des tubes en pyrex fixés sur une plaque chauffante (MR Hei-Tec, Heidolph, Allemagne) connectée à un contrôleur électronique de température (EKT 3001, Reax 2, Heidolph, Allemagne), assurant une précision de température de $\pm 1^\circ \text{C}$. La plaque chauffante est couverte d'un bloc de réaction, qui assure une parfaite homogénéité thermique dans les tubes (Drysyn, Heidolph, Allemagne). Dans ces conditions expérimentales, le traitement thermique est assez homogène.

400 mg de pulpe de noix de palme ou d'huile de palme rouge et 150 mg de feuilles blanchies ont été utilisées pour la détermination des teneurs en caroténoïdes. Les teneurs initiales (avant traitement thermique) en caroténoïdes de la pulpe de noix de palme, de l'huile de palme rouge et des feuilles d'amarante ont été déterminées sur la base de 4 répétitions.

2.2.1.4. Méthodes d'évaluation de l'acceptabilité des sauces améliorées

Tenant compte des résultats des études précédentes lors du suivi des préparations au ménage et aux laboratoires, trois sauces ont été formulées : «*Dénoussounou simple*», «*Dénoussounou + Légume-feuille Amarante*», et «*Légume-feuille Amarante + huile de palme rouge*» (§3.2.1.3.). Ces sauces ont été soumises à l'appréciation des enfants de 6-23 mois et de leurs mères à Natitingou. L'acceptabilité par les jeunes enfants a été évaluée par la mesure des quantités ingérées au cours d'un repas.

✓ *Recrutement des jeunes enfants et de leur mère*

36 couples mère-enfant ont été recrutés à Natitingou sur la base du volontariat. 18 enfants âgés de 6-11 mois et 18 de 12-23 mois ont été enrôlés avec l'accord et le consentement des deux parents de l'enfant. Les mères également donnaient leur accord pour participer à la séance de dégustation des sauces. Trois rendez vous leur étaient alors donné pour se rendre sur le lieu des dégustations, organisées dans un collège de la ville.

Les jours des mesures, trois défections ont été enregistrées réduisant l'échantillon final à 33 enfants et 33 mères.

✓ *Préparation des sauces*

D'une manière générale, les sauces ont été élaborées suivant le mode ordinaire de préparation des sauces. Cependant, il a été tenu compte des caractéristiques d'optimisation et de bonne rétention des caroténoïdes en lien avec les méthodes traditionnelles de préparation :

a) *Sauce Dénoussounou simple*

- les noix de palme ont été bouillies pendant **21 min à 98°C**. Ces paramètres en lien avec la méthode observée dans les ménages n'affectent pas les caroténoïdes. Cette sauce graine ne contient pas de légume-feuille.

b) *Sauce Dénoussounou avec Légume-feuille Fotètè blanchi*

- Le blanchiment des légumes-feuilles a été fait pendant environ **27 min à 98°C**.
- La potasse traditionnelle a été utilisée lors du blanchiment des feuilles d'amarante.

c) *Sauce Légume-feuille Fotètè à base d'huile de palme rouge (HPR)*

- Le blanchiment des légumes-feuilles a été fait pendant environ **27 min à 98°C**
- Le blanchiment de l'HPR a été effectué à basse température (60 à 100°C).

Une sauce par jour a été préparée. Les ingrédients ont été préalablement achetés au marché (Yara de Natitingou) et les sauces ont été préparées par des mères recrutées suivant leur connaissance avérée dans la préparation de ces sauces mais surtout sous notre guidance. Nous avons participé à la préparation des sauces pour faire respecter les paramètres d'optimisation des teneurs en caroténoïdes. Chaque sauce est préparée le matin, le jour de sa dégustation et consommation, ceci en quantité suffisante pour ne pas avoir à préparer successivement dans la même marmite. Des prélèvements des trois types de sauces ont été faits dans les conditions de collecte, transport et conditionnement identiques à celles décrites précédemment en vue de leur analyse biochimique au laboratoire.

✓ *Appréciation des sauces par les mères des enfants*

Il s'agissait pour les mères de classer ces sauces selon leur degré d'appréciation et celles de leur enfant. Les mères font dans un premier temps une appréciation globale de la sauce. Ensuite pour mieux comprendre la raison du choix opéré, elles ont été amenées progressivement à juger la sauce en la caractérisant à travers quatre de ses attributs notamment l'aspect en termes d'attrance, son odeur, la « densité » de la sauce (sa consistance), puis le goût de chaque sauce, en répondant à la question suivante : mon enfant aime-t-il Beaucoup ? Aime moyennement ? Indifférent (neutre) ? N'aime pas ? N'aime pas du tout ? Les appréciations données ont ensuite été transformées en notes sur une échelle de catégories variant de 1 (N'aime pas du tout) à 5 (Aime beaucoup). Nous avons préféré une échelle de mesure de satisfaction impaire pour pouvoir trancher facilement lors de l'analyse. Ces informations ont été recueillies au moyen du questionnaire d'appréciation (annexe 2.14)

✓ *Mesure des ingérés des sujets choisis*

Les sauces préparées ont été consommées par les enfants et la mesure des quantités de sauce ingérées par les enfants a été faite au moyen à l'aide de balances électroniques (4) ménagères (Salter electronic scale, portée : 5000g ; précision : 1g).

Après la dégustation de chaque sauce par les mères, la quantification de sa consommation par l'enfant s'ensuit par pesée du bol de sauce avant et après consommation. La consommation de la sauce préparée a eu lieu au moment du déjeuner vers 12 heures. Chaque enfant a mangé avec l'aide de sa mère (voir photos en annexe 2.15). Les sauces ont été servies accompagnées d'une pâte à base de maïs ou cossette d'igname au choix.

2.2.2. Analyses biochimiques

Pour chaque aliment ou ingrédient collecté, un échantillon a été utilisé pour les mesures de teneur en MS réalisées au laboratoire du Département de Nutrition et Sciences Alimentaires de l'Université Abomey-Calavi et les autres ont été congelés et rapportés dans une glacière au laboratoire de l'UMR 204 Nutripass à l'IRD de Montpellier. Les échantillons destinés aux dosages de protéine, lipide, fibre, cendre, fer et zinc ont été lyophilisés à l'aide d'un appareil CHRIST modèle Beta 1-8 LOC-2, et ceux destinés au dosage des caroténoïdes ont été conservés au congélateur (-20°C).

2.2.2.1. Mesure de la teneur en matière sèche

Afin de déterminer la teneur en matière sèche des échantillons prélevés, un prélèvement homogène d'environ 10g de matière brute a été pesé précisément (m_i) effectué, dans un pot en plastique thermorésistant préalablement taré (t) puis placé à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant (en pratique, pendant 24h). Après 24h, l'ensemble pot + échantillon est pesé de nouveau (m_f). La TMS de l'échantillon est ensuite calculée selon la formule suivante :

$$TMS = \frac{m_f - t}{m_i} * 100$$

2.2.2.2. Mesure de pH

Le pH des sauces a été mesuré utilisant le pH-mètre WTW 340i (WTW, Weilheim, Germany).

2.2.2.3. Teneur en lipides

Les teneurs en lipides des échantillons ont été déterminées par le système HT6 Soxtec (Tecator, Höganäs, Suède) en suivant les modifications du procédé d'extraction standard Soxhlet (AOAC, 2003). Pour tous les aliments composés, les échantillons sont prétraités à l'acide chlorhydrique 8N à 100°C pendant 30 min, puis filtrés, séchés et extraits à l'éther de pétrole. Le solvant est ensuite évaporé et la masse des lipides éthersolubles a été déterminée par gravimétrie et rapportée à la quantité de matière sèche initiale. Les résultats sont exprimés en g/100 g de MS.

2.2.2.4. Teneur en protéines

Les teneurs en protéines ($N \times 6,25$) ont été déterminées par la méthode de Kjeldhal selon la norme NF V03-050 (AFNOR, 1970) qui consiste à doser l'azote organique après minéralisation de l'échantillon. Le sulfate d'ammonium contenu dans la solution minéralisée libre, après alcalinisation, de l'ammoniac qui est entraîné par distillation à la vapeur, puis titré par une solution d'acide sulfurique 0,04 N. La teneur en protéines a été calculée à partir de la teneur en azote multipliée par le coefficient de conversion 6,25. Les résultats sont exprimés en g/100 g MS.

2.2.2.5. Teneur en fibres ADF

Les fibres ADF ont été déterminées par gravimétrie à l'aide d'un Dosi-fiber (Selecta, Barcelone, Espagne) selon la méthode de Van Soest (1963). Cette méthode permet de doser la cellulose et les lignines et ne prend pas en compte les hémicelluloses, pectines, gommes et le mucilage. Les échantillons ont été préalablement délipidés à l'éther de pétrole. Après dégradation de l'amidon et incubation, les teneurs en fibres sont déterminées par gravimétrie, après soustraction des quantités de protéines et de cendres présentes dans les résidus. Les résultats sont exprimés en g/100 g MS.

2.2.2.6. Teneurs en cendres totales

Les cendres qui se composent des éléments métalliques ou métalloïdes sous forme de sels (phosphates, chlorures, sulfates) et de résidus minéraux combustibles provenant de la décomposition des matières organiques ont été déterminées par minéralisation au four à 530°C pendant 3 h selon la méthode NF V03-760 (AFNOR, 1981). Les teneurs ont été ensuite déterminées par pesée différentielle. Les résultats sont exprimés en mg/100 g MS.

2.2.2.7. Calcul de la densité énergétique

La densité en énergie a été calculée en utilisant les coefficients d'Atwater 4, 4 et 9 kcal/g MS pour les protéines, glucides et lipides. Les glucides totaux sont calculés par différence $[100 - (\text{protéines} + \text{lipides} + \text{fibres} + \text{cendres})]$. Les résultats ont été exprimés en kcal/100 g de produit brut pour la densité énergétique et en kcal/100 g MS pour la valeur énergétique.

2.2.2.8. Teneur en fer et en zinc

Le fer et le zinc ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (AA 800, Perkin Elmer, Les Ulis, France) après minéralisation humide dans des réacteurs sous pression et à chaud : pour cela, l'échantillon (0,4 g) est introduit dans un réacteur, puis additionné de 7 ml de HNO₃ 14N et 1 ml d'H₂O₂. Les différents réacteurs sont assemblés et introduits dans un digesteur à micro-ondes Ethos-1 (Milestone/ThermoFisher, Saint-Herblain, France) pour la minéralisation. Les minéralisats sont ensuite complétés à 25 ml avec de l'eau milliQ avant dosage au spectromètre. Les résultats sont exprimés en mg/100 g MS.

2.2.2.9. Teneur en caroténoïdes

L'extraction des caroténoïdes, adaptée de la méthode de Taungbodhitham *et al.* (1998) a été effectuée à l'aide d'un mélange 10 mL d'éthanol/hexane 4/3 (v/v) pour environ 400 mg d'échantillon en base humide. Le broyage a été fait à l'Ultraturrax (Prolabo, France) pendant 1 minute dans un tube en verre puis filtré sur fritté et transféré dans un autre tube en verre. L'extrait a ensuite été additionné d'une solution de NaCl à 10% (p/v). Après une décantation d'environ 5 minutes, la phase aqueuse inférieure a été retirée tandis que la phase organique restante a été lavée à nouveau avec 10 ml d'eau milliQ. L'extrait est versé dans un flacon ambré puis évaporé sous azote. Le résidu sec est récupéré avec 2 ml d'acétone. L'extrait a ensuite été filtré sur une membrane millipore en PTFE de 0,20 µm de diamètre. Pour les échantillons très gras, après environ 2h de décantation au congélateur (-20°C), l'extrait subit pendant 30 min une centrifugation (1500 rpm) à une température de -9°C pour précipiter les lipides avant la filtration sur membrane millipore en PTFE de 0,20 µm de diamètre de la phase liquide supérieure.

La quantification a été réalisée par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et après séparation des caroténoïdes sur une colonne monomérique YMC-30 (4,6 mm × 150 mm, 3 µm). Les solvants d'élution utilisés sont le méthyl-tert-butyl-éther (MTBE), le méthanol et l'eau, à un débit de 1 mL/min. L'élution a été faite avec une pompe Dionex P680. Un détecteur à barrettes diodes UV-Visible (Dionex UVD 340U) a été utilisé. Les chromatogrammes ont été analysés aux longueurs d'ondes d'absorption maximum des caroténoïdes et du all-trans-rétinol, soit 450 nm et 320 nm, respectivement. Les caroténoïdes sont identifiés en comparant leurs temps de rétention avec des standards commerciaux. Plusieurs caroténoïdes ont été identifiés notamment ; l' α -carotène, le β -carotène, les isomères 9-*cis* et 13-*cis*- β -carotène, la lutéine et la violaxanthine (ces deux derniers composés n'ont pas d'activité provitaminique A).

Les isomères des caroténoïdes ont été identifiés grâce à leurs temps de rétention et par les gammes d'absorption citées dans la littérature (Rodriguez et Rodriguez-Amaya, 2007, Aman *et al.*, 2005). La reproductibilité a été mesurée en analysant un des échantillons sur six répétitions; le coefficient de variation était de 10,1%. La teneur en rétinol (d'échantillons contenant de la viande) a été déterminée après saponification selon la méthode AOAC 992,06 (AOAC, 2005). Approximativement 1 g de l'échantillon imbibé d'eau a été saponifié avec 1,25 mL de KOH 10,5 M pendant 25 min minimum à 70°C puis extrait avec 7,5 mL d'éthanol/hexane (4/3, v/v). Les extraits organiques ont été séchés sous azote et les résidus ont été solubilisés dans 1 mL d'acétone et injectés dans l'HPLC.

2.2.2.10. Calcul de la teneur en équivalent rétinol

L'activité équivalent rétinol (AER) exprimé en mg AER/100 g MS a été calculée utilisant les facteurs de conversion de 12 pour le β -carotène et 24 pour les autres caroténoïdes provitaminiques A et 1 pour le rétinol (Murphy 2002).

2.3. Analyses statistiques des données

2.3.1. Pour les enquêtes de consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants

Pour chacune des variables, des statistiques descriptives ont été réalisées à l'aide du tableur Excel. Il s'agit d'une part des moyennes et écart-types pour les données suivant une distribution normale et d'autre part, des médianes, pour les données dont la distribution n'est pas normale. La normalité des distributions a été vérifiée avec le test de *Ryan Joiner* à l'aide du logiciel statistique *MiniTab 14.0*. La démarche statistique utilisée se résume en ces différents points:

- Vérification de la normalité de la distribution des données (test de *Ryan-Joiner*) et de l'homogénéité des variances (test de *Levene*)
- Si la distribution est normale, on effectue les tests paramétriques suivants:
 - Analyse de variance (ANOVA) pour la comparaison des moyennes par tranches d'âge
 - Test t de Student pour les comparaisons selon le sexe.
- Si la distribution n'est pas normale, on effectue les tests non paramétriques:
 - Test de *Kruskal-Wallis* pour la comparaison des médianes
 - Test de *chi 2* pour comparer les différentes proportions.

Les tests ont été effectués avec une marge d'erreur de 5%. La différence est significative lorsque la probabilité $P < 0,05$.

2.3.2. Pour la caractérisation de la valeur nutritionnelle des plats

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics Plus 5.1, en utilisant l'analyse de variance (ANOVA). Les tests de Fischer et de Duncan ont été utilisés pour apprécier les différences des moyennes et proportions. La différence est significative lorsque $p < 0,05$.

Chapitre 3. Résultats

3.1. Situation alimentaire et nutritionnelle et couverture des besoins en énergie et en nutriments des jeunes enfants en milieux urbain et rural au Bénin

La mise au point de stratégies et la définition de recommandations visant à améliorer le statut en fer, zinc et vitamine A des jeunes enfants requiert tout d'abord une connaissance approfondie du contexte. Particulièrement dans les cas de stratégies basées sur l'alimentation, il est nécessaire de caractériser de manière détaillée l'alimentation traditionnelle et sa contribution à la couverture des besoins. Ce premier chapitre vise à présenter les résultats de l'enquête de consommation alimentaire par pesées et mesures anthropométriques conduite au Bénin auprès de 420 enfants âgés de 6-35 mois. Cette première étude a permis de caractériser les sujets, de mesurer les prises alimentaires des jeunes enfants, la couverture des besoins en énergie et en nutriments, la diversité alimentaire et enfin, identifier les individus à risque de carence en fer, zinc et vitamine A.

D'après les résultats de l'enquête, l'état nutritionnel des jeunes enfants enquêtés dénote une situation préoccupante, mais, bien que les données ne soient pas directement comparables, est en accord avec les résultats des enquêtes les plus récentes (INSAE et Macro Int. Inc., 2007 ; GdB et al, 2009). Le retard de croissance est deux fois plus fréquent chez les garçons que chez les filles. C'est la forme de malnutrition touchant le plus grand nombre de sujets. La plus forte prévalence (34,3%) a été observée à Zè en milieu rural et au sud du Bénin. et est comparable à la prévalence nationale.

D'une façon générale, le nombre moyen de prises alimentaires par jour est plus élevé chez les enfants non-allaités (4) que chez les enfants allaités où il est en moyenne de 3. Chez les non-allaités, il est plus élevé dans les sites urbains enquêtés que sur les sites ruraux. Sur les 4 sites d'enquête, les enfants de 6-35 mois consomment par ordre de fréquence décroissant, les plats familiaux, les bouillies, et plus rarement, les snacks, les fruits et les boissons. La diversité alimentaire globale est moyenne (score moyen =3,8). Le pourcentage d'enfants ayant un score de diversité alimentaire supérieur ou égal à 4 est de 42,5% chez les 6-11 mois, 72,1% chez les 12-17 mois et 77,2% chez les 18-23 mois cependant, très peu d'enfants consomment les produits laitiers (10,9%) ou des œufs (5,1%) qui sont de bonnes sources de vitamine A préformée. Les résultats de la consommation alimentaire des enfants montrent que les apports en protéines couvrent 100% des apports recommandés pour la grande majorité (plus de 85%) mais que les apports en énergie sont insuffisants chez un grand nombre d'enfants surtout lorsqu'ils sont plus âgés (40% chez 24-35 mois). La couverture des apports journaliers recommandés (AJR) en micronutriments -fer, zinc et vitamine A- est très inadéquate sur les quatre sites d'enquête. Toute zone confondue, 69 à 94 % d'enfants ont des apports en fer inférieurs à 100 % AJR, 93 à 96% des enfants pour le zinc et 75 à 78% des enfants pour la vitamine A. 36 à 77% et 60 à 76% des enfants enquêtés ont des apports en fer et en zinc inférieur à 50 % des AJR. Par rapport à la vitamine A qui a fait l'objet de travaux plus approfondis dans le cadre de notre étude, sur l'ensemble des quatre sites d'étude, 28 % des enfants enquêtés âgés de 12-23 mois et 58% des enfants âgés de 24-35 mois sont à risque de carence en vitamine A. Chez les enfants non-allaités, les apports sont encore plus faibles, mais

des disparités très importantes apparaissent selon les sites d'enquête : à Zè, zone de production et de consommation importante d'huile de palme rouge, le nombre d'enfants à risque de carence en vitamine A est très faible (3/100).

Globalement, cette étude confirme que la malnutrition par carence en micronutriments est présente sur les 4 sites d'enquête, de manière plus marquée en milieu rural qu'en milieu urbain. Elle révèle une forte inadéquation des apports en fer, zinc et vitamine A à partir de l'alimentation des jeunes enfants, mettant en évidence un risque de carence en ces micronutriments important. La conduite de travaux visant à augmenter la consommation d'aliments constituant de bonnes sources en micronutriments semble donc plus qu'opportune.

Ces résultats sont présentés de manière plus complète et détaillée dans le projet d'article ci-après (§3.1.1) intitulé : « Etat nutritionnel, consommation alimentaire et apports inadéquats en micronutriments chez les jeunes enfants en milieux urbain et rural au Bénin ». Cet article est en préparation pour soumission au journal « Maternal and Child Nutrition ». En complément, les résultats des questionnaires de fréquence de consommation des aliments riches en vitamine A ou en fer et des plats seront présentés et discutés au paragraphe 3.1.2.

3.1.1. Article 1 (projet): Nutritional status, food consumption and inadequate micronutrient intakes of young children in urban and rural areas in Benin

Title: Nutritional status, food consumption and inadequate micronutrient intakes of young children in urban and rural areas in Benin.

Waliou Amoussa-Hounkpatin^{1, 2*}, Evariste Mitchikpè¹, Sam Bodjrènou¹ Fayçal Sanoussi¹, Romain A.M.Dossa¹, Claire Mouquet-Rivier²

¹DNSA/FSA/University of Abomey-Calavi (UAC) 01 BP 526 Cotonou, Bénin

²IRD, UMR 204 NUTRIPASS, IRD/UM1/UM2, F-34394 Montpellier, Cedex 5, France

*Corresponding author. Tel.: 00 229 97 76 82 90. E-mail address: amouswal@yahoo.fr

Abbreviated running title:

Abstract

Objective: This study was carried out to characterize the adequacy of iron, zinc and vitamin A intakes in 6-35-month-old children in Benin and to assess their nutritional status.

Design: A food consumption survey was carried out during 3 non consecutive days using the weighed food record method. Dietary diversity, complementary feeding practices, health and breastfeeding characteristics as well as children and mothers anthropometrics data were collected to assess their nutritional status.

Setting: Four survey sites were chosen to represent two agro-ecological regions in Benin (the North vs the South) and urban vs rural areas.

Subjects: 420 young children, 105 in each area distributed in three age groups 6-11, 12-23 and 24-35 months were randomly selected for the survey.

Results: Stunting was the most critical form of malnutrition, more prevalent within boys than girls and the highest prevalence observed was 34.3% in Zè, a rural area. The percentages of children with minimum dietary diversity were: 42.5%, 72.1% and 77.2% respectively with 6 to 11, 12 to 17 and 18-23 -month-old children. Figures were much more alarming: 69 to 94 % of children, according to the age group, had intakes much lower than RNI for iron, 93 to 96% for zinc and 75 to 78% for vitamin A.

Conclusions: Dietary diversity was medium in the four areas. Energy and protein deficiencies were not predominant however, iron, zinc, and vitamin A intakes appeared highly inadequate leading to a high number of young children at risk of micronutrient deficiencies.

Keywords : stunting, dietary diversity, micronutrient, nutrient adequacy ratio, Benin

Introduction

All people need a variety of foods to meet requirements for essential nutrients, and the value of a diverse diet has long been recognized (Arimond et Ruel, 2004). The number of stunted pre-school children in Africa has increased from about 45 millions in 1990 to 60 millions in 2010, and a forecast at 64 million people in 2020 if the current trend continues (de Onis et al, 2011).

Benin is one of the poorest countries in Sub-Saharan Africa where life expectancy is 59 years. In 2005, the malnutrition was one of the 10 main causes of consultation of children under the age of five in Health Centers (MSPB, 2006). In 2008, the prevalence had attained 37% (new WHO growth standards (WHO, 2006) (GdB et al, 2009), which was 7 points above the threshold that determines a serious and stationary nutritional problem (Maire et al., 2004). The rates for stunting are higher within boys (40%) than girls (34%) among children under 5 years (GdB et al., 2009). This situation is worrying since growth retardation (or stunting) is associated with mediocre school results and, in the long term, to a lower productivity and lower incomes (UNICEF, 2009). The children under five years also suffer from several micronutrient deficiencies. For example in Benin, the high anemia prevalence of 82% in 2001 and of 78% in 2006 could express a severe iron deficiency (INSAE et ORC Macro, 2002; INSAE et Macro International, 2007; Mayor et al., 2004). Vitamin A deficiency affects 68% of the children 6 to 59 months of age and could be the underlying cause of 34% of the infant mortality in Benin (MSPB & USAID-Bénin, 2004).

Nutritional status is recognized as an indicator of development and well-being (Martorell, 1995). For children to grow adequately, several conditions must be met. Their food consumption and their health status – which act in synergy – are the immediate determinants of their nutritional status (UNICEF, 1998). These, in turn, result from determinants operating at the underlying level of their family and community as well as at the more nutritional adequacy in the study area, fundamental levels of society. Nutritional status is thus seen as the outcome of processes in society (Blaney et al, 2009). The causes of the malnutrition are varied and include inadequate food rations with low complementary food diversity, repeated infections, and low micronutrient bioavailability in the foods consumed, due to inhibitors

factors or the accumulation of inadequate food intake (Gibson et al., 2009). The complementary foods are defined as the first foods (liquid or solid) introduced in children feeding in addition to the maternal milk (Brown and Lutter, 2000). According to Gibson et al (2009) complementary feeding practices and behaviours have an overwhelming impact on subsequent growth, health and cognitive development during early childhood.

Most often in Benin, complementary foods are given in due time but lack of diversity. (INSAE & Macro International, 2007). The feeding of the young children comprises porridges, snacks and family dishes. These family dishes are constituted of staple foods (cereals, roots or tubers) accompanied by plant-based sauces.

Maize, millet, sorghum and rice represent an important part of the diet and are the most frequently consumed cereals in most West African countries (Hounhouigan, 2003). Maize represents 74% of the total cereal intake and is available in all regions (commune) of Benin (DANA et al., 1991). Cereal-based diets are often inadequate in growth-limiting micronutrients, notably calcium, vitamin A, iron, and zinc, in part because of their high content of phytic acid (myoinositol hexaphosphate), a potent inhibitor of mineral absorption (WHO 1998).

The objective of this study was to assess the adequacy of iron, zinc and vitamin A intakes in the 6 to 35-month-old children through food consumption survey using weighed food record method in urban and rural areas in northern and southern Benin. In this study, we (1) characterized breastfeeding, health and complementary feeding practices; (2) calculated the energy, protein, iron, zinc and vitamin A intakes as well as dietary diversity scores of the subjects and finally, the proportion of children at risk of micronutrient deficiencies has been examined.

Subjects and Methods

Study area and subjects

This cross-sectional study was conducted between January and March 2009 in four non-randomly areas (urban / rural; North / South) in Benin (figure 1). The North and the South are two contrasted agro-ecological zones on the basis of the rainfall and the growing season. Southern Benin is characterized by two growing seasons and average annual rainfall that ranges from 1100-1500 mm; and the main crops are maize, cassava, cowpea and peanut.

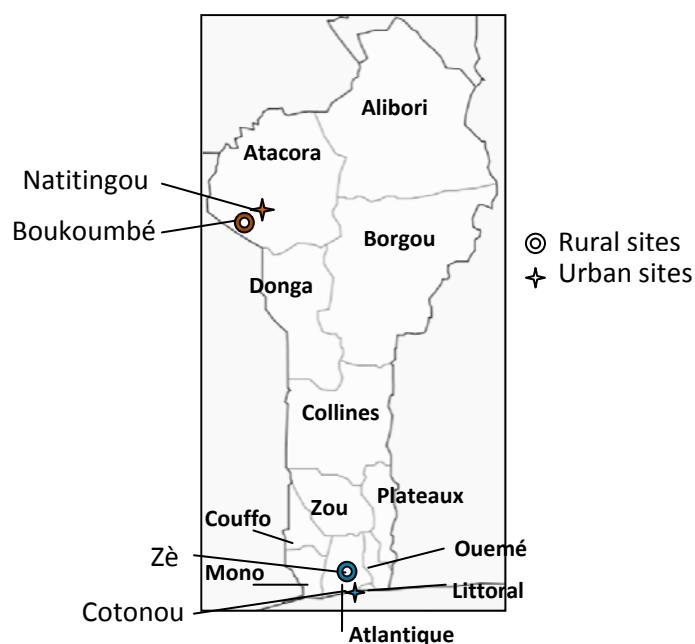


Figure 1: Map of Benin indicating the survey sites

Conversely, Northern Benin (Sudan savanna zone) is characterized by only one growing season with an average annual rainfall between 900 and 1100 mm; and the main crops are maize, cassava, yam, cowpea, peanut, millet, sorghum (Hell et al., 2000). In each of the chosen agro ecological zones, one rural site and one urban site were selected assuming that foods available on markets would (food diversity is considered to be higher in urban areas). In each area, the sample comprised 105 children distributed in three age groups: 6-11, 12-23 and 24-35 months; in each age group, about 35 subjects were randomly selected. The original sample was constituted of 420 apparently healthy children. These 3 age groups are in line with the recommendation of WHO (1995) for better data analysis in respect to the ideal (6-11 and 24-35 months) and acceptable (12-23 months) stratification. All parents accepted to participate in the study and signed the informed consent form.

Methods

The survey was conducted by 22 investigators who had been trained for three days on the objectives of the survey, on the use of questionnaires and on standardization of the methods for data collection. The surveyors were graduate students of the University of Abomey-Calavi).

Anthropometry

Measurements of weight, height and recumbent length (for children under than 2 years) were taken with the children and their mother using standardized techniques (WHO, 2004). All measures were taken in the morning with people wearing light clothes and no shoes. People were weighed with an electronic Uniscale (*range: 150 kg; accuracy: 0.100 kg*, UNICEF). The mother's height and children's height/length were measured to the nearest millimeter using a portable adult/infant height/length measuring board in wood (Shorr Productions, Olney, Maryland 20832, USA) recommended by WHO (2004). All measurements were done in triplicate and values were averaged. The age, and when available the child birth weight, were noted from their health record or birth certificate.

Mother's nutritional status was assessed by calculating their body mass index [$BMI = wt \text{ (kg)} / ht \text{ (m)}^2$]. For children, Z-scores for length-for-age (LAZ), weight-for-age (WAZ), weight-for-length (WLZ) were calculated using the WHO 2006 multicentre growth reference data and the computer program WHO Anthro 2007 (Blössner et al. 2007). None of the children had unacceptably extreme anthropometric values but after standardized data auditing (WHO 1995), data from 15 children were excluded and analyses were performed on 405 children. Stunting, underweight, and wasting were defined by Z-scores for LAZ, WAZ and $WLZ < -2$ standard deviations (SD) respectively, below the median values of the reference data. Maternal nutritional status was appreciated using FAO reference indicators (Maire and Delpeuch, 2004)

Other information

Data on breastfeeding and complementary feeding practices were recorded using appropriate questionnaires.

Food consumption survey methodology

The food consumption survey was conducted by these trained investigators in the four selected areas in order to characterize young children intakes using the weighed food record method. This method is generally considered as the golden standard method, providing the most accurate estimate of an individual's food intake (Pekkarién, 1970; Thompson and Byers, 1994). This is even truer in the case of young children who often eat in the same plate as the one of their mother for whom it is then very difficult to estimate with enough accuracy the

quantity of food eaten by their child through 24h-recall. To take into account day to day variability in nutrient intakes, the food consumption was recorded on three non-consecutive days. A single daily measurement generally provides a poor estimate of the true nutrient intake of an individual (Beaton, 1994; Willett, 1998). Each day, from the time the child awoke until bedtime, every food item he ate was systematically recorded by weighing the bowl or food itself before and after consumption). Recipes of foods prepared in the household and eaten by children were carefully recorded and all ingredients were weighed using a dietary scale (Seca; range 5000 g; precision 1 g). Weekend days and weekdays were proportionately represented in the survey to account for any day-of-the-week effects on food and/or nutrient intake. Detailed weighed recipe data collected for composite dishes were used to calculate the weight of ingredients consumed. In cases where detailed recipe data could not have been recorded, for example in cases of food given by neighbors or prepared the day before the survey, data for an average recipe were used.

Assessment of nutrient adequacy

The median daily intakes of energy and selected nutrients from foods consumed by the three age groups were compared with the corresponding estimated needs i.e. estimated average requirement (EAR) for energy (FAO, 2004) and the recommended nutrient intake (RNI) for protein (FAO/WHO, 2007) and for iron, zinc and vitamin A (FAO/WHO, 2004) (Table 1). For breastfed children, breast milk intakes were taken into account by using mean energy and nutrient content of breast milk and average quantities consumed daily by partially breastfed young children in developing countries (FAO/WHO, 1998). Median energy or nutrient adequacy ratio were thus calculated.

The dietary diversity of children was assessed based on the first day records. The classification in seven food groups as recommended by WHO (2008) for assessing infant and young child feeding practices was used to calculate the dietary diversity score (DDS). Then, the minimum dietary diversity indicator was calculated as the percentage of children who received foods from at least 4 food groups during the day. The 12-23 month age group was further disaggregated into two age groups comprising the 12-17 months and 18-23 months. The score was also calculated for the 24-35 month-old children. The 7 food groups used are (1) grains, roots and tubers; (2) legumes and nuts; (3) dairy products (milk, yogurt, cheese); (4) flesh foods (meat, fish, poultry and liver/organ meats); (5) eggs; (6) vitamin-A rich fruits and vegetables; (7) other fruits and vegetables. In addition, mean dietary diversity scores were

calculated for each age group and the proportion classified with low (0–2), medium (3–4) and high (5–7) scores (Arimond & Ruel 2004) were calculated for each group.

Table 1: Estimated Average Requirement (EAR) and Recommended Nutrient Intake (RNI) values used data analysis for the young children

		Energy (kcal/kg BW/day)	Protein (g/kg BW/day)	Iron*	Zinc**	Vitamin A
<i>Sources</i>		<i>FAO 2001</i>	<i>FAO/WHO 2007</i>	<i>FAO/WHO 2004</i>	<i>FAO/WHO 2004</i>	<i>FAO/WHO 2004</i>
Age group (month)		EAR	RNI	RNI	RNI	RNI
6-11	6-9	77				
	10-11	F : 77 M : 79	1.31	18.6	8.4	400
	12-17	F : 80.1 M : 82.4	1.14			
12-23	18-23	F : 80.1 M : 82.4	1.03			
	24-35	F : 80.6 M : 83.6	0.97	11.6	8.3	400

*Food diet with low iron bioavailability (5%)

** Food diet with low zinc bioavailability (15%)

BW : Body weight

Statistical analysis

EpiData software version 3.1 was used for double data entry. Due to some missing or erroneous data, the observations for 18 children were excluded from the subsequent analyses. Final analyses were thus performed on 387 subjects. Energy and nutrient intakes were calculated using a food composition data compiled from a Benin nutrient composition database adapted from the FAO food composition database, other regional African food composition databases (FAO, 1970; West *et al.*, 1988; Barikmo *et al.*, 2004; Stadlmayr *et al.*, 2010) and, where possible, nutrient contents from our analysed data (Grefeuille *et al.*, 2011). The amount of the various food categories consumed by the children (in gram) and the energy and nutrient content of each food were calculated using the Komeet 4.0 software (Scholte, 2002).

The statistical softwares EpiData Analysis (V2.2.0.167), SPSS (16.0 for windows), and Statgraphics plus 5.1 (Virginia, USA) were used for data analysis. *Kruskal-Wallis test* was used for median comparisons and *chi 2 test* for proportions using Statgraphics. Data were assessed for analysis of variance (ANOVA) using Statgraphics. Significance was accepted at probability $p < 0.05$.

Results

Breastfeeding, health status, complementary feeding practices and behaviours

Among the children enrolled in the study 55% were boys and 45% girls (Table 2). Most of the children were born in health centers; 97% in urban areas (Cotonou, Natitingou) and 94% in rural areas (Zè, Boukoubé). According to their mothers, in urban and rural areas, respectively 86% and 64% of children had received colostrum after birth. The great majority (95%) of 6 to 11 month-old children and 58% of 12 to 23 month-old children in all study sites were breastfed. In Natitingou for example, all the 6 to 11 month-old children were breastfed. Conversely, almost all (96%) 24 to 35-month-old children were not breastfed anymore (Table 2).

The age for introducing complementary feeding was about 6 months in the four study areas (5.6 ± 2.4 months in urban areas and 5.8 ± 5.8 in rural areas). The mean age of weaning was 16.3 ± 5.3 months in urban areas and 17.8 ± 6.0 months in rural areas (Data not shown). The question about Child morbidity showed 33% of fever cases 2 weeks before the survey in the urban areas and 44% in the rural areas.

Table 2. Composition and characteristics of the study sample

Infant characteristics	Group	North (n=202)				South (n=203)				All areas (n=405)	
		Urban (Natitingou)		Rural (Boukoumbé)		Urban (Cotonou)		Rural (Zè)			
		n=103		n=99		n=101		n=102			
Sex (%)	Boys	62.1		49.5		46.5		59.8		54.6	
	Girls	37.9		50.5		53.5		40.2		45.4	
Age group (number)	6-11	37		28		29		36		130	
	12-23	33		41		35		37		146	
	24-35	33		30		37		29		129	
Mean age ±SD (months)	6-11	8.8 ± 1.9		9.3 ± 1.9		8.8 ± 1.7		9.0 ± 1.6		9.0 ± 1.7	
	12-23	18.1 ± 2.9		17.9 ± 3.5		18.3 ± 4.1		18.2 ± 3.9		18.1 ± 3.6	
	24-35	28.7 ± 3.3		29.3 ± 2.8		29.3 ± 4.0		30.2 ± 3.2		29.4 ± 3.4	
Mean height ±SD (cm)	6-11	70.1 ± 3.6		70.0 ± 4.5		69.7 ± 3.1		69.7 ± 3.4		69.9 ± 3.6	
	12-23	78.9 ± 3.7		77.8 ± 3.2		79.0 ± 1.8		77.3 ± 4.7		78.2 ± 4.3	
	24-35	85.9 ± 5.5		84.9 ± 5.4		86.3 ± 4.9		84.5 ± 4.1		85.5 ± 5.0	
Number of breastfed (n= 206) and non-breastfed (n=181) children by age group Breastfed = BF, Non-breastfed = NBF		BF	NBF	BF	NBF	BF	NBF	BF	NBF	BF	NBF
	6-11	29/29	0/29	26/29	3/29	27/29	2/29	36/37	1/37	118/124	6/124
	12-23	17/32	15/32	29/40	11/40	15/35	20/35	22/36	14/36	83/143	60/143
	24-35	1/30	29/30	1/29	28/29	1/34	33/34	2/27	25/27	5/120	115/120
Proportion low birth weight (LBW< 2.5 kg) (%)	6-35	6.8 (7/103)		9.2 (7/76)		7.1 (7/98)		6.6 (5/76)		7.4 (26/353)	
Maternal characteristics*											
Height (cm)		160.3 ± 5.3		159.4 ± 12.3		159.8 ± 6.4		157.7 ± 5.9		159.3 ± 6.0	
Proportion of mothers with height < 145 cm		0 (0/103)		0 (0/98)		1 (1/101)		0 (0/101)		0.2 (1/403)	
Weight (kg)		63.4 ± 12.9		58.0 ± 9.8		64.4 ± 12.4		53.6 ± 8.2		59.9 ± 11.8	
Body mass index (BMI)(kg/m²)		21.5 ± 3.1		22.9 ± 3.9		24.7 ± 4.8		21.5 ± 3.1		23.6 ± 4.5	
Proportion of mothers with BMI <18.5 kg/m² (Undernourished)		6.8 (7/103)		5.1 (5/98)		1 (1/101)		13.9 (14/101)		6.7 (27/403)	
Proportion of mothers with 25.0 ≤ BMI < 30.0 kg/m2 (Overweight)		26.2 (27/103)		24.5 (24/98)		27.7 (28/101)		11.9 (12/101)		22.6 (91/403)	
Proportion of mother with BMI ≥30.0 kg/m² (Obese)		14.6 (15/103)		4.1 (4/98)		15.8 (16/101)		1.0 (1/101)		8.9 (36/403)	

Nutritional status of the subjects

Children's nutritional status

The percentage of low birth weight children (Table 2) was similar in urban [Cotonou (7.1%) Natitingou (6.8%)] and in rural areas [Zè, 6.6 %, Boukoumbé 9.2% (P= 0.4762)].

Table 3 present both Z-scores and prevalences of malnutrition in the four surveyed areas. The mean weight-for-length/height, length-for-age and weight-for-age Z-scores were all negative in the 2 areas of the north while weight-for-length/height scores were positive (close to zero) in the 2 southern areas. Except in Cotonou for wasting, the prevalence of wasting, stunting and underweight appeared higher among boys than girls. The worst malnutrition figures occurred in rural areas. The highest prevalence for wasting (16.2%) and for underweight (22.2%) was observed in Boukoumbé and for stunting (34.3%) in Zè. Considering all age groups together, stunting was the most prevalent form of malnutrition (Table 3). Although our data were not directly comparable to data obtained at national level, all these figures are consistent with the most recent data on malnutrition prevalences (GdB et al., 2009).

Mother's nutritional status

Except in one case in Cotonou, all mothers had a height above 145 cm, the threshold under which they are considered of low size. Also the mean weight of the mothers is above 45 kg in the four regions. The highest proportion (14%) of malnourished mother ($BMI < 18.5 \text{ kg/m}^2$) was observed in Zè and the lowest (1%) in Cotonou. The percentages of overweight were higher in urban areas [Cotonou (28%) and Natitingou (26%)] than in rural areas [Boukoumbé (25%) and Zè (12%)]. The situation was the same for obesity with the highest prevalence in Cotonou (16%) (Table 2).

Table 3. Z-scores and prevalences of malnutrition in the Beninese young children of the study sample

Groups	NORTH						SOUTH						ALL (n = 405)		
	Urban (Natitingou n = 103)			Rural (Boukoubé n = 99)			Urban (Cotonou n = 101)			Rural (Zè n = 102)					
	N	Z-score		N	Z-score		N	Z-score		N	Z-score		N	Z-score	
		Means ± SD	% < -2		Means ± SD	% < -2		Means ± SD	% < -2		Means ± SD	% < -2		Means ± SD	% < -2
<i>Weight-for-length/height (wasting)</i>															
6-11	37	-0.28 ± 1.06	5.4	28	-1.03 ± 1.33	28.6	29	0.20 ± 1.38	3.4	36	0.46 ± 1.96	5.6	130	-0.12 ± 1.48	6.9
12-23	33	-0.56 ± 1.29	9.1	41	-0.90 ± 0.91	9.8	35	0.13 ± 1.24	5.7	37	0.02 ± 1.08	2.7	146	-0.35 ± 1.18	7.5
24-35	33	-0.73 ± 1.68	24.2	30	-0.66 ± 1.07	13.3	37	0.12 ± 1.35	5.4	29	0.04 ± 1.59	10.3	129	-0.30 ± 1.39	11.6
Boys	64	-0.60 ± 1.40	15.6	49	-0.82 ± 1.33	24.5	47	0.16 ± 1.28	2.1	61	0.10 ± 1.70	9.8	221	-0.28 ± 1.43	11.3
Girls	39	-0.38 ± 1.29	7.7	50	-0.91 ± 0.79	8.0	54	0.14 ± 1.34	7.4	41	0.31 ± 1.37	0.0	184	-0.23 ± 1.25	5.4
Total	103	-0.52 ± 1.36	12.6	99	-0.87 ± 1.09	16.2	101	0.15 ± 1.31	5.0	102	0.18 ± 1.58	5.9	405	-0.26 ± 1.35	8.6
<i>Length/height-for-age (stunting)</i>															
6-11	37	-0.33 ± 1.45	8.1	28	-0.76 ± 1.64	21.4	29	-0.90 ± 1.46	13.8	36	-0.6 ± 1.46	16.7	130	-0.55 ± 1.48	14.6
12-23	33	-0.96 ± 1.29	27.3	41	-1.09 ± 0.85	17.1	35	-0.41 ± 1.36	22.9	37	-1.49 ± 1.47	32.4	146	-1.15 ± 1.36	26.0
24-35	33	-1.29 ± 1.24	27.3	30	-1.70 ± 1.37	43.3	37	-0.93 ± 1.77	27.0	29	-2.06 ± 0.98	58.6	129	-1.57 ± 1.21	36.4
Boys	64	-0.98 ± 1.46	25.0	49	-1.41 ± 1.37	34.7	47	-1.02 ± 1.47	31.9	61	-1.50 ± 1.33	39.3	221	-1.26 ± 1.42	32.1
Girls	39	-0.61 ± 1.24	12.8	50	-0.96 ± 1.23	18.0	54	-0.80 ± 1.46	13.0	41	-1.09 ± 1.62	26.8	184	-0.88 ± 1.38	17.9
Total	103	-0.84 ± 1.38	20.4	99	-1.18 ± 1.32	26.3	101	-0.90 ± 1.46	21.8	102	-1.34 ± 1.46	34.3	405	-1.09 ± 1.41	25.7
<i>Weight-for-age (underweight)</i>															
6-11	37	-0.44 ± 1.09	5.4	28	-1.24 ± 1.10	17.9	29	-0.37 ± 1.24	6.9	36	-0.01 ± 1.75	8.3	130	-0.43 ± 1.40	9.2
12-23	33	-0.88 ± 1.02	18.2	41	-1.18 ± 0.87	19.5	35	-0.11 ± 1.36	2.9	37	-0.72 ± 1.31	10.8	146	-0.81 ± 1.14	9.6
24-35	33	-1.18 ± 1.39	30.3	30	-1.41 ± 1.19	30	37	-0.36 ± 1.26	8.1	29	-1.09 ± 1.33	24.1	129	-1.06 ± 1.24	24.0
Boys	64	-0.94 ± 1.28	18.8	49	-1.35 ± 1.17	28.6	47	-0.42 ± 1.28	6.4	61	-0.72 ± 1.53	16.4	221	-0.87 ± 1.33	16.7
Girls	39	-0.61 ± 1.05	15.4	50	-1.18 ± 0.89	16.0	54	-0.33 ± 1.22	5.6	41	-0.37 ± 1.54	9.8	184	-0.64 ± 1.21	10.9
Total	103	-1.18 ± 1.39	17.5	99	-1.26 ± 1.04	22.2	101	-0.37 ± 1.24	5.9	102	-0.58 ± 1.54	13.7	405	-0.77 ± 1.28	14.1

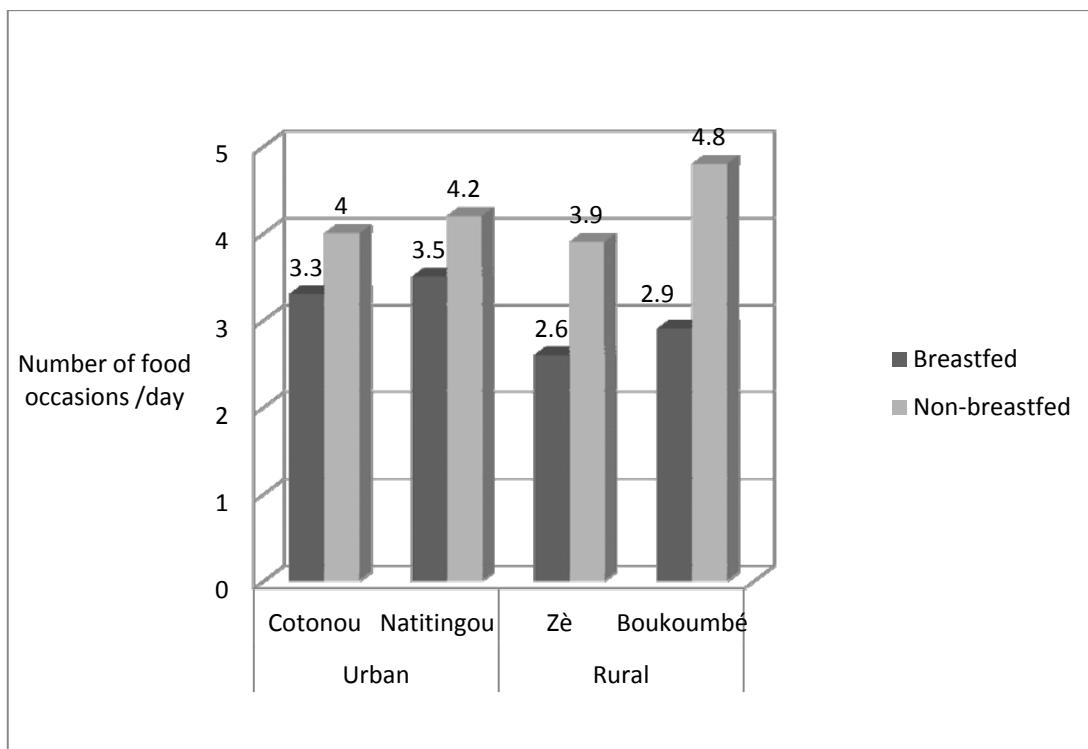


Figure 2. Number of food occasions per day

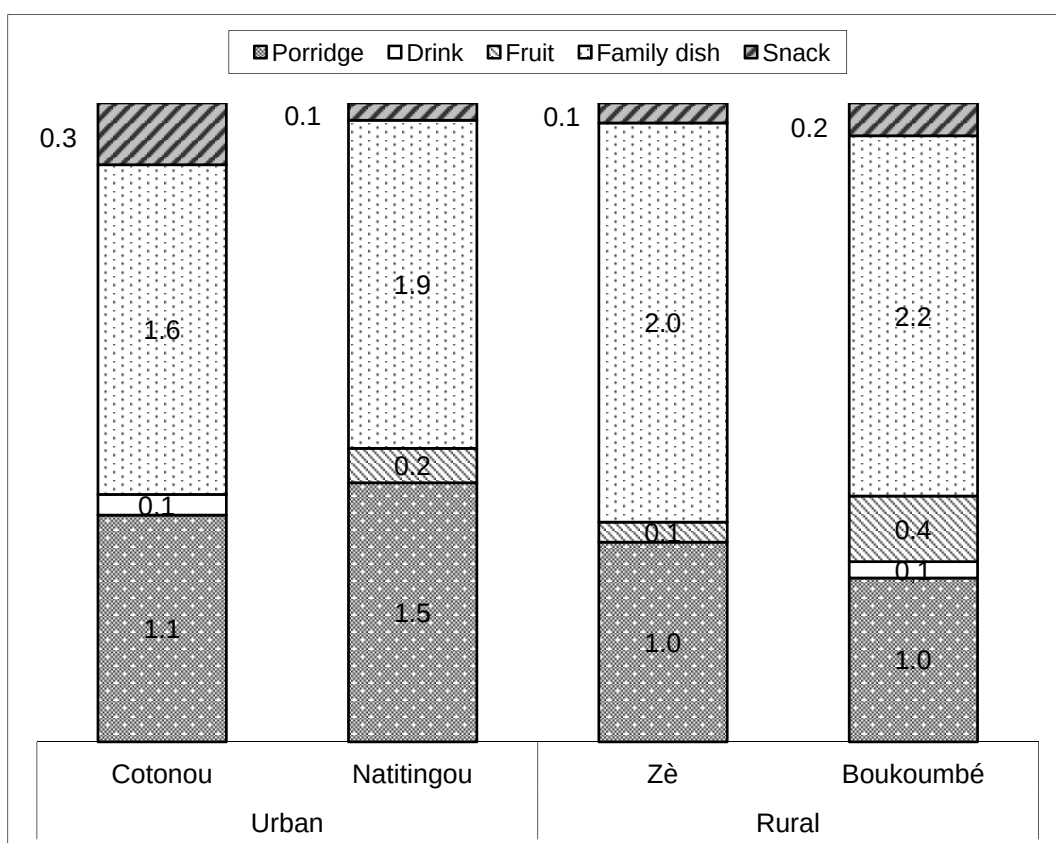


Figure 3. Mean daily number of consumption of each type of food by the children

Children's food intake

Daily meal consumed

Figure 2 present the mean number of times children had been fed per day during the survey when they were breastfed or not in each study area. In each survey site, the number of food occasions was higher in non-breastfed than in breastfed children. All types of food consumed could be classified in five groups: porridge, family dish, drink, fruit and snack. The mean daily number of each category of foods consumed in the four regions is shown in figure 3. It appears that, in all study areas, the two types of foods eaten at least once a day by almost all 6 to 35-months-old children were the family dishes and porridges. Snack, fruit and drink are only occasionally eaten by the children. The mean number of fruit consumption was a bit higher in Natitingou and Boukoubè, as the period for the survey coincided with the harvest period of mango. Family dishes, porridges and snacks which are solid, semi-solid, or soft foods, have been consumed minimum 4 times a day by non-breastfed young children and minimum 2 times a day by breastfed children. These figures are in line with current recommendations for minimum meal frequency (WHO, 2008).

Dietary diversity

Considering the 7 food groups described by WHO (2008) to appreciate the minimum dietary diversity, Table 4 present for the different areas, data on dietary diversity according to the age group for the children aged 6 to 23 months. Data are also given for the 24-35 months-old children even if the recommendations apply only to the children aged 6 to 23 months. To calculate the minimum dietary diversity, the 12-23 age group was further disaggregated into two groups the 12-17 and 18-23 months, as recommended by WHO (2008). The percentages of children with minimum dietary diversity were: 42.5%, 72.1% and 77.2% respectively with 6 to 11, 12 to 17 and 18-23 -month-old children. An increase trend was noticed through age groups. The mean dietary diversity score is globally 3.8 in the study area. Based on Arimond and Ruel (2004) classification, the dietary diversity of the young children was medium as the mean dietary diversity scores are between 3 and 5. Most of these young children consumed four or more food groups but very few consumed eggs and dairy products, the two food groups the less represented, which are good sources of preformed vitamin A. The percentage of children having consumed flesh foods (meat, poultry, fish and shellfish) is medium (34%) (Table 4). As awaited, the results also showed that the food group of grain, roots and tubers is the basis of the young child feeding (Table 4)

1 **Table 4.** Dietary diversity of the young children in the different areas of the study

	6-11 months (n = 134)	12-17 months (n = 68)	18-23 months (n = 79)	24 -35 months (n = 132)	All children (n = 413)
Mean number of food groups consumed (%)	2.85 ± 1.64 [1-6]	3.66 ± 1.38 [1-6]	4.14 ± 1.44 [1-6]	4.47 ± 0.94 [3-6]	3.75 ± 1.47 [3-7]
Minimum dietary diversity (food groups ≥4)					
All (%)	57/134 (42.5)	49/68 (72.1)	61/79 (77.2)	115/133 (87.1)	282/413(68.3)
Urban area (%)	25/60(37.9)	28/33(84.8)	27/35 (77.2)	63/70 (90.0)	143/204 (70.1)
Rural area (%)	32/68 (47.1)	21/35 (60.0)	34/44 (77.3)	52/62 (83.9)	139/209 (66.5)
North area (%)	27/65(41.5)	26/36 (72.2)	23/39 (59.0)	53/64(82.8)	129/204(63.2)
South area (%)	30/69(43.5)	23/32(71.9)	38/40 (95.0)	51/63 (81.0)	(153/209 (73.2)
Cotonou (%)	14/32 (43.8)	14/17 (82.4)	17/18(94.4)	33/37(89.2)	78/104 (75.0)
Natitingou (%)	11/33 (32.4)	14/16 (87.5)	10/17 (58.8)	30/33 (90.9)	65/100 (65.0)
Zè (%)	16/37 (43.2)	9/15 (60.0)	21/22(95.5)	29/31(93.5)	75/105 (71.4)
Boukoumbé (%)	16/31 (51.6)	12/20(60.0)	13/22 (59.1)	23/31 (74.2)	64/104 (61.5)
Consumed the following 7 food groups					
Grain, roots and tubers (%)	134(100.0)	67/68 (98.5)	79/79 (100.0)	131/ 132(99.2)	411/413/ (99.5)
Legumes and nuts (%)	81/134 (60.4)	54/68 (79.4)	72/79 (91.1)	129/132 (97.7)	336/413 (81.4)
Dairy product (%)	10/134 (7.5)	4/68 (5.9)	5/79 (6.3)	26/132 (19.7)	45/413 (10.9)
Flesh foods (%)	31/134 (23.1)	25/68 (36.8)	25/79 (31.6)	59/132 (44.7)	140/413 (33.9)
Eggs (%)	3/134(2.2)	2/68 (2.9)	10/79 (12.7)	6/132 (4.5)	21/413(5.1)
Vitamin A-rich fruits &vegetables (%)	59/134 (44.0)	44/68 (64.7)	66/79 (83.5)	111/132 (84.1)	280/413 (67.8)
Other fruits and vegetables (%)	64/134 (47.8)	53/68 (77.9)	70/79 (88.6)	128/132 (97.0)	315/413 (76.3)

2 Minimum dietary diversity: Proportion of children who received foods from 4 or more different food groups (WHO, 2008)

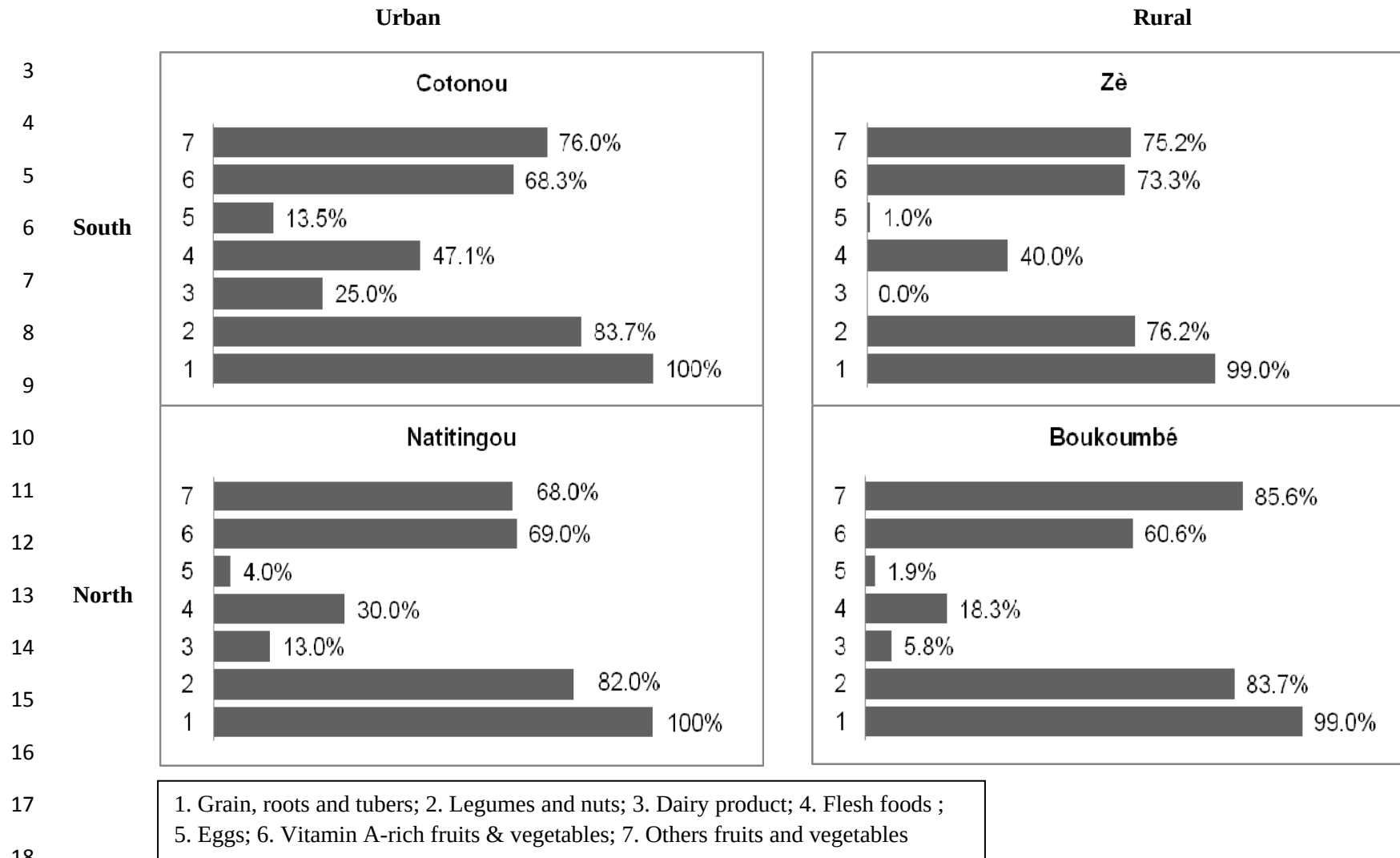


Figure 4. Percentages of young children consuming the 7 food groups in the study areas

20 **Table 5.** Median adequacy ratio for energy, protein, iron zinc and vitamin A of young children (%)*

Areas		Age group (months)	Energy		Protein		Iron		Zinc		Vitamin A	
			BF*	NBF	BF*	NBF	BF*	NBF	BF*	NBF	BF*	NBF
South	Urban (Cotonou) n= 98	6-11	154.9	186.1 ^a	185.8	289.3 ^a	18.9	38.7 ^a	27.1	86.8 ^a	82.5	30.5 ^a
		12-23	159.4	141.9	249.0	311.9	47.9	63.2	35.8	39.6	99.1	29.5
		24-35	176.3 ^a	121.9	390.0	255.2	54.8	61.7	42.7	52.1	124.6	21.0
	Rural (Zè) n= 100	6-11	114.6	106.8 ^a	112.7	296.3 ^a	4.8	37.4 ^a	14.4	386.9 ^a	82.6	61.6 ^a
		12-23	98.5	114.0	131.8	219.1	18.2	45.1	20.6	33.1	99.0	134.7
		24-35	91.8 ^a	110.1	168.6 ^a	201.7	15.4 ^a	52.8	44.4 ^a	36.3	124.2 ^a	155.0
North	Urban (Natitingou) n= 91	6-11	156.0	NC	168.3	NC	27.1	NC	28.6	NC	82.8	NC
		12-23	126.9	139.5	225.1	266.8	39.6	114.2	43.1	36.8	82.8	24.9
		24-35	236.2 ^a	140.4	405.8 ^a	291.0	139.2 ^a	108.9	64.9 ^a	53.2	79.3	38.5
	Rural (Boukoumbé) n= 98	6-11	230.4	230.4 ^a	289.1	300.0	63.3	67.7	53.7	52.8	107.6	101.8
		12-23	106.5	62.7	171.8	177.3	61.1	83.1	29.6	20.8	77.8	7.3
		24-35	145.3 ^a	62.20	300.0 ^a	115.7	188.1 ^a	45.7	102.7 ^a	22.2	155.9 ^a	20.4
All area n= 387	6-11	148.3	203.9 ^a	168.5	325.0 ^a	17.7	43.4 ^a	26.8	88.4 ^a	83.5	46.5 ^a	
	12-23	117.0	124.3	182.3	232.1	37.5	66.0	31.9	36.1	82.8	33.4	
	24-35	145.3 ^a	108.6	300.0 ^a	221.4	54.8 ^a	61.7	64.9 ^a	43.5	124.6 ^a	37.8	

21 *taking into account mean intakes from breastmilk (WHO, 1998)

22 ^a Non representative, median of very few individuals (1-5)

23 NC: No child was concerned

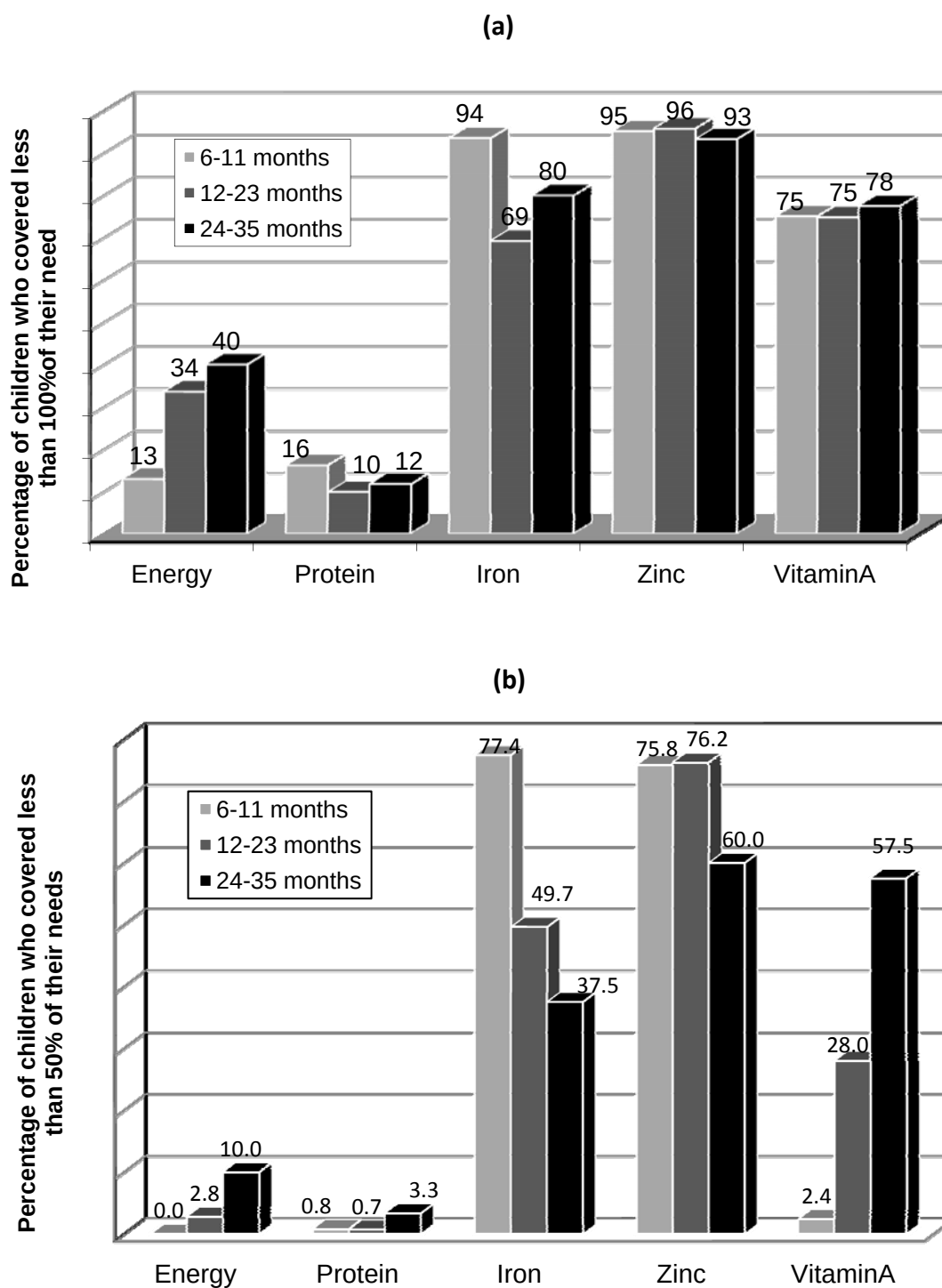


Figure 5. Percentage of young children in the study area who covered less than 100 % (a) or 50% (b) of their energy or nutrient daily requirements.

Table 6. Proportion of children at risk of energy, protein and micronutrients, iron zinc and vitamin A deficiencies in each region of the study area

	Age group (months)	n	Energy	Protein	Iron	Zinc	Vitamin A
South-Urban (Cotonou) n= 98	6-11	29	0	1	21	24	2
	12-23	35	0	0	12	24	18
	24-35	34	1	0	13	16	27
	Total	98	1	1	46	64	47
South-Rural (Zè) n= 100	6-11	37	0	0	37	33	0
	12-23	36	1	1	31	30	2
	24-35	27	0	0	13	19	1
	Total	100	1	1	81	82	3
North-Urban (Natitingou) n= 91	6-11	29	0	0	27	26	0
	12-23	32	0	0	12	23	12
	24-35	30	0	0	5	13	20
	Total	91	0	0	44	62	32
North-Rural (Boukoubé) n= 98	6-11	29	0	0	11	11	1
	12-23	40	3	0	16	32	8
	24-35	29	11	4	14	24	21
	Total	98	14	4	41	67	30

Adequacy of energy and nutrient intakes

Table 5 shows the median energy, protein, iron, zinc and vitamin A adequacy ratios. Highest adequacy ratios were obtained for energy and protein in all survey sites. Regarding protein, median adequacy ratios were largely above 100% in the three age groups without exception. For energy, the lowest adequacy ratios were obtained in the rural areas, Zè and Boukoubé. They were near 100% for breastfed children, meaning that only 50% of children had energy intakes that could meet their energy requirements. In Boukoubé, with 12-23 and 24-35 months-old children, the adequacy ratios for energy were lower (around 62%), indicating a serious energy deficiency. The adequacy ratios for vitamin A, iron and zinc appeared critically low in all study sites, indicating very low intakes of these micronutrients. For vitamin A, even if they were still too low, the adequacy ratios were higher for breastfed young children than for non-breastfed (Table 5). Indeed, the breast milk is rich in vitamin A (500 µgER/l) (OMS, 1998) and contribute significantly to vitamin A intake of breastfed children. Figures 5a and b reveals clearly the prevalence of inadequate nutrient intake (less than 100 and 50% of the requirements respectively) in the three age groups. A minority of children did not manage to meet their protein requirements. From 13% to 40% of children had energy intake below their requirements, but most covered between 50 and 100% of them (figure 5b).

However, a great majority of the children had iron, zinc and vitamin A intakes that did not meet their whole requirements, and even not the half. The percentage of the 6-11-month-old children who did not meet the half of their daily iron requirements was significantly ($P<0.01$) higher than that of the 12-23-month-old which was also higher than that of the oldest (24-35 months). Conversely, for vitamin A intake, there is a huge increase ($P<0.01$) of the number of children who didn't meet 50% of their vitamin A requirement when the age group increases, mainly due to the reduction of vitamin A intake from breastmilk. These children who couldn't meet 50% of their iron, zinc and vitamin A requirement were at risk of micronutrient deficiency (Figure 5b).

Discussion

This study revealed that boys were likely to be more affected by the three forms of malnutrition (stunting, wasting, and underweight) than girls. Globally, in the four studied areas, the prevalence of stunting children is twice higher in boys than in girls (Table 3). In all areas, stunting appears also remarkably increasing through age, and almost double between the 6 to 11-month age group to the 12 to 23-month-old age group, and was also more prevalent (36.4%) among 24 to 35-month-old children. This might be at least partly due to inadequate food intake of these young children. Indeed, poor linear growth, or stunting (low length- or height-for-age), in young children is the result of multiple circumstances and determinants, including antenatal, intra-uterine and postnatal malnutrition (Waterlow, 1994). Also according to Victora et al. (2010), growth faltering often begins in utero and continues for the first two years of life. For de Onis et al. (2011) the main window of opportunity to prevent stunting is thus the intra-uterine and postnatal periods, from conception until 24 months. As described previously, the highest proportion of malnourished mothers was observed in Zè, and also Zè showed the highest prevalence of stunting children. So, mother's poor nutritional status was likely to affect the nutritional status of their young child by increasing the risk of stunting. In addition, these trends linked to the sex or age and high prevalence of stunting (37%) were also observed at national level in Benin and were attributed to inadequate food practices, high morbidity and low access to health center (GdB et al., 2009).

Regarding food diversity, it appears that, in any site (Cotonou, Natitingou, Zè or Boukoubé), the feeding of the majority of children was based firstly on the food groups

‘grains, roots and tubers’. Secondly came the group ‘legumes and nuts’ in urban areas, while the group ‘other fruits and vegetables’ came in rural areas. Dairy product and eggs were the less groups consumed and they were even more rare in rural areas than in urban areas (figure 4). Indeed, lack of diversity is a particularly severe problem among poor populations in the developing world, where diets are based predominantly on starchy staples and often include few or no animal products and only seasonal fruits and vegetables. For vulnerable infants and young children, the problem is particularly critical because they need energy- and nutrient-dense foods to grow and develop both physically and mentally and to live a healthy life (Arimond et Ruel, 2004). According to the demographic and health survey in the whole Benin, the dietary diversity of young children is higher in urban areas (53.0%) than in rural areas (35.0%) (INSAE& Macro International, 2007). Here in this study, in our two urban areas (Cotonou and Natitingou) and two rural areas (Zè and Boukoumbé), the trend seemed to be the same (Table 4). The medium food dietary diversity noticed was supposed to contribute for improving children nutritional status since stunting is highly prevalent. Indeed, in Benin contrary to others developed countries in Africa, Asia and Latin America/Caribbean (Ethiopia, Mali, Rwanda, Zimbabwe, Cambodia, Nepal and Colombia) no association was found between dietary diversity and stunting (Arimond et Ruel, 2006).

In addition, we can noticed that children at risk of protein and energy deficiency are quite rare in each region except in *Boukoumbé* where 11 children out 29 didn’t covered 50% of their energy requirement (Table 6). However, regarding the micronutrient inadequacy observed in each study site, the number of children at risk of iron and zinc deficiency was high (over 40% in each area). The situation is worse in Zè where 81-82% of children were likely to be at risk of iron and zinc deficiency. However, in this area, very few children (3/100) were at risk of vitamin A deficiency (Table 6) undoubtedly because of the wide presence of palm products in this area. But vitamin A intake was still a concern in the 3 other areas and particularly within the two older groups (12-23-months-old and 24-35-months-old) (Table 6 and figure 5) who are less breastfed and as consequence, benefited certainly less from breastmilk vitamin A. This observation may justify that we pay more attention to the improvement of young children vitamin A intake through food-based approaches.

Conclusion

This study showed that boys were likely to be more affected by stunting, wasting, and underweight than girls. Protein intakes appear not to be a concern. Energy intakes were not really worrying in urban areas, while they were insufficient in rural areas. In spite of the relative variability of food consumed in all study sites, while the dietary diversity was medium in all areas, the iron, zinc and vitamin A intakes of children appeared strongly inadequate. These results suggested that medium food diversity might not be sufficient to insure adequate micronutrient intakes and better nutritional status for young children. Larger studies and many other investigations are required to state a general conclusion.

Acknowledgements

Special thanks to all surveyors for their constructive contribution to the field work and to all household for their warm reception.

Source of funding

This research was realized in the framework of INSTAPA Project, funded by the European Union's Seventh Framework Programme [Fp7/2007-2013] under grant agreement n°211484. W. Amoussa's work was also supported by the Beninese Government through a PhD research grant

Conflicts of interest

No conflict of interest

References

- Arimond M. & Ruel M.T. (2004) Dietary diversity is associated with child nutritional status: Evidence from 11 Demographic and Health Surveys. *The Journal of Nutrition* **134**, 2579-2585.
- Barikmo I., Ouattara F, and Oshaug A. (2004) Table de composition d'aliments du Mali TACAM, Research series N°. 9. Akershus University College, Oslo.
- Beaton G.H., (1994) Approaches to analysis of dietary data :relationship between planned analyses and choice of methodology. *American Journal of Clinical Nutrition* 59, 1 Suppl., 253S–261S.

- Blaney S., Beaudry M., Latham M., &, Thibault M. (2009). Nutritional status and dietary adequacy in rural communities of a protected area in Gabon. *Public Health Nutrition* 12, 1946-1959.
- Blössner M., Siyam A., Borghi E., de Onis M., Onyango A. & Yang, H. (2007) WHO Anthro for Personal Computers: software for assessing growth and development of the world's children. *Department of Nutrition for Health and Development, World Health Organization: Geneva.*
- Brown K.H., and Lutter C.K, (2000). Potential of processed complementary food in the improvement of early childhood nutrition in Latina America. *Nutrition bulletin*, n° 21
- de Onis M., Blossner M. & Borghi E. (2011) Prevalence and trends of stunting among pre-school children, 1990-2020. *Public Health Nutr*, 1-7.
- DANA & UNB/FSA/NSA (1991) Porto Novo. Le système alimentaire et l'état nutritionnel dans 11 sous préfectures rurales du Bénin. Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA), Université Nationale du Bénin (UNB), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Section Nutrition et Sciences Agro alimentaires(NSA) Ed Litografica Iride Via della Bufalotta, 224-Roma, Italia
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2011) Profil Nutritionnel du Bénin. In *Division de la nutrition et de la protection des consommateurs, FAO, Rome.*
<ftp://ftp.fao.org/ag/agn/nutrition/ncp/ben.pdf>
- FAO (2004). Human energy requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation 2001, Food and Nutrition Technical Report Series No 1, FAO, Rome.
- FAO/WHO (World Health Organization). (2007) Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation Technical Report Series, No. 935 World Health Organization. Geneva 276 p.
- FAO/WHO (1998). Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a joint FAO/WHO, expert consultation. FAO Food and Nutrition Series n°23. Rome: FAO.
- FAO/WHO (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok. 2nd Ed.
- GdB, INSAE, PAM, UNICEF & FAO (2009) Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN) - République du Bénin (données de novembre et décembre 2008) 168 p.
- Gibson R.S., Abebe Y., Hambidge K.M., Arbide I., Teshome A. & Stoecker. B.J. (2009) Inadequate feeding practices and impaired growth among children from subsistence

- farming households in Sidama, Southern Ethiopia. *Maternal and Child Nutrition* 5, 260-275.
- Grefeuille V., Mouquet-Rivier C., Icard-Vernière C., Avallone S., Ouattara L., Hounhouigan J., Kayodé P., Amoussa W., & Hama B. F. (2010). Traditional recipes of millet-, sorghum- and maize-based dishes and related sauces frequently consumed by young children in Burkina Faso and Benin. ISBN-number: 978-90-8585-903-3. Wageningen University Publisher, The Netherlands, 136p.
- Hell K., Cardwell K.F., Setamou M., Poehling H.M. (2000). The influence of storage practices on aflatoxin contamination in maize in four agroecological zones of Benin, West Africa. *Journal of Stored Products Research*. 36: 365-382.
- Honfo F. G., Hell K., Akissoe N., Dossa R., Hounhouigan J. D. (2010). Diversity and nutritional value of foods consumed by children in two agro-ecological Zones of benin. *African Journal of Food Science* Vol. 4(4), pp. 184-191.
- Hounhouigan, D. J. (2003) La valorisation des céréales locales pour les marchés urbains en Afrique de l'Ouest: les atouts, contraintes et perspectives. In Food based approaches for a healthy nutrition in West Africa; Proceedings of the 2nd international workshop ed I. D. Brouwer, A. S. Traore and S. Treche eds., University of Ouagadougou, Burkina Faso. pp. 359-368.
- INSAE et Macro International Inc. (2007). Enquête Démographique et de Santé Bénin (EDSB-III). Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE), Bénin et Macro International Inc. Calverton, Maryland, USA. (disponible à http://www.measuredhs.com/pubs/pub_details.cfm?ID=733&ctry_id=52&SrchTp=ctry&flag=sur&cn=Benin)
- INSAE et ORC Macro. (2002). Enquête Démographique et de Santé Bénin 2001 (EDSB-II). Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Bénin et ORC Macro, Calverton, Maryland, USA. http://www.measuredhs.com/pubs/pub_details.cfm?ID=366&ctry_id=52&SrchTp=ctry&flag=sur&cn=Benin
- Latham M. (2001) *La Nutrition dans les pays en voie de développement* : Collection FAO Alimentation et nutrition n°29, Rome, Italie : 515 p.
- Maire B. & Delpeuch F. (2004) *Indicateurs de nutrition pour le développement : Guide de référence*. FAO, Rome. p 69.

- Martorell R. (1995) Promoting healthy growth: rationale and benefits. In *Child Growth and Nutrition in Developing Countries: Priorities for Action*, pp. 15–31 [P Pinststrup-Andersen, D Pelletier and H Alderman, editors]. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Ministère de la Santé Publique du Bénin & USAID-Bénin (2004). *Rapport de l'atelier Profils de la situation nutritionnelle et plaidoyer pour la nutrition au Bénin*. 19-30 janvier 2004, Cotonou.
- Pekkarinen M. (1970) Methodology in the collection of food consumption data. *World Review of Nutrition and Dietetics* 12, 145–171.
- Scholte B. (2002). *Komeet 4.0 User's manual*. B. Ware Nutrition software, Arnhem.
- Snedecor G.W., Cochran W.G. (1989) *Statistical methods, 8th edition*. Iowa State University Press. USA. p 503.
- Stadlmayr B., Charrondiere U.R., Addy P., Samb B., Enujiugha V.N., Bayili R.G., Fagbohoun E.G., Smith I.F., Thiam I., Burlingame B. (2010) *Composition of Selected Foods from West Africa*. FAO, Rome, p 43.
- Thompson F.E. & Byers T. (1994). Dietary assessment resource manual. *The Journal of Nutrition* 124, 11 Suppl., 2245S–2317S.
- UNICEF (2009). *Suivre les progrès dans le monde de la nutrition de l'enfant et de la mère : une priorité en matière de survie et de développement*. New York, USA. p14 & 119.
- UNICEF/WHO (2008). *Indicators for assessing infant and young child feeding practices. Part 1, definition. Conclusions of a consensus meeting held 6–8 November 2007 in Washington. DC, USA*.
- Victora C.G., de Onis M. & Hallal P.C. (2010) Worldwide timing of growth faltering: revisiting implications for interventions using the World Health Organization growth standards. *Pediatrics* 125, e473–e480.
- Waterlow J.C. (1994) Introduction. Causes and mechanisms of linear growth retardation (stunting). *European Journal of Clinical Nutrition* 48, Suppl. 1, S1–S4
- WHO (1998). *Complementary Feeding of Young Children in Developing Countries: A Review of Current Scientific knowledge*. World Health Organization: Geneva.
- WHO (2004). *Anthropometry Training Video: The WHO Multicentre Growth Reference Study*. WHO, Geneva.
- WHO (1995). *Physical Status: The Use and Interpretation of Anthropometry: Report of a WHO Expert Committee*. WHO, Geneva.

- WHO (2006). *WHO Multicentre Growth Reference Study Group*. WHO child growth standards based on length/height, weight and age. Acta Paediatrica Supplement 450, 76–85.
- Willett W. (editor) (1998) Nature of variation in diet. In *Nutritional Epidemiology*, 2nd ed., pp. 33–49. New York:Oxford University Press.

3.1.2. Fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A, fer et plats amylacés

En marge de l'observation par pesées directes des aliments consommés par les enfants, les fréquences de consommation des enfants concernant les aliments riches en vitamine A, en fer et les plats à base de maïs, sorgho, mil et manioc ont été appréciées à partir de la déclaration des mères en réponse à des questionnaires de fréquence de consommation. Les fréquences rapportées correspondent à la consommation des aliments considérés au cours de la semaine précédant le premier jour d'observation dans les ménages.

3.1.2.1. Appréciation de la fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A

Selon les déclarations des mères, la mangue, l'huile de palme rouge, divers légumes-feuilles, les œufs et les foies sont les principaux aliments riches en vit A consommés par les enfants au cours de la semaine précédant l'enquête. On note que le pourcentage d'enfants consommant ces aliments augmente avec l'âge (figure 3.1). Cependant, selon les aliments, il apparaît des disparités: 70% des enfants consomment l'huile de palme rouge au moins une fois par semaine. Selon les déclarations des mères, les œufs et les divers légumes-feuilles (tous confondus) semblent avoir été consommés similairement par 48% des enfants (figure 3.1).

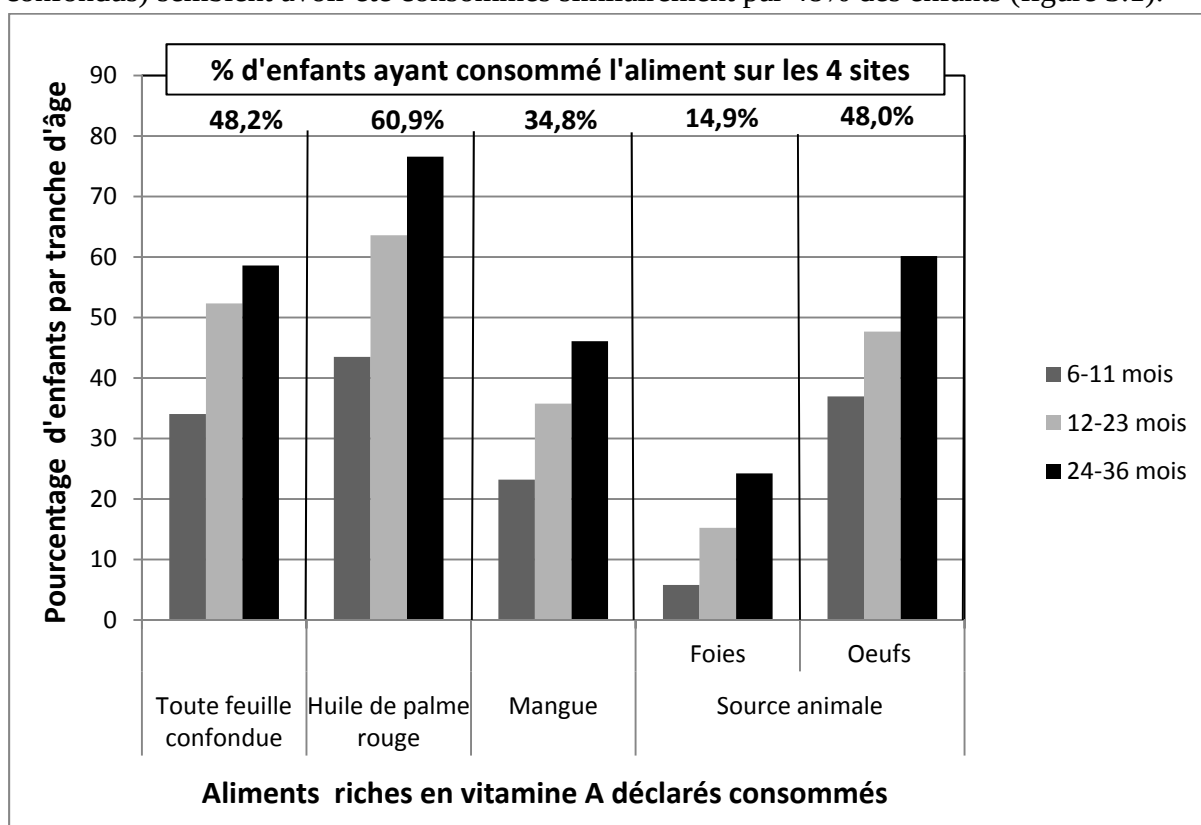


Figure 3.1. Aliments riches en vitamine A consommés au moins une fois au cours de la semaine précédant l'enquête par les jeunes enfants sur les 4 sites d'enquête.

Parmi les différents aliments riches en vitamine A sur lesquels a porté ce questionnaire, les foies d'animaux sont consommés par le plus faible nombre d'enfants. Cependant, jusqu'à 15% en auraient consommé selon les déclarations des mères, ce qui est loin d'être négligeable. Ces résultats surprenants nous ont conduits à comparer grossièrement

les résultats des questionnaires de fréquence avec les résultats d'observation sur une journée (tableau 3.1), en multipliant ces derniers par 7. Les pourcentages d'enfants ayant consommé l'huile de palme de rouge ou les légumes-feuilles sont du même ordre de grandeur. Ces aliments/ingrédients appariassent comme les plus régulièrement consommés. Pour la mangue, les données d'observation ont révélé une consommation plus fréquente que celle déclarée par les mères. En revanche, le nombre d'enfants ayant effectivement consommé des œufs ou du foie est nettement inférieur à ce qu'on aurait pu attendre selon les déclarations des mères. Pour le foie, aucun enfant enquêté n'en a consommé lors de l'enquête par pesée. Cette sur-déclaration de la consommation du foie et des œufs par les mères peut s'interpréter comme une volonté des mères de donner ces aliments à leurs enfants (tout au moins ces denrées n'apparaissent pas comme des interdits alimentaires), volonté cependant mise en pratique à des fréquences bien inférieures à celles déclarées, peut-être en raison du prix élevé de ces denrées.

Tableau 3.1 : Comparaison des résultats de consommation d'aliments riches en vitamine A entre questionnaire de fréquence (déclaration) et pesée (observation).

	Pourcentage d'enfants ayant consommé les aliments riches en vitamine A (%)		
	Déclaration Semaine	Observation (pesées)	
		journalière*	Semaine (x7)
<i>Effectif</i>	417	405	405
Huile de palme rouge	60,9	11,3	79,1
Toute feuille confondue	48,2	9,6	67,2
Œufs	48,0	1,4	9,8
Mangue	34,8	11,3	79,1
Foie	14,9	0	0

* moyenne sur trois jours

3.1.2.2. Appréciation de la fréquence de consommation d'aliments riches ou enrichis en fer

Le questionnaire (annexe 2.6) portait sur la consommation de tout type de viande ou de poisson, sous quelque forme que ce soit, ainsi que la consommation de farines infantiles importées ou produites localement, pour peu qu'elles soient fortifiées par incorporation de complément minéral et vitaminique. Une question était également posée concernant la consommation de spiruline, une cyanobactérie dont la culture et la consommation sont l'objet de larges projets et campagnes de promotion, notamment dans le cadre de la lutte contre la malnutrition des jeunes enfants et entre autres pour sa forte teneur en fer, mais dont l'efficacité n'est pas encore avérée (Simpore et al, 2006, Godin, 2006).

Les pourcentages d'enfants ayant consommé au moins une fois au cours de la semaine précédant l'enquête les produits animaux ou végétaux riches ou fortifiés en fer sur l'ensemble de sites d'enquête sont présentés sur la figure 3.2. Il apparaît qu'une majorité d'environ 72% d'enfants aurait consommé au moins une fois du poisson dont 30% 4 fois et plus au cours de la semaine mais seulement 42% aurait consommé au moins une fois de la viande, dont 9% 4 fois et plus. Les farines infantiles fortifiées n'ont été consommées que par environ 14% des

enfants enquêtés, mais très peu en ont consommé régulièrement. La spiruline apparaît très peu consommée certainement parce que peu connue ou financièrement inaccessible. Elle est surtout disponible dans les supermarchés et dans les pharmacies, structures plutôt rares en milieu rural et parfois dans les centres de récupération nutritionnelle. La spiruline fait toujours l'objet de publicité surtout à Cotonou, capitale économique du pays mais elle n'est pas encore adoptée par la population.

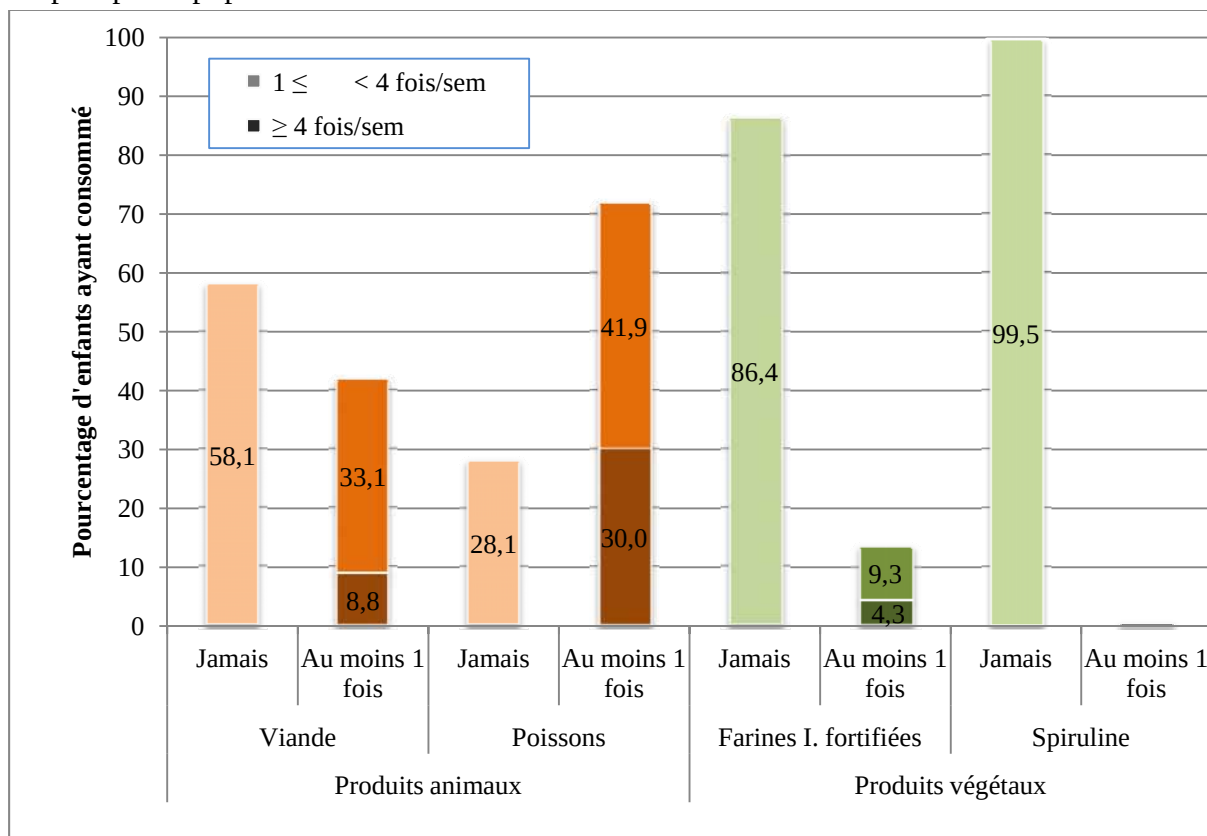


Figure 3.2. Pourcentage d'enfants ayant consommé des aliments riches ou fortifiés en fer au moins une fois au cours de la semaine précédant l'enquête.

L'analyse un peu plus avant des données met en évidence quelques disparités en fonction des sites d'enquête (tableau 3.2). Il apparaît que plus de 50% des enfants auraient consommés au moins une fois de la viande en milieu urbain (Cotonou, Natitingou) contre, en milieu rural, 21% d'enfants à Zè et 41% à Natitingou. Cependant la viande semble être plus consommée dans les 2 régions nord qu'au sud où le poisson domine et aurait été consommé au moins une fois par semaine par une forte majorité (84% à Cotonou et 74% à Zè), contre 61% à Boukoubé et 69% à Natitingou. Au moins 41% d'enfants ont consommé du poisson plus de 4 fois/semaine dans les deux régions sud (Cotonou et Zè) contre 11 % à Boukoubé et 27% à Natitingou, au nord. Sur les 4 sites, plus de 75 % des enfants n'ont pas une seule fois consommé de farines infantiles fortifiées en fer. Le plus fort pourcentage d'enfants ayant consommé ces farines a été enregistré à Cotonou (25%). Très peu d'enfants en ont consommé plus de 4 fois dans la semaine sur les 4 sites. La spiruline n'a quasiment pas été consommée sur les 4 sites : 1 seul enfant en a consommé dans chacun des sites du sud et aucune consommation n'a été observée au nord. .

Tableau 3.2 : Pourcentage d'enfants ayant consommé des aliments riches ou fortifiés en fer au cours de la semaine précédant l'enquête sur les 4 sites

	Aliments	Fréquence Consommation	Milieu Urbain		Milieu rural		Total
			Cotonou (%)	Natitingou (%)	Zè (%)	Boukoumbé (%)	
Produits animaux	Viande	Jamais	47,6	46,7	79,0	59,0	58,1
		Au moins 1 fois	52,4	53,3	21,0	41,0	41,9
		≥ 1 fois/semaine	7,6	16,2	1,0	10,5	8,8
	Poisson	Jamais	16,2	31,4	25,7	39,0	28,1
		Au moins 1 fois	83,8	68,6	74,3	61,0	71,9
		≥ fois/semaine	41,9	26,7	41,0	10,5	30,0
Produits végétaux	Farines infantiles fortifiées	Jamais	75,2	93,3	88,6	88,6	86,4
		Au moins 1 fois	24,8	6,7	11,4	11,4	13,6
		≥ 1 fois/semaine	8,6	1,0	2,9	4,8	4,3
	Spiruline	Jamais	99,0	100,0	99,0	100,0	99,5
		Au moins 1 fois	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5
		≥ 1 fois/semaine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ainsi, il apparaît que la consommation des produits animaux par la majorité des enfants est peu fréquente. Ceci vient conforter le faible niveau d'adéquation des apports en fer à partir de l'alimentation calculé à partir des données de pesée évoqué dans le projet d'article (§ 3.1.1.). Une consommation plus fréquente et en quantité suffisante de viande et de poisson devrait contribuer à améliorer l'apport en fer, mais n'est vraisemblablement pas faisable à l'heure actuelle en raison du coût élevé de ces denrées par rapport au pouvoir d'achat des ménages.

3.1.2.3. Appréciation de la fréquence de consommation des plats à base de céréales et de manioc

Il est traditionnel dans de nombreux pays en développement que l'alimentation complémentaire soit constituée avant tout de produits riches en amidon, que ce soient des céréales ou des racines et tubercules. La transformation traditionnelle des céréales et des racines et tubercules au Bénin offre une diversité de produits alimentaires tant pour la consommation des adultes que pour celle des enfants (Nago et al., 1998 ; Kayodé, 2005). Pour le sorgho, le mil, le maïs, le nombre de formes de consommation identifiées varient de 6 à 16, tandis que pour le manioc, 5 à 6 formes de consommation ont été mentionnées. A partir de la déclaration des mères, le tableau 3.3 présente les 10 premiers plats amylacés consommés par les plus grands nombres d'enfants au cours de la semaine précédant l'enquête. Pour les céréales, deux formes de consommation prédominent : la pâte, souvent consommée accompagnée de sauce, et la bouillie, qu'elle soit préparée à domicile ou achetée sous forme

prête à consommer, fermentée ou non. Sur les 4 sites d'enquête, la pâte de maïs apparaît comme l'aliment consommé par le plus grand nombre des enfants de 6-35 mois. Le Gari, sorte de semoule de manioc fermentée, séchée et grillée, vient en 2^{ème} position. Ces résultats apparaissent concordants avec les données FAOSTAT (2011) qui placent le maïs et le manioc respectivement 1^{er} et 2^{ème} pour l'apport énergétique dans l'alimentation béninoise. Les autres formes de consommation du manioc qui sont principalement le manioc frit ou bouilli, ragoût de manioc, tapioca, ou attièkè ont été beaucoup moins fréquemment rencontrées. Il est intéressant de noter que le maïs, très largement consommé, l'est essentiellement sous forme de maïs blanc. Le maïs jaune, pourtant susceptible de contenir de petites quantités de caroténoïdes provitaminiques A, et rare sur les marchés, est consommé par très peu d'enfants. Le nombre d'enfants consommant les produits à base de mil ou de sorgho, céréales des zones arides, est très faible dans les deux sites d'enquête situés au sud. En revanche, il augmente de manière importante dans les deux sites situés au nord.

Tableau 3.3 : Pourcentage d'enfants ayant consommé les plats à base de maïs, sorgho, mil et manioc par région

	% d'enfants ayant consommé (%)				Rang
	Sud		Nord		Ensemble
	Cotonou	Zè	Natitingou	Boukoumbé	
Effectif	106	105	105	104	420
Pâte de maïs blanc	77,4	68,6	63,8	65,4	1^{er}
Gari	39,6	56,2	19,1	23,1	2^{ème}
Bouillie de maïs blanc	31,1	25,7	33,3	23,1	3^{ème}
Bouillie farine infantile	17,0	22,9	7,6	10,6	4^{ème}
Bouillie maison à base de mil	2,8	1,0	31,4	22, 2	5^{ème}
Pâte de mil	1, 9	1,0	13,1	29,8	6 ^{ème}
Pâte de sorgho rouge	5,7	0,0	9,5	29,8	7 ^{ème}
Bouillie RHD¹ de sorgho rouge	16,0	0,9	13,3	9,6	8 ^{ème}
Pâte de sorgho blanc	0,0	0,0	6,7	29,8	9 ^{ème}
Bouillie maison (Koko)	10,4	1,9	11,4	12,5	10 ^{ème}

¹RHD : restauration hors domicile

Concernant la contribution de ces aliments à la couverture des AJR en vitamine A, elle est quasiment nulle, ceux-ci en étant pour la plupart totalement dépourvus. Cependant, les sauces consommées avec les pâtes à base de céréales peuvent constituer des sources intéressantes de vitamine ou provitamines A, du fait de leur composition en de nombreux ingrédients, parmi lesquels les légumes-feuilles et les produits à base de noix de palme. C'est pourquoi dans la seconde partie de ce chapitre de résultats, nous nous sommes intéressés à caractériser le potentiel de ces sauces en fonction de leur consommation et de leur composition.

3.2. Intérêt nutritionnel des sauces à base de légumes-feuilles et autres sources végétales pour les jeunes enfants.

Les sauces à base de légumes-feuilles et d'autres sources végétales pourraient contribuer à améliorer l'apport en vitamine A des jeunes enfants au Bénin. A partir des résultats de l'enquête de consommation alimentaire par pesée Nous avons cherché à identifier les aliments locaux riches en vitamine A les plus fréquemment consommés et à évaluer leur contribution à la couverture des apports journaliers recommandés aux jeunes enfants, en prenant en compte leur niveau de consommation. Les tout premiers résultats de cette étude ont fait l'objet d'un poster proposé au concours de posters scientifiques pour la promotion des partenariats bénino-français en matière de recherche pour le développement organisé en 2010 à Cotonou par le service d'action culturelle de l'ambassade de France, poster qui a obtenu le premier prix (annexe 3.1).

Ces résultats sont présentés de manière plus détaillée dans l'article ci-après (§3.2.1.), actuellement « in press » pour le journal Food Chemistry. Des données complémentaires sur les procédés traditionnels de préparation de ces sauces ainsi que sur leur composition en minéraux et en macronutriments sont donnés dans le § 3.2.2.

3.2.1. Article 2: Contribution of plant-based sauces to the vitamin A intake of young children in Benin

Résumé en français

Sur les sites enquêtés, la mangue, les œufs, l'huile de palme rouge ou diverses sauces légumes-feuilles ont constitué les principaux aliments locaux riches en vitamine A consommés, bien qu'au total seulement 34,2% des enfants enquêtés aient consommé l'un au moins de ces aliments. Selon les aliments, il apparaît des disparités selon les sites: l'huile de palme rouge est consommée par un plus grand nombre d'enfants au sud qu'au nord. La consommation de la mangue est saisonnière et coïncide ici avec la période d'enquête dans le nord. Les sauces de légumes-feuilles sont consommées par près de 10% des enfants sur les sites urbains mais par environ deux fois moins sur les sites ruraux. Il s'agit principalement des sauces *Amanvivè* (vernonia), *Fotètè* (amarante), *Fingniman* (feuille de manioc), *Fonman* (Prune noire), *Gboman* (Grande morelle), *Soman* (Célosie) *Dénoussounou* (jus de noix de palme), *Dénoussounou-LF* (jus de noix de palme avec légumes-feuilles) et la sauce *Févi* (fruit de gombo)

Les recettes des sauces les plus prometteuses ont été caractérisées. Les sauces à base d'huile de palme rouge ou de jus de palme présentent de forte teneurs en caroténoïdes allant de $0,9 \pm 0,3$ à $4,0 \pm 0,8$ mg Activité Equivalent Rétinol (AER) /100 g de MS. Ces sauces contiennent également de fortes teneurs en lipide variant de 39,6 à 66,8 g/100 g MS, soit de 7,0 à 17,7 g/100g de sauce. Ces quantités sont largement suffisantes pour garantir un ingéré supérieur à l'apport en lipides recommandé (2,4g/repas) pouvant assurer la bioaccessibilité des caroténoïdes dans les plats à base de légumes-feuilles (Ribbaya-Mercado et al., 2007; Tang, 2010).

Lorsqu'elles sont consommées, et prenant en compte les quantités moyennes ingérées par repas, ces sauces participent à la couverture de **71 à 129%** des apports journaliers recommandés en vitamine A pour les jeunes enfants.

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Food Chemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem

Contribution of plant-based sauces to the vitamin A intake of young children in Benin

Waliou Amoussa-Hounkpatin^{a,b}, Claire Mouquet-Rivier^{b,*}, Romain A.M. Dossa^a, Christian Picq^b, Sylvie Avallone^c

^a DNSA/FSA/University of Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Benin

^b IRD, UMR 204 NUTRIPASS, IRD/UM1/UM2, F-34394 Montpellier, Cedex 5, France

^c Montpellier SupAgro, UMR 204 NUTRIPASS, IRD/UM1/UM2, F-34394 Montpellier, Cedex 5, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 May 2011

Received in revised form 13 July 2011

Accepted 20 September 2011

Available online 28 September 2011

Keywords:

Vitamin A deficiency

Leafy vegetable

Carotenoids

Retinol Activity Equivalent

Palm nut

ABSTRACT

A food consumption survey on 420 children was conducted in four areas in Benin to identify the local vitamin A (VA)-rich foods most frequently eaten and assess their contribution to the coverage of VA requirements of young children. Mangoes, eggs, red palm oil, various leafy vegetable (LV) sauces and palm nut juice sauce appeared to be the main VA-rich foods consumed. The recipes of the most promising sauces were characterised. Sauces with red palm oil/palm nut juice showed high carotenoid contents ranging from 0.9 ± 0.3 to 4.0 ± 0.8 mg Retinol Activity Equivalent/100 g dry matter (DM). Lipid contents were also high (from 39.6 to 66.8 g/100 g DM). When consumed, and taking into account the mean quantity eaten per meal, LV sauces containing red palm oil or palm nut juice contributed to the meeting of more than 70% of the recommended VA intake of young children.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Vitamin A deficiency (VAD) is a major nutritional deficiency disorder in many developing countries. VAD especially affects young children, in whom it can cause xerophthalmia and lead to blindness, and can also limit growth, weaken innate and acquired host defenses, exacerbate infection and increase the risk of death (Sommer & West, 1996). These consequences are defined as VAD disorders (West, 2002). Worldwide, 127 million preschool children and seven million pregnant women are VA deficient. Approximately one out of three children suffering from VAD lives in sub-Saharan Africa (West, 2003). In Benin, this problem is responsible for 34% of infant mortality and affects 68% of children under 5 years of age (Ministère de la Santé Publique du Bénin (MSPB), 2004).

VA is a liposoluble vitamin present in some animal products in the form of preformed retinol and in plant foods in the form of carotenoids, several of which are precursors of retinol. In Western societies, animal products provide more than 70% of daily VA intake and the remainder (less than 30%) is provided by plant sources (Hennekens, Buring, & Peto, 1994). In contrast, in developing countries, fruit and vegetables provide 70–90% of total VA intake (FAO/WHO, 1998). Numerous vegetables with high carotenoid content

are available and affordable in Benin as in many other developing countries. Moreover, it should be underlined that carotenoids, even when they have no provitamin A activity such as lutein and lycopene, have other health benefits. Recently, great interest has been focused on antioxidant activity of carotenoids, due to their ability to scavenge active oxygen species and free radicals formed during metabolism or encountered in the environment (pollution, ultraviolet, tabagism) (Kotíková, Lachman, Hejtmánková, & Hejtmánková, 2011). A high antioxidant dietary intake is associated with lower incidence of several diseases, especially cancers (Riboli & Norat, 2003). Hence, the identification of local carotenoid-rich foods deserves special attention.

As far as strategies to reduce VAD are concerned, the food-based approach is increasingly emphasised because it is sustainable, and adds variety to the diet, thus providing nutrients other than VA. One very important question is whether the consumption of plant-based sauces can significantly contribute to covering young children's VA requirements. Therefore, assessing the contribution of traditional LV sauces to fulfilling daily VA requirements is a major issue for the definition of relevant food-based strategies to combat VAD in vulnerable groups (Lin, Chien, Yang, & Cheng, 2007). Many studies have described a wide variety of LV consumed in Africa and highlighted their high provitamin A carotenoid content (Avallone, Tiemtore, Mouquet-Rivier, & Trèche, 2008; Delisle, Bakari, Gevry, Picard, & Ferland, 1997). Young children in sub-Saharan Africa eat cereal-based foods daily accompanied by

* Corresponding author. Tel.: +33 4 67 41 62 95.

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

a wide variety of sauces among which many are prepared with LV. In Benin, these green LV sauces sometimes include palm nut juice or red palm oil, which are also major sources of carotenoids. Provided they are eaten in sufficient quantities and quite frequently, these sauces can have a beneficial effect on health by supplying micronutrients (vitamins, minerals) or antioxidants (Avallone et al., 2008).

The term “sauces” covers a variety of liquid or semi-liquid dishes with many different ingredients including different vegetables, animal products and seasonings. In Africa (Cameroon, Burkina Faso and Madagascar), sauce recipes have already been collected including the list of ingredients used, preparation methods and nutrient contents (Gwanfogbe, Chambers, Martin, Fotso, & Smith, 1991; Avallone et al., 2008; Randrianatoandro, Avallone, Picq, Ralison, & Trêche, 2010). However, few studies have investigated the contribution of sauces to fulfilling the VA requirements of young children. In Tanzania, one study showed that provitamin A carotenoids from LV were a major dietary source of VA and contributed from 23% to 72% of the daily recommended intake of VA in children (Mulokozi, Hedrén, & Svanberg, 2004).

Another important issue related to dietary carotenoids is their bioconversion that depends on the characteristics of the food matrices and on their fat content (Tang, 2010; van het Hof, West, Weststrate, & Hautvast, 2000). Consequently, processing food can act in two ways. Firstly, under drastic thermal treatments or by leaching, it can affect total carotenoid retention by degradation. Secondly, it can improve the bioconversion of carotenoids to retinol, due to changes in food matrices such as fat incorporation. A recent study on the influence of different amounts of dietary fat on the bioavailability and bioconversion of provitamin A carotenoids in meals containing LV, showed that a minimum amount of fat (2.4 g fat/meal) is required to ensure the absorption of provitamin A carotenoids, and to improve VA status (Ribaya-Mercado et al., 2007; Tang, 2010; van het Hof et al., 2000).

The objective of this study was first to identify the VA-rich foods most frequently consumed by 6–35-month-old children through a food consumption survey based on weighed food records. The processing of the most promising VA-rich sauces was subsequently monitored in households, and final sauces and corresponding raw materials were sampled for the determination of their carotenoid contents to assess the contribution of plant-based sauces to the coverage of VA requirements of young children.

2. Materials and methods

2.1. Food consumption survey methodology

2.1.1. Processing and subjects sampling

A food consumption survey of 420 6–35-month-old-children was conducted in four areas (urban, rural) in Benin in 2009 to identify the main VA-rich foods eaten by children using the weighed food record method. As the aim of the study was to characterise potential VA-rich foods, children aged 24–35 months were included in the survey's sample in addition to the at-risk group of young children (6–23 months) in order to identify a larger range of traditional dishes.

Survey sites were non-randomly selected. The choice of the sites was intended to represent two different agro-ecological regions in Benin (North and South), assuming that foods available on markets differ in rural and urban areas (food diversity is considered to be higher in urban areas), the four survey sites were Cotonou (urban) and Zè (rural) in the South and Natitingou (urban) and Boukoumbé (rural) in the North. In each site, the sample comprised 105 children distributed in three age groups: 6–11, 12–23 and 24–35 months; in each age group, 35 subjects were randomly selected.

Due to some missing or erroneous data, final data analyses were performed on 415 subjects of the original 420. The survey was carried out on three non-consecutive days. Every food item eaten by the children was systematically recorded by weighing the bowl or food itself before and after consumption throughout the day (from the time the child awakened until bedtime). Recipes of foods prepared in the household and eaten by children were carefully recorded and all ingredients were weighed using a kitchen scale (Seca; range 5000 g; precision 1 g). EpiData 3.1 was used for data entry, and EpiData Analysis (V2.2.0.167) and SPSS (16.0 for windows) were used for data analysis.

2.1.2. Follow-up of the preparation of traditional sauces and sampling

Sauces most frequently eaten by 6–35-month-old-children during the survey or that appeared to be useful for their potentially high micronutrient content (VA, zinc and iron) were selected for characterisation (Table 1). Their exact preparation was recorded in the South of Benin (Cotonou and Zè) during home visits to five different women, and the recipes were written down in detail. The types and quantities of ingredients and the chronology of each unit operation used to prepare each ingredient were recorded, along with the cooking temperature and time. At the end of preparation, two samples of final product were placed in tightly sealed plastic containers. One sample was freeze-dried and crushed before lipid and fibre analyses. The other sample was frozen (–20 °C) to determine carotenoid and retinol contents.

2.2. Biochemical analysis

2.2.1. DM content and pH measurement

DM contents were determined by oven drying at 105 °C to constant weight. The pH of the dishes was determined using a WTW 340i pH-metre (WTW, Weilheim, Germany).

Determination of lipid and fibre contents: Lipid content was determined with a HT6 Soxtec system (Tecator, Höganäs, Sweden) following the standard Soxhlet extraction procedure (AOAC, 2003). The Acid Detergent Fibre content (approximately cellulose and lignin contents), was determined using a Dosi-fibre (Selecta, Barcelona, Spain). Results were expressed in g per 100 g DM.

2.2.2. Determination of carotenoid and retinol content

Frozen samples (~0.5 g) were mixed in a glass tube with 10 ml of ethanol/hexane 4/3 (v/v) for 5 min (Taungbodhitham, Jones,

Table 1

Beninese, English and scientific names of Beninese sauces based on leafy vegetable, okra or palm nut.

	Sauce Beninese name ^a	Main ingredient	
		English name	Scientific name
Leafy vegetable (LV)	Amanvivè	Bitter-leaf	<i>Vernonia amygdalina</i> (Delile)
	Fotètè	Amaranth	<i>Amaranthus cruentus</i> (L.)
	Fingninman	Cassava	<i>Manihot esculenta</i> (Crantz)
	Fonman	Black plum	<i>Vitex doniana</i> (Sweet)
	Gboman	African eggplant	<i>Solanum macrocarpon</i> (L.)
	Soman	Cockscomb	<i>Celosia argentea</i> (L.)
Palm nut	Dénoussounou ^b	Red palm nut	<i>Elaeis guineensis</i> (Jacq.)
Vegetable	Févi	Okra fruit	<i>Hibiscus esculentus</i> (L.)

^a Language of the main ethnic group “Fon”.

^b Sauce based on palm nut juice sometimes with leafy vegetables added (Dénoussounou-LV).

Wahlqvist, & Briggs, 1998). The solution was then filtered to separate the extract from the solids and 10 ml of NaCl 10% (p/v) were added. After 10 min, the lower phase was discarded and the upper phase (organic extract) was washed with 10 ml of milliQ water. Organic extracts were dried under nitrogen and residues were dissolved in 1 ml of acetone. After filtration through a 0.45 μ m PTFE filter, samples were injected into the HPLC. Elution was performed with a Dionex P680 pump. The column was a polymeric YMC-30 (4.6 mm i.d $\times$ 250 mm, 5 μ m particle size) (YMC, Inc., Wilmington NC). The mobile phase was composed of methanol, tert-butyl-methyl-ether and milliQ water (50:45:5, v/v/v) at a flow rate of 1 ml min⁻¹. A UV-visible photodiode array detector (Dionex UVD 340U) was used. Chromatographs were analyzed at the wavelengths of maximum absorption of the carotenoids and all-*trans* retinol, i.e. 450 nm and 320 nm, respectively. Retinol Activity Equivalent (RAE) was calculated using conversion factors of 12 for β -carotene and 24 for other provitamin A compounds (α -carotene, β -cryptoxanthin) for 1 retinol and expressed in mg RAE/100 g DM (Murphy, 2002). The carotenoid isomers were identified by their retention times and by absorption spectra cited in the literature (Aman et al., 2005; Rodríguez & Rodríguez-Amaya, 2007). The extraction procedures and HPLC analysis were validated using Standard Reference Material 2385 (slurried spinach, from the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD): a β -carotene content of 18.2 ± 3.8 mg/kg was obtained, which was very close to the certified concentration value (19.2 ± 2.9 mg/kg). Reproducibility was measured by analyzing one of the food samples with six repetitions; the variation coefficient for β -carotene was 10.1%. The retinol content (of samples containing meat) was determined according to the AOAC 992.06 method (AOAC, 2005). Approximately 1 g of the sample was saponified with 1.25 ml of 10.5 M KOH for 25 min at 70 °C in a shaking water bath and then extracted with 7.5 ml of ethanol/hexane (4/3, v/v). Organic extracts were dried under nitrogen and residues were dissolved in 1 ml of acetone and then injected into the HPLC.

2.2.3. Statistical analysis

Data were assessed by analysis of variance (ANOVA) using the statistical software Statgraphics plus 5.1 (Virginia, USA). The Fisher test and Duncan's multiple range tests were used to separate means. Significance was accepted at probability $p < 0.05$.

3. Results and discussion

3.1. Consumption of vitamin A rich foods

Red palm oil, palm nut sauce, various LV sauces, mango and egg were the main VA-rich foods consumed by young children (Fig. 1). Eggs were the only VA-rich foods of animal origin, but eggs were consumed only by 1.4% of the children surveyed on each observation day. None of the children ate liver or butter on the three survey days. The percentage of children consuming VA-rich foods increased by age group, the difference being more marked between the 6–11 month-old group and the two other groups (Fig. 1a). Thus, most diet diversification appears to occur around the age of 12 months. The percentages of children consuming these VA-rich foods varied widely depending on the survey site (Fig. 1b). In the case of mango, many children had eaten it in the northern sites and particularly in the northern rural site where more than 30% of children ate mango at least once a day, whereas none of the children in the two southern sites had eaten it. However, this difference can be attributed to the fact that the survey was carried out during the mango harvest in the North. Although mango is a VA-rich food accessible to young children (mainly to the oldest), its seasonality does not allow a regular supply of VA all year round.

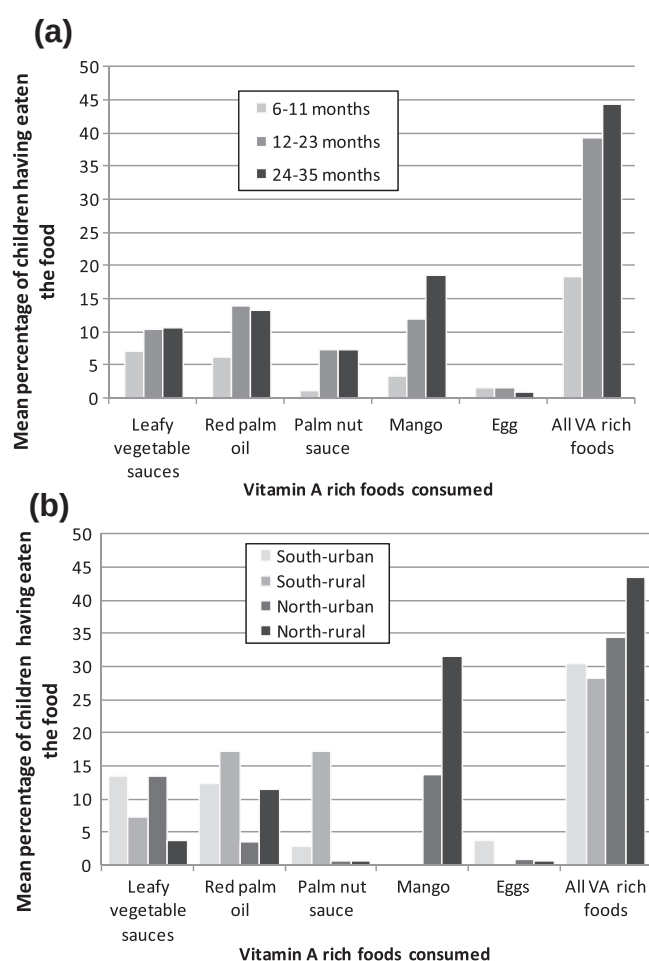


Fig. 1. Consumption of VA-rich foods (mean percentage of children who ate the food at least once per day of the weighed food record) (a) as a function of the age group; (b) as a function of the survey site.

Red palm oil and palm nut sauces were eaten by higher percentages of children in the South, and particularly in the rural site of Zè, a village located in the area where the palm tree is grown. However, it was surprising to see that non-negligible percentages of children ate red palm oil in the North, showing it is available even in an area where palm trees are not grown. Leafy vegetable (LV) sauces were eaten at least once a day by 9.6% of the children in the urban sites, but percentages were lower in rural sites, which is consistent with a lower diet diversity often reported in rural areas. In Benin, the dietary diversity of young children is indeed higher in urban areas (53.0%) than in rural areas (35.0%) (INSAE, 2007).

Only one third of the children (34.2%) ate at least one of the VA-rich foods most widely eaten by young children during the survey, at least once a day. In order to combat VAD in Benin, the first step could be to promote more regular consumption of VA-rich foods by young children.

3.2. Description of sauces and their recipes

Traditional meals in Benin are cereal-based foods accompanied by various types of sauces. According to the data collected in the food consumption survey, the sauces based on VA-rich ingredients were not prepared only for the child but were consumed by the whole family. Sauces are generally prepared with a wide variety of ingredients but their contribution to the dry matter content is

often minor and therefore of little effect on the nutritional value of the sauce (Table 2). The contributions of the ingredients to the DM content were highly variable as recipes varied strongly from one woman to another.

Except for *fèvi* sauce prepared from okra, the DM content of these Beninese sauces is >25%, which is remarkably high compared to plant-based sauces prepared in other countries [10]. These high DM contents are mainly due to the incorporation of a very high proportion of oil (27–44% DM), either groundnut or palm nut oil, or palm nut juice (52–60% DM) in the case of *Dénoussounou* sauces. Consequently the lipid contents of all sauces were high, ranging from 39.3 to 66.8 g/100 g DM (Table 3). The main ingredients, i.e. ingredients that give their names to the sauces (palm nut juice, red palm oil, leafy vegetables and fresh okra) contributed to large proportion of the DM content of the sauce, even in the case of okra or leafy vegetables (between 10% and 24% DM) despite the fact they were fresh and therefore had very low DM contents. The contribution of fish to DM content was also high in many sauces and reached 42% in *Fèvi* sauce. Numerous other ingredients (black pepper, garlic, ginger, bay leaf, crushed soybean, local spices, etc.) were used but their carotenoid or retinol content combined with their low contribution to the sauce DM content led us to consider that they had a minor effect on the VA content of the sauce.

Local “potash” or sometimes sodium bicarbonate was used in almost all sauces containing vegetables to soften fibrous plant tissues or to counter the sour taste, according to the mothers. The final pH of the sauces varied from 5.6 ± 0.2 (*Soman*) to 6.8 ± 0.1 (*Fèvi*) corresponding to a slightly sour to neutral taste (data not shown). The different leafy vegetable sauces observed were prepared according to the following processing method: Leaves were first blanched in boiling water during 10–21 min and drained. The oil (red palm and/or groundnut oil) was poured in a pot and heated up for 22 min on average at a temperature around 175–200 °C. Then the other ingredients finely cut or sliced or crushed – tomato, pepper, onion, minor condiments and spices and fish – were added successively. Finally, after short stir frying, previously blanched leaves were added and the cooking was carried on at boiling point for 6–13 min more (Table 2). The whole duration of LV/red palm oil sauce cooking varied from 21 to 33 min (Table 2). In the case of *Dénoussounou* sauces, palm nuts were parboiled in water for 18–44 min. After draining, the palm nut juice was extracted by crushing. Then, the palm nut juice was heated to boiling point in a cooking pot before adding the other ingredients and finally the blanched LV. Everything was cooked for 44–46 min (Table 2). Certain steps such as heating the red palm oil, blanching the LV or parboiling the palm nuts were identified as risky for the final VA content of the sauces.

Thus, it appeared that VA-rich ingredients contributed to a large part of the composition of the sauce, which bodes well for the appropriate VA content of the sauces, provided the processing method used for the sauce preparation is not too drastic.

3.3. Potential of sauces to be good sources of vitamin A

The contents in some carotenoids measured in okra, palm nut juice, red palm oil and six fresh LV and corresponding potentially VA-rich sauces are shown in Table 3. Lutein was frequently detected in the sauces and sometimes lycopene. With their interesting antioxidant activities, these compounds may have a beneficial role for the young child health. However as our study was focused on the provitamin A carotenoids, the respective contents in lutein and lycopene were not integrated.

The α -carotene contents of okra and most LV were low except for *Vitex doniana* leaves that had a significantly higher α -carotene content ($p < 0.05$) than the others. The β -carotene contents of all LV were high (from 20.3 ± 2.3 mg/100 g DM to 41.5 ± 14.7 mg/

100 g DM) compared to that of okra, which was 12–24 times lower. Cassava leaves had the highest β -carotene content. Finally, all LV studied had a high RAE content, the most interesting being cassava and *V. doniana* leaves, whereas the RAE content of okra was negligible. The RAE content of amaranth leaves was comparable to that reported (4.0 ± 1.7 mg RAE/100 g DM i.e. 2.0 RAE/100 mg DM if they had used the same conversion factor) in Tanzania (Mosha, Pace, Adeyele, Laswai, & Mtebe, 1997).

In palm nut products (palm nut juice as well as red palm oil), α -carotene and β -carotene were both high. Non-negligible 9-*cis*- β -carotene isomer contents were also found, the isomer may have been formed during thermal processes which are used for the preparation of these products. Indeed, palm nuts are usually par-boiled before the extraction of the juice. As far as we know, the palm nut juice is then heated further to evaporate the water for the production of red palm oil. Finally, palm nut products had really high RAE.

No preformed retinol was found in the sauces even when samples were saponified before analysis. The main ingredients likely to contain retinol (i.e. fish, shrimp and crab) were generally smoked, dried and/or fried before being added to sauces, all processing methods that may have totally destroyed the retinol. The β -carotene content of these sauces was particularly high. It ranged from 9.0 ± 3.3 to 34.3 ± 5.9 mg/100 g DM. The highest content was measured in *Dénoussounou* made with palm nut juice. The α -carotene contents are in good accordance with the contents in raw materials, being higher in *Dénoussounou* sauces made with high proportion of palm nut juice, and *Fonman* sauce, which contains *V. doniana*, the only LV rich in α -carotene among those analyzed. High 13-*cis*- β -carotene contents were also found and this may be due to the intense heating applied to red palm oil at the beginning of sauce preparation. Finally, the RAE value of these plant-based sauces ranged from 0.9 to 4.0 mg RAE/100 g DM, corresponding to 0.24–1.06 mg RAE/100 g of sauce. Among the LV sauces, sauces made from *fonman* (*V. doniana*) or *fingninman* (cassava) had the highest RAE values. Even if the RAE value of okra was negligible, *fèvi* sauce made with okra had an interesting RAE value (corresponding to 0.39 mg RAE/100 g of sauce) due to the large proportion of red palm oil used in its preparation. Thus all sauces analyzed here can be considered as VA-rich foods according to the currently accepted threshold value of 0.1 mg RAE/100 g.

The contribution of LV and red palm products to the RAE values of sauces was calculated using their relative proportions in sauces on a DM basis (Table 2). For most sauces, it ranged from 65% to 86%, showing that these ingredients account for the majority of RAE. The rest can be partly attributed to other ingredients used in the sauces such as tomato products or chili pepper, but also to an increase in carotenoid contents resulting from blanching the leaves or boiling the palm nuts. Indeed, such effects of gentle heating have already been reported (Mosha et al., 1997). Two sauces (*fingninman* and *gboman*) had lower RAE values than those calculated taking LV and palm nut products (calculated RAE values = 112% and 144% of measured RAE values, respectively) into account. This may be due to carotenoid losses caused by too drastic thermal treatments such as heating red palm oil. Thus Beninese plant-based sauces had higher RAE values (0.9–4.0 mg RAE/100 g DM) than LV sauces consumed in Madagascar (1.3–2.3 mg RAE/100 g DM) (Randrianatoandro et al., 2010) (and in Burkina Faso (0.83–0.01 mg RAE/100 g DM) Avallone et al., 2008). This is undoubtedly due to the use of palm nut products. Nevertheless, even if palm nut products accounted for the majority of RAE, the contribution of LV was high, ranging from 15% to 37% of the final RAE values of the sauce.

As expected from the ingredients, the lipid contents of all sauces were high, ranging from 39.6 g/100 g DM in *Fèvi* sauce to 66.8 g/100 g DM in *Dénoussounou* sauce (Table 3). The lipid con-

Table 2
Mean temperature, cooking time and DM contents of sauces and contribution of the ingredients on a dry matter basis.

	Ananvivè 5	Forêtè 5	Fingninman 5	Fonman 5	Gboman 5	Soman 5	Dénoussounou 4	Dénoussounou-LV 4	Févi 5
Number of repetitions									
Sauce cooking time (min)	23 ± 8	37 ± 13	21 ± 7	28 ± 17	33 ± 4	29 ± 19	44 ± 12	46 ± 8	27 ± 9
Final cooking temperature (°C)	94.4 ± 5.8	99.7 ± 0.5	100.5 ± 3.0	97.3 ± 4.8	98.6 ± 2.5	96.9 ± 3.4	99.5 ± 0.6	98.2 ± 2.8	98.4 ± 1.9
Sauce DM content (%)	27.6 ± 6.6	26.3 ± 6.2	31.8 ± 8.9	27.0 ± 7.6	26.6 ± 3.6	25.4 ± 3.1	26.5 ± 9.5	23.4 ± 2.5	17.8 ± 1.4
<i>Main ingredient DM (%)</i>									
Palm nut juice	–	–	–	–	–	–	60.5 ± 9.8	51.7 ± 6.1	–
Red palm oil	15.2 ± 9.1 (4) ^b	25.1 ± 17.7	34.7 ± 14.5	44.1 ± 9.3	17.7 ± 16.3 (3)	18.7 ± 18.1 (3)	–	–	26.7 ± 10.8
Leafy vegetable	13.3 ± 7.6	13.8 ± 6.5	24.3 ± 5.9	13.5 ± 3.5	12.3 ± 2.8	17.7 ± 7.0	–	23.4 ± 13.1	0.1 ± 0.1
Fresh okra	–	–	–	–	–	–	–	–	10.3 ± 2.9
<i>Contribution of other ingredients to DM (%)</i>									
Groundnut oil	13.8 ± 30.8 (1)	6.7 ± 14.9	–	–	11.3 ± 15.5 (2)	8.5 ± 12.0 (2)	–	–	–
Fish ^a	19.8 ± 17.2 (4)	23.6 ± 15.4	7.4 ± 10.2 (2)	11.3 ± 15.1 (3)	20.5 ± 6.8	20.0 ± 15.8 (4)	24.5 ± 15.4 (3)	5.5 ± 4.2 (3)	42.2 ± 8.7
Cooked beef skin	8.0 ± 11.6 (2)	2.1 ± 4.6 (1)	1.9 ± 4.3 (1)	–	5.2 ± 7.1 (2)	2.3 ± 5.2 (1)	–	–	6.1 ± 8.4 (2)
<i>Affrin</i> ^c	6.1 ± 6.6 (3)	4.6 ± 4.5 (3)	11.4 ± 2.9	10.3 ± 4.2	2.9 ± 4.5 (2)	1.2 ± 2.7 (1)	–	0.6 ± 1.2 (1)	–
Pumpkin seeds	4.9 ± 7.1 (2)	3.0 ± 6.7 (3)	–	–	12.6 ± 1.7	4.9 ± 7.0 (2)	2.4 ± 4.8 (1)	–	–
Tomato (fresh or paste)	5.0 ± 1.9	4.4 ± 1.4	3.8 ± 2.4	3.8 ± 0.6	4.0 ± 1.1	7.5 ± 9.2	0.5 ± 0.6 (2)	0.3 ± 0.5 (1)	–
Onion	2.5 ± 1.3	3.6 ± 2.4	4.6 ± 1.7	4.2 ± 1.6	2.2 ± 0.8	4.5 ± 1.9	0.6 ± 0.5 (3)	1.4 ± 0.5	–
Shrimp ^a , crab	3.9 ± 3.1 (4)	3.6 ± 4.5 (4)	1.9 ± 3.0 (3)	2.6 ± 2.7 (3)	4.5 ± 2.6 (4)	2.8 ± 3.4 (3)	–	–	1.2 ± 1.1 (3)
Salt, stock cube, pepper	5.3 ± 1.8	6.3 ± 2.9	4.7 ± 1.2	6.7 ± 2.4	4.9 ± 2.5	10.1 ± 6.5	8.1 ± 1.5	10.7 ± 1.6	4.8 ± 2.9 (3)
Local "potash" ^d (or bicarbonate)	1.4 ± 1.1	1.4 ± 1.5	2.5 ± 2.1	0.1 ± 0.1 (1)	0.4 ± 0.3	0.6 ± 0.6	–	0.4 ± 0.4 (3)	5.8 ± 1.9
Other minor ingredients	0.9 ± 0.8	1.9 ± 1.3	3.1 ± 6.7	3.5 ± 7.2	1.8 ± 3.1	1.2 ± 1.9	3.6 ± 3.0	5.3 ± 9.7	1.1 ± 0.8
									0.3 ± 0.6

^a Used either fresh, fried, smoked or dried.

^b () = Number of times the ingredient was used when not included in each preparation.

^c Condiment made from fermented seeds of *Parkia biglobosa*.

^d Alkaline ingredient resulting from the desiccation of in a filtrate of ashes.

Table 3

Lipid, carotenoid and Retinol Activity Equivalent of the most frequently eaten sauces and their main VA rich ingredients.

Sample	α -carotene (mg/100 g DM)	β -carotene (mg/100 g DM)	β -carotene isomers ^A (mg/100 g DM)	Retinol activity (mg RAE ^B /100 g DM)	Lipid (g/100 g DM)
<i>Leafy vegetables</i>					
<i>Amanvivè</i>	1.8 ± 0.5 ^a	20.3 ± 2.3 ^b	0.0 ± 0.0 ^a	1.8 ± 1.8 ^b	
<i>Fotètè</i>	1.7 ± 1.6 ^a	31.0 ± 6.8 ^{bcd}	1.2 ± 0.8 ^b	2.7 ± 0.6 ^{bcd}	
<i>Fingninman</i>	3.7 ± 2.0 ^a	41.5 ± 14.7 ^d	2.3 ± 1.2 ^c	3.7 ± 1.3 ^{de}	
<i>Fonman</i>	57.1 ± 10.4 ^b	23.7 ± 3.8 ^b	0.6 ± 1.1 ^a	4.4 ± 0.6 ^e	
<i>Gboman</i>	4.3 ± 1.0 ^a	29.5 ± 7.8 ^{bc}	1.0 ± 0.8 ^a	2.7 ± 0.6 ^{bcd}	
<i>Soman</i>	2.2 ± 1.1 ^a	25.6 ± 4.7 ^{bc}	0.5 ± 0.5 ^a	2.2 ± 0.4 ^{bc}	
<i>Vegetable</i>					
<i>Févi</i>	0.1 ± 0.0 ^a	1.7 ± 2.2 ^a	0.0 ± 0.0 ^a	0.1 ± 0.2 ^a	
<i>Palm nut</i>					
Palm nut juice	28.8 ± 12.9	37.1 ± 11.6	5.3 ± 0.6	4.5 ± 0.6	
Red palm oil	41.8 ± 4.3	41.9 ± 4.2	10.0 ± 1.1	5.7 ± 1.5	
<i>Sauces</i>					
<i>Amanvivè</i>	3.6 ± 2.5 ^f	14.7 ± 3.8 ^{rs}	4.7 ± 2.3 ^{rs}	1.6 ± 0.4 ^{rs}	46.3 ± 6.1 ^{rs}
<i>Fotètè</i>	6.3 ± 8.1 ^{rs}	18.6 ± 9.1 ^{rst}	6.2 ± 4.3 ^{rs}	2.1 ± 1.0 ^{rst}	50.9 ± 9.0 st
<i>Fingninman</i>	4.2 ± 0.8 ^f	24.8 ± 3.6 st	8.7 ± 0.4 ^s	2.6 ± 0.3 ^{rst}	52.4 ± 8.7 st
<i>Fonman</i>	25.2 ± 10.7 ^s	20.1 ± 12.8 ^{rst}	7.1 ± 4.6 ^{rs}	3.0 ± 1.7 ^{rst}	51.9 ± 4.9 st
<i>Gboman</i>	2.3 ± 2.0 ^f	9.0 ± 3.3 ^r	1.5 ± 1.0 ^f	0.9 ± 0.3 ^r	53.4 ± 2.8 st
<i>Soman</i>	3.9 ± 2.8 ^f	21.2 ± 12.2 ^{rst}	7.8 ± 5.0 ^s	2.3 ± 1.3 ^{rst}	49.1 ± 2.5 ^{rs}
<i>Dénoussounou</i>	24.0 ± 19.4 ^{rs}	26.2 ± 12.0 st	5.6 ± 3.0 ^{rs}	3.4 ± 1.9 st	66.8 ± 10.7 ^{tu}
<i>Dénoussounou-LV</i>	17.2 ± 9.7 ^{rs}	34.3 ± 5.9 ^t	10.5 ± 5.0 ^s	4.0 ± 0.8 ^t	59.8 ± 5.2 ^{tu}
<i>Févi</i>	15.1 ± 10.8 ^{rs}	16.3 ± 6.6 ^{rs}	6.1 ± 2.9 ^{rs}	2.2 ± 1.0 ^{rst}	39.6 ± 8.1 ^r

Data are means ± SD of 5 samples, except for the red palm oil ($n = 1$) and the *Dénoussounou* sauces ($n = 4$). Values with different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

^A The 9-*cis* and 13-*cis*- β -carotene were detected in the vegetables and the palm nut products.

^B Retinol Activity Equivalent. 1 RAE = $\Sigma([\text{retinol}] + [\beta\text{-carotene}]/12 + [\text{other provitamin A carotenoid}]/24)$.

tents of Beninese sauces appeared to be higher than those reported in sauces in Burkina Faso (19.9–45.1 g/100 g DM) or Madagascar (16.7–47.4 g/100 g DM) (Avalone et al., 2008; Randrianatoandro et al., 2010). This may play an important role by enhancing carotenoid bioaccessibility during digestion (Dimitrov et al., 1988; Erdman, Bierer, & Gugger, 1993). In addition, the fact that these sauces contain red palm oil can promote the absorption of provitamin A. Results from *in vitro* accessibility of carotenes from LV cooked in Tanzania revealed that adding red palm oil instead of sunflower oil doubled the quantity of accessible β -carotene, due to the high accessibility of its β -carotene content (Hedren, Mulokozi, & Svanberg, 2002). Red palm oil also contributed a considerable amount of α -carotene. Results showed that by eating vegetable relishes with added oil on a daily basis, it should be possible to provide the recommended intake of VA. Unlike lipids, fibres have been reported to entrap carotenoids thus decreasing carotenoid bioaccessibility (Maiani et al., 2009; van het Hof et al., 2000).

Low fibre VA-rich foods thus appear to be preferable for combating VA deficiency. The fibre content of LV sauces varied from 6.1 to 7.7 g/100 g DM (data not shown) except for *Fonman* sauce whose fibre content was significantly higher (11.2 ± 0.7 g/100 g DM) thus compromising the bioaccessibility of its carotenoids. Not surprisingly, *Dénoussounou* sauce prepared without any vegetables had the lowest fibre content (3.1 ± 0.35 g/100 g DM).

3.4. Contribution of sauces consumed by young children to their daily vitamin A requirement

To assess the contribution of VA-rich foods to VA intakes, the amounts consumed need to be taken into account. The amounts of the main VA-rich foods consumed by children during the survey are listed in Table 4. Data on the consumption of *fonman*, *gboman* and *soman* sauces were too scarce to allow the calculation of mean intakes per meal and are thus not presented. For most foods, the

Table 4

Lipid intake and contribution to the vitamin A requirement of the main VA rich foods, when consumed.

Type of food	Number of subjects ($n = 415$)	Mean amount consumed per meal (g)				Lipid intake per meal (g)	Coverage of VA RNI ^b (%)
		6–11 months	12–23 months	24–35 months	All age groups		
Mango ^c	82	77.8	76.4	103.3	91.2 ± 67.0 ^a	0.2	45.6
Egg ^c	18	23.7	44.9	56.7	37.4 ± 34.6	3.7	16.4
<i>Sauces</i>							
<i>Amanvivè</i>	16	98.7	42.7	62.0	65.9 ± 30.2	8.6	71.3
<i>Fotètè</i>	30	39.2	55.4	72.7	60.1 ± 42.2	7.8	81.9
<i>Fingninman</i>	3	26.7	69.7	31.3	42.6 ± 23.6	7.2	88.0
<i>Dénoussounou</i>	47	35.1	52.3	58.4	52.7 ± 31.3	9.3	119.2
<i>Dénoussounou-LV</i>	10	48.7	44.3	67.3	55.0 ± 29.4	7.7	128.8
<i>Févi</i>	108	39.3	59.5	79.1	66.5 ± 40.8	4.7	58.9

^a Data are means ± SD.

^b Recommended Nutrient Intake (RNI) for 6–35-month-old children = 400 μ g RAE/day (FAO/WHO, 2004).

^c VA contents used for mango and eggs are respectively 1177 and 700 μ g RAE/100 g DM (Barikmo, Ouattara, & Oshaug, 2004).

level of consumption logically increased with the age group of the children. This was not the case for *amanvivé* sauce, but since only three 6–11-month old children had eaten it, we cannot be sure of the robustness of the figure. The corresponding intake of lipids per meal was calculated and varied from 4.7 to 9.3 g for sauces. It has already been shown that the use of fat free or low fat salad dressings limits the absorption of carotenoids from fresh vegetable salads (Brown, Ferruzzi, Nguyen, & Cooper, 2004). The threshold of 3–5 g fat per meal has been suggested as a minimum to promote optimal absorption of β -carotene (van het Hof et al., 2000). Tang (2010) recently studied plant sauces and found that minimal dietary fat of 2.4 g/meal was sufficient for optimal absorption of provitamin A carotenoids and their bioconversion into VA and to improve nutritional status. In our study, the range of lipid intake consumed per meal of plant-based sauces was higher than recommended values and should consequently ensure optimum conditions for the bioconversion and the absorption of carotenoids.

Given the mean intake of VA-rich foods per meal, the percentage coverage of daily VA requirements were assessed (Table 4) taking into account the Recommended Nutrient Intake (RNI) for VA of 400 μ g RAE/day (FAO/WHO, 2004). The mean amount of mango consumed by children covered about 46% of RNI and is comparable to that reported in Kenya (Muoki, Makokha, Onyango, & Ojijo, 2009). However, the corresponding lipid intake was low. When eaten, eggs covered only 16% of VA RNI. When eaten once a day, traditional LV sauces covered 71–129% of children's daily VA requirements. In particular, *Dénoussounou* and *Dénoussounou-LV* covered more than 100% of children's VA RNI each time they were eaten. In Tanzania [9] the potential contribution of a median portion of traditional leafy vegetable dishes consumed by children ranged between 23% and 72% of the RNI for young children. In Niger, depending on the species of LV and on the type of the dish, a small portion (5–25 g) could provide from 11% to 104% of the VA RNI for young children (Delisle et al., 1997).

It is thus clear that *Dénoussounou* sauces can help combat VAD in Beninese and West African coastal regions where those sauces are known. However, the infections and parasitic infestations that are endemic in the tropics and subtropics both compromise carotenoid utilisation and increase the individual's VA requirement (Maiani et al., 2009). The effectiveness of LV carotenoids in combating VAD has been questioned (de Pee, West, Muhilal, & Hautvast, 1995). Nevertheless, more recent results of a number of studies (Chandrica, Basnayake, Athukorala, Colomagama, & Goonetilleke, 2010; Ribaya-Mercado et al., 2007; Tang, 2010) indicated that it is possible to improve the total body VA pool size and restore low liver VA contents by eating sufficient amounts of carotene rich yellow vegetables and green LV and minimum amounts of fat.

4. Conclusion

Mangoes, eggs and various plant-based sauces containing palm nut products were the main VA-rich foods consumed by young children in the survey sites in Benin; however for different reasons, only a small percentage of children (5–11%) had consumed them. Mangoes are seasonal fruits and are available only 2 or 3 months a year. Very few children consumed eggs, probably because of their cost. Plant-based sauces are among the VA-rich foods consumed by the largest number of children. Their VA contents were generally high, but varied with the formulation and processing method from one woman to another in the study area. These sauces had high lipid contents. Lipid intake by children was more than 2.4 g/meal, which is the minimum amount required to ensure the optimum absorption of fat soluble provitamin A carotenoids and to improve children's VA nutritional status. When consumed, mangoes, eggs

and leafy vegetable sauces containing palm nut products greatly contributed to covering young children's VA RNI. Further studies are needed to characterise the effect of certain critical steps in the processing methods, such as blanching leaves or heating red palm oil, on the carotenoid contents.

Acknowledgements

This research was realized in the framework of INSTAPA Project, funded by the European Union's Seventh Framework Programme [Fp7/2007–2013] under Grant agreement n°211484. W. Amoussa's work was also supported by the Beninese Government through a Ph.D. research grant. Special thanks to Pr. Joseph Hounhouigan and Pr. Abdel Boussaid for their constructive comments during manuscript preparation.

References

- Aman, R., Biehler, J., Carle, R., Conrad, J., Beifuss, U., & Schieber, A. (2005). Application of HPLC coupled with DAD, APCL-MS and NMR to the analysis of lutein and zeaxanthin stereoisomers in thermally processed vegetables. *Food Chemistry*, 92, 753–763.
- AOAC (2003). *Crude fat in feeds, cereal grains and forages (hexane extraction)*. Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC (2005). *Vitamin A (retinol) in milk-based infant formula. Liquid chromatographic method (18th ed.)*. AOAC Official Method 992.06. 2006. Washington DC: AOAC International.
- Avallone, S., Tientore, T. W. E., Mouquet-Rivier, C., & Trèche, S. (2008). Nutritional value of six multi-ingredient sauces from Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 553–558.
- Barikmo, I., Ouattara, F., & Oshaug, A. (2004). *Food composition table for Mali*. Norway Oslo: Akershus University College.
- Brown, M. J., Ferruzzi, M. G., Nguyen, M. L., & Cooper, D. A. (2004). Carotenoid bioavailability is higher from salads ingested with full-fat than with fat-reduced salad dressings as measured with electrochemical detection. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80, 396–403.
- Chandrica, U. G., Basnayake, B. M. L. B., Athukorala, I., Colomagama, P. W. N. M., & Goonetilleke, A. (2010). Carotenoid content in vitro bioaccessibility of lutein in some leafy vegetables popular in Sri Lanka. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 56, 203–207.
- de Pee, S., West, C. E., Muhilal, K. D., & Hautvast, J. G. A. J. (1995). Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark-green leafy vegetables. *Lancet*, 346, 75–81.
- Delisle, H., Bakari, S., Gervy, G., Picard, C., & Ferland, G. (1997). Provitamin A content of traditional green leaves from Niger. *Cahiers Agricultures*, 6, 553–560.
- Dimitrov, N. V., Meyer, C., Ullrey, D. E., Chenoweth, W., Michelakis, A., Malone, W., et al. (1988). Bioavailability of β -carotene in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48, 298–304.
- Erdman, J. W., Bierer, J. R., & Gugger, T. L. (1993). Absorption and transport of carotenoids. *Annals of New York Academy of Sciences*, 691, 76–85.
- FAO/WHO (1998). Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a joint FAO/WHO, expert consultation. FAO Food and Nutrition Series, no. 23. Rome: FAO.
- FAO/WHO (2004). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition (2nd ed.)*. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok.
- Gwanfogbe, P. N., Chambers, E. I., Martin, G., Fotso, M., & Smith, M. F. (1991). Comparison of the acceptability of traditional Cameroon sauces made with addition of oil seeds to improve nutritional value. *Ecology of Food and Nutrition*, 25, 323–332.
- Hedrén, E., Mulokozi, G., & Svanberg, Ulf. (2002). In vitro accessibility of carotenes from green leafy vegetables cooked with sunflower oil or red palm oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53, 445–453.
- Hennekens, C. H., Buring, U. E., & Peto, R. (1994). Antioxidant vitamins-benefits not yet proved. *The New England Journal of Medicine*, 330, 1080–1081.
- INSAE, & Macro International (2007). *Enquête Démographique et de Santé (EDSB-III) – Bénin*. Calverton, Maryland, USA.
- Kotiková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A., & Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 1703–1710.
- Lin, Y. J., Chien, Y. W., Yang, S. H., & Cheng, H. H. (2007). Fruits and stir-fried vegetables increase plasma carotenoids in young adults. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16, 616–623.
- Maiani, G., Caston, M. J. P., Catasta, G., Toti, E., Cambrodon, I. G., Bysted, A., et al. (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, S194–S218.
- Mosha, T. C., Pace, R. D., Adeyele, S., Laswai, H. S., & Mtebe, K. (1997). Effect of traditional processing practices on the content of total carotenoid, β -carotene, α -carotene and vitamin A activity of selected Tanzanian vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50, 189–201.

- Ministère de la Santé Publique du Bénin (MSPB) & USAID-Bénin (2004). Rapport de l'atelier Profils de la situation nutritionnelle et plaidoyer pour la nutrition au Bénin. 19–30 janvier 2004, Cotonou.
- Mulokozi, G., Hedrén, E., & Svanberg, U. (2004). In vitro accessibility and intake of β -carotene from cooked green leafy vegetables and their estimated contribution to vitamin A requirements. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 1–9.
- Muoki, P. N., Makokha, A. O., Onyango, C. A., & Ojijo, N. K. O. (2009). Potential contribution of mangoes to reduction of vitamin A deficiency in Kenya. *Ecology of Food and Nutrition*, 48, 482–498.
- Murphy, S. P. (2002). Dietary Reference Intakes for the US and Canada: Update on implications for nutrient databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 411–417.
- Randrianatoandro, V. A., Avallone, S., Picq, C., Ralison, C., & Trèche, S. (2010). Recipes and nutritional value of dishes prepared from green-leafy vegetables in an urban district of Antananarivo (Madagascar). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61, 404–416.
- Ribaya-Mercado, J. D., Maramag, C. C., Tengco, L. W., Dolnikowski, G. G., Blumberg, J. B., & Solon, F. S. (2007). Carotene-rich plant foods ingested with minimal dietary fat enhance the total-body vitamin A pool size in Filipino schoolchildren as assessed by stable-isotope-dilution methodology. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85, 1041–1049.
- Riboli, E., & Norat, T. (2003). Epidemiologic evidence of the protective effect of fruit and vegetables on cancer risk. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 559S–569S.
- Rodríguez, E. B., & Rodríguez-Amaya, D. B. (2007). Formation of apocarotenals and epoxycarotenoids from β -carotene by chemical reactions and by autoxidation in model systems and processed foods. *Food Chemistry*, 101, 563–572.
- Sommer, A., & West, K. P. (1996). *Vitamin A Deficiency: Health, survival, and vision*. New York: Oxford University Press, pp. 100–116.
- Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91, 1468S–1473S.
- Taungbodhitham, A. K., Jones, G. P., Wahlqvist, M. L., & Briggs, D. R. (1998). Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 63, 577–584.
- van het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 504, 503–506.
- West, K. P. (2002). Extent of vitamin A deficiency among preschool children and women of reproductive age. *Journal of Nutrition*, 132, 2857S–2866S.
- West, K. P. (2003). Vitamin A deficiency disorders in children and women. *Food and Nutrition Bulletin*, 24, S78–90.

3.2.2. Composition biochimique et valeur nutritionnelle des sauces traditionnelles consommées au Bénin : résultats complémentaires

Les suivis de préparation des sauces traditionnelles à base de légumes-feuilles, de gombo et/ou de noix de palme ont donné lieu à la rédaction de fiches recettes, qui ont été compilées avec de nombreuses autres descriptions de recettes à base de produits céréaliers du Bénin et du Burkina Faso, ainsi que les principales sauces d'accompagnement consommées au Burkina Faso pour former un des premiers « deliverables » du projet européen INSTAPA intitulé : « *Livret de recettes locales des plats à base de mil, sorgho ou maïs et leurs sauces fréquemment consommés par les jeunes enfants au Bénin et du Burkina Faso* » (Greffeuille et al, 2010) dont je suis co-auteur. Ce livret regroupe également toutes les données de composition biochimiques de l'ensemble des plats et sauces présentés. Les fiches recettes de la sauce à base de feuilles d'amarante et d'huile de palme rouge, ainsi que des sauces *Dénoussounou* à base de jus de noix de palme, étudiées de manière plus approfondie dans le troisième chapitre de résultats sont données en annexe 3.2 à titre d'exemples. Les échantillons de sauce collectés et des matières premières correspondantes ont fait l'objet d'analyses de composition globale et de dosages de fer, de zinc et de phytates (tableaux 3.4 et 3.5).

Les légumes-feuilles présentent une teneur généralement élevée en fibres, et ce particulièrement pour *Vitex doniana* (c'est une des raisons pour laquelle cette feuille est blanchie à la potasse). Les feuilles ont également des teneurs élevées en protéines (25 à 35 g/100g MS et en fer (10 à 29 mg/100 MS). Pour le zinc, les teneurs sont plutôt variables en fonction du type de feuille, mais certaines telles que l'amarante et la célosie présentent des teneurs particulièrement élevées, les classant parmi les aliments vraiment riches en zinc. Les teneurs en lipide sont globalement faibles (tableau 3.4). Les teneurs en phytate (IP6) dans l'ensemble des feuilles analysées sont faibles (≤ 50 mg/100g MS), ce qui est intéressant pour la biodisponibilité du fer et du zinc.

Les feuilles d'amarante apparaissent intéressantes du fait de leur richesse simultanée en fer et en zinc, associée à une teneur en MS élevée, qui fait que les teneurs exprimées pour 100 g de MF resteront parmi les plus élevées (tableau 3.4).

Les sauces traditionnelles présentent des teneurs relativement élevées en protéines (12-25 g/100 MS) et en fibres (6 à 11 g/100 MS) (tableau 3.5). Du fait de leurs teneurs en lipides très élevées (cf §3.2.1), elles sont également très énergétiques (91-196 kcal/100g de sauce), pour ce type d'aliment. Leurs teneurs en fer et zinc sont variables et sont principalement dues aux apports des feuilles qu'elles contiennent. Leurs teneurs en phytate sont variables et le plus souvent nettement plus élevées que dans les feuilles comme dans les sauces aux feuilles de *Vernonie* ou dans les feuilles de grande morelle, dans lesquelles les niveaux atteints peuvent compromettre la biodisponibilité des minéraux. La présence de phytate dans les sauces est due à un apport par d'autres ingrédients de la sauce que les LF, ingrédients tels que les graines de courge ou l'*afitin*, condiment à base de graines de néré, qui en sont très riches.

Tableau 3.4: Composition des principaux légumes-feuilles utilisés pour la préparation de sauces au Bénin.

Feuilles fraîches		Teneur en MS	Lipides	Fibres ADF	Protéi -nes	Cendres	Fer	Zinc	IP6	Energie
		g/100 g	g/100g MS				mg/ 100g MS			kcal/ 100g MF
Basilic <i>Ocimum gratissimum</i> (L) n=5	Moy ET Min Max	13,96 - - -	4,31 - - -	17,00 1,61 14,57 19,33	22,37 1,38 20,92 24,84	11,20 1,21 9,67 12,71	17,0 4,9 10,2 22,4	6,9 2,8 3,2 9,9	13 - - -	43 1 41 45
Vernonia <i>Vernonia amygdalina</i> (D) n=5	Moy ET Min Max	14,26 - - -	3,37 - - -	17,91 4,39 14,46 26,59	22,65 0,89 21,34 23,69	12,07 0,45 11,45 12,70	13,4 1,0 12,4 15,3	7,1 0,5 6,6 7,8	30 - - -	42 2 38 44
Amarante <i>Amaranthus cruentus</i> (L) n=5	Moy ET Min Max	15,79 - - -	4,11 - - -	12,93 0,36 12,48 13,49	22,71 1,41 21,86 25,52	17,49 0,54 16,84 18,40	21,7 1,8 19,9 24,6	16,4 1,8 13,7 19,0	30 - - -	47 1 46 48
Célosie <i>Celosia argentea</i> (L) n=5	Moy ET Min Max	8,33 - - -	4,01 - - -	13,24 0,34 12,63 13,63	30,21 0,78 29,52 31,53	16,12 1,17 14,32 17,82	23,1 2,0 20,7 25,5	17,4 2,9 13,0 21,1	5 - - -	35 1 47 49
Grande morelle <i>Solanum macrocarpon</i> (L) n=5	Moy ET Min Max	12,03 - - -	5,82 - - -	15,42 0,83 13,98 16,31	35,41 0,76 34,70 36,63	13,40 0,42 12,97 14,17	13,2 0,7 12,1 13,9	6,1 0,4 5,4 6,5	5 - - -	38 1 37 39
Manioc <i>Manihot esculenta</i> n=5	Moy ET Min Max	19,71 - - -	<0,1 - - -	15,49 0,78 14,51 16,83	34,34 1,89 30,86 36,21	6,58 0,41 5,80 6,86	11,1 0,4 10,7 11,6	10,3 1,0 9,2 12,0	44 - - -	62 1 52 63
Prune noire <i>Vitex doniana</i> (Sweet) n=5	Moy ET Min Max	8,33 - - -	2,13 - - -	32,08 3,16 26,67 35,24	24,90 1,46 23,43 27,54	4,49 0,37 3,87 5,01	27,7 8,9 15,9 37,9	3,9 0,4 3,4 4,4	11 - - -	22 1 21 24
Crain crain <i>Corchorus olitorius</i> n=3	Moy ET Min Max	14,61 1,32 12,77 15,80	2,07 - - -	13,63 0,52 12,90 14,06	23,21 2,64 19,51 25,50	12,25 0,72 11,36 13,13	28,8 9,4 18,9 41,5	3,0 0,1 3,0 3,1	4 - - -	45 4 40 48
Launeae <i>taraxacifolia</i> (Willd) n=3	Moy ET Min Max	9,68 0,16 9,52 9,90	2,80 - - -	11,93 0,65 11,44 12,85	24,61 0,32 24,25 25,03	12,42 0,29 12,15 12,82	10,0 0,4 9,4 10,3	2,4 0,1 2,4 2,5	9 - - -	31 1 30 32

Tableau 3.5: Composition des sauces traditionnelles à base de légumes-feuilles ou de gombo sauces du Bénin.

Sample name		pH	Fibres ADF	Protéines	Cendres	Fer	Zinc	IP6	Energie	
			g/100g MS			mg/ 100g MS			Kcal/ 100g MS	Kcal/ 100g sauce
Amanvivè Vernonie n=5	Moy	6,31	7,70	22,59	11,47	10,86	2,64	220	555	154
	<i>ET</i>	0,74	1,65	5,69	2,42	3,16	0,56	199	37	43
	Min	5,69	4,78	11,66	8,02	7,20	1,96	48	500	98
	Max	7,74	9,33	28,27	14,72	16,65	3,67	496	596	229
Gboman Grande morelle n=5	Moy	5,68	5,76	23,85	8,07	9,00	2,96	474	612	162
	<i>ET</i>	0,35	0,89	3,02	1,86	1,69	0,68	48	21	19
	Min	5,13	4,29	19,26	6,16	5,77	1,89	396	578	138
	Max	6,16	6,73	27,32	10,99	10,26	4,00	523	638	184
Fotètè Amarante n=5	Moy	5,91	6,12	22,98	9,74	8,25	2,83	171	591	157
	<i>ET</i>	0,25	1,62	6,91	2,08	1,31	0,41	165	51	45
	Min	5,53	4,00	12,93	7,59	6,79	2,12	14	523	117
	Max	6,15	8,07	30,96	13,59	10,15	3,26	398	673	232
Fingninman Feuille de manioc n=5	Moy	6,44	7,13	17,08	6,52	7,77	2,36	89	607	196
	<i>ET</i>	0,16	1,37	5,70	1,52	2,24	0,61	20	46	68
	Min	6,21	5,40	10,92	4,64	5,22	1,27	63	566	103
	Max	6,64	9,26	26,52	8,88	11,21	3,16	118	692	311
Fonman Prune noire n=5	Moy	5,73	11,21	12,79	8,01	8,24	1,72	63	583	158
	<i>ET</i>	0,26	0,73	1,91	1,55	0,75	0,32	13	23	49
	Min	5,38	10,44	11,23	5,90	7,22	1,19	48	553	118
	Max	6,03	12,45	16,45	10,73	9,52	2,19	81	615	252
Soman Célosie n=5	Moy	5,81	6,24	20,63	11,81	11,43	4,15	184	573	146
	<i>ET</i>	1,02	1,25	6,96	2,91	1,75	1,06	196	23	21
	Min	4,90	4,77	11,99	8,71	9,38	3,05	34	537	112
	Max	7,24	8,02	29,77	16,07	13,46	5,92	481	606	167
Févi - gombo n=5	Moy	6,80	4,60	25,43	17,81	7,95	2,78	33	508	91
	<i>ET</i>	0,07	0,62	5,10	5,29	4,22	0,52	12	29	29
	Min	6,72	3,42	21,08	12,95	4,29	2,12	21	476	62
	Max	6,90	5,10	33,64	27,60	15,71	3,45	52	558	141
Dénoussounou Avec feuilles fraiche n=4	Moy	nd	6,54	13,02	8,94	6,81	1,16	100	637	141
	<i>ET</i>	-	1,42	2,78	0,40	0,69	0,52	149	25	11
	Min	-	4,84	9,28	8,27	6,05	0,71	0	609	122
	Max	-	8,58	16,19	9,30	7,78	2,01	364	668	153
Dénoussounou Sans feuilles n=4	Moy	nd	3,09	12,47	8,13	7,72	2,36	248	689	185
	<i>ET</i>	-	0,35	7,05	2,92	2,51	0,69	327	57	70
	Min	-	2,62	5,96	5,51	5,22	1,27	68	598	133
	Max	-	3,59	24,17	13,02	11,21	3,16	737	740	306

3.3. Amélioration du potentiel pro-vitaminique A des sauces aux feuilles d'amarante et jus de noix de palme ou huile de palme rouge et acceptabilité

La carence en vitamine A se pose au Bénin comme un problème de santé publique et de manière plus accentuée au nord qu'au sud du pays (Cf. § 1.1.2.2) alors qu'il existe toute une gamme de produits riches en caroténoïdes provitamines A. Selon nos précédentes études, les sauces à base de légumes-feuilles et de noix de palme ou d'huile de palme rouge sont parmi les aliments riches en vitamine A les plus consommés, mais leurs teneurs sont variables en fonction des modes de préparation (cuisson et formulation). Pour améliorer le potentiel pro-vitaminique A de ces sauces, il est utile de caractériser l'influence des étapes critiques de la préparation des sauces sur les teneurs en caroténoïdes et d'examiner l'acceptabilité d'une éventuelle amélioration des sauces par les populations locales. Ceci a été réalisé dans le nord à Natitingou.

Le suivi au niveau des ménages des procédés traditionnels de préparation des sauces amarante à base d'huile de palme rouge ou de jus de noix de palme, a permis de décrire les procédés et d'identifier les traitements thermiques appliqués aux différents ingrédients (feuilles d'amarante, noix de palme, huile de palme rouge) comme des étapes critiques. En effet, la préparation comporte essentiellement une étape optionnelle de blanchiment des feuilles d'amarante à environ 100°C, une étape de chauffage intense [176°C ; 200°C] de l'huile de palme rouge et une étape de cuisson à ébullition des noix de palme avant pilage pour extraction du jus de palme. L'influence de ces étapes unitaires sur la teneur en caroténoïdes des sauces finales a été évaluée et a fait l'objet d'un article intitulé : « Comportement des composés caroténoïdes au cours de procédés de préparation multi-étapes de sauce à base de feuille d'amarante et de noix de palme ». Cet article, présenté au § 3.3.1 a été soumis pour publication à « Journal of Food Composition and Analysis » en août 2011.

Des données complémentaires résultant d'analyses de composition globale et des teneurs en fer, zinc et phytate sont présentées au §3.3.2. Enfin, l'acceptabilité des sauces améliorées telles que préparées sur le terrain a été évaluée auprès de jeunes enfants et de leurs mères. Les résultats de ces tests d'acceptabilité sont présentés au § 3.3.3. Les sauces formulées à base de feuilles d'amarante et de jus de noix de palme ou l'huile de palme rouge présentent toutes une bonne acceptabilité, une AER élevée et leur consommation pourrait être promue avantageusement dans le cadre d'approches alimentaires de lutte contre la carence en vitamine A.

3.3.1. Article 3: Carotenoid behaviour in a multi-step preparation of amaranth and palm nut sauces

Résumé en français

L'étude, dans un premier temps, de l'activité équivalent rétinol (AER) des feuilles d'amarante blanchies au niveau des ménages en fonction de la durée de blanchiment observée par chaque ménage présentait des variations multiples qui ne permettaient d'aboutir à aucune conclusion concordante. La maîtrise du couple temps-température associé à un

échantillonnage très rigoureux des feuilles en condition de laboratoire a permis de clarifier la cinétique de dégradation des caroténoïdes lors du blanchiment des feuilles d'amarante. La violaxanthine est le seul caroténoïde significativement affecté par le traitement thermique. Etant donné qu'elle n'a pas d'activité provitamine A, l'AER reste élevée avec ou sans ajout de potasse traditionnelle lors du blanchiment des feuilles.

Le chauffage de l'huile de palme rouge à 180-200°C apparaît comme l'étape unitaire la plus préjudiciable à la vitamine A. Elle réduit de plus de 70%, et en moins de 3 min, les teneurs en α -carotène, en β -carotène et en AER. En outre, il apparaît que le profil de dégradation thermique des caroténoïdes est plus rapide à 200°C qu'à 180°C. Plus la température est élevée, plus la vitesse de dégradation est élevée. Ce résultat confirme que le chauffage intense de l'huile de palme rouge induit une perte rapide et drastique de l'activité provitamine A. En effet, selon Maiani (2009), les effets des procédés thermiques de préparation dépendent principalement de la sévérité des traitements thermiques appliqués. A basses températures (60-100°C), la plupart des caroténoïdes sont stables et l'isomérisation est négligeable au cours du blanchiment.

La préparation au niveau ménage des noix de palme aboutit à un jus de palme riche en carotènes qui contribue à l'AER de la sauce. La cuisson des noix de palme est moins préjudiciable aux caroténoïdes provitamines A par rapport aux traitements thermiques intense appliqués à l'huile de palme rouge. Cependant, au final, les sauces aux feuilles d'amarante à base de jus de palme ou d'huile de palme rouge sont similairement avantageuses en termes d'AER.

(Voir article soumis page suivante (les figures et les tableaux ont été réinsérés dans le texte pour faciliter la lecture))

Carotenoid behaviour in a multi-step preparation of amaranth and palm nut sauces

Waliou Amoussa-Hounkpatin^{1,2}, Claire Mouquet-Rivier², A.P. Polycarpe Kayodé¹, Joseph D.
Hounhouigan¹, Sylvie Avallone^{3*}

¹DNSA; FSA; University of Abomey-Calavi (UAC) 01 BP 526 Cotonou, Benin

²IRD; UMR 204, IRD/Montpellier1/Montpellier2/SupAgro (NUTRIPASS), F-34394
Montpellier, Cedex 5, France

³Montpellier SupAgro; UMR 204, IRD/Montpellier1/Montpellier2/SupAgro (NUTRIPASS),
F-34394 Montpellier, Cedex 5, France

*Corresponding author.

E-mail address: sylvie.avallone@ird.fr, Phone: (33) 467 41 61 91, Fax: (33) 467 41 63 30.

Short version of title: Carotenoid stability in sauces during preparation

ABSTRACT

The preparation of a traditional sauce based on amaranth leaves cooked palm nuts or red palm oil (RPO) in Benin was described. The recipe included an optional step of leaf blanching at 100°C, heating the RPO or cooking the palm nuts, and finally cooking all the ingredients together.

The influence of multi-step preparation on the carotenoid content of the final dish was measured. During blanching of amaranth leaves, violaxanthin was the only carotenoid to be significantly affected by the thermal treatment. Retinol activity equivalent (RAE) remained high after blanching even when alkaline traditional potash was added. Heating the RPO was the most critical step because it considerably and very rapidly (in less than 3 min) decreased α -carotene, β -carotene and RAE contents (more than 70%). Sauces calling for palm nuts RPO and amaranth leaves were equally advantageous in terms of final RAE content. These ingredients and sauces can thus be used in programmes to reduce vitamin A deficiency.

Keywords: carotenoids, amaranth leaves, boiling, oil heating, red palm oil, Benin.

Abbreviations

RPO: red palm oil

RAE: retinol activity equivalent

VAD: vitamin A deficiency

DM: dry matter

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

WB: wet basis

WHO: World Health Organization

1. Introduction

In developing countries, vitamin A is recognized as a determining factor in adult and child mortality from infectious diseases; its deficiency remains the commonest cause of preventable childhood blindness (Sommer et al., 1996). Eliminating vitamin A deficiency (VAD) would save 16% of the global burden of disease in children (Mason et al., 2003). Adequate intake of local provitamin A rich foods is a viable food-based strategy to alleviate VAD. In southern countries, the major dietary sources of vitamin A are provitamin A carotenoids from plants, especially β -carotene and, to a lesser extent, α -carotene and other vitamin A active carotenoids (Pepping et al., 1988). Food containing preformed vitamin A such as dairy products, eggs and liver are rarely eaten by vulnerable people due to socioeconomic constraints. In Benin, VAD is recognized as a public health problem due to low intakes of vitamin A, provitamin A and fat (Mason et al., 2003; INSAE and Macro International Inc., 2007).

Green leafy vegetables, red palm oil (RPO) and palm nuts are grown and consumed throughout West Africa. Depending on soil and agro-climatic conditions, these foods can be rich in β -carotene (Shukla et al., 2000; Veda et al., 2010). In Africa and Asia, amaranth leaves (*Amaranthus cruentus*) are an inexpensive source of protein, carotenoids, vitamin C, dietary fibre and essential minerals (Prakash et al., 1991; Shukla et al., 2003; Shukla et al., 2006; Adebooye, 2008). Palm oil is the most widely consumed plant oil in the world. In its crude form, RPO is the richest source of provitamin A carotenoids (500-700 mg/L) (Edem, 2002). It also contains high amounts of bioavailable α -carotene and β -carotene because of the liquid and fatty medium (Choo et al., 1993; You et al., 2002). Regular consumption of small amounts of RPO has been shown to have a positive impact on the vitamin A status of children (Zagré et al., 2003; Zeba et al., 2006). RPO is also a source of several antioxidants (vitamin E, carotenoids) involved in the prevention of cancer and cardiovascular diseases (Gann et al., 1999; Ng et al., 2000; Edem et al., 2002; Kritchevsky et al., 2002).

However, vegetables and palm nuts need to be cooked in an appropriate way to avoid loss of carotenoid (Hedrén et al., 2002). Indeed, the way food is prepared is known to have an impact on the dietary patterns of populations. According to the cooking time and/or temperature, thermal processing (i.e. blanching, boiling, cooking, frying) have very different effects on the stability of carotenoids as well as on their pattern (Mayer-Miebach et al., 2003). While the heat treatment involved in cooking is a necessary step in making the food palatable and in

improving the digestibility of food components, undesirable changes associated with cooking are a reduction in micronutrient contents caused by chemical reactions (Veda et al., 2010). At lower temperatures (60–100°C), most carotenoids are stable and isomerisation is negligible during blanching, pasteurisation, cooking, low temperature drying and frying (Maiani et al., 2009). At the same time, the breaking down of food matrices (e.g. cell walls and membranes) facilitates the liberation and accessibility of bound carotenoids and increases their bioavailability (Maiani et al., 2009). Furthermore, inactivation of oxidative enzymes prevents further (and greater) losses during slow processing (Rodriguez-Amaya, 1997). The reduction in the particle size of food (e.g. grinding or milling) or the incorporation of an oil phase in food formulations also improves carotenoid bioaccessibility (Hedrén et al., 2002; Huo et al., 2007). At higher temperatures (i.e. in frying), carotenoid losses are greater.

The nutritional value of African crops has been described in various papers and reports (WHO/NHD 2001; Addis et al., 2009; Greffeuille et al., 2010), but few data are available on the characterisation of dishes formulated with processed ingredients such as red palm oil, leafy vegetables (amaranth leaves) or palm nuts even though such dishes are very frequently consumed by vulnerable people (Mitchikpe et al., 2002).

In this paper, we describe multi-step preparations of a traditional sauce frequently consumed by 6- to 35-month-old children in Benin based on amaranth leaves and palm nuts. The nutritional value of the resulting dishes was characterised, and the most critical steps in terms of carotenoid losses were identified during household preparation.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Amaranth leaves (*Amaranthus cruentus*) were purchased in a garden on the outskirts of Natitingou (Benin). They were grown in the same field (27 m²) during the dry season (from February to March 2010). Leaves with the same colour, size and aspect were chosen and approximately 2.5 g of amaranth leaf was used to determine the effect of the hydrothermal cooking on dry matter (DM) contents. For carotenoid analysis, sampling was realised in a same leaf (~150 mg) to decrease micronutrient variability between different leaves.

Traditional potash is a soluble ingredient that corresponds to the dried residue of an alkaline extract of wood ash used in various African countries. Mature palm nuts (*Elaeis guineensis*) were purchased at the local market in Natitingou. Approximately 2.5 g of palm nut was to determine the effect of cooking on dry matter content. For carotenoid analysis, 400 mg of palm nut or palm oil was used.

2.2. Monitoring the preparation of traditional sauces and sampling

The preparation of three potentially vitamin A rich sauces identified as sometimes eaten by young children (Amoussa-Hounkpatin et al., in press) and consumed by the whole family was monitored in 10 households in Natitingou (Benin). These were:

- 4 sauces based on blanched amaranth leaves and red palm oil
- 3 sauces based on blanched amaranth leaves and palm nut juice
- 3 sauces based on fresh amaranth leaves and palm nut juice

A rapid appraisal had previously helped identify the ingredients used to prepare the sauces. The households that prepared sauces were randomly selected. The step-by-step preparation of sauces was observed during home visits and the recipes were written down in detail. The types and quantities of ingredients and the chronology of each unit operation used to prepare each sauce were recorded, along with the cooking temperature and total preparation time. At the end of the preparation, a homogenous representative sample of the sauces was taken and divided into three portions. The ingredients and the samples of final product were placed in separate tightly sealed plastic containers and kept on dry ice during transport to the laboratory. One portion was immediately used to measure the DM content of the sauce. The second portion was freeze-dried and crushed before lipid analysis. The third portion was frozen (-20°C) to determine carotenoid and retinol contents.

2.3. Biochemical analysis

The DM contents of fresh samples were determined by oven drying at 105 °C to constant weight. The lipid contents were determined with the HT6 Soxtec system (Tecator, Höganäs, Sweden) following the standard Soxhlet extraction procedure.

2.4. Cooking procedures

Three thermal treatments were applied, the first to reproduce amaranth blanching (27 min at 98°C), the second to reproduce RPO heating (from 0 to 14 min at 180 and 200°C) and the third boiling the palm nuts (21 min at 98°C) just like in the households (Table 1, Fig. 1). Four replications were carried out. The samples were placed in sealed Pyrex tubes and heated on a hot plate stirrer (MR Hei-Tec, Heidolph, Germany) connected to an electronic temperature controller (EKT 3001, Reax 2, Heidolph, Germany), providing a temperature accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$. The hot plate was covered with a reaction block, which ensured high thermal homogeneity of the 12 vials (Drysyn, Heidolph, Germany).

Table 1 Physical parameters of the steps used to prepare amaranth and palm sauces.

	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Duration (min)
Palm nut and amaranth sauce		
Amaranth blanching (N=7)	98 ± 5 [86 ; 101]	18 ± 8 [7 ; 27]
Palm nut boiling (N=5)	98 ± 1 [97 ; 99]	21 ± 4 [17 ; 27]
Cooking (N=4)	96 ± 1 [94 ; 98]	56 ± 16 [39 ; 75]
Red palm oil and amaranth sauce		
Amaranth blanching (N=7)	98 ± 5 [86 ; 101]	18 ± 8 [7 ; 27]
Red palm oil heating (N=3)	186 ± 13 [176 ; 200]	4 ± 4 [1 ; 8]
Cooking (N=3)	96 ± 2 [94 ; 98]	34 ± 17 [25 ; 43]

N = number of repetitions. Values are mean $\pm$ standard deviation [min; max].

The stems of each leaf were discarded and Volvic® water was added at a leaf:water ratio of 0.135. Blanching was performed using water or a traditional potash medium (1.8 g of solid extract for 100 g of fresh leaves). The final concentration of the traditional potash was then 2.2 g/L corresponding to a pH of 9.9 (pH meter, WTW, Weilheim, Germany). After cooking, the leaves were drained and cooled during 5 min. Palm nuts (8.5 g) were boiled in 17 g of water for 21 min at 98°C and then crushed with a mortar and pestle for 15 min. The juice was recovered and its carotenoid content analysed.

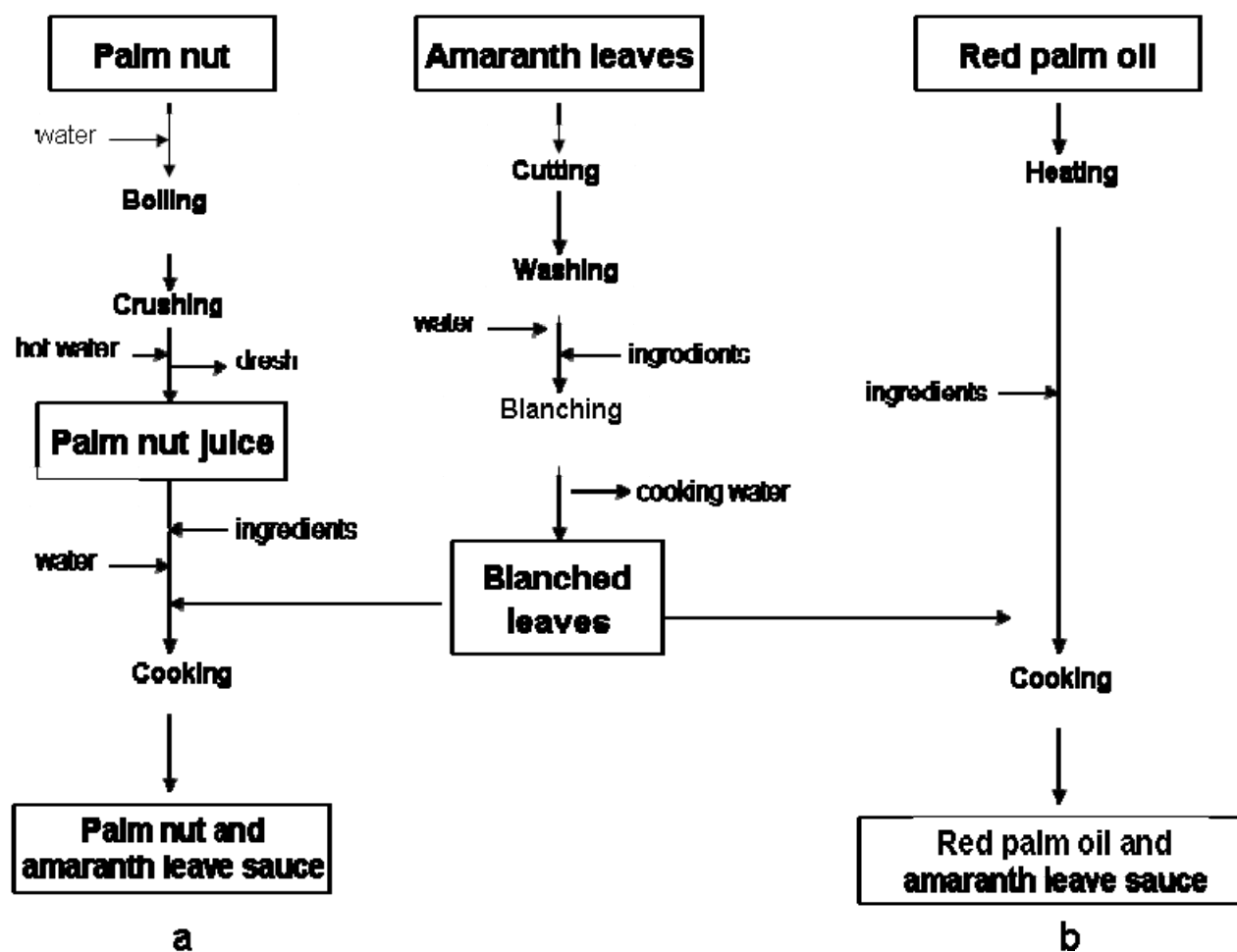


Fig. 1. Flow chart of preparation of amaranth and palm sauces with (a) palm nuts or (b) red palm oil.

2.5. Carotenoid quantification

HPLC standards (α -carotene, β -carotene, lutein, violaxanthin) were obtained from Sigma-Aldrich (Saint Quentin Fallavier, France). Carotenoid extraction was adapted from Taungbodhitham et al. (1998). Amaranth leaves and palm nuts were pulverised with a Turrax (Prolabo, France) for 30 sec in a glass tube with 10 mL of ethanol hexane 4:3 (v/v). Analysis of amaranth leaves, cooking water, palm nut pulp and RPO was performed with four repetitions. The cooking water (~10 mL) was treated like the solid samples (i.e. mixed with 10 mL of ethanol hexane 4:3 and pulverised with a Turrax for 30 sec). Extracts were filtered through a glass funnel, transferred to a glass tube, washed with 10 mL of 10% NaCl, 10 mL of distilled water and left for 10 min for partitioning. The organic extract was dried with N₂ and, immediately before injection, redissolved in 2 mL of acetone and filtered through a 0.2 μ m

PTFE membrane (Sartorius). Carotenoids were extracted from the RPO with acetone. The mixtures were stored at -20°C for 2 h and then centrifuged at -9 °C and 1500 rpm for 30 min to precipitate the lipids. The upper liquid phase was sampled very rapidly and filtered through a 0.2 µm PTFE membrane (Sartorius).

Carotenoid analysis was performed with an Agilent 1100 series chromatograph (Dionex, Sunnyvale, California, USA). The column was a polymeric YMC30 (4.6 mm i.d × 250 mm, 5 µm particle size) (YMC, Inc Wilmington NC). The mobile phase comprised two mixtures (methanol and milli-Q water, 60:40, v/v, and methanol, methyl tert-butyl-ether and milli-Q water, 28.5:67.5:4, v/v/v) at a flow rate of 1 mL min⁻¹. The gradient used went from 100/0 to 0/100 over a period of 65 min. A UV-visible photodiode array detector was used and chromatographs were analysed at the wavelength of maximum absorption of the carotenoids in the mobile phase ($\lambda = 450$ nm). The carotenoids were identified and quantified by comparing their retention times and spectra with standards when available.

A conversion factor of 12 for β -carotene and of 24 for the other provitamins A (α -carotene, β -cryptoxanthin) and for one retinol was used to determine the retinol activity equivalents (RAE) expressed in mg RAE /100 g of each product (Murphy, 2002).

2.6. Statistical analysis

Data were assessed by analysis of variance using the Statistical software Statgraphics plus 5.1 (Virginia, USA). The Fisher test and Duncan's multiple range tests were used to separate means. Significance was accepted at $p < 0.05$.

3. Results and discussion

3.1 Recipes for amaranth and palm sauces and their RAE contents.

The ingredients used to prepare the amaranth and palm sauces and the duration and temperature of each thermal treatment were recorded in different households (Table 1). The palm sauces were based on amaranth leaves and (a) palm nuts or (b) red palm oil (Fig. 1). In Benin, the name of the sauce corresponds to the main ingredient used in the recipe. Amaranth leaves were often blanched at 98°C for 18 min and traditional potash was sometimes added to

soften leaf tissues. The addition of traditional potash during the preparation of okra sauce was also observed in Burkina Faso (Avallone et al., 2007). RPO was heated at a high temperature [from 176 to 200°C] for from 1-8 min, resulting in varying degrees of discoloration. When palm nuts were used, they were boiled in water at a temperature of around 100°C and crushed to extract their red juice. When the juice had reached the desired texture and colour, the solid residues were discarded; the juice was then boiled with other ingredients including fresh tomatoes, hot pepper, black pepper, onion, garlic, shrimps, smoked fish, a broth cube, baobab seeds, or groundnut paste.

3.2 Identification of the most critical step for the RAE content of sauces based on amaranth and palm nuts

The formulations and preparation of the sauces were reproduced at our laboratory to determine which step played a determining role in the RAE content of the final dishes. Amaranth leaves, RPO and palm nuts were analysed as well as the final sauces.

3.2.1 Influence of blanching on the DM, carotenoid and RAE contents of amaranth leaves

The amaranth leaves had an initial DM content of 14.5% (Fig. 2). After cooking in water or in traditional potash, the weight of the leaves greatly increased (by 180%); this was attributed to the swelling of the polysaccharides in the leaf cell walls during the thermal treatment.

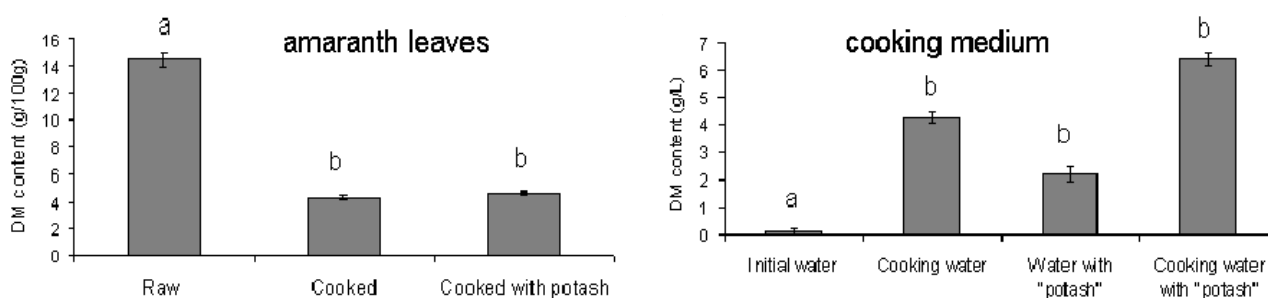


Fig. 2. Effect of blanching on the DM contents of amaranth leaves and of the blanching medium (n=4). Letters (a, b) indicate a significant difference between samples.

As a result, their DM content decreased significantly to respectively 4.3 and 4.6% with the two cooking procedures. As a consequence, this led to a sharp increase in the DM content of the cooking medium because of the diffusion of nutrients from the leaves into the water ($p<0.001$) as previously described (Kawashima and Soares, 2003). In the presence of traditional potash, the DM of the cooking medium was even higher ($p<0.001$). Indeed, traditional potash is a solid residue containing high amounts of DM (~99%) and its addition to the cooking medium increased the DM content to approximately 2.2 g/L. Diffusion of DM from the amaranth leaves into the cooking medium reached 19% with water and 16% with traditional potash added to the water. These results showed that cooking in traditional potash slightly decreases the diffusion of DM from the leaves into the cooking medium because, in this case, the medium is more concentrated and diffusion is thus reduced.

The main carotenoids in the amaranth leaves were β -carotene, lutein and violaxanthin and the blanching step did not significantly affect their carotenoid contents (Fig. 3).

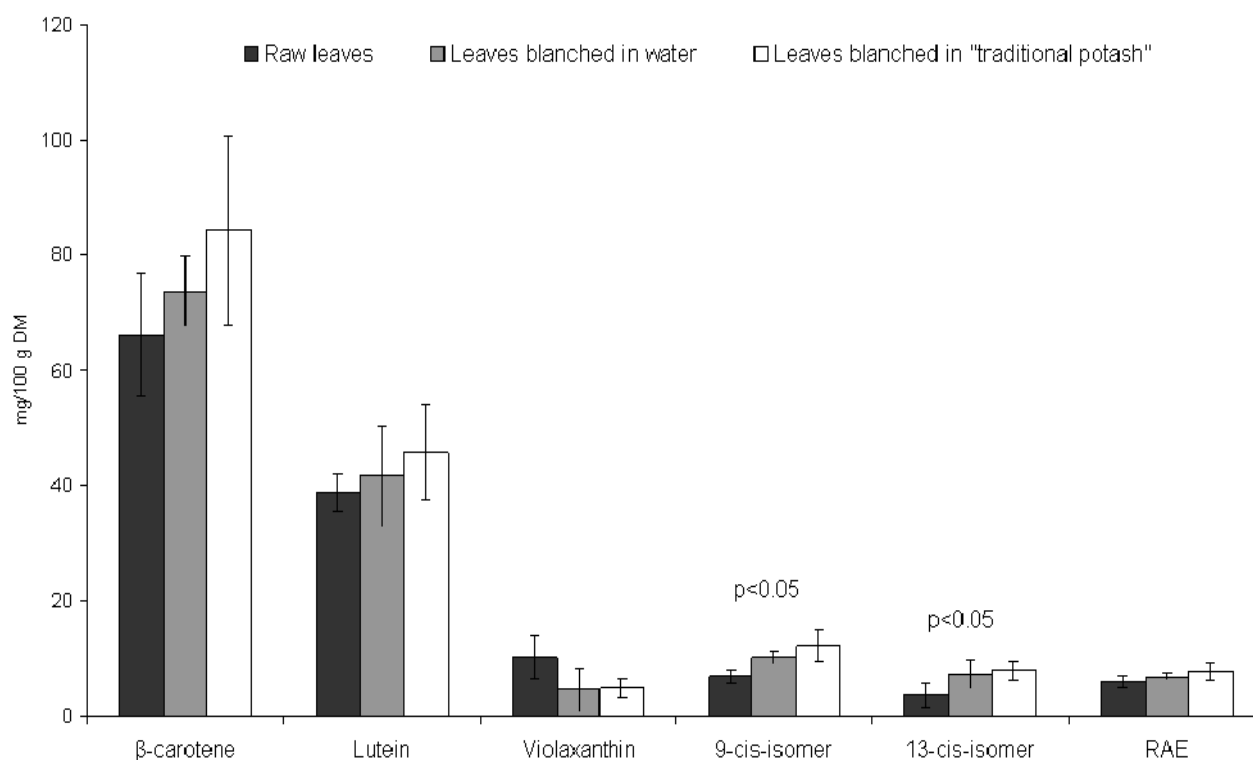


Fig. 3. Carotenoid contents and retinol activity equivalent in fresh and blanched amaranth leaves. $p<0.05$ indicates a significant difference between raw and cooked samples.

As a consequence, the RAE of the amaranth leaves was the same before and after blanching. However, 9-cis-isomer and 13-cis-isomer contents were slightly higher in cooked amaranth leaves than in fresh leaves ($p < 0.05$). The use of traditional potash during blanching of the leafy vegetable did not increase the degradation of the carotenoids even though this product is alkaline. However, after soaking in the alkaline solution, significant losses of hydrosoluble vitamins such as thiamin, riboflavin and niacin occurred during cooking (Prodanov et al., 2004). Carotenoids thus appear to be more stable in alkaline conditions than hydrosoluble vitamins. Previous studies demonstrated that blanching did not affect the carotenoid level of leafy vegetables (Addis et al., 2009). According to Maiani et al. (2009), most carotenoids are stable and isomerisation is rather low during processing at low temperatures (60–100°C) (i.e. blanching, pasteurisation, cooking, low temperature drying). However, the effects of thermal processing and storage on the stability and bioavailability of carotenoids mainly depend on the severity of the thermal treatments applied (Maiani et al., 2009).

3.2.2 Influence of cooking and of heating the oil on DM, carotenoid and RAE contents of oil palm products

The carotenoid profiles and amounts of the RPO and palm nuts were measured in the crude oil and in the nuts before and after processing. The palm nuts were composed of 17.5% of kernel (endosperm), 40.7% of hull (shell), 31.3% of pulp (mesocarp) and 5.7% of skin (epicarp) (Fig. 4).

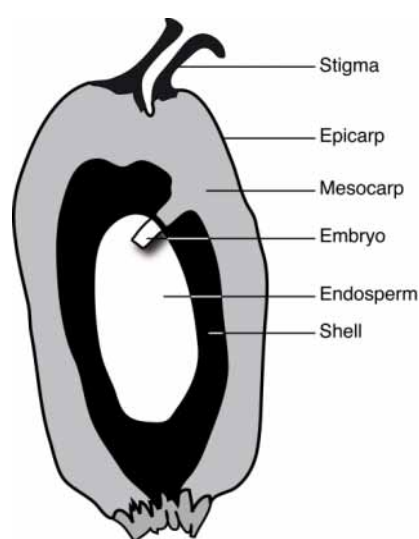


Fig. 4. Cross section of a palm nut.

When palm nuts were crushed, only the soft orange coloured pulp is solubilised in the hot water. This pulp contained 79.2% of DM and three provitamins A (Fig. 5): α -carotene (22.8 ± 10.2 mg/ 100 g WB), β -carotene (29.4 ± 9.2 mg/100 g WB) and 9-cis- β -carotene (4.2 ± 0.4 mg/100 g WB). As a consequence, the RAE content of the palm nut pulp was high (4.5 ± 1.5 mg/100 g WB). In the same way, RPO contained a high amount of α -carotene (41.8 ± 4.3 mg/100g), β -carotene (41.8 ± 4.2 mg/100g) and 9-cis- β -carotene (10.0 ± 1.1 mg/100g) and as a consequence, the RAE content of the RPO was very high (7.4 ± 0.6 mg/100g). The majority of 9-cis- β -carotene detected could be attributed to the oil extraction process or to alteration of the oil (during storage or exposure to light and oxygen at the market). Nevertheless, the total carotenoid content (93.6 mg/100g or 936 ppm) of RPO showed that this product is one of the richest provitamin A oils in Africa. Average values of 500–700 ppm carotenoids are generally reported throughout the world (Sambanthamurthi et al., 2000; Edem, 2002), whereas surveys in West Africa revealed wide diversity ranging from 500 ppm for Central African populations, up to 1600 ppm for some Beninese populations (Rajanaidu et al., 2006). RPO ranging from 273 to 3512 ppm has been reported in Nigeria and the highest potential for carotenoid content reached 4300 – 4600 ppm (Rajanaidu et al., 2006).

Palm nut and RPO are two provitamin A rich products that are physically available and financially accessible to all individuals in West Africa and other countries where palm trees are grown. They could be the ideal tool to combat vitamin A deficiency wherever this is a public health problem. The promotion of the sauces based on these ingredients and cooked in appropriate ways should thus be encouraged. Analysis of in vitro accessibility of carotenes from leafy vegetables cooked in Tanzania showed that adding RPO instead of sunflower oil doubled the quantity of accessible β -carotene, due to the high accessibility of its β -carotene content (Hedrén et al., 2002). Results showed that if vegetable relishes with added oil are eaten on a daily basis, it should be possible to cover the recommended vitamin A intake. Moreover, a previous study of leafy vegetable and palm sauces showed that leafy vegetable sauces containing RPO and palm nut juice supplied more than 70% of the recommended vitamin A intake of young children (Amoussa-Houunkpatin et al., in press).

According to our data, approximately 20% of the carotenoids present in the palm pulp were extracted during crushing. The RAE contents of the resulting sauces ranged from 0.69 mg/100g (palm nut and blanched amaranth sauce), 0.70 mg/100g (palm nut and amaranth sauce), to 0.82 mg/100g (RPO and amaranth sauce) as eaten (Fig. 5). Whatever the formulation or thermal treatment, the use of palm nuts or RPO as an ingredient of the sauce

results in a vitamin A rich dish. Indeed, plant foods are considered to be rich in vitamin A when their content is more than 300 to 1000 μg RAE for 100g of dish eaten (WHO/IRD, 2001). When these traditional sauces are consumed by young Beninese children, they contribute significantly to fulfilling the children's vitamin A needs.

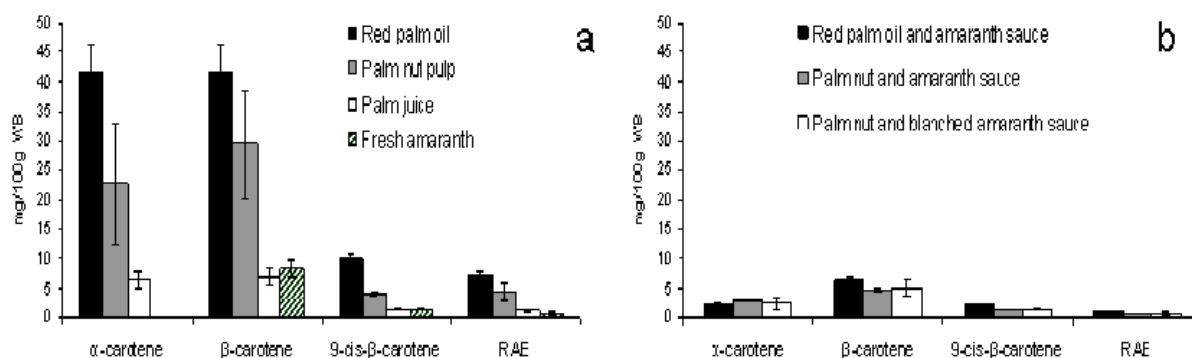


Fig. 5. Provitamin A and RAE contents of ingredients (red palm oil, palm nut, fresh amaranth leaves) and of the intermediate product (palm juice) (a) and final sauces (b).

When RPO was heated at 180°C and 200°C (Fig. 6), substantial and similar losses (70% and 80%) of β and α -carotene were observed after 3 min. In these conditions, carotenoid isomerisation and 9-cis- β -carotene degradation occurred due to oil heating.

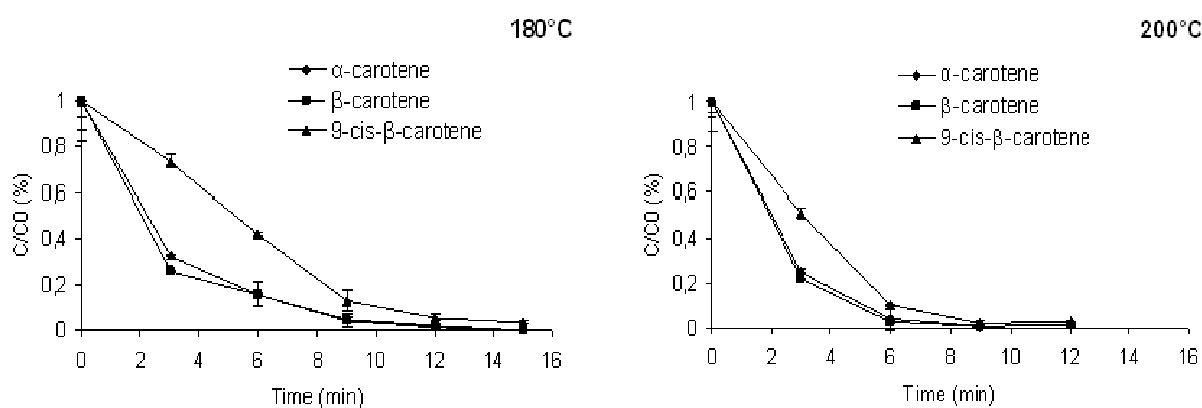


Fig. 6. Carotenoid evolution throughout red palm oil was heated at 180 and 200°C.

However, degradation was faster at 200°C than at 180°C because the degradation reactions were activated by the temperature (Fig. 5). The longer RPO is heated, the more carotenoids are lost. As a consequence, heating RPO resulted in rapid and substantial losses of RAE. In the household, RPO was heated from 1 to 8 min. According to the kinetics we observed in the laboratory at 200°C, in household conditions, carotenoid losses would range from 25% at one minute to 95% at eight minutes. Prolonged heating of RPO should thus be avoided. There is a thus major advantage to be had by quick frying of RPO when preparing this sauce which can significantly contribute to alleviating vitamin A deficiency and its corollaries.

RPO has a preferential place in alleviating VAD among the provitamin A plant-based foods because of the absence of food matrices and its lipid medium, both of which are favourable for the absorption of its high carotenoid contents (Delisle et al. 2003). The lipid content of the RPO and palm nut sauces were respectively 61.2 ± 0.2 and 54.9 ± 0.1 g /100 g DM. The DM content was 27.5 ± 0.1 g/100 WB for RPO sauce and 15.7 ± 0.1 g /100 g WB for palm nut sauce. During our survey, the median quantities of these sauces consumed by young children were 33 g for RPO sauce and 37 g for palm nut sauce (data not shown); these quantities correspond to 5.8 and 3.1 g of lipid intakes per meal respectively. These lipid intakes per meal are theoretically sufficient to ensure the bioavailability of provitamin A carotenoids in human and could help improving the vitamin A status of the children. Indeed, a recent study showed that a minimum of 2.4 g fat per meal is required to ensure the absorption of provitamin A carotenoids in meals containing leafy vegetable and hence to improve the vitamin A status of the consumer (Ribaya-Mercado et al., 2007; Tang, 2010).

Conclusion

Blanching had a negligible effect on the retinol activity equivalent (RAE) contents of the amaranth leaves. On the contrary, heating red palm oil (RPO) at 180 to 200°C is critical because provitamins A are degraded leading to a major decrease in RAE in just a few minutes. The household preparation of palm nuts produces a carotene-rich juice which contributes to the RAE of the palm sauces. The thermal treatment of this juice is less detrimental to provitamins A than the very hot treatment of red palm oil.

Acknowledgements

This research was conducted in the framework of INSTAPA Project, funded by the European Union's Seventh Framework Programme [Fp7/2007-2013] under grant agreement n°211484 and supported by the Beninese Government through a PhD research grant. Special thanks to François Agbo and Salamatou Daoua Acakpo for providing language help and assistance during field work.

References

- Addis, G., Baskaran, R., Raju, M., Ushadevi, A., Asfaw, Z., Woldu, Z., Baskaran, V. (2009). Effect of blanching and drying processes on carotenoids composition of underutilized Ethiopian (*Coccinia Grandis* L. voigt) and Indian (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) green leafy vegetables. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 744-762.
- Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*Solanum nigrum* L. and *Amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 173-178.
- Amoussa-Hounkpatin, W., Mouquet-Rivier, C., Dossa, R., Picq, C., Avallone, S. (2011). Contribution of plant-based sauces to the vitamin A intake of young children in Benin. *Food Chemistry*, "In press".
- Avallone, S., Bohuon, B., Hemery, Y., Trèche, S. (2007). Improvement of the in vitro digestible iron and zinc content of okra (*Hibiscus esculentus* L.) sauce widely consumed in Sahelian Africa. *Journal of Food Science*, 72, 2, S153-158.
- Choo, Y., Ma, A., Basiron, Y. (1993). Red palm oil: a potential source of dietary carotene. *Malaysian Oil Science and Technology*, 2, 54-55.
- Delisle, H., Zagré, N., Bakari, S., Codjia, P., Zendong, R. (2003). Des solutions alimentaires à la carence en vitamine A - A food-system approach to vitamin A. deficiency - Soluciones alimentarias a la carencia de vitamina A. *Food, Nutrition and Agriculture - Alimentation, Nutrition et Agriculture*, 32, 40-50.
- Edem, D.O. (2002). Palm oil biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 319-341.
- Gann, PH, Ma, J., Giovannucci, E., Willett, W., Sacks, F.M., Hennekens, C.H., Stampfer, M.J. (1999). Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels: results of a prospective analysis. *Cancer Research*, 59, 1225-1230.
- Grefeuille, V., Mouquet-Rivier, C., Icard-Vernière, C., Avallone, S., Ouattara, L., Hounhouigan, J., Kayodé, P., Amoussa, W., Hama, B.F. (2010). Traditional recipes of millet-, sorghum- and maize-based dishes and related sauces frequently consumed by young children

- in Burkina Faso and Benin. ISBN-number: 978-90-8585-903-3. Wageningen University Publisher, The Netherlands, 136p.
- Hedré, E., Mulokozi G., Svanberg U. (2002). In vitro accessibility of carotenes from green leafy vegetables cooked with sunflower oil or red palm oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53, 445-453
- Huo, T., Ferruzzi, M.G., Schwartz, S.J., Failla, M.L. (2007). Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8950-8957.
- INSAE, Macro International Inc. (2007). Enquête Démographique et de Santé – Bénin (EDSB-III). Calverton, Maryland, USA : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE) [Bénin] et Macro International Inc.
- Kawashima, L.M., Soares, L.M.V. (2003). Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 605-611.
- Kritchevsky, D., Tepper, S.A., Czarnecki, S.K., Sundram, K. (2002). Red palm oil in experimental atherosclerosis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(7), S433-437.
- Maiani, G., Caston, M.J.P., Catasta, G., Toti, E., Cambrodon, I.G., Bysted, A., Granadon-Lorenzo, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Böhm, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., Schlemmer, U. (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53, S194-S218.
- Mason, J.B., Musgrove, P. Habicht, J.P. (2003). At least one-third of poor countries' disease burden is due to malnutrition. Bethesda, MD: Disease Control Priorities Project, Fogarty International Center, NIH; DCP Working paper no.1, 1-19.
- Mayer-Miebach, E., Spiesz, W.E.L. (2003). Influence of cold storage and blanching on the carotenoid content of Kintoki carrots. *Journal of Food Engineering*, 56, 211-213.
- Mitchipè, C.E., Atèbo, E.A.D., Fanou, A.J., & Nago, C.M. (2002). Consommation alimentaire des ménages urbains au Bénin Alimentation, Savoir-faire et Innovations en Agroalimentaire en Afrique de l'Ouest. CERN, CIRAD. 45p.
- Murphy, S. (2002). Dietary Reference Intakes for the U.S. and Canada: Update on implications for nutrient databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 411-417.
- Ng, J.H., Nesaretnam, K., Reimann, K., Lai, L.C. (2000). Effect of retinoic acid and palm oil carotenoids on oestrone sulphatase and oestradiol-17- β -hydroxysteroid dehydrogenase activities in MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cell lines. *International Journal of Cancer*, 88, 135-138.

- Pepping, F., Kavishe, F.P., Hacknitz, E.A., West, C. (1988). Prevalence of xerophthalmia in relation to nutrition and general health in preschool age children in three regions of Tanzania. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 77, 895-906.
- Prakash, D., Pal, M. (1991). Nutritional and anti-nutritional composition of vegetable and grain amaranth leaves. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 57, 573-583.
- Prodanov, M., Sierra, I., Vidal-Valverde, C. (2004). Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food Chemistry*, 84, 271-277
- Rajanaidu, N., Kushairi, A., Rafii, M.Y., Din, M.A., Maizura, I., Isa, Z.A., Jalani, B.S. (2006). Oil genetic resources and their utilisation – a review. International Symposium ‘Oil palm genetic resources and utilization’, 8-10 June, MPOB, Kuala Lumpur.
- Ribaya-Mercado, J. D., Maramag, C. C., Tengco, L. W., Dolnikowski, G. G., Blumberg, J. B., Solon, F. S. (2007). Carotene-rich plant foods ingested with minimal dietary fat enhance the total-body vitamin A pool size in Filipino schoolchildren as assessed by stable-isotope-dilution methodology. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85, 1041-9.
- Rodriguez-Amaya, D.B. (1997). Carotenoids and Food Preparation: the Retention of Provitamin A Carotenoids in Prepared Processed and Stored Foods. Departamento de Ciências de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas C.P. 6121, 13083-970 Campinas, SP., Brazil
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., Tan, Y.A. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39, 507-558.
- Shukla, S, Bhargava, A. Chatterjee, J., Srivastava, N., Singh S.P. (2006). Mineral Profile and Variability in Vegetable Amaranth (*Amaranthus tricolor*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 61, 23-28.
- Shukla, S., Singh, S.P. (2000). Studies on genetic parameters in vegetable amaranth. *Journal of Genetics and Breeding*, 54, 133-135.
- Shukla, S., Pandey, V., Pachauri, G., Dixit, B.S., Banerji, R., Singh, S.P. (2003). Nutritional contents of different foliage cuttings of vegetable amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1-8.
- Sommer, A, West, K.P., Olson, J.A., Ross, C.A. (1996). Vitamin A deficiency: health, survival, and vision. New York: Oxford University Press.
- Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91, 1468S-73S.
- Taungbodhitham, A.K., Jones, G.P., Wahlqvist, M.L., Briggs, D.R. (1998). Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 63, 577-584.

- Veda, S., Kalpana, P. Krishnapura, S. (2010). Enhanced bioaccessibility of β -carotene from yellow-orange vegetables and green leafy vegetables by domestic heat processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2201-2207
- WHO/IRD. (2001). Nutrition, Santé et Développement : Produits riches en carotènes. CD-Rom.WHO/NHD/01.6, AFR/NHD/01.01
- You, C.S., Parker, R.S., Swanson, J.E. (2002). Bioavailability and vitamin A value of carotenes from red palm oil assessed by an extrinsic isotope reference method. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(Suppl 7), S438-442.
- Zagré, N.M., Delpéuch, F., Traissac, P., Delisle, H. (2003). Red palm oil as a source of vitamin A for mothers and children: impact of pilot project in Burkina Faso. *Public Health Nutrition*, 6 (8), 733-742.
- Zeba, A.N., Prével, Y.M., Somé, I.T., Delisle, H.F. (2006). The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso. *Nutrition Journal*, 5, 17.

3.3.2. Caractérisation de la valeur nutritionnelle et de l'acceptabilité des sauces améliorées : Résultats complémentaires

Dans une approche d'amélioration basée sur la diversification (« food to food fortification »), la lutte contre la malnutrition pluri-carentielle ne doit pas cibler un seul nutriment mais doit autant que possible couvrir plusieurs nutriments pour avoir plus de chances d'être efficace. C'est même un des avantages de ce type d'approche, qu'en favorisant la consommation de certains aliments riches en un micronutriment donné, les apports en de nombreux micronutriments et microconstituants soient également augmentés. En nous basant sur les quantités des différents ingrédients utilisés au niveau des ménages suivis à Natitingou, nous avons formulé trois types de sauce dont la composition est résumée dans le tableau 3.6. L'objectif était de vérifier la faisabilité de la préparation et l'acceptabilité de ces sauces par les mères et les jeunes enfants dans la région de Natitingou car les études antérieures les avaient déjà identifiées comme des sauces traditionnelles riches en vitamine A.

Pour chacune des trois formulations de sauces, les colonnes « valeurs ciblées » indiquent les quantités des divers ingrédients prévus pour être utilisés afin d'obtenir 4000 g de sauce (tableau 3.6). Les colonnes « valeurs observées » précisent les quantités d'ingrédients effectivement utilisées sur le terrain lors de la préparation et la quantité totale de sauce obtenue. On note que la plupart de quantités observées sont proches de celles ciblées, sauf pour le sel qui avait été probablement surestimé. En effet, la quantité de sel doit être ajustée en fonction de la saveur recherchée par le consommateur. Dans les sauces contenant des feuilles d'amarante, les pourcentages de feuilles obtenus pour 100 g de sauce finale ont finalement été un peu plus faibles que les valeurs ciblées (Tableau 3.6).

Tableau 3.6 : Recettes des trois sauces testées pour la dégustation et la consommation des enfants.

	Composition des sauces en ingrédients (g)					
	Valeurs ciblées			Valeurs observées		
	Dénoussou-nou + amarante blanchie	Dénoussou-nou Simple	Amarante+ HPR	Dénoussou-nou + amarante blanchie	Dénoussou-nou simple	Amarante+ HPR
	Recettes moyennes pour 4000 g de sauce			Recettes moyennes observées sur le terrain		
Feuilles d'amarante	879		1748	879		1748
Jus de noix de palme	3525	3098		4569	3155	
<i>* Noix de palme utilisée</i>				1800	1225	
<i>* Eau utilisée pour jus</i>				4185	3448	
Huile de palme rouge			490			490
Potasse			6			6
Piment rouge	86	56	78	86	33	49
Ail	20	15	23	20	15	23
Poivre	5	5	6	5	5	6
Oignon	85	189	508	85	189	508
Tomate fraîche	331	331	1456	333	331	1456
Afitin (nééré fermenté)	60	56	100	60	56	100
Bouillon cube	15	15	15	15	15	15
Poisson fretin fumé	67	58	85	67	174	209
Sel	61	61	61	18	32	29
Goussi "faux sésame"	29	42	143	29	42	143
Pâte d'arachide		137	91		137	91
Eau			427			1487
Sauce finale (g)	4000	4000	4000	5378	3575	4807
Nombre d'ingrédients	12	12	15	12	12	15
Masse totale ingrédients (g)	5164	4062	5237	6166	4184	6360
Eau évaporée (g)	1164	62	1237	788	609	1553
TMS (%)	15,5	-	30,5	15,7	17,2	27,5
Quantité de feuilles (g/100g de sauce)	22,0	0,0	43,7	16,3	0,0	36,4

3.3.2.1. Composition globale et teneurs en fer, zinc et activité équivalent rétinol des sauces aux feuilles d'amarante et à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge préparées sur le terrain

La composition globale des trois sauces « observées » a été déterminée (Tableau 3.7). Les résultats sont conformes à ce qui était attendu : la teneur en matière sèche de la sauce « Amarante blanchie–HPR » est élevée (27,5%), bien plus que celles des deux autres sauces

« *Dénoussounou* » ; cette TMS est comparable à celle de la même sauce « *Fotètè* » décrite au sud du Bénin (26,1%) (§3.1.2.2.).

Les sauces « observées » testées à Natitingou sont très riches en lipides (teneur $\geq$ 55g/100g MS). Ces sauces sont toutes aussi lipidiques que celles décrites au sud du Bénin (§3.1.2.2.). Leur teneur élevée en lipides est favorable à une meilleure bioaccessibilité des caroténoïdes issus des légumes-feuilles. Les trois sauces apparaissent donc aussi comme de très bonnes sources d'énergie (entre 96,5 et 178,9 kcal/100 g sauce).

Par rapport à leur teneur en protéines, il apparaît que les sauces « observées » contenant les feuilles d'amarante (« *Dénoussounou*-amarante blanchie » et « Amarante blanchie-HPR ») sont comparables et plus riches en protéines que la sauce « *Dénoussounou* simple ». De même, la présence de feuilles dans les sauces entraîne une teneur en fibres plus élevée.

Les teneurs en fer et zinc des sauces contenant des feuilles d'amarante sont comparables et nettement plus élevées (environ 4 fois pour le zinc) que dans la sauce *Dénoussounou* sans feuilles (Tableau 3.8). L'AER des trois sauces testées est élevée confirmant leur richesse en vitamine A. Cependant, l'AER des deux sauces « *Dénoussounou* » est nettement plus élevée que celle de la sauce d'amarante à base d'huile de palme rouge (1,1 mg AER /100g MS). Cette teneur bien que diminuée de moitié par rapport aux résultats obtenus lors des enquêtes au sud (2.1 ± 1.0 mg AER /100g MS) reste néanmoins une teneur très élevée si l'on tient compte 100 µg ER/100g comme valeur seuil pour les aliments riches en vitamine A.

Tableau 3.7 : Composition globale des trois sauces traditionnelles améliorées à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge

Sauces	Matière sèche (g/100g MF)	Protéines (g/100g MS)	Lipides (g/100g MS)	Fibres ADF (g/100g MS)	Cendres (g/100g MS)	Energie (kcal/100g MS)	Energie (kcal/100 g sauce)
« Dénoussounou simple »	17,2 ± 0,7 ^a	9,9 ± 0,2 ^a	67,6 ± 0,6 ^a	3,1 ± 0,1 ^a	5,4 ± 0,1 ^a	703,7 ± 3,0 ^a	121,2 ± 0,5 ^a
« Dénoussounou Amarante blanchie »	15,7 ± 0, 1 ^b	12,9 ± 0,1 ^b	54,9 ± 0,1 ^b	5,2 ± 1,1 ^{ab}	9,9 ± 0,0 ^b	614,2 ± 4,9 ^b	96,5 ± 0,8 ^b
« Amarante blanchie-HPR »	27,5 ± 0,1 ^c	13,5 ± 0,7 ^b	61,2 ± 0,2 ^c	6,4 ± 0, 7 ^b	7,8 ± 0,0 ^c	649,1 ± 1,81 ^c	178,9 ± 0,5 ^c

Moyenne ± Ecart-type des échantillons de feuilles prélevées au niveau ménage.

Les valeurs de la même colonne n'ayant pas les mêmes lettres en exposant sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

MF : Matière fraîche

MS : Matière sèche

Tableau 3.8: Composition en fer, zinc et vitamine A des sauces améliorées préparées à Natitingou

Sauces	Fer	Zinc	AER
	(mg/100g MS)		
Dénoussounou simple	12,25 ± 1,23 ^a	0,89 ± 0,07 ^a	3,59 ± 1,10 ^a
Dénoussounou-amarante blanchie	21,04 ± 0,31 ^c	5,35 ± 0,09 ^b	3,48 ± 0,38 ^a
Amarante blanchie – HPR	16,14 ± 0,86 ^b	4,22 ± 0,09 ^b	1,13 ± 0,46 ^b

Moyenne ± écart type des échantillons de sauces prélevées au niveau ménage.

Les valeurs d'une même colonne n'ayant pas les mêmes lettres en exposant sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

3.3.2.2. Appréciation des sauces aux feuilles d'amarante et à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge par les mères à Natitingou

L'appréciation faite par les mères (n=33) des attributs sensoriels des sauces (aspect, odeur, consistance, goût) sur une échelle de 1 à 5 a permis de calculer des scores moyens (tableau 3.9). Les trois sauces aux feuilles d'amarantes et à base d'huile de palme rouge ou de jus de palme ont toutes recueilli des scores d'appréciation élevés, supérieurs à 4,4 : ces formulations ont donc été bien acceptées par les mères responsables de l'alimentation des enfants. Mieux l'engouement pour ces sauces était notable. Les sauces contenant des feuilles «*Dénoussounou-Amarante blanchie*» et «*Amarante blanchie-HPR*» ont obtenu un score d'appréciation globale significativement plus élevé que la sauce «*Dénoussounou simple*».

Tableau 3.9: Appréciation des sauces par les mères des enfants

Scores moyens ($\pm$ ET) des attributs sensoriels					
Sauces	Aspect	Odeur	Consistance	Goût	Appréciation globale
<i>Dénoussounou</i>	4,6 $\pm$ 0,7 ^a	4,6 $\pm$ 0,8 ^a	4,6 $\pm$ 0,7 ^a	4,7 $\pm$ 0,6 ^a	4,4 $\pm$ 1,0 ^b
<i>Dénoussounou-Amarante blanchie</i>	4,9 $\pm$ 0,3 ^a	4,8 $\pm$ 0,4 ^a	4,7 $\pm$ 0,6 ^a	4,7 $\pm$ 0,8 ^a	4,9 $\pm$ 0,3 ^a
<i>Amarante blanchie-HPR</i>	4,7 $\pm$ 0,6 ^a	4,9 $\pm$ 0,4 ^a	4,5 $\pm$ 0,8 ^a	5,0 $\pm$ 0,0 ^a	5,0 $\pm$ 0,2 ^a

Les valeurs d'une même colonne n'ayant pas les mêmes lettres en exposant sont statistiquement différentes ($p < 0,05$)

Ainsi, ces sauces pourraient faire l'objet de promotion dans le cadre d'un programme d'éducation nutritionnelle. En effet, à la fin de la séance de test des sauces, la motivation était notable et les mères étaient demandeuses de séance de formation à la préparation de ce type de sauces (Cf. annexe 2.15). Si cette stratégie était retenue, il serait important d'insister sur le fait que les cuissons des sauces ne doivent pas être trop longues afin de limiter les dégradations de composés d'intérêt. Par ailleurs, il serait intéressant de décourager les pratiques consistant à blanchir l'huile de palme rouge afin de profiter des effets bénéfiques des caroténoïdes de l'huile sur la santé et sur le fonctionnement général d'organisme.

3.3.2.3. Quantité ingérées et couverture des besoins en vitamine A par les sauces améliorées formulées chez les jeunes enfants à Natitingou

Les ingérés de chacune de ces sauces par les enfants ont été mesurées ce qui a permis le calcul de leurs participations respectives à la satisfaction des AJR en vitamine A (tableau 3.10).

De manière logique, il apparaît que les quantités de sauces ingérées augmentent significativement entre les deux classes d'âge ($p = 0,0173$). Mais avant tout, les ingérés

varient de manière très importante selon les sujets ($p = 0,0017$). L'effet du type de sauce n'est pas significatif, mais après ajustement sur le facteur sujet, une tendance se dessine ($p = 0,0621$), plutôt en défaveur de la sauce *Dénoussounou* simple.

Les quantités de lipides ingérées associées à la consommation de ces sauces sont supérieures, quelle que soit la sauce et ce même pour les plus jeunes, aux 2,4 g par repas recommandés pour assurer la bioaccessibilité des caroténoïdes dans les plats à base de légume-feuilles (Ribaya-Mercado, 2007 ; Tang, 2010). En prenant en compte les quantités ingérées et les teneurs en AER des sauces correspondantes, on voit que la consommation de ces sauces permettent de couvrir en seule prise, de 36 à 55% des AJR, ce qui est intéressant, sauf pour la sauce amarante-HPR, dont le faible ingéré par les enfants de 6-11 mois associé à une teneur en AER de la sauce moins élevée qu'escompté ne permet de couvrir qu'environ 24% des AJR.

Pour les deux tranches d'âges d'enfants, il apparaît que c'est la sauce «*Dénoussounou-amarante blanchie*» qui permet la plus grande contribution à l'AJR, soit 49% chez les 6-11 mois et 55% chez les 12-23 mois. Cette tendance avait été aussi observée au cours de la première enquête.

Tableau 3.10 : Ingérés de sauces au cours d'un repas par les jeunes enfants (6-23 mois) et contribution à la couverture des AJR en vitamine A

	Quantité de sauce ingérée par repas (g)		Quantité de lipide ingérée par repas (g)		Participation à la couverture des besoins (AJR ¹) en VA (%)	
	6-11 mois (n=16)	12-23 mois (n=17)	6-11 mois (n=16)	12-23 mois (n=17)	6-11 mois (n=16)	12-23 mois (n=17)
Sauce testée à Natitingou						
Dénoussounou	23,5 ± 13,8	34,6± 24,0	2,7	4,0	36,3	53,5
Dénoussounou- amarante	35,7 ± 18,0	40,4± 27,6	3,1	3,5	48,7	55,1
Amarante-HPR	30,6± 14,2	52,4± 41,9	5,1	8,8	23,8	40,8

¹AJR en vitamine A pour les enfants 6-23 mois = 400 µg AER/j (FAO/WHO, 2004)

Chapitre 4. Discussion générale

4.1. Consommation alimentaire et état nutritionnel des jeunes enfants

L'enquête de consommation alimentaire des jeunes enfants sur les quatre sites réalisée en première partie de ce travail de thèse a bien mis en évidence des apports inadéquats en fer, zinc et vitamine A alors que les déficits d'apports concernant l'énergie et surtout les protéines concernent un nombre d'enfants bien moins important. En effet, il ressort des résultats de l'enquête que l'alimentation des enfants au Bénin est généralement monotone parce qu'elle est basée sur la répétition de repas préparés à partir des mêmes céréales ou tubercules. Cette monotonie prédispose aux carences multiples en minéraux et en vitamines (Golden, 1991). Notre analyse s'est portée plus spécifiquement sur les trois micronutriments fer, zinc et vitamine A, mais il est fort probable que les apports en de nombreux autres micronutriments soient déficitaires, étant donné les faibles scores de diversité alimentaire enregistrés.

L'apport inadéquat en zinc traduit par les pourcentages élevés d'enfants n'arrivant pas à couvrir non seulement 100% mais même 50% des AJR en zinc pourrait être l'une des causes de la forte prévalence de retard de croissance chez ces jeunes enfants, la carence en zinc étant l'un des facteurs de risque majeurs pour ce type de malnutrition (IZiNCG, 2004, Brown et al., 2001).

La même tendance a été observée par rapport à la couverture des besoins en fer. Ce fort pourcentage d'enfants n'arrivant même pas à couvrir 50% de leur AJR en fer à partir de leur alimentation est sans aucun doute un des facteurs expliquant au-delà de nos quatre sites d'enquêtes, pourquoi de nombreux enfants béninois souffrent de carence en fer, la prévalence de l'anémie ferriprive se révélant comme un problème de santé publique au Bénin (INSAE et Macro Int. Inc., 2007) touchant plus de trois-quarts des enfants et environ 60% des femmes (FAO, 2011). La faible biodisponibilité du fer venant de l'alimentation des jeunes enfants se surajoute probablement aux faibles apports pour contribuer au statut en fer fortement déficitaire des jeunes enfants béninois, mais notre étude n'a pas porté sur cette problématique. Nous avons plutôt fait quelques investigations dans le domaine de la vitamine A.

En effet, comme évoqué au chapitre 1 de ce document, la CVA est reconnue dans tout le Bénin depuis 2001 comme un problème de santé publique de niveau sévère touchant essentiellement les jeunes enfants et peu les femmes qui sont pourtant des groupes à risque. La prévalence de CVA est plus élevée dans le nord du pays, probablement, à cause d'un régime alimentaire différent et d'une moindre disponibilité des aliments riches en vitamine A. Afin de lutter contre ce fléau, les autorités associées aux organisations internationales ont mis en place ces dernières années dans tous le pays, des programmes de supplémentation en vitamine A par distribution biannuelle de capsules de rétinol, touchant 61% des jeunes enfants et 41% des mères en post-partum (WHO, 2009 ; FAO, 2011). Les résultats de nos enquêtes de consommation alimentaire ont montré qu'au moins 75% des enfants de 6 à 36 mois enquêtés ont des apports en vitamine A à partir de leur alimentation très insuffisants, et ceci particulièrement chez les enfants sevrés, qui ne bénéficient plus des apports du lait maternel. Ce déficit d'apport est également très important sur le site urbain de Cotonou où l'accès aux différents groupes d'aliments semble pourtant un peu meilleur. Ainsi, 28 % des enfants enquêtés âgés de 12-23 mois et 58% des enfants âgés de 24-35 mois sont apparus comme à risque de carence en vitamine A. C'est un signe annonciateur que le mal persiste. Aussi les

chiffres actuels utilisés par toutes les Institutions des Nations Unies (OMS, FAO, etc.) pour décrire actuellement la carence en vitamine A au Bénin sont basées sur les enquêtes nationales de 1999 qui datent de plus de 10 ans. Il serait nécessaire aujourd'hui de réaliser de nouvelles enquêtes pour établir les prévalences plus récentes de CVA. Cependant, il est probable (attendu tout au moins) que grâce à la supplémentation, les prévalences de CVA aient beaucoup diminué. C'est à cela que nous contribuons à travers nos travaux actuels en l'absence de données nationales. L'intérêt des enquêtes menées, qui montrent que les apports alimentaires en vitamine A sont insuffisants à partir du profil de consommation est de montrer que si l'on arrête actuellement la supplémentation en vitamine A, tout porte à croire que la CVA sévira de plus belle. Cependant, la distribution de capsules de vitamine A n'est pas une solution durable et il est aussi nécessaire d'œuvrer à la valorisation des ressources locales riches en VA.

En réalité, quelles sont les raisons pouvant expliquer qu'un si grand nombre d'enfants n'arrive pas à couvrir leur AJR en vitamine A malgré la présence de toute une gamme d'aliments riches en vitamine A identifiés dans les localités ?

Plusieurs hypothèses sont possibles :

➤ Profil de consommation d'aliments riches en vitamine A

D'après les données de l'enquête par pesée, l'huile de palme rouge connue pour sa grande richesse en vitamine A, a été consommée en moyenne 1 fois/jour par seulement 5,4% des enfants. Aussi 9,6 % des enfants ont consommés des sauces à base de légumes-feuilles en moyenne 1 fois/jour. La sauce au jus de palme a été consommée par 11,3% d'enfants. Le même pourcentage d'enfants a consommé de la mangue. Par ailleurs, l'œuf n'a été consommé en moyenne 1 fois/jour que par 1,4 % d'enfants. Aucune consommation de foie d'animaux n'a été observée. Finalement à peine un tiers des enfants enquêtés avaient consommé au moins l'un de ces aliments riches en vitamine A existant dans les localités. C'est à l'évidence une des causes principales du fort pourcentage d'enfants à risque de CVA. Une très faible consommation de produits animaux sources de vitamine A, moins d'une fois/semaine pour le foie et les œufs chez les enfants a été aussi rapporté par Nana et *al.* (2003) au Burkina Faso. Les raisons qui expliquent ces faibles consommations sont des contraintes financières, mais aussi le manque de connaissance sur l'importance nutritionnelle de ces produits pour les enfants et les pratiques sociales concernant certains aliments riches en vitamine A. En effet, les produits animaux sources de micronutriments, constituent plutôt des gages de capitalisation de ressources financières pour les familles rurales. L'élevage qui se fait par exemple au nord du Bénin est un élevage de prestige servant plus de sources de revenu ou de solutions de recours pour les dépenses imprévues, que pour l'autoconsommation des populations elles-mêmes.

➤ Habitudes alimentaires concernant les aliments riches en vitamine A

L'existence d'interdits alimentaires ou de tabous concernant les aliments riches en vitamine A tels que ceux relatifs aux légumes-feuilles rapportés par Dansi et *al.* (2008) dans différentes aires ethniques du Bénin, peuvent aussi contribuer à cette faible couverture des besoins.

➤ Disponibilité saisonnière de certains aliments riches en vitamine A

La mangue, lorsqu'elle est disponible, est un aliment qui semble volontiers donné à consommer aux jeunes enfants. Cependant, dans l'enquête, elle n'a été consommée par un nombre important d'enfants qu'à Natitingou et Boukoumbé, car cela coïncidait avec le démarrage de la période de disponibilité dans la région nord du pays. Ceci montre que la contribution à la satisfaction des besoins en vitamine A à partir de la mangue est soumise à la saisonnalité de celle-ci en raison de l'absence de procédé de conservation pour améliorer sa disponibilité hors saison comme c'est le cas pour la mangue en milieu rural.

➤ Les quantités d'aliments riches en vitamine A consommées

La non-couverture des besoins en vitamine A par l'alimentation peut être aussi liée aux quantités d'aliments riches en vitamine A ingérées par les jeunes enfants. Nous reviendrons sur cet aspect dans la suite du document en examinant la participation des ingrédients des sauces formulées et testées à Natitingou à la couverture des AJR.

➤ Procédés de transformation des aliments riches en vitamine A

Enfin, les méthodes de préparation des aliments riches en vitamine A peuvent également influencer la rétention des caroténoïdes et limiter l'apport en caroténoïdes provitamines A de certains plats. Car la plupart des caroténoïdes sont stables à basses températures (60 à 100°C) mais les suivis des procédés de préparation au niveau ménage ont montré à Natitingou par exemple, que l'huile de palme rouge était chauffée à haute température pendant 1 à 8 minutes lors de la préparation de sauce amarante, entraînant des pertes de caroténoïdes varierait de 25% en une minute à 95% en 8 minutes.

Nous venons d'examiner quelques hypothèses explicatives des faibles apports en vitamine A à partir de l'alimentation chez les jeunes enfants mais d'autres facteurs pourraient aussi contribuer à diminuer l'absorption des caroténoïdes ou du rétinol présent dans l'alimentation, et encore augmenter le nombre d'enfants à risque de carence. Une faible bioaccessibilité des caroténoïdes, les infections et infestations parasitaires répétées peuvent en effet constituer un handicap à l'amélioration du statut vitaminique A des enfants.

4.2. Consommation d'aliments riches en vitamine A et couverture potentielle des besoins

Pour chacune des trois sauces « Dénoussounou », « Dénoussounou-amarante » et « Amarante-HPR », les taux de participation aux AJR en vitamine A des premières enquêtes de consommation alimentaire et d'observation de recettes réalisées à Cotonou et Zè sont supérieurs à ceux observés à partir des sauces préparées et ingérées à Natitingou (tableau 3.11).

En effet, d'une part, les quantités de sauces consommées lors des premières enquêtes sont supérieures à celles consommées au cours de l'enquête de Natitingou dans chaque tranche d'âge. Et d'autre part, si les teneurs en AER des deux sauces « Dénoussounou » de la première enquête sont similaires à celles formulées à Natitingou, en revanche, pour les sauces « Amarante-HPR », la teneur en AER de cette sauce formulée et testée à Natitingou ($1,1 \pm 0,5$

mg AER/100g MS), est nettement plus faible de celle enregistrée lors la première enquête ($2,1 \pm 1,0$ mg AER/100g MS). Ceci est attribuable à la qualité de l'huile de palme rouge utilisée, les teneurs en matière en sèche des sauces étant très voisines. De plus, au cours de la préparation de la sauce, une attention particulière avait été portée à ce que le traitement thermique de l'huile de palme rouge soit court et à des températures ne dépassant pas 100°C. Il est donc probable que l'huile de palme rouge achetée sur le marché de « Yara » à Natitingou était éventée entraînant une altération des caroténoïdes du fait d'exposition prolongée à la lumière ou à l'oxygène de l'air lors du stockage ou lors de la vente sur les marchés. **Cela veut dire que la qualité de l'huile de palme rouge est aussi un facteur déterminant du potentiel en provitamines A des sauces.** Et malheureusement, c'est un facteur que les ménagères peuvent difficilement maîtriser, étant contraintes de s'approvisionner sur les marchés.

Malgré les disparités constatées, on note finalement que toutes les sauces, que ce soient celles issues de la première enquête ou bien celles formulées et testées à Natitingou sont riches en vitamine A et permettent une couverture appréciable des AJR variant de 24 à 114% pour les enfants de 6-11 mois et de 40 à 118% chez les 12-23 mois, qui consomment des quantités un peu plus importantes. Néanmoins, il importe de relever que les deux sauces à base de jus de palme (ie « Dénoussounou » et « Dénoussounou-amarante ») ont, sur les deux études, permis des taux de couverture allant de 36 à 118%, nettement plus élevés que les sauces amarante-HPR (24-75%).

Tableau 4.1 : Comparaisons des teneurs en AER de différentes sauces, des quantités consommées par repas, et des taux de participation à la couverture des AJR lors des enquêtes de consommation alimentaire et lors des mesures d'ingérés chez les jeunes enfants à Natitingou.

Type de sauce	Quantité moyenne de sauce consommée (en g par repas)				Teneur en AER		Participation à la couverture des AJR ¹ en VA (%)			
	6-11 mois		12-23 mois		(mg ER/100gMS)		6-11 mois		12-23 mois	
	1 ^{ère} Enquête ²	Test à Natitingou ³	1 ^{ère} Enquête	Test à Natitingou	1 ^{ère} Enquête	Test à Natitingou	1 ^{ère} Enquête	Test à Natitingou	1 ^{ère} Enquête	Test à Natitingou
Dénoussounou	35,1	23,5	52,3	34,6	3,4 ± 1,9 ^a	3,6 ± 1,1 ^a	79,5	36,3	118,4	53,5
Dénoussounou-amarante	48,7	35,7	44,3	40,4	4,0 ± 0,8 ^a	3,5 ± 0,4 ^a	114,0	48,7	103,7	55,1
Amarante-HPR	39,2	30,6	55,4	52,4	2,1 ± 1,0 ^a	1,1 ± 0,5 ^b	53,5	23,8	75,4	40,1

¹Apport journalier recommandé en vitamine A pour les enfants 6-35mois = 400 µg AER/j (FAO/WHO, 2004)

²Premières enquêtes de consommation et d'observation de recettes

³Enquête de mesure d'ingérés des enfants sur les trois sauces formulées et testées à Natitingou

Les valeurs de la même colonne n'ayant pas les mêmes exposants sont statistiquement différentes (p<0,05).

4.3. Introduction de l'huile de palme rouge en fin cuisson

Des trois étapes à risque identifiées lors des procédés traditionnels de préparation des sauces riches en pro-vitamines A notamment le «**blanchiment**» des légumes-feuilles amarante, la «**cuisson à ébullition**» des noix de palme, le «**chauffage**» de l'huile de palme rouge, seul le chauffage de l'huile de palme rouge s'est révélé très critique entraînant à 180 ou 200°C, une perte drastique (70-80%) de caroténoïdes après 4 minutes de chauffage. Ceci appelle à reconsidérer sérieusement le mode de préparation des sauces légumes-feuilles à base d'huile de palme rouge si l'on veut sauvegarder le potentiel vitaminique A des ingrédients utilisés, particulièrement celui de l'huile de palme rouge.

En effet, au cours du procédé de préparation de cette sauce, l'introduction de l'huile en fin de cuisson éviterait son chauffage intense et donc la perte importante enregistrée. Cette approche de solution permettra de maintenir l'essentiel de la teneur en provitamines A de l'huile de palme rouge ce qui élèverait désormais la teneur en vitamine A de la sauce légume-feuille à base d'huile de palme rouge suite à l'abrogation de l'étape critique de chauffage de l'huile.

La vulgarisation d'une telle proposition va nécessiter un changement de comportement mais comporte de fortes chances d'aboutir. En effet, un sondage auprès de certaines personnes ressources révèle que la préparation de cette sauce à l'origine, se faisait par introduction de l'huile de palme rouge à la fin de la préparation. Ce sont les influences consécutives à l'urbanisation par le contact avec d'autres civilisations dans les villes, qui ont entraîné cette modification technologique préjudicable à la qualité nutritionnelle de cette sauce. Un retour donc à la méthode initiale rencontrera moins de résistance par rapport à une éventuelle proposition de modification carrément nouvelle du mode de préparation de cette sauce.

4.4. Absorption de la vitamine A et statut en vitamine A

Outre la consommation d'aliments riches en vitamine A ou en caroténoïdes pro-vitaminiques A, il est aussi intéressant de s'assurer si des ingérés suffisants en vitamine A pourraient garantir un bon statut en vitamine A ? En effet, cela est d'abord tributaire d'une meilleure bioaccessibilité et d'une bonne biodisponibilité des caroténoïdes afin d'avoir une réponse physiologique adéquate au niveau des cellules cibles.

La majorité des aliments riches en vitamine A mieux consommée dans notre zone d'étude est d'origine végétale. Partant du fait que la matrice végétale, les teneurs en lipide du repas et l'effet des procédés sont des facteurs déterminant de la bioaccessibilité des caroténoïdes, ces facteurs apparaissent a priori favorables pour les sauces ayant fait l'objet de notre étude. Cependant il importe de relever ici s'agissant de la matrice cellulaire qu'une forte rétention des caroténoïdes est aussi un indicateur de faible bioaccessibilité.

Outre la consommation d'aliments riches en vitamine A et les déterminants de bioaccessibilité précédemment évoqués, d'autres facteurs peuvent améliorer la biodisponibilité des caroténoïdes et de la vitamine A : il s'agit de la nature de l'huile (surtout les huiles riches en

acides gras non saturés), ce qui est bien le cas pour les produits à base de palme consommés. D'autres facteurs peuvent encore influencer la biodisponibilité de la vitamine A, notamment les infections comme la rougeole et les infestations parasitaires répétées par les ascaris, les ankylostomes, les salmonella et même les diarrhées répétées sont des handicaps à la biodisponibilité et donc à l'amélioration du statut en vitamine A. La biodisponibilité des caroténoïdes et de la vitamine A est ensuite influencée ou améliorée par d'autres nutriments comme la vitamine C, la vitamine E, le zinc et les protéines.

Au final les facteurs modulant la bioaccessibilité et la biodisponibilité désignés sous l'acronyme de SLAMENGHI et que nous avons décrits précédemment (§1324) vont largement impacter le statut en vitamine A des individus même dans un régime de bonne consommation d'aliments riches en caroténoïdes et en vitamine A. Mais la supplémentation des individus influence directement leur statut en vitamine A.

La meilleure façon d'évaluer le statut en vitamine A des individus et qui indique le résultat ultime de l'aboutissement des ingérés en vitamine A et aussi de la supplémentation, passe par les analyses biologiques. Ainsi **pour connaître le statut réel en vitamine A au niveau des individus, il faudra faire une analyse biologique comme le test RDR** qui est un test dynamique permettant de doser la réserve hépatique en vitamine A à partir du dosage du rétinol sérique. Ou encore **le test MRDR** qui lui est encore plus simple et moins contraignant.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Bien que les enquêtes de consommation alimentaire réalisées auprès des jeunes enfants dans le cadre de cette étude ne soient pas représentatives de tout le Bénin, elles ont été réalisées sur des sites choisis pour représenter des milieux très contrastés. Les résultats ont révélé la faiblesse des apports en fer, zinc et vitamine A à partir de l'alimentation de ces enfants, et ce, même sur le site urbain de Cotonou, où l'on pouvait attendre de meilleurs résultats en raison d'une plus grande accessibilité à une alimentation diversifiée. Plusieurs aliments riches, voire très riches en provitamines A ont été identifiés dans les localités d'étude, parmi lesquels les sauces légumes-feuilles à base de jus de noix de palme ou d'huile de palme rouge, qui lorsqu'elles sont consommées, permettent en une seule prise de couvrir plus de 70% des apports journaliers recommandés en vitamine A.

Trois étapes critiques –car mettant en œuvre un traitement thermique- des procédés traditionnels de préparation de ces sauces très riches en caroténoïdes ont été étudiées. Le blanchiment des légumes-feuilles amarante, en absence ou en présence de potasse traditionnelle, entraîne une augmentation significative des teneurs en isomères de β -carotène 9-cis et 13-cis, mais l'activité équivalent rétinol globale des feuilles blanchies n'est pas modifiée de manière significative. D'autres caroténoïdes non provitaminiques A, tels que la lutéine et la violaxanthine ont été suivis et la violaxanthine est le seul caroténoïde significativement affecté par le traitement. L'ébullition des noix préalable à l'extraction du jus de palme n'altère guère les caroténoïdes provitamines A, seul le rendement d'extraction en AER peut varier selon la dilution du jus lors du pilage par l'opérateur. En revanche, le blanchiment de l'huile de palme rouge durant environ 4 minutes à 180 ou 200°C provoque une perte drastique de 70-80% de caroténoïdes (soit une rétention de seulement 20-30%). **D'où l'intérêt de suggérer de réduire la température de chauffage de l'huile de palme rouge à 100°C au lieu des 170-200°C observés dans les ménages.** En réalité, la pratique des femmes consistant à décolorer l'huile de palme participe à la recherche d'une amélioration du goût et de la couleur rouge salissante du produit par certains consommateurs surtout urbains. Mais, cette pratique n'est pas sans conséquence sur la santé, dénature le produit et détruit significativement ses caroténoïdes provitamines A.

Le Bénin ne dispose pas encore d'une table de composition alimentaire. Cette étude pourra modestement contribuer à enrichir les bases de données existantes. Mais il faudra aller plus loin pour **doter le Bénin d'une table de composition des aliments** qui caractériserait plus largement les plats béninois.

Dans un contexte de lutte contre la malnutrition pluricarentielle et particulièrement lorsque les apports en micronutriments fer, zinc et vitamine A sont très déficitaires comme nous l'avons constaté dans nos zones d'étude, la promotion de la consommation des légumes-feuilles dans les sauces à base de noix de palme et particulièrement de la sauce « *Dénoussounou* aux feuilles d'amarante » serait très intéressante à notre avis. Car la sauce « *Dénoussoussou* » est très riche en vitamine A à l'origine, et l'incorporation des feuilles d'amarante améliore significativement les teneurs en fer et zinc des sauces testées. Cette sauce a été aussi bien appréciée par les mères des enfants à Natitingou. Au final, cette sauce

apparaît comme la plus prometteuse dans le cadre de la mise en place d'une stratégie de lutte contre les carences en micronutriments basée sur la diversification.

Les ingrédients essentiels de cette sauce notamment les noix de palme et les feuilles d'amarante sont relativement bon marché donc financièrement accessibles même aux couches les plus pauvres. Les légumes-feuilles amarante sont des espèces riches en micronutriments, à court cycle végétatif et très répandus au Bénin. Les noix de palme sont plus disponibles au sud, près de leur lieu de production, qu'au nord du Bénin certes, mais on les trouve aussi sur les marchés au nord et il serait intéressant d'améliorer encore leur disponibilité à travers une politique visant leur promotion.

Limites du travail et difficultés rencontrées

La présente étude que nous avons effectuée présente quelques limites qu'il nous semble utiles de relever.

✓ Zone de couverture

Comme mentionné plus haut et pour des raisons de coût et de délais impartis, cette étude n'a été conduite que dans quatre communes urbaines/rurales au nord et au sud du Bénin parmi les 77 communes que compte le pays. Par conséquent, nous ne saurions tirer de conclusions générales pour tout le Bénin. Notamment, une enquête dans la région du centre aurait pu apporter des compléments utiles sur la variabilité et la diversité des plats consommés au Bénin.

✓ Bioaccessibilité des caroténoïdes provitamines A

Il aurait été intéressant d'apprécier la bioaccessibilité des caroténoïdes provitamines A dans les sauces consommées par ces jeunes enfants au Bénin, tout au moins dans les sauces les plus prometteuses identifiées. Cependant, la mise en œuvre de mesures de bioaccessibilité dans des produits aussi riches en lipides n'est pas sans difficulté. À défaut, nous nous sommes appuyés sur les travaux réalisés par de nombreux chercheurs sur les conditions nécessaires pour assurer la bioaccessibilité des caroténoïdes dans les plats à base de légumes-feuilles que nous avons documenté dans le 1^{er} chapitre du document (§ 1.3.2.).

✓ Test d'acceptabilité

Il aurait été souhaitable de répéter deux à trois fois les mesures d'ingérés des enfants qui n'ont été réalisées qu'une seule fois du fait des exigences de sécurité sur le terrain consécutives aux campagnes électorales. Il s'agit concrètement du monnayage qu'exigent les populations pour la réalisation de toute action de mobilisation sociale et les violences pendant les périodes électorales au Bénin en tout cas. La troisième phase de nos travaux s'est déroulée à cette période suite aux reports successifs ayant marqué des élections au Bénin en 2011.

Recommandations

Étant donné que les sauces légumes-feuilles à base de jus de palme ou de palme rouge constituent potentiellement d'excellentes ressources locales accessibles aux populations urbaines et rurales du Bénin offrant une grande richesse en provitamines A, il serait aussi intéressant :

✓ de réaliser une étude de l'efficacité biologique des sauces aux feuilles d'amarante et jus de palme ou huile de palme rouge, consistant à étudier l'influence de la consommation régulière de ces sauces en conditions contrôlées sur le statut en vitamine A de

jeunes enfants, par comparaison à un groupe témoin ne consommant pas ces sauces. Quelques précautions nous semblent utiles à prendre dans la préparation des sauces, notamment le choix (1) d'une huile de palme rouge de qualité et non exposée à l'air et au soleil, (2) de feuilles d'amarante fraîches (3) de noix de palme fraîches non abimées et enfin (4) d'éviter de chauffer longtemps l'huile de palme rouge au delà de 100°C.

✓ d'introduire l'huile de palme rouge ou tout au moins la majeure partie de l'HPR vers la fin de la cuisson des sauces.

Enfin,

✓ de faire une campagne spécifique visant la promotion de la consommation plus fréquente des sauces légumes-feuilles à base de jus de palme ou d'huile de palme rouge pour améliorer la santé des jeunes enfants et lutter contre les carences en micronutriments fer, zinc et vitamine A. Transférer aux programmes d'éducation nutritionnelle en cours, les pratiques culinaires à décourager. Des aliments ainsi formulés permettant d'augmenter les apports en de nombreux nutriments outre ceux en protéines et/ou en énergie, auront un impact préventif ou curatif perceptible dans la lutte contre la malnutrition des enfants.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abnisa, F., Wan-Daud, W.M.A., Husin, W.N.W., Sahu, J.N. (2011). Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process. *Biomass and Bioenergy* 35, 1863-1872.
- Achigan-Dako, E., Pasquini, M., Assogba-Komlan, F., Sognigbe, N., Ambrose-Oji, B. (2009). Traditional vegetables in Benin: Diversity, distribution, ecology, agronomy and utilization. p 252.
- Addis, G., Baskaran, R., Raju, M., Ushadevi, A., Asfaw, Z., Woldu, Z., Baskaran, V. (2009). Effect of blanching and drying processes on carotenoids composition of underutilized Ethiopian (*Coccinia Grandis* L. voigt) and Indian (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) green leafy vegetables. *Journal of Food Processing and Preservation* 33, 744-762.
- Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*Solanum nigrum* L. and *Amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology* 43, 173-178.
- Adjatin, A. (2006). Contribution à l'étude de la diversité des légumes feuilles traditionnels consommés dans le département de l'Atacora (Bénin). *Mémoire. DEA*, Université de Lomé. 55 p.
- AFNOR.(1981). Céréales, légumineuses et produits dérivés. Détermination des cendres par minéralisation. *Agence Française de Normalisation* (AFNOR). Standard NF. V03-760.
- AFNOR .(1970). Dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. *Agence Française de Normalisation* (AFNOR). Standard NF. V03-050.
- Ahouandjinou, E.R.T. (2007). Contribution a l'amélioration de l'état nutritionnel des nourrissons de 6 à 12 mois dans la commune de Bopa : conception d'une bouillie améliorée de sevrage. *Thèse d'ingénieur agronome*. P 124. *Archives of Ophthalmology* 106, 337-340.
- Aletor, V. A. & Adeogun, O. A. (1995). Nutrient and anti-nutrient components of some tropical leafy vegetables. *Food Chemistry* 53: 375-379.
- Aman, R., Biehl, J., Carle, R., Conrad, J., Beifuss, U., Schieber, A. (2005). Application of HPLC coupled with DAD, APci-MS and NMR to the analysis of lutein and zeaxanthin stereoisomers in thermally processed vegetables. *Food Chemistry* 92, 753-763.
- Amoussa-Houunkpatin, W., Mouquet-Rivier, C., Dossa, R., Picq, C., Avallone, S. (2011). Contribution of plant-based sauces to the vitamin A intake of young children in Benin. *Food Chemistry*, "In press".
- AOAC (2003). Crude fat in feeds, cereal grains and forages (hexane extraction). Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC (2005). Vitamin A (retinol) in milk-based infant formula. Liquid chromatographic method. AOAC Official Method 992.06. 2006. 18th edition. Washington DC: AOAC International.

- Arimond, M., Ruel, M.T. (2004). Dietary diversity is associated with child nutritional status: Evidence from 11 Demographic and Health Surveys. *Journal of Nutrition* 134, 2579-2585.
- Arnaud, S. (2004). Etat nutritionnel et qualité de l'alimentation des enfants de moins de 2 ans dans le village de Dame (Côte d'Ivoire) : Caractérisation et essai d'identification des déterminants de la malnutrition protéino-énergétique et des pratiques alimentaires. Mémoire de *DESS de Nutrition et Alimentation dans les pays en développement*. Université Montpellier 2, France. 96 p.
- Arumugam, C.A., Sunderasan, K.V.S., Prasad, A.D, Damodaran, K., Nampoorthi, V.K. (1989). Studies on the extraction and evaluation of raw palm oil for edible use. *Food Science and Technology*, 26, 277-282.
- Assai, A. et al. (2008). Low bioavailability of dietary epoxyxanthophylls in human. *British Journal of Nutrition*, 100 (2): 273-277.
- Atègbo, E.A. (1993). Food and nutrition insecurity in northern Benin: impact on growth performance of children and on year to year nutritional status of adults. *PhD Thesis*. Wageningen university, Netherlands, 150p.
- AVACG. (1982). Biochemical methodology for the assessment of vitamin A status. Report of the International Vitamin A Consultative Group (IVACG). *The nutrition foundation*, Washington D.C, USA 89 p.
- Avallone, S., Tiemore, T.W.E., Mouquet-Rivier, C., & Trèche, S. (2008). Nutritional value of six multi-ingredient sauces from Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis* 21, 553-558.
- Avallone, S., Bohuon, B., Hemery, Y., Trèche, S. (2007). Improvement of the in vitro digestible iron and zinc content of okra (*Hibiscus esculentus* L.) sauce widely consumed in Sahelian Africa. *Journal of Food Science* 72, 153-158.
- Barikmo I, Ouattara F and Oshaug A (2004) Table de composition d'aliments du Mali TACAM, Research series No. 9. Akershus University College, Oslo.
- Beaton, G.H. (1994). Approaches to analysis of dietary data :relationship between planned analyses and choice of methodology. *American Journal of Clinical Nutrition* 59, 1 Suppl., 253S–261S.
- Behnlian, D., Schlemmer, U. (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research* 53, S194-S218.
- Benito, P., Miller, D. (1998). Iron absorption and bioavailability. *Nutrition Research* 18, 581-603.
- Berger, J. (2003). Enrichissement des aliments en micronutriments : Elément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments dans les pays en développement. *Proceedings of the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists*. 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso.

- Bester, D.J.K.K, Csont, T., Szucs, G., Csonka, C., Esterhuyse A.J., Ferdinandy, P. (2010). Dietary red palm oil supplementation reduces myocardial infarct size in an isolated perfused rat heart model. *Lipids in Health and Disease*, 9: 64.
- Black, R.E., Allen, L.H., Bhutta, Z.A., Caulfield, L.E., de Onis, M., Ezzati, M., Mathers, C., Rivera, J. (2008). Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Maternal and Child Undernutrition* 1, Series. *The Lancet* 371, 243–60
- Blaney, S., Beaudry M., Latham M., Thibault, M. (2009). Nutritional status and dietary adequacy in rural communities of a protected area in Gabon. *Public Health Nutrition* 12, 1946-1959.
- Blössner, M., Siyam, A., Borghi, E., de Onis, M., Onyango, A., Yang, H. (2007). WHO Anthro for Personal Computers: software for assessing growth and development of the world's children. Department of Nutrition for Health and Development, World Health Organization: Geneva.
- Bodwell, C.E., Satterlee, L.D, Hackler, L.R. (1980). Protein digestibility of the same protein preparations by human and rat assays and by in vitro enzymic digestion methods. *American Journal of Clinical Nutrition* 33, 677–686.
- Borel, P. (2000). Biodisponibilité des vitamines présentes dans les végétaux supérieurs. *Unité maladies métaboliques et micronutriments*, CRNH d'Auvergne, Centre INRA de Clermont-Ferrand/Theix. <http://www.jle.com/e-docs/00/00/C6/CD/article.md> (Consulté en Novembre 2009)
- Bradbury, J.H., Denton, I.C. (2011). Mild methods of processing cassava leaves to remove cyanogens and conserve key nutrients. *Food Chemistry* 127, 1755-1759.
- Brooks, W.A., Yunus, M., Santosham, M. (2004). Zinc for severe pneumonia in very young children: double-blind placebo-controlled trial. *The Lancet* 363, 1683–88.
- Brown, K.H., Lutter, C.K. (2000). Potential of processed complementary food in the improvement of early childhood nutrition in Latina America. *Nutrition bulletin* n° 21
- Brown, K.H., Wuehler, S.E., Pearson, J.M. (2001). The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. *Food Nutrition Bulletin* 22, 113–25.
- Brown, L., Rimm, E.B., Seddon, J.M., Giovannucci, E.L., Chasan-Taber, L., Spiegelman, D. (1999). A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. *American Journal of Clinical Nutrition* 70, 517-524.
- Brown, M.J., Ferruzzi, M.G., Nguyen, M.L., Cooper, D.A. (2004). Carotenoid bioavailability is higher from salads ingested with full-fat than with fat-reduced salad dressings as measured with electrochemical detection. *American Journal of Clinical Nutrition* 80, 396-403.
- C.I.A. (2011). Benin Economy: overview. Central Intelligence Agency (CIA), *the World FACTBOOK* <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/bn.html> (Consulté en octobre 2011).
- Canfield, L.M., Kaminsky, R.G. (2000). Red palm oil in the maternal diet improves the vitamin A status of lactating mothers and their infants. *Food and Nutrition Bulletin* 21, 144-148.

- Carbonel, I., (1996). Amélioration des bouillies de sevrage préparées à partir d'aliments fermentés au Bénin. *Mémoire pour l'obtention du DESS Nutrition et Alimentation dans les pays en développement*, Univ. Montpellier II, 36 p.
- Castenmiller, J.J., West, C.E. (1998). Bioavailability and bioconversion of carotenoids. *Annual Review of Nutrition* 18,19–38.
- Chandrica, U.G., Basnayake, B.M.L.B., Athukorala, I., Colomagama, P.W.N.M., Goonetilleke, A. (2010). Carotenoid content in vitro bioaccessibility of lutein in some leafy vegetables popular in Sri Lanka. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 56, 203-207.
- Chasan-Taber, L., Willett, W.C., Seddon, J.M., Stampfer, M.J., Rosner, B., Colditz, G.A. (1999). A prospective study of carotenoid and vitamin A intakes and risk of cataract extraction in US women. *American Journal of Clinical Nutrition* 1970, 1509-1916.
- Choo, Y., Ma, A., Basiron, Y. (1993). Red palm oil: a potential source of dietary carotene. *Malaysian Oil Science and Technology* 2, 54-55.
- Choo, Y.M. (1994). Palm oil carotenoids. *Food and Nutrition Bulletin* 15, 130-137.
- Christian, P., West, K. P., Jr., Khatry, S. K., Katz, J., LeClerq, S. C., Kimbrough-Pradhan, E., Dali, S. M. & Shrestha, S. R. (2001a) Vitamin A or carotene supplementation reduces symptoms of illness in pregnant and lactating Nepali women. *Journal of Nutrition*. 130: 2675–2682.
- Christian, P., West, K. P., Jr., Khatry, S. K., LeClerq, S. C., Kimbrough-Pradhan, E., Katz, J. & Shrestha, S. R. (2001b) Maternal night blindness increases risk of infant mortality in the first 6 months of life in Nepal. *Journal of Nutrition*. 131: 1510–1512.
- Christian, P., West, K. P., Jr., Khatry, S. K., Kimbrough-Pradhan, E., LeClerq, S. C., Katz, J., Shrestha, S. R., Dali, S. M. & Sommer, A. (2000) Night blindness during pregnancy and subsequent mortality among women in Nepal: effects of vitamin A and carotene supplementation. *American Journal of Epidemiology*. 152: 542–547.
- Chweya, J.A., Eyzaguirre, P. (1999). The biodiversity of traditional leafy vegetables. Dans : *Biodiversité des légumes-feuilles traditionnels consommés au Bénin*. Bibliothèque nationale, Bénin. 173 p.
- Cottrell, R.C. (1991). Nutritional aspects of palm oil. *American Journal of Clinical Nutrition* 53, 989S-1009S.
- CTA. (2004). Légumes Africains Indigènes : présentation des espèces cultivées. Wuerzburg,. Allemagne : Margraf Publishers, CTA, p. 113–182.
- Daly, T. et al (2010). Carotenoids content of commonly consumed herbs and assessment of their bioaccessibility using an in vitro digestion model. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65 (2):164-169.
- DANA & UNB/FSA/NSA (1991)- Porto Novo. Le système alimentaire et l'état nutritionnel dans 11 sous préfectures rurales du Bénin. Rome. Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA), Université Nationale du Bénin (UNB), Faculté des Sciences Agronomiques

- (FSA), Section Nutrition et Sciences Agro alimentaires(NSA) Ed Litografica Iride Via della Bufalotta, 224-Roma, Italia
- DANA, PILSA. (1999). Enquête Alimentaire et Nutritionnelle dans les zones du Projet d'Intervention Locale pour la Sécurité Alimentaire (PILSA) - Synthèse Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA), Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, Porto-Novo, République du Bénin.
- DANA/UNICEF. 2001. Enquête nationale sur la prévalence des troubles dus à la carence en iode en milieu scolaire primaire au Bénin – Restitution des résultats. Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, Porto Novo, République du Bénin.
- Dansi, A., Adjatin, A., Adoukonou-Sagbadja, H., Adomou, A., Falade, V., Yedomonhan, H., Akpagana, K., De Foucault, B. (2008). Traditional leafy vegetables in Benin: Folk nomenclature, species under threat and domestication Dans: *Biodiversité des légumes-feuilles traditionnels consommés au Bénin*. Bibliothèque nationale, Bénin. p 173.
- de Onis, M., Blossner, M. Borghi, E. (2011). Prevalence and trends of stunting among pre-school children, 1990-2020. *Public Health Nutrition* ,1-7.
- de Pee, S., West, C.E., Permaesih, D., Martuti, S., Hautvast, J.G. (1998). Orange fruit is more effective than dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and beta-carotene in schoolchildren in Indonesia. *American Journal of Clinical Nutrition* 68,1058–1067.
- de Pee, S., West, C.E., Muhilal, K.D., Hautvast, J.G.A.J. (1995). Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark-green leafy vegetables. *The Lancet*; 346: 75-81.
- Delisle, H., Bakari, S., Gevry, G., Picard, C., Ferland, G. (1997). Provitamin A content of traditional green leaves from Niger. *Cahiers Agricultures* 6, 553-560.
- Delisle, H., Zagré, N., Bakari, S., Codjia, P., Zendong, R. (2003). Des solutions alimentaires à la carence en vitamine A - A food-system approach to vitamin A deficiency - Soluciones alimentarias a la carencia de vitamina A. *Food, Nutrition and Agriculture* 32, 40-50.
- Dimitrov, N.V., Meyer, C., Ullrey, D.E., Chenoweth, W., Michelakis, A., Malone, W., Boone, C., Fink, G. (1988). Bioavailability of β -carotene in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 48, 298-304.
- Diouf, M., Diop, M., Lo, C., Drame, K.A., Sene, E., Ba, C.O., Gueye, M., Faye, B. (1999). The biodiversity of traditional leafy vegetable in Senegal. Dans: *Biodiversité des légumes-feuilles traditionnels consommés au Bénin*. Bibliothèque nationale, Bénin. p 173.
- DANA-. Université Nationale du Bénin, Faculté des Sciences Agronomiques, Section Nutrition et Sciences Agro alimentaires. (1991). *Le système alimentaire et l'état nutritionnel dans 11 sous préfectures rurales du Bénin*. Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA) Bénin, Rome. Ed Litografica Iride Via della Bufalotta, 224-Roma, Italia, p.60
- Dissou, M. (1986). La république du Bénin: Milieux naturels, Régions, Economie agricole Régionale. Première Partie. Le bas- Bénin. Université Nationale du Bénin. P174

- Dossa, R.A.M. (2001). Micronutrient supplementation of young stunted children: effect on appetite and growth performance. *PhD Thesis*, Wageningen University. The Netherlands, p150
- Edem, D.O. (2002). Palm oil biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: a review. *Plant Foods for Human Nutrition* 57, 319-341.
- Erdman, J.W., Bierer, J.R., Gugger, T. L. (1993). Absorption and transport of carotenoids. *Annals of New York Academy of Sciences* 691, 76-85.
- Expert Group on Vitamins and Minerals. (2003). Safe Upper Levels for Vitamins and Minerals. Food Standards Agency Ed ISBN 1-904026-11-7, 360 p
- Faladé, Y. V. (2007). Légumes feuilles traditionnels consommés au sud ouest du Bénin : Biodiversité, étude ethnobotanique et conservation in situ. Mémoire de Diplôme d'Ingénieur des Travaux en Aménagement et Protection de l'Environnement (APE). Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), p80.
- FAO (2005). Afrique subsaharienne: urgence alimentaire dans 23 pays - La pandémie de VIH/sida pèse sur la sécurité alimentaire.
<http://www.fao.org/newsroom/fr/news/2005/101796/index.html> (Consulté le 16 octobre 2010)
- FAO (2011) Profil Nutritionnel du Bénin. Dans : *Division de la nutrition et de la protection des consommateurs*, FAO. (Consulté le 08/06/2011) <ftp://ftp.fao.org/ag/agn/nutrition/ncp/ben.pdf>
- FAO, OMS. (1989). Besoins en vitamine A, en fer, en acide folique et en vitamine B12. *Rapport conjoint d'une consultation conjointe FAO/OMS d'experts Collection FAO : Alimentation et Nutrition* N°23, Rome.119 p.
- FAO. (1987). Nutrition humaine en Afrique tropicale. Manuel pour le personnel de santé. Rome, Italie. p.122
- FAO. (2001). Human energy requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome.
- FAO. (2009). L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde : Crises économiques-répercussions et enseignements. Rapport FAO, Italie editor, pp.60.
- FAO/OMS. (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation Technical Report Series, No 935 World Health Organization. 276 p.
- FAO/SMIAR(2005) Situation Alimentaire et Perspectives de Récolte en Afrique Sub-Saharienne - Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture en 2005. (Consulté le 16 octobre 2010) : <http://www.fao.org/docrep/008/J6853f/J6853f00.htm>
- FAO/WHO (1998). Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B12. Report of a joint FAO/WHO, expert consultation. FAO Food and Nutrition Series, n°23. Rome: FAO.
- FAO/WHO (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok. 2nd Ed.

- FAOSTAT (2011) Bénin : Alimentation, Nutrition Et Sécurité Alimentaire.
<http://faostat.fao.org/site/666/default.aspx> (consulté Octobre 2011)
- Food and Nutrition Board. (2002). 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*, 2002.
- Gann, PH, Ma, J., Giovannucci, E., Willett, W., Sacks, F.M., Hennekens, C.H., Stampfer, M.J. (1999). Lower prostate cancer risk in men with elevated plasma lycopene levels: results of a prospective analysis. *Cancer Research* 59, 1225-1230.
- Gaziano, J.M., Hennekens, C.H. (1993). The role of beta-carotene in the prevention of cardiovascular disease. *Annals of the New York Academy of Sciences* 691, 148-655.
- Garrett D.A. et al.(1999). « Development of an in vitro digestion method to assess carotenoid bioavailability from meals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10): 4301-4309.
- GdB, INSAE, PAM, UNICEF et FAO. (2009). *Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN)* – République du Bénin (données de novembre et décembre 2008). Gouvernement du Bénin (GdB, Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (Bénin), Programme Alimentaire Mondial(PAM), Fonds de Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 168 p.
<http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp203247.pdf>
- Gibson RS, Abebe Y, Hambidge KM, Arbide I, Teshome A & Stoecker BJ (2009) Inadequate feeding practices and impaired growth among children from subsistence farming households in Sidama, Southern Ethiopia. *Maternal and Child Nutrition* 5, 260-275.
- Gockowski, J., Mbazo'o, J., Mbah, G., Moulende, T.F., (2003). African traditional leafy vegetables and urban and peri-urban poor. In KPEKI B. S.In: Ethnicité, taxonomie locale et distribution géographique de quatre espèces de légumes-feuilles traditionnels au Bénin : *Acemella uliginosa*, *ceratotheca sesamoides*, *Justicia tenella* et *Sesamum radiatum*. Thèse d'Ingénieur Agronome, Abomey-Calavi, Bénin. p 87.
- Godin, E. (2006) Impact et enjeux économiques, sociaux, sanitaires et de développement de l'implantation de la culture de spiruline au Burkina Faso. In: *Mémoire de maîtrise d'anthropologie*, Université Paris 8, Paris, France. 89 p.
- Goldberg, J., Flowerdew, G.E., Smith, E., Brody, J., Tso, M. (1988). Factors associated with age-related macular degeneration. An analysis of data from the first National Health and Nutrition Examination Survey. *American Journal of Epidemiology*, 128 : 700-110.
- Golden, M.H.N. (1991). The nature of nutritional deficiency in relation to growth failure and poverty. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement.* 374, 95-110.
- Greffeuille, V., Mouquet-Rivier, C., Icard-Vernière, C., Avallone, S., Ouattara, L., Hounhouigan, J., Kayodé, P., Amoussa, W., Hama, B.F. (2010). Traditional recipes of millet-, sorghum- and maize-based dishes and related sauces frequently consumed by young children in Burkina Faso and Benin. ISBN-number: 978-90-8585-903-3. Wageningen University Publisher, The Netherlands, 136p.

- Grubben, G.J.H., Denton, O.A.(2004). Plant resources of tropical Africa. 2. Vegetables. *PROTA*, Wageningen, Netherlands. 668 pp
- Gupta, K., Barat, G.K., Wagle, D.S. Chawla, H.K.L. (1989). Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. *Food Chemistry* 31, 105-116.
- Guyot, J.P., Mouquet-Rivier, C., Verniere, C. (2010). La nutrition, un défi pour la planète: Amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments. Dans : IRD, SUDS. Les dossiers thématiques de l'IRD. (Consulté en décembre 2010) <http://www.mpl.ird.fr/suds-en-igne/nutrition/pdf/amelioration.pdf>
- Gwanfongbe, P.N., Chambers, E.I., Martin, G., Fotso, M., Smith, M.F. (1991). Comparison of the acceptability of traditional Cameroon sauces made with addition of oil seeds to improve nutritional value. *Ecology of Food and Nutrition* 25, 323-332.
- Hallberg, L., Hulthen, L. (2002). Perspectives on iron absorption. *Blood Cells Molecules and Diseases* 29, 562-573.
- Hankinson, S.E., Stampfer, M.J., Seddon, J.M. (1992). Nutrient intake and cataract extraction in women: a prospective study. *Biomedical Journal* 305, 335-339.
- Hatloy, A., Torheim, L. E., Oshaug, A. (1998) Food variety - a good indicator of nutritional adequacy of the diet? A case study from an urban area in Mali, West Africa. *European Journal of Clinical Nutrition* 52: 891-898
- Hedrén, E., Diaz, V., Svanberg, U. (2002). Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method. *European Journal of Clinical Nutrition* 56, 425–430.
- Hedrén, E., Mulokozi G., Svanberg U. (2002). In vitro accessibility of carotenes from green leafy vegetables cooked with sunflower oil or red palm oil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53, 445-453
- Hell K, Cardwell KF, Setamou M, Poehling HM (2000). The influence of storage practices on aflatoxin contamination in maize in four agroecological zones of Benin, West Africa. *Journal of Stored Products Research*. 36: 365-382.
- Hennekens, C. H., Buring, U. E., & Peto, R. (1994). Antioxidant vitamins-benefits not yet proved. *The New England Journal of Medicine*, 330:1080–1.
- Honfo, F.G., Hell, K, Akissoe, N., Dossa, R., Hounhouigan, J.D. (2010). *African Journal of Food Science* Vol. 4(4), pp. 184-191.
- Hornero-Méndez, D., Mnguez-Mosquera, M.M. (2007). Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Humphrey, J. H., Agoestina, T., Wu, L., Usman, A., Nurachim, M., Subardja, D., Hidayat, S., Tielsch, J., West, K. P., Jr. & Sommer, A. (1996) Impact of neonatal vitamin A supplementation on infant morbidity and mortality. *J. Pediatr.* 128: 489–496.
- Hounhouigan, D. J. (2003) La valorisation des céréales locales pour les marchés urbains en Afrique de l'Ouest: les atouts, contraintes et perspectives. In *Food based approaches for a healthy*

- nutrition in West Africa; Proceedings of the 2nd international workshop*. Ouagadougou: University of Ouagadougou, Ouagadougou; Institute for Development Research, Montpellier; Wageningen University, Wageningen; Food and Agriculture Organization, Rome.
- Huo, T., Ferruzzi, M.G., Schwartz, S.J., Failla, M.L. (2007). Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 : 8950 –8957.
- Huo, T., Ferruzzi, M.G., Schwartz, S.J., Failla, M.L. (2007). Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8950-8957.
- Hurrell, R. (2002). Bioavailability – a time for reflection. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 72 (1), 2002, 5.
- Idris, N.A., Samsuddin S. (1993). Developments in food uses of palm oil: a brief review. *Palmas*. 15(13): 66-69.
- IM . (2011). Vitamine A : l'étendue du problème. *Initiative pour les micronutriments (IM), solutions à la faim inapparente*. <http://www.micronutrient.org/Francais/view.asp?x=577> (consulté en Octobre 2011)
- INSAE et Macro International Inc. (2007). Enquête Démographique et de Santé Bénin 2006 (EDSB-III). Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE), Bénin et Macro International Inc. Calverton, Maryland, USA. (disponible à http://www.measuredhs.com/pubs/pub_details.cfm?ID=733&ctry_id=52&SrchTp=ctry&flag=sur&cn=Benin)
- INSAE et ORC Macro. 2002. Enquête Démographique et de Santé Bénin 2001 (EDSB-II). Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Bénin et ORC Macro, Calverton, Maryland, USA. (disponible à http://www.measuredhs.com/pubs/pub_details.cfm?ID=366&ctry_id=52&SrchTp=ctry&flag=sur&cn=Benin)
- INSAE. 2008. Tableau de bord social 2007. Profils socio-économiques et indicateurs de développement. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique. Ministère de la Prospective du Développement et de l'Evaluation de l'Action Publique. Cotonou.
- Institute of Medicine (IOM). (2001). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. *Washington: DC, National Academy Press*, 2001.
- Isong, E.U. (1988). Biochemical and Nutritional studies on rat fed thermally oxidized palm oil (*Elaeis guineensis*). *PhD Thesis*, University of Calabar, Nigeria.
- IZiNCG. (2004). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) .*Food Nutrition Bulletin*; 25: S130–S62.
- Jacques, P.F., Chylack, L.T., McGandy, R.B., SC, H. (1988). Antioxidant status in persons with and without senile cataract. *Archives of Ophthalmology*. 106:337–40.

- Kamonpatana, K., Chitchumroonchokchai, C., Harrison, E.H., Failla, M. (2007). Unsaturated Fatty Acids promote carotenoid bioavailability *in vitro*. The Ohio State University.
- Kawashima, L.M., Soares, L.M.V. (2003). Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 605-611.
- Kayodé, A. P. P., Adégbidi, A., Linnemann, A. R., Nout, M. J. R., and Hounhouigan, D. J. (2005) Quality of farmer's varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecology of Food and Nutrition* 44, 271-294.
- Kennedy, G., Nantel, G., Shetty, P. (2003). The scourge of "hidden hunger": global dimensions of micronutrient deficiencies. *Food, Nutrition and Agriculture*. 32 : 8-16.
- Kobawila, S.C., Louembe, D., Keleke ,S., Hounhouigan, J., Amba, C. (2005). Reduction of the cyanide content during fermentation of cassava roots and leaves to produce bikedi and ntoba mbodi, two food products from Congo. *In African Journal of Biotechnology*. Vol. 4 (7) 689-696.
- Kopas-Lane, L.-M., Warthesen, J.J. (1995). Carotenoid stability in raw spinach and carrots during cold storage. *J. Food Sci.* 60 : 773 –776.
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A., Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT - Food Science and Technology* 44: 1703-1710.
- Kritchevsky, D., Tepper, S.A., Czarnecki, S.K., Sundram, K. (2002). Red palm oil in experimental atherosclerosis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(7), S433-437.
- Latham, M. (2001). La Nutrition dans les pays en voie de développement. Rome, Italie: Organisation des nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. *Collection FAO: Alimentation et nutrition*. p.515
- Le Potentiel. (2005). Des légumes pour lutter contre le déficit en vitamine A. Publié en ligne dans l'édition 3837 du Mercredi 27 Septembre 2006. (Consulté en Décembre 2010) <http://www.lepotentiel.com/>
- Lestienne, I. (2004). Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et des conditions d'amélioration dans les aliments de complément. *Thèse de doctorat à l'Université de Montpellier II*. France. p.229
- Lietz, G. Henry., C. J. K., Mulokozi, J., Mugyabuso, J. (2000). Use of red palm oil for the promotion of maternal vitamin A status. *Food and Nutrition Bulletin*, 21: 215-218. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (48), 1703-1710.
- Lin, Y. J., Chien, Y. W., Yang, S. H., & Cheng, H. H. (2007). Fruits and stir-fried vegetables increase plasma carotenoids in young adults. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16: 616-623.
- Lukmandji, Z., Hertzmark, E., Mlingi, N., Assey, V., Ndossi, G., Fawazi, W. (2008). Tanzania food composition tables first edition. Dar es Salaam Tanzania. p 272.
- Mahapatra, S., Manorama, R. (1997). The protective effect of red palm oil in comparison with massive vitamin A dose in combating vitamin A deficiency in Orissa, India. *Asia Pacific Journal of Clinical. Nutrition*. 6 : 246-250.

- Maiani, G., Caston, M. J. P., Catasta, G., Toti, E., Cambrodon, I. G., Bysted, A., Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Bohm, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., & Schlemmer, U. (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53: S194-S218.
- Maire, B., Delpeuch, F. (2004). Indicateurs de nutrition pour le développement. *Service de la planification, de l'analyse et de l'évaluation nutritionnelles Division de l'alimentation et de la nutrition Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*. p.85
- Manorama, R., Rukmini, C. (1991a). Effect of processing on β -carotene retention in crude palm oil and its products. *Food Chemistry*, 42 : 253-264.
- Manorama, R., Rukmini, C. (1991b). Nutritional evaluation of crude palm oil in rats. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 1031S-1033S.
- Mark L. Failla and Chureeporn Chitchumroonchokchai, (2005). In vitro models as tools for screening the relative bioavailabilities of provitamin A carotenoids in foods. HarvestPlus Technical Monograph. Series3. P.36.
- Martorell R (1995) Promoting healthy growth: rationale and benefits. In Child Growth and Nutrition in Developing Countries: Priorities for Action, pp. 15–31 [P Pinstrup-Andersen, D Pelletier and H Alderman, editors]. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Mason, J.B., Musgrove, P. Habicht, J.P. (2003). At least one-third of poor countries' disease burden is due to malnutrition. Bethesda, MD: Disease Control Priorities Project, Fogarty International Center, NIH; DCPWP Working paper no.1, 1-19.
- Maundu P., Njiro E., Chweya J.A., Imungi J.K., & Seme E.N., (1999). The Biodiversity of traditional leafy vegetable – Kenya. Dans : Biodiversité des légumes-feuilles traditionnels consommés au Bénin. Bibliothèque nationale, Bénin. p 173.
- Maundu, P. (2005). Les légumes-feuilles traditionnels- version électronique. (Consulté en Décembre 2010). <http://tilz.tearfund.org/Francais/Pas+%c3%a0+Pas+6170/Pas+%c3%a0+Pas+65/Les+l%c3%a9gumes-feuilles+traditionnels.htm>
- Maundu, P. M., Kabuye, C. H. S., Chweya, J. A. (1993). Proceedings of the Indigenous Food Plants Workshop. National Museums of Kenya, Nairobi.
- Maundu, P., Achigan-Dako, G.E., Morimoto Y., (2009). Biodiversity of African vegetables. Dans : Traditional vegetables in benin : Diversity, distribution, ecology, agronomy and utilisation.
- Mayer-Miebach, E., Spiesz, W.E.L. (2003). Influence of cold storage and blanching on the carotenoid content of Kintoki carrots. *Journal of Food Engineering*, 56, 211-213.
- MDG report (2010). Objectifs du Millénaire pour le développement (MDG): Égalité des sexes et autonomisation des femmes
<http://unstats.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2010/MDG%20Report%202010%20-%20Gender%20Brochure%20Fr.pdf> (consulté le 07 octobre 2011)

- MSPB , USAID-Bénin (2004). Rapport de l'atelier Profils de la situation nutritionnelle et plaidoyer pour la nutrition au Bénin. Ministère de la Santé Publique du Bénin (MSPB)19-30 janvier 2004, Cotonou.
- Mills, J.P. et al(2009). Sweet potato beta carotene bioefficacy is enhanced by dietary fat and not reduced by soluble fiber intake in Mongolian gerbils. *Journal of Nutrition*, 139 (1): 44-50.
- Ministère de la Santé Publique du Bénin (MSPB), USAID-Bénin (2004). Rapport de l'atelier Profils de la situation nutritionnelle et plaidoyer pour la nutrition au Bénin. 19-30 janvier 2004, Cotonou.
- Mitchikpè, C.E., Atègbo, E.A.D., Fanou, A.J., , Nago, C.M. (2002). Consommation alimentaire des ménages urbains au Bénin Alimentation, Savoir-faire et Innovations en Agroalimentaire en Afrique de l'Ouest. CERNA, CIRAD. 45p.
- Mosha, T. C., Pace, R. D., Adeyele, S., Laswai, H. S., & Mtebe, K. (1997). Effect of traditional processing practices on the content of total carotenoid, β -carotene, α -carotene and vitamin A activity of selected Tanzanian vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition* 50: 189-201.
- Moursi, M.M., Arimond, M., Dewey, K.G., Treche, S., Ruel, M.T., et Delpéuch, F. (2009). Dietary Diversity Is a Good Predictor of the Micronutrient Density of the Diet of 6- to 23-Month-Old Children in Madagascar. *The Journal of Nutrition*. 138: 2448–453,
- Moustier, P., De Bon, H. (2005). Fonction d'alimentation et multifonctionnalité des agricultures périurbaines des villes du Sud. In KPEKI B. S., 2008. Ethnicité, taxonomie locale et distribution géographique de quatre espèces de légumes-feuilles traditionnels au Bénin : *Acmella uliginosa*, *ceratotheca sesamoides*, *Justicia tenella* et *Sesamum radiatum*. *Thèse d'Ingénieur Agronome, Abomey-Calavi, Bénin*. p 87.
- MSPB , UNICEF (2000) Enquête nationale sur la carence en vitamine A et la disponibilité en sel iodé dans les ménages. *Rapport de l'enquête familiale*. Cotonou: Ministère de la Santé Publique/Direction de la Santé Familiale, République du Bénin (MSPB). Fond des Nations Unies pour l'Enfance. P.64
- MSPB, USAID-Bénin. (2004). Rapport de l'atelier Profils de la situation nutritionnelle et plaidoyer pour la nutrition au Bénin. Cotonou: *Ministère de la Santé Publique du Bénin*.P.78
- Mulokozi, G, Hedrén, E, & Svanberg, U. (2004). In vitro accessibility and intake of β -carotene from cooked green leafy vegetables and their estimated contribution to vitamin A requirements. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59: 1-9.
- Muoki, P. N., Makokha, A. O., Onyango, C. A., & Ojijo, N. K. O. (2009). Potential contribution of mangoes to reduction of vitamin A deficiency in Kenya. *Ecology of Food and Nutrition*, 48: 482-498.
- Murphy, S.P. (2002). Dietary Reference Intakes for the US and Canada: Update on implications for nutrient databases. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15: 411-417.
- Nafir-Zenati, S., Gallon, G. & Favier, J.-C. (1992) Effet de la cuisson sur la teneur en minéraux des épinards. Journées Internationales du GERM, Balaruc les Bains, France.

- Nago, M. C., et Hounhouigan, D. J. (1998). La transformation alimentaire traditionnelle des céréales au Bénin: Les publications du CERNA (1), FSA/UAC
- Nana, C.P., Brouwer I.D., Traoré, A.S. (2003). Consommation alimentaire des enfants de 6 à 36 mois en milieu rural en fonction de la disponibilité des aliments riches en vitamine A. In *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest, Actes du second atelier International tenu à Ouagadougou, Burkina Faso* (23-28 novembre 2003). Presses Universitaires de Ouagadougou, 2004 : 317-327.
- Ndjouenkeu, R., Ngassoum, M. (2002). Etude comparative de la valeur en friture de quelques huiles végétales (Comparative study of frying behaviour of some vegetable oils). *Journal of Food Engineering*, 52 : 121-125.
- Nestel, P., Nalubola, R. (2003). Red Palm Oil Is a Feasible and Effective Alternative Source of Dietary Vitamin A. Micronutrient Global Leadership, US. (Consulté le 8 Août 2011) <http://www.palmoilworld.org/nestel.pdf>
- Nève, J. (2002). Modulation de l'apport alimentaire en anti-oxydants. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16 : 292–300.
- Ng, J.H., Nesaretnam, K., Reimann, K., Lai, L.C. (2000). Effect of retinoic acid and palm oil carotenoids on oestrone sulphotase and oestradiol-17- β -hydroxysteroid dehydrogenase activities in MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cell lines. *International Journal of Cancer*, 88, 135-138.
- Okiy, D.A., Oke, O.L. (1984). A study of the effects of salt and pepper on palm oil used as a frying medium. *Food Chemistry*, 14(14): 251-262.
- OMS. (1995). Utilisation et Interprétation de l'Anthropométrie. Séries de rapport technique n° 854. *Rapport d'un Comité OMS d'experts*, 241-291. Genève.
- Orech, F.O., Akenga, T., Ochora, J., Friis, H., Aagaard-Hansen, J. (2005). Potential toxicity of some traditional leafy vegetables consumed in Nyang'oma division, Western Kenya. *African Journal of Food and Nutritional Sciences*, vol 5, No1.
- Osim, E.E., Owu, D.U., Etta, K.M. (1996). Arterial pressure and lipid profile in rats following chronic ingestion of palm oil diets. *African Journal of Medicine and Medical Sciences*, 25 (24): 335-340.
- Owu, D.U., Osim, E.E., Orie, N.N. (1997). Altered responses of isolated aortic smooth muscle following chronic ingestion of palm oil diets in rats. *African Journal of Medicine and Medical Sciences*, 26:83-86.
- Pekkarinen M (1970) Methodology in the collection of food consumption data. *World Review of Nutrition & Dietetics* 12, 145–171.
- Pepping, F., Kavishe, F.P., Hacknitz, E.A., West, C. (1988). Prevalence of xerophthalmia in relation to nutrition and general health in preschool age children in three regions of Tanzania. *Acta Paediatrica Scandinavica*. 77, 895-906.
- PNUD (2010). Listes des pays par Indice de développement Humain. (Consulté en Octobre 2011) http://fr.wikipedia.org/wiki/Classement_IDH_des_pays#IDH_2010

- Prakash, D., Pal, M. (1991). Nutritional and anti-nutritional composition of vegetable and grain amaranth leaves. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 57, 573-583.
- Prodanov, M., Sierra, I., Vidal-Valverde, C. (2004). Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food Chemistry*, 84, 271-277
- Qureshi, A.A., Qureshi, N., Wright, J.J., Shen, Z., Kramer, G., Gapor, A. (1991). Lowering the serum cholesterol in hypercholesterolemic humans by tocotrienols (palmvitee). *American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 1021S-1026S.
- Rajanaidu, N., Kushairi, A., Rafii, M.Y., Din, M.A., Maizura, I., Isa, Z.A., Jalani, B.S. (2006). Oil genetic resources and their utilisation – a review. International Symposium 'Oil palm genetic resources and utilization', 8-10 June, MPOB, Kuala Lumpur.
- Randrianatoandro, V.A., Avallone, S., Picq, C., Ralison, C., Trèche, S. (2010). Recipes and nutritional value of dishes prepared from green-leafy vegetables in an urban district of Antananarivo (Madagascar). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(4): 404–416. P 13.
- Reboul, E., Borel, P., Mikail, C., Abou, L., Charbonnier, M., Caris-Veyrat, C., Goupy, P., Portugal, H., Lairon, D., Amiot, M.J. (2005). Enrichment of tomato paste with 6% tomato peel increases lycopene and beta-carotene bioavailability in men. *The Journal of Nutrition*, 135, 790-794.
- Ribaya-Mercado, J. D., Maramag, C. C., Tengco, L. W., Dolnikowski, G. G., Blumberg, J. B., Solon, F. S. (2007). Carotene-rich plant foods ingested with minimal dietary fat enhance the total-body vitamin A pool size in Filipino schoolchildren as assessed by stable-isotope-dilution methodology. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85:1041–9.
- Ribeiro, H.S., Guerrero, J.M.M., Briviba, K., Rechkemmer, G. (2006). Cellular uptake of carotenoid loaded oil-in-water emulsions in colon carcinoma cells in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006, 54 : 9366–9369.
- Riboli, E., Norat, T. (2003). Epidemiologic evidence of the protective effect of fruit and vegetables on cancer risk. *American Journal for Clinical Nutrition*, 78, (Supl. 73), 559-569.
- Rice, A., Burns, J. (2010). Moving from Efficacy to Effectiveness: Red Palm Oil's Role in *Journal of the American College of Nutrition*, 29 : 302S-313S.
- Rodríguez, E.B., Rodríguez-Amaya, D.B. (2007). Formation of apocarotenals and epoxycarotenoids from β -carotene by chemical reactions and by autoxidation in model systems and processed foods. *Food Chemistry*, 101: 563-572
- Rodríguez-Amaya, D.B. (1997). Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared processed, and stored foods. *Departamento de Ciências de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas C.P. 6121, 13083-970 Campinas, SP., Brazil*. p.93.
- Ryan, L. et al.(2008). Micellarisation of carotenoids from raw and cooked vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(3): 127-133.
- Rukmini, C. (1994). Red palm oil to combat vitamin A deficiency in developing countries. *Food and Nutrition Bulletin*, 15:126-129.

- Salle, B. (2009) L'alimentation du nouveau né et du nourrisson. *Bulletin Académie nationale de médecine*, 2009, Tome 193, No 2,, 431-446.
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., Tan, Y.A. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39, 507-558.
- Sawadogo, S. (2003). Les pratiques d'alimentation du nourrisson en zone rurale au Burkina Faso (Province de la Gnagna) : description et conséquences nutritionnelles. Burkina FASO.p.12
- Scholte B. (2002). Komeet 4.0 User's manual. B. Ware Nutrition software, Arnhem.
- Scholtz, S.C., Pieters, M., Oosthuizen, W., Jerling, J.C., Bosman, M.J., Vorster, H.H. (2004). The effect of red palm olein and refined palm olein on lipids and haemostatic factors in hyperfibrinogenaemic subjects. *Thromb Research*, 113(111):113-125.
- Seddon, J.M., Ajani, U.A., Sperduto, R.D. (1994). Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group. *Journal of the American Medical Association*, 272:1413-1420.
- SFVB. (2006). La vitamine A. Société Francophone Vitamines et Biofacteurs-SFVB.(Consulté en Décembre 2010). <http://www.sfvb.org/pages/vitaminea.htm>
- Shetty, P.S., JAMES, W.P.T. (1993). Body mass index: a measure of chronic energy deficiency in adults. *FAO Food and Nutrition Paper* 56, Rome.
- Shukla, S, Bhargava, A. Chatterjee, J., Srivastava, N., Singh S.P. (2006). Mineral Profile and Variability in Vegetable Amaranth (*Amaranthus tricolor*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 61, 23-28.
- Shukla, S., Pandey, V., Pachauri, G., Dixit, B.S., Banerji, R., Singh, S.P. (2003). Nutritional contents of different foliage cuttings of vegetable amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1-8.
- Shukla, S., Singh, S.P. (2000). Studies on genetic parameters in vegetable amaranth. *Journal of Genetics and Breeding*, 54, 133-135.
- Simpore, J., Kaboré, F., Zongo, F., Dansou, D., Bere, A., Pignatelli, S., Biondi, D., Ruberto, G. & Musumeci, S. (2006) Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spiruline and MISOLA. *Nutrition Journal*, 5, 3.
- Snedecor GW, Cochran WG (1989) *Statistical methods*, 8th edition. Iowa State University Press. USA. p 503.
- Solomons, N.W., Orozco, M. (2003). Alleviation of vitamin A deficiency with palm fruit and its products. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12 (3) : 373-384.
- Sommer, A, West, K.P., Olson, J.A., Ross, C.A. (1996). *Vitamin A deficiency: health, survival, and vision*. New York: Oxford University Press.
- Sommer, A., & West, K. P. (1996). *Vitamin A Deficiency: health, survival, and vision*. Oxford University Press New York, pp 100-116.

- Stadlmayr, B., Charrondiere, U.R., Addy, P, Samb B., Enujiugha VN, Bayili RG, Fagbohoun EG, Smith IF, Thiam I, Burlingame B (2010) Composition of Selected Foods from West Africa. FAO, Rome, Italy. p 43.
- Stahl, W., Sies, H., Sundquist, A.R. (1994). Role of carotenoids in antioxidant defense. Dans : Vitamin A in Health and Disease,(ed Blomhoff R, Marcel Dekker), New York 275-287 pp.
- Suskind, D., Murthy, K.K., Suskind, R.M. (1990). The malnourished child: an overview. Dans: Suskind R.M., Lewinter-Suskind L. (eds.). The malnourished child. Nestlé Nutrition Workshop Series, vol. 19. Vevey: Nestec; New York: Raven Press, p.1-20.
- Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91: 1468S-73S.
- Tanumihardjo, S.A. (2002). Factors influencing the conversion of carotenoids to retinol: Bioavailability to bioconversion to bioefficacy. *International Journal for Vitamin and Nutrition research*, 72 (1):40-45.
- Tanumihardjo, S, A. (2011) Vitamin A: biomarkers of nutrition for development. *American Journal of Clinical Nutrition* 94, 658s-665s.
- Taungbodhitham, A.K., Jones, G.P., Wahlqvist, M.L., Briggs, D.R. (1998). Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 63:577-584.
- Thakkar, S.K., Huo, T.Y., Maziya-Dixon, B., Failla, M.L. (2009). Impact of Style of Processing on Retention and Bioaccessibility of beta-Carotene in Cassava (*Manihot esculanta*, Crantz). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 : 1344-1348.
- Thakkar, S.K., Maziya-Dixon, B., Dixon, A.G., Failla, M.L. (2007). Beta-carotene micellarization during in vitro digestion and uptake by Caco-2 cells is directly proportional to beta-carotene content in different genotypes of cassava. *Journal of Clinical Nutrition*, 137 : 2229-2233.
- Thompson, F.E., Byers, T. (1994). Dietary assessment resource manual. *The Journal of Nutrition* 124, 11 Supplement., 2245S–2317S.
- Tielsch, J. M., Rahmathullah, L., Thulasiraj, R. D., Katz, J., Coles, C. & Selvaraj. (2001) Impact of vitamin A supplementation to newborns on early infant mortality: a community-based, randomized trial in South India. XX IVACG meeting, Hanoi, Vietnam.
- Toreilles, J-C. (1991). Les légumes dans la consommation et les préparations alimentaires des ménages brazzavillois. Rapport CIRAD-IRAT, Montpellier, 36 p. In Kahane R., Temple L., Brat P., De Bon H., 2005. Les légumes-feuilles dans des pays tropicaux : Diversité, richesse économique et valeur santé dans un contexte très fragile. CIRAD, Montpellier p 9.
- Treche, S., De Benoist, B., Benbouzid, D., Delpeuch, F. (1995). L'alimentation de complément du jeune enfant. *ORSTOM*, P 325-331.
- Tumuhimbise, G.A. et al. (2009). Microstructure and in vitro β -carotene bioaccessibility of heat processed orange fleshed sweet potato. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64 (4): 312-318.

- Tyssandier, V. et al.(2001). Main factors governing the transfer of carotenoids from emulsion lipid droplets to micelles. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1533(3): 285-292.
- UNICEF (1998) The State of the World's Children. New York: UNICEF.
- UNICEF. (2004). La situation des enfants dans le monde. Les filles, l'éducation et le développement. UNICEF, pp147.
- UNICEF et Gouvernement de la République du Bénin (2008) Plan d'Action du Programme de Pays 2009 – 2013. Fonds des Nations Unies pour l'Enfance. Cotonou, Bénin.
- UNICEF/WHO (2008). Indicators for assessing infant and young child feeding practices. Part 1, definition. Conclusions of a consensus meeting held 6–8 November 2007 in Washington. DC, USA.
- UNICEF, 2009. Suivre les progrès dans le monde de la nutrition de l'enfant et de la mère : une priorité en matière de survie et de développement. New York, USA. p-14 & 119.
- UNICEF. (2011). La situation des enfants dans le monde. *L'adolescence, l'âge de tous les possibles*. UNICEF, pp138.
- van het Hof K. H, West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2000). Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 504: 503-506.
- van Poppel, G., Goldbohm, G. (1995). Epidemiologic evidence for beta-carotene and cancer prevention. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62 : 1393S-1402S.
- Van Soest, P. J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of Association Office of Analysis Chemistry* 46, 829-835.
- van Stuijvenberg, M.E., Benadé, A.J.S. (2000). South African experience with the use of red palm oil to improve the vitamin A status of primary schoolchildren. *Food and Nutrition. Bulletin*, 21 : 212-214.
- Veda, S., Kalpana, P. Krishnapura, S. (2010). Enhanced bioaccessibility of β -carotene from yellow-orange vegetables and green leafy vegetables by domestic heat processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 : 2201-2207.
- Veda, S., Kamath, A., Platel, K., Begum, K., Srinivasan, K. (2006). Determination of bioaccessibility of β -carotene in vegetables by in vitro method. *Molecular nutrition & food research*, vol. 50, n°11, pp. 1047-1052 (Consulté en Décembre 2010). <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=18277219>.
- Victora, C.G., de Onis, M & Hallal P.C. (2010). Worldwide timing of growth faltering: revisiting implications for interventions using the World Health Organization growth standards. *Pediatrics* 125, e473–e480.
- Vigean, P. (2011). Huile de palme et de palmiste: Que savons-nous sur l'huile de palme. (Consulté Août 2001) <http://www.supertoinette.com/fiche-cuisine/343/huile-de-palme-et-de-palmiste.html>.

- Walker, C., F., Black, R., E. (2004) Zinc and the risk for infectious disease. *Annual Review of Nutrition*; 24: 255–75.
- Waterlow, J.C. (1994) Introduction. Causes and mechanisms of linear growth retardation (stunting). *European Journal of Clinical Nutrition*. 48,Suppl. 1, S1–S4
- Wergeland, A., Bester, D.J., Sishi, B.J.N., Engelbrecht, A.M., Jonassen, A.K., Van Rooyen, J. (2011). Dietary red palm oil protects the heart against the cytotoxic effects of anthracycline. *Cell Biochemistry and Function*, 29 : 356-364.
- West, C.E. et Castenmiller, J.J.J. M.(1998). Quantification of the SLAMENGHI factors for carotenoid bioavailability and bioconversion. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 68(6) 371-377.
- West, K. P. (2002). Extent of vitamin A deficiency among preschool children and women of reproductive age. *Journal of Nutrition*, 132: 2857S-2866S
- West, K. P. (2003). Vitamin A deficiency disorders in children and women. *Food and Nutrition Bulletin*, 24:S78-90.
- Westphal, E.; Embrechts, J.; Ferwerda, J. D., Van Gils-Meeus, H. A. E., Mustsaers, H. J. W., Westphal-Stevels, J. M. C. (1985). *Les cultures potagères. Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun*, p.321-463.
- WHO (1995). Physical Status: The Use and Interpretation of Anthropometry: Report of a WHO Expert Committee. World Health Organization: Geneva.
- WHO (1998). Complementary Feeding of Young Children in Developing Countries: A Review of Current Scientific knowledge. World Health Organization: Geneva.
- WHO/IRD (2001). Nutrition, Santé et Développement: Produits riches en carotènes. CD-Rom. WHO/NHD/01.6, AFR/NHD/01.01
- WHO/UNICEF (2002). Global strategy for infant and young child feeding. *Geneva: World Health Organisation (WHO)*.
- WHO (2004). Anthropometry Training Video: The WHO Multicentre Growth Reference Study. World Health Organization: Geneva.
- WHO Multicentre Growth Reference Study Group (2006). WHO child growth standards based on length/height, weight and age. *Acta Paediatrica Supplement* 450, 76–85.
- WHO (2009). Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. WHO Global Database on Vitamin A Deficiency. Geneva, World Health Organization, 2009. (Consulté le 28/07/2011) http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241598019_eng.pdf
- WHO (2009). Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. *WHO Global Database on Vitamin A Deficiency. Geneva: World Health Organization, 2009.*
- Willett, W. (1998). Nature of variation in diet. In *Nutritional Epidemiology*, 2nd ed., pp. 33–49. New York: Oxford University Press.

- Yonekura, L. et A. Nagao(2009). Soluble fibers inhibit carotenoid micellization in vitro and uptake by caco-2 Cells. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 73(1):196-199.
- You D., Wardlaw, T., Salama P., Jones G. (2010). Levels and trends in under-5 mortality, 1990–2008. *The Lancet*; 375: 100–03.
- You, C.S., Parker, R.S., J.E., S. (2002). Bioavailability and vitamin A value of carotenes from red palm oil assessed by an extrinsic isotope reference method. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 11 : (Suppl 7):S438-442.
- Zagré, N.M., Delpuech, F., Traissac, P., Delisle, H. (2003). Red palm oil as a source of vitamin A for mothers and children : impact of a pilot project in Burkina Faso. *Public Health Nutrition*, 6(8) : 733-742.
- Zeba, A.N., Prével, Y.M., Somé, I.T., Delisle, H.F. (2006). The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso. *Nutrition Journal*, 5 17.
- Zhang, X., Chen, K., Ping, Q., Liu, Y.X., and Li, T.Y. (2010). Effect of biscuits fortified with different doses of vitamin A on indices of vitamin A status, haemoglobin and physical growth levels of pre-school children in Chongqing. *Public Health Nutrition*, 13(9) : 1462-1471.

ANNEXES

ANNEXE 1

(Annexes du chapitre 1. Synthèse bibliographique)

Annexe 1.1

Tableau 1.1. Indicateurs généraux et nutritionnels de la situation au Bénin de 1999 à 2008 (FAO 2011)

Indicateurs nutritionnels			Année
Besoins énergétiques			
Besoins énergétiques de la population	2068	kcal per capita/jour	2005
Disponibilités alimentaires			
Disponibilités Énergétiques Alimentaires (DEA)	2315	kcal per capita/jour	2005-2007
Prévalence de sous-alimentation	OMD 1	12 %	2005-2007
Part des protéines dans les DEA		10 %	2005-2007
Part des lipides dans les DEA		19 %	2005-2007
Indice de diversification alimentaire		29 %	2005-2007
Consommation alimentaire			
Apport énergétique moyen (par tête ou par adulte)		n.d.	
Part des protéines dans l'apport énergétique		n.d.	
Part des lipides dans l'apport énergétique		n.d.	
Alimentation des enfants en bas âge			
	Age		
Taux d'allaitement maternel exclusif	<6 mois	43 %	2006
Taux d'alimentation complémentaire en temps opportun	6-9 mois	72 %	2006
Taux d'alimentation au biberon	0-11 mois	8 %	2006
Taux de poursuite de l'allaitement maternel à 2 ans		57 %	2006
Anthropométrie nutritionnelle			
Prévalence de retard de croissance chez les enfants de 6-59 mois*		37 %	2008
Prévalence de maigreur chez les enfants de 6-59 mois*		5 %	2008
Prévalence d'insuffisance pondérale chez les enfants de 6-59 mois*	OMD 1	17 %	2008
Pourcentage de femmes ayant un IMC<18,5 kg/m ²		9 %	2008
Carences en micronutriments			
Prévalence de goître chez les enfants d'âge scolaire (6-15 ans)		4 %	2001
Pourcentage de ménages consommant du sel adéquatement iodé		67 %	2008
Prévalence de carence sub-clinique en vitamine A chez les enfants d'âge préscolaire		66 %	1999
Couverture de la supplémentation en vitamine A chez les enfants		61 %	2006
Couverture de la supplémentation en vitamine A chez les mères		41 %	2006
Prévalence de l'anémie chez les femmes		61 %	2006
Couverture de la supplémentation en fer chez les femmes enceintes		80 %	2006
Indicateurs généraux			Année
Population			
Population totale	7,868	millions	2005
Population rurale	60	%	2005
Population de moins de 15 ans	44	%	2005
Taux annuel de croissance de la population	3,34	%	2000-2005
Espérance de vie à la naissance	59	ans	2000-2005
Agriculture			
Superficie agricole	32	%	2007
Terres arables et cultures permanentes par habitant agricole	0,70	Ha	2006
Niveau de développement			
Développement humain et pauvreté			
Indice de développement humain		0,437 [0-1]	2005
Proportion de la population vivant avec moins de 1\$ par jour (PPA)	OMD 1	47 %	2003
Proportion de la population en deçà du seuil de pauvreté national	OMD 1	33 %	2007
Education			
Taux net de scolarisation primaire	OMD 2	80 %	2006
Taux d'alphabétisation des jeunes (15-24 ans)	OMD 2	51 %	2006
Rapport filles/garçons en école primaire	OMD 3	0,84 fille pour un garçon	2006
Santé			
Taux de mortalité infantile	OMD 4	67 ‰	2001-2006
Taux de mortalité des moins de 5 ans	OMD 4	125 ‰	2001-2006
Ratio de mortalité maternelle (ajusté)	OMD 5	840 pour 100 000 naissances	2005
Pourcentage de décès des moins de 5 ans dû au paludisme		23 %	2008
Proportion d'enfants de 12-23 mois vaccinés contre la rougeole	OMD 4	61 %	2006
Environnement			
Accès durable à une source d'eau améliorée en milieu rural	OMD 7	57 % de la population	2006

OMD: Objectif du Millénaire pour le Développement; * norme OMS 2006 ; n.d.: non disponible

ANNEXE 2

(Annexes du chapitre 2. Matériel et méthodes)



Fiche d'éligibilité de l'enfant

NOM et prénom de l'enfant:

N° d'identifiant : _1_|_2_|_|_|_|_|

Nom de l'enquêtrice/enquêteur : _____

Date de l'enquête :

Heure de début d'enquête :

L'enfant répond-il aux différents critères de sélection :

Critère n°1 :

La personne qui nourrit/s'occupe de l'enfant accepte t-elle d'être interrogée ? 1. oui 2. non |_|

Critère n°2 :

Date de naissance de l'enfant : _/_/_/_/_

Si la date de naissance n'est pas disponible, se référer au calendrier d'événements locaux.

Est-il compris dans la tranche d'âge 6- 35 mois durant l'enquête ?

Exemples : - 6-11 mois : 02/02/2008-01/08/2008 1.oui 2.non |_|
- 12-23 mois : 02/02/2007-01/02/2008 1.oui 2.non |_|
- 24-35 mois : 02/02/2006-01/02/2007 1.oui 2.non |_|

Si non, l'enfant n'est pas éligible.

Année	Événements							
	Élection présidentielle	Ramadan	Tabaski	Fête du Vodoun	Mouloud	Pâques	Noël	Assomption Nouvel an
2005			20 janv.	10 Janv.	20 avril	27mars	25 déc.	15 août 1 ^{er} janv.
2006	16 mars	23 oct.	10 janv.	10 Janv	10 avril	16 avril	25 déc.	15 août 1 ^{er} janv.
2007		12 oct.	19 déc.	10 Janv	30 mars	8 avril	25 déc.	15 août 1 ^{er} janv.
2008			8 déc.	10 Janv		23mars	25 déc	15 août 1 ^{er} janv.

Critère n°3 :

L'enfant consomme t-il d'autres aliments que le lait maternel ? 1.oui 2.non |_|

Si l'enfant est allaité et ne consomme pas d'autres aliments que l'eau, il ne répond pas aux critères de sélection.

Critère n°4 :

L'enfant va t-il à l'école (ou pouponnière) durant la journée ? 1.oui 2.non |_|

Si oui, à quel moment pourrait-il être enquêté (vacances scolaires, 2 ou 3 jours consécutifs) ?

Critère n°5

L'enfant est-il un jumeaux ? 1. oui 2.non |_|

Dans un ménage un seul enfant parmi les jumeaux est éligible, pas les deux à la fois

N° de tel : _____

L'enfant répond-il aux critères de sélection ? 1.oui 2.non |_|

Remarques servant à identifier le ménage (à côté de, en face de, ...) : (Utilisez verso si nécessaire)

Annexe 2.3

Questionnaire portant sur l'enfant et le statut du ménage

Identifiant : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Nom de l'enquêtrice : _____

Date de l'enquête :

Heure de début d'enquête :

A. Identification de l'enfant

1. Date de naissance : |_|_|_|_|/|_|_|_|/|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

2. Sexe : 1=masculin 2=féminin |_|_|

3. L'enfant a-t-il des frères et sœurs ? 1=oui 2=non |_|_|

a. Si oui, combien en tout ? |_|_|

b. nombre de frères et sœurs selon l'âge

- de 12mois |_|_| 12-23 mois |_|_| 24-59 mois |_|_| 5-18 ans |_|_| + de 18 ans |_|_|

c. Position de

l'enfant dans la fratrie : |_|_|_|_|

4. Qui s'occupe habituellement de l'enfant ?

1= mère 2= grand-mère 3= frère ou sœur 4= père 5= autre,
précisez _____ |_|_|

B. Anthropométrie (faire des mesures jusqu'à trouver 3 valeurs égales ou très proches : à 100g ou 1mm près)

1. Poids (Enfant)

Première mesure	Deuxième mesure	Troisième mesure
_ _ _ . _ kg	_ _ _ . _ kg	_ _ _ . _ kg

2. Taille (enfant)

Première mesure	Deuxième mesure	Troisième mesure
_ _ _ . _ cm	_ _ _ . _ cm	_ _ _ . _ cm

3. Poids (Mère)

Première mesure	Deuxième mesure	Troisième mesure
_ _ _ . _ kg	_ _ _ . _ kg	_ _ _ . _ kg

4. Taille (Mère)

Première mesure	Deuxième mesure	Troisième mesure
_ _ _ . _ cm	_ _ _ . _ cm	_ _ _ . _ cm

C Suivi sanitaire

1. La mère a-t-elle été suivie dans un centre de santé pendant sa grossesse ?

1=oui 2=non 3=nsp ☐

2. Lieu d'accouchement de la mère :

1= au centre de santé 2=dans sa cour 3=autre, précisez _____

☐

3. Depuis sa naissance, l'enfant a-t-il été suivi dans un centre de santé ? : 1=oui 2=non

☐

a. Si oui, fréquence des visites : 1= >1 fois/ mois 2= 1 fois/ mois

3= entre <1 fois/mois et 1 fois/6 mois 4=<1 fois/ 6 mois

☐

4. Si vérifié sur le carnet de santé, notez le poids de naissance (en kg) : ,

5. Morbidité :

a. L'enfant a-t-il eu de selles liquides au cours des 2 dernières semaines ? 1=oui 2=non ☐

b. L'enfant a-t-il toussé au cours des 2 dernières semaines ? 1=oui 2=non ☐

c. L'enfant a-t-il eu de la fièvre au cours des 2 dernières semaines ? 1=oui 2=non ☐

a.2 Combien de fois a-t-il eu ces selles ? 1=oui 2=non ☐

a.3 Peut on conclure que l'enfant a eu la diarrhée au cours des 2 dernières semaines ? 1=oui 2=non ☐

6. La personne s'occupant de l'enfant a-t-elle reçu des conseils d'éducation nutritionnelle de l'enfant?

1=oui 2=non ☐

a. Si oui, auprès de qui ? 1=centre de santé 2=voisine, amis 3=famille, précisez ☐

7. L'enfant a-t-il fait toutes les vaccinations liées à son âge (voir son carnet) ? 1=oui 2=non ☐

E. Caractéristiques de la personne s'occupant de l'enfant

1. Lien de parenté avec l'enfant: 1=mère 2=grand-mère 3= sœur 4= tante 5=autre ☐

Si (5), préciser : _____

2. Age:

3. Ethnie : 1= Adja et apparenté 2=Peuhl 3= Fon et apparenté 4=Bètamaribè 5= Yoruba et apparenté

6= Bariba et apparenté 7= Dendi et apparenté 8= Yoa et Lokpa apparenté 9= Autre, préciser _____ ☐

4. Lieu où elle a grandi : 1=milieu urbain 2=milieu rural ☐

5. Niveau d'éducation: 1= jamais scolarisée 2=jamais scolarisée mais alphabétisée 3= primaire ☐

4= 1er cycle du secondaire 5= 2d cycle du secondaire 6= supérieur

6. Religion : 1= catholique 2=protestante 3=musulmane 4= animiste 5= autre ☐

7. Activités: mère au foyer 1=oui 2=non ☐

employée de maison 1=oui 2=non ☐

agricultrice 1=oui 2=non ☐

commerçante 1=oui 2=non ☐

artisane 1=oui 2=non ☐

élève 1=oui 2=non ☐

restauratrice 1=oui 2=non ☐

autre (préciser) 1=oui 2=non ☐

F. Caractéristiques de la mère (si différente de la personne s'occupant de l'enfant)

1. Pourquoi ne s'occupe-t-elle pas de l'enfant ?

1= Travaille ailleurs 2= à l'hôpital 3=décédé 4= Autre

☐

2. Age (si différent de 2):

☐☐

3. Ethnie 1= Adja et aparenté 2=Peuhl 3= Fon et aparenté 4=Bètamaribè 5= Yoruba et aparenté

6= Bariba et aparenté 7= Dendi et aparenté 8= Yoa et Lokpa aparenté 9= Autre, précisez r_____

☐

4. Lieu où elle a grandi : 1=milieu urbain 2=milieu rural

☐

5. Niveau d'éducation: 1= jamais scolarisée 2=jamais scolarisée mais alphabétisée

☐

3= primaire 4= 1er cycle du secondaire 5= 2d cycle du secondaire 6= supérieur

6. Religion : 1= catholique 2=protestante 3=musulmane 4= animiste 5= autre

☐

7. Activités: mère au foyer

1=oui 2=non

☐

employée de maison

1=oui 2=non

☐

agricultrice

1=oui 2=non

☐

commerçante

1=oui 2=non

☐

artisane

1=oui 2=non

☐

élève

1=oui 2=non

☐

restauratrice

1=oui 2=non

☐

autre (préciser)

1=oui 2=non

☐

G. Caractéristique du chef de ménage

1. Le chef de ménage habite-t-il dans la cour ? 1=oui 2=non

☐

a. Si non, pourquoi ? 1=travaille dans une autre ville ou un autre village au Bénin

2=travaille à l'étranger 3= est à l'hôpital

☐

2. Activité professionnelle :

Agriculteur

1=oui 2=non

☐

Eleveur

1=oui

2=non

☐

Fonctionnaire

1=oui 2=non

☐

Commerçant

1=oui

2=non

☐

Artisan

1=oui

2=non

☐

Elève, étudiant

1=oui

2=non

☐

Service(mécanicien, chauffeur, ..) 1=oui 2=non

☐

Autre (préciser)

1=oui 2=non

☐ 3. Le

chef de ménage est-il le père?

1=oui 2=non

☐

H. Statut économique

1. Logement :

Statut de l'occupant :

1= propriétaire 2=locataire

3= hébergé gratuitement

4=autre précisez

☐

Nombre de pièces :

☐☐

Approvisionnement en eau (de boisson) :

1= robinet dans le logement 2=robinet dans la parcelle

3=fontaine publique 4=puits/forage	5=eau de rivière	☐
Electricité :	1=ooui 2=non	☐

2.Équipement du ménage :

cuisinière ou réchaud à gaz :	oui=1	non=2	☐
réfrigérateur :	oui=1	non=2	☐
congélateur	oui=1	non=2	☐
radio ou radiocassette :	oui=1	non=2	☐
télévision :	oui=1	non=2	☐
vélo :	oui=1	non=2	☐
mobylette :	oui=1	non=2	☐
moto (<i>l'enquêtrice précise la différence entre moto et mobylette</i>)			
	oui=1	non=2	☐
voiture	oui=1	non=2	☐
meubles divan :	oui=1	non=2	☐

3. L'état de l'habitat :

Les murs sont en : 1= paille, terre de barre 2=ciment 4=autre (<i>précisez</i>)	☐
Le toit est en: 1= paille 2=ciment 3=tôle, sans plafond 4=tôle, avec un plafond 5=autre (<i>précisez</i>)	☐
Le sol est en : 1= terre battue 2=ciment non carrelé 3= ciment carrelé 4=autre (<i>précisez</i>)	☐

Heure de fin d'enquête

Annexe 2.4

Questionnaire de mesures d'ingérés par pesées

Identifiant |__||__||__||__||

Nom de l'enquêtrice _____

Tableau 1

Date de l'enquête :

Heure de début d'enquête

Jour d'aujourd'hui :

1=lundi 2=mardi 3=mercredi 4=jeudi
 5=vendredi 6=samedi 7=dimanche |__|

L'enfant a-t-il mangé quelque chose depuis son
 coucher hier soir? oui non

Si oui, qu'a-t-il mangé (décrire précisément):

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

L'enfant est-il toujours allaité ?

1. oui 2. non |__|

*Si l'enquêtrice doit partir avant que l'enfant ne
 soit couché :*

L'enfant mangera-t-il après le départ de
 l'enquêtrice et avant de se coucher?

Si oui, quoi ?

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

_____ quantité :

Tétées	N°	Durée
	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
	6.	
	7.	
	8.	
	9.	
	10.	
	11.	
	12.	
	13.	
	14.	
	15.	
	16.	
	17.	
	18.	
	19.	
	20.	

TABLEAU 2 : Description des aliments consommés

N° ligne	N° de prise alim	Lieu de prépa	Lieu de conso	Préparation				
				Plat consommé (séparer pate/riz de la sauce ; par ex. : pate, sauce, riz gras, galettes, ...)	Code du plat	Ingrédients constitutifs et description (ex. : farine de maïs jaune décortiqué, tomate fraîche, ...)	Code de l'ingrédient	Quantité de chaque ingrédient (g)
1		1.maison	1.maison					
2		2.RHD	2.RHD					
3		3.préparé la veille	3.autre					
4		4. don, autre						
5								
6								
7								
8								
9								
14								

Sauter une ligne entre chaque repas

TABLEAU 3 : Consommation

N° ligne	Quantité de plat préparé (g) (si possible)	Heure de début de repas	Heure de fin de repas	Quantité ingérée							
				Poids bol plein+cuillère (g)	Poids bol+cuillère+plat restant (g)	Poids serviette propre (g)	Poids serviette sale (g)	L'enfant a t-il vomi ?		La préparatrice a t-elle goûté au plat ?	
								1.oui 2.non	Si 1, quantité(g)	1.oui 2.non	Si 1, quantité(g)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
12											
13											

Sauter une ligne entre chaque repas

RHD = Restauration Hors Domicile

Annexe 2.5

Questionnaire portant sur les pratiques alimentaires

Identifiant : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Nom de l'enquêtrice : _____

Date de l'enquête :

Heure de début d'enquête :

A. Allaitement

a. La mère a-t-elle donné le sein à son enfant dans l'heure qui a suivi l'accouchement ?

1=oui

2=non

3=nsp

|_|

b. Si différent de (1), avant de donner le sein à l'enfant pour la première fois, la mère lui a-t-elle donné autre chose ?

1=oui

2=non

3=nsp

|_|

c. Si oui, quoi ? De l'eau pure

1=oui

2=non

|_|

De l'eau simplement sucrée :

1=oui

2=non

|_|

De la tisane

1=oui 2=non

|_|

Du lait artificiel

1=oui 2=non

|_|

Autre chose :

1=oui

2=non

|_|

Si oui, précisez :

d. L'enfant a-t-il tété, hier ?

1=oui

2=non

|_|

e. Si non, l'enfant est-il définitivement sevré ?

1=oui

2=non

|_|

f. Si oui, à quel âge (en mois) a-t-il été sevré ?

|_|_|_|

B. Bouillies

a. L'enfant consomme-t-il de la bouillie :

1= 1 fois/jour

2= 2 fois/jour ou plus

3=1 à 6 fois/semaine

4= moins d'1 fois/semaine

5= jamais (Ne consomme pas ?)

|_|

b. Si différent de (5), à quel âge (en mois) a-t-il commencé à consommer des bouillies ?

|_|_|_|

c. Si (5), a-t-il déjà consommé des bouillies ?

1=oui 2=non

|_|

d. Si oui, à quel âge (en mois) a-t-il cessé ?

|_|_|_|

e. Quelle bouillie l'enfant consomme fréquemment ?

(Préciser).....

C. Autres aliments

a. L'enfant consomme-t-il d'autres aliments que la bouillie ?

1=oui

2=non

|_|

b. Si oui, à quel âge (en mois) a-t-il commencé à consommer des aliments solides ?

____|____|

c. Quels plats l'enfant aime-t-il particulièrement consommer ?

A base de quoi ?

1. _____

2. _____

d. Y a-t-il un (des) plat(s) que l'enfant aime mais que vous ne pouvez pas lui donner ? 1=oui 2=non ____|

e. Si oui, le(s) quel(s) ?

A base de quoi ?

1. _____

2. _____

f. Pour quelle raison vous est-il impossible de lui donner ce(s) plat(s) ?

1=le coût 2=la disponibilité d'un ingrédient 3=autre, préciser _____ ____|

g. Si 2, précisez quel(s) ingrédient(s)

h. Y a-t-il des plats consommés par le ménage mais que l'enfant ne mange pas ? 1=oui 2=non ____|

i. Si oui, le(s)quel(s) ?

A base de quoi ?

1. _____

2. _____

Pourquoi? 1=il n'aime pas ça 2=ça n'est pas bon pour lui 3=autre, préciser ____|

Pourquoi? 1=il n'aime pas ça 2=ça n'est pas bon pour lui 3=autre, préciser ____|

j. Y a-t-il des aliments que l'enfant ne consomme pas en raison d'un interdit religieux ?

1=oui 2=non ____|

k. Si oui, le(s)quel(s) ?

1. _____

2. _____

l. Y a-t-il des aliments que l'enfant ne consomme pas en raison d'un interdit culturel ?

1=oui 2=non ____|

m. Si oui, le(s)quel(s) ? 1. _____ 2. _____

n. Parmi les plats/Aliments/ingrédients suivants, quels sont ceux que votre enfant ne consomme jamais? Indiquez

dans la première case : 1= jamais consommé 2= consommé

si (1), indiquez dans la seconde case la principale raison : 1= trop cher 2= interdit culturel

3=interdit religieux 4= l'enfant n'aime pas 5= mauvais pour la santé de l'enfant 6= autre, précisez

feuille de morelle noire ____| ____|

spiruline ____| ____|

feuille de moringa ____| ____|

huile de palme rouge ____| ____|

foie ____| ____|

Carotte ____| ____|

Légumes à feuille verte foncée ____| ____|

Racines ou tubercules à chair orangée ____| ____|

Jaune d'œuf	☐	☐
Poisson frétin entier	☐	☐

o. Y a-t-il des plats ou ingrédients que vous donnez à votre enfant parce que vous pensez qu'ils sont bons pour sa santé ? 1. _____ 2. _____

D. Attitude face à d'éventuels changements dans les habitudes alimentaires

a. Seriez-vous disposé à modifier le mode de préparation de la bouillie de votre enfant avec une technologie traditionnelle améliorée ? 1= oui 2= non ☐

b. Seriez-vous prêt à acheter pour votre enfant des aliments de complément issus d'une technologie traditionnelle améliorée à partir des céréales locales disponibles ? 1= oui 2= non ☐

c. Seriez-vous disposé à donner une bouillie fortifiée à vos enfants? 1= oui 2= non ☐

d. Seriez-vous disposé à donner une bouillie biofortifiée à vos enfants? 1= oui 2= non ☐

Annexe 2.6

Questionnaire de fréquence de consommation d'aliments riches en vitamine A

Identifiant : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Nom de l'enquêtrice : _____

Date :

Heure de début d'enquête :

1. Votre enfant a-t-il reçu une capsule de vitamine A au cours de l'année dernière? |_| 1=ooui 2=non

a. Si oui, combien de fois ? |_|

Combien de fois votre enfant a-t-il mangé l'un de ces aliments au cours de la semaine dernière ?

	Produits animaux	Jamais A	1 fois dans la semaine B	2-4 fois dans la semaine C	5-6 fois dans la semaine D	1 fois par jour E	2-3 fois par jour F	+ de 4 fois par jour G	Sous quelle forme ?	
									1 =crue 2 =cuite 3 = les deux	Nom des aliments*
1	Foie de volaille									
2	Foie de bœuf ou veau									
3	Foie de mouton ou d’agneau									
4	Oeuf									

* indiquer le nom des aliments correspondants : sauce, ragout, omelette, brochette, etc.

Combien de fois votre enfant a-t-il mangé l'un de ces aliments au cours de la semaine dernière ?

	Produits végétaux	Jamais A	1 fois dans la semaine B	2-4 fois dans la semaine C	5-6 fois dans la semaine D	1 fois par jour E	2-3 fois par jour F	+ de 4 fois par jour G	Sous quelle forme ?	
									1 = crue 2 = cuite 3 = les deux	Nom des aliments*
5	Carotte									
6	Mangue									
7	Potiron ou Citrouille									
8	Papaye									
9	Melon									
10	Patate douce à chair orange									
11	Aubergine amère/sauvage									
12	Pastèque									
13	Concentrée de tomate									
14	Feuille de patate douce									
15	Feuille Aubergine									
16	Feuille épinard									
17	Feuille Oignon									
18	Feuille Oseille**									
19	Feuille Balanite**									
20	Feuille Baobab									
21	Feuille Manioc									

* indiquer le nom des aliments correspondants : sauce, ragout, brochette, etc.

Combien de fois votre enfant a-t-il mangé l'un de ces aliments au cours de la semaine dernière ?

	Produits végétaux (suite)	Jamais	1 fois dans la semaine	2-4 fois dans la semaine	5-6 fois dans la semaine	1 fois par jour	2-3 fois par jour	+ de 4 fois par jour	Sous quelle forme ?	
		A	B	C	D	E	F	G	1 =crue 2 =cuite 3 = les deux	Nom des aliments*
22	Feuille de patate douce									
23	Feuille Amarante									
24	Feuille Corète									
25	Feuille Gnantoto									
26	Feuille Niébé									
27	Feuille Ninnou									
28	Feuille Néré									
29	Feuille Morelle noire(gboma)									
30	Huile palme rouge									
31	Mais jaune									
32	Breadfruit « Blefoutou »L'arbre à pain									

* indiquer le nom des aliments correspondants : sauce, ragout, brochette, etc.

Questionnaire de fréquence de consommation d'aliments riches en Fer

Identifiant : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Nom de l'enquêtrice : _____

Date :

Heure de début d'enquête :

Heure de fin de l'enquête :

* indiquer le nom des aliments correspondants : sauce, ragoût, omelette, brochette, etc.

	Produits animaux	Jamais A	1 fois dans la semaine B	2-4 fois dans la semaine C	5-6 fois dans la semaine D	1 fois par jour E	2-3 fois par jour F	+ de 4 fois par jour G	Sous quelle forme ?	
									1 = crue 2 = cuite 3 = les deux	Nom des aliments*
1	Viande (de toute origine)									
2	Poisson (de toute sorte)									
	Produits végétaux									
3	Phosphatine									
4	Blédina									
5	Vitaline									
6	Pépité d'Or									
7	Fari MickelAnge									
8	Plumpynut									
9	Rimalait (Farine de Ouando 2 ^{ème} âge)									
10	Cérélac									
11	Spiruline									
12	Blédilac									
13	Autres produits fortifiés (précisez)									

Annexe 2.7 : Questionnaire de fréquence de consommation de plats à base de mil, maïs, sorgho ou manioc

Institut de Recherche pour le Développement

Université d'Abomey-Calavi / FSA

Questionnaire de fréquence de consommation de plats à base de mil, maïs, sorgho ou manioc

Identifiant : Nom de l'enquêtrice :

Date de l'enquête :

Heure de début d'enquête :

A Votre enfant a-t-il mangé des aliments contenant du **mil** au cours de la semaine dernière ? ☐

1=oui 2=non

1. Si oui, quel type/fréquence 0 = jamais 1 = au moins une fois 2 = 2 à 3 fois 3 = 4 à 5 fois 4 = tous les jours	2. Sous quelle forme avez-vous obtenu la matière première 1=grains entiers 2=grains décortiqués 3=farine 4=prêt à consommer 5=autre, précisez 5. Comment l'avez-vous obtenu ? Achat =1 don=2 Production =3	3. Le sorgho blanc a-t-il été décortiqué ? 1=oui 2=non 6. si 1, précisez 1=moulin 2= pilon	4. Où l'avez-vous acheté ? 1=marché 2=magasin 3=autre 7. si 2 ou 3, précisez quelle entreprise, épicerie
--	---	--	--

a. Pâte (préciser)				
b. Pâte fermentée (Préciser)				
c. boisson locale (préciser)				
d. bouillie de farine infantile				
e. bouillie faite maison				
f. couscous				
h. dégué				
i. galette				
j. autre, précisez :				
1				
2				
3				
4				
5				

k. Description des recettes « autres » (indiquez le mode de préparation (principales opérations unitaires), les ingrédients utilisés)

1 :

2 :

3 :

4 :

5 :

Annexes

Institut de Recherche pour le Développement

Université d'Abomey-Calavi / FSA

B Votre enfant a-t-il mangé des aliments contenant du **sorgho blanc** au cours de la semaine dernière ? ☐
1=oui 2=non

1. Si oui, quel type/fréquence 0 = jamais 1 = au moins une fois 2 = 2 à 3 fois 3 = 4 à 5 fois 4 = tous les jours	2. Sous quelle forme avez-vous obtenu la matière première ? 1=grains entiers 2=grains décortiqués 3=farine 4=prêt à consommé 5=autre, précisez 5. Comment l'avez-vous obtenu ? Achat =1 don=2 Production =3	3. Le sorgho blanc a-t-il été décortiqué ? 1=oui 2=non 6. si 1, précisez 1=moulin 2= pilon	4. Où l'avez-vous acheté ? 1=marché 2=magasin 3=autre 7. si 2 ou 3, précisez quelle entreprise, épicerie
--	---	---	---

a. la pâte (Préciser) :	☐	☐	☐	☐
b. dèguè	☐	☐	☐	☐
c. galette	☐	☐	☐	☐
d. bouillie de farine sevrage (Préciser)	☐	☐	☐	☐
e. bouillie préparée maison (Préciser)	☐	☐	☐	☐
f. couscous	☐	☐	☐	☐
g. autre, précisez :				
1	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐
5	☐	☐	☐	☐

h. Description des recettes « autres » (indiquez le mode de préparation (principales opérations unitaires), les ingrédients utilisés)

1 :

2 :

3 :

4 :

5 :

C Votre enfant a-t-il mangé des aliments contenant du **sorgho rouge** au cours de la semaine dernière ? ☐
1=oui 2=non

1. Si oui, quel type/fréquence 0 = jamais 1 = au moins une fois 2 = 2 à 3 fois 3 = 4 à 5 fois 4 = tous les jours	2.1 Sous quelle forme avez-vous obtenu la matière première 1=grains entiers 2=grains décortiqués 3=farine 4=prêt à consommer 5=autre, précisez 5. Comment l'avez-vous obtenu ? Achat =1 don=2 Production =3	3. Le sorgho blanc a-t-il été décortiqué ? 1=oui 2=non 6. si 1, précisez 1=moulin 2= pilon	4. Où l'avez-vous acheté ? 1=marché 2=magasin 3=autre 7. si 2 ou 3, précisez quelle entreprise, épicerie
--	--	--	--

a. Pâte 1 (Préciser)	☐	☐	☐	☐
b. Pâte 2 (Préciser)	☐	☐	☐	☐
c. Tchoukoutou	☐	☐	☐	☐
d. bouillie de farine sevrage (Préciser)	☐	☐	☐	☐
e. Koko faite maison	☐	☐	☐	☐
f. Autres bouillie achetée (Préciser)	☐	☐	☐	☐
g. Autre bouillie faite maison (Préciser)	☐	☐	☐	☐
h. ☐	☐	☐	☐	☐
i. ☐	☐	☐	☐	☐
j. Autre aliment contenant du sorgho rouge, précisez :				
1	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐
5	☐	☐	☐	☐

k. Description des recettes « autres » (indiquez le mode de préparation (principales opérations unitaires), les ingrédients utilisés)

1 :

2 :

3 :

4 :

5 :

D Votre enfant a-t-il mangé des aliments contenant du **maïs** au cours de la semaine dernière ? ☐ ☐
1=oui 2=non

1. Si oui, quel type/fréquence 0 = jamais 1 = au moins une fois 2 = 2 à 3 fois 3 = 4 à 5 fois 4 = tous les jours	2.1 Sous quelle forme avez-vous obtenu la matière première 1=grains entiers 2=grains décortiqués 3=farine 4=prêt à consommer 5=autre, précisez 5. Comment l'avez-vous obtenu ? Achat =1 don=2 Production =33	3. Le sorgho blanc a-t-il été décortiqué ? 1=oui 2=non si 1, précisez 1=moulin 2=pilon	4. Où l'avez-vous acheté ? 1=marché 2=magasin 3=autre 7. si 2 ou 3, précisez quelle entreprise, épicerie
--	---	--	--

a. Pâte de maïs blanc ☐	☐	☐	☐	☐
b. Pâte de maïs jaune ☐	☐	☐	☐	☐
c. Pâte de maïs blanc+jaune ☐	☐	☐	☐	☐
d. bouillie de farine sevrage (Préciser) ☐	☐	☐	☐	☐
e. couscous, semoule ☐	☐	☐	☐	☐
f. Autre Bouillie(préciser) ☐	☐	☐	☐	☐
g. galette de maïs (préciser) ☐	☐	☐	☐	☐
h. épi grillé ☐	☐	☐	☐	☐
i. pop corn ☐	☐	☐	☐	☐
j. tchakpalo ☐	☐	☐	☐	☐
k. autre, précisez : 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐	☐	☐	☐	☐

1. Description des recettes « autres » (indiquez le mode de préparation (principales opérations unitaires), les ingrédients utilisés)

1 :

2 :

3 :

4 :

5 :

E Votre enfant a-t-il mangé des aliments contenant du **manioc** au cours de la semaine dernière ? ☐ ☐
1=oui 2=non

Annexes

Institut de Recherche pour le Développement

Université d'Abomey-Calavi / FSA

1. Si oui, sous quelle(s) forme(s) ? 0 jamais 1 = au moins une fois 2 = 2 à 3 fois 3 = 4 à 5 fois 4 = tous les jours	2. Sous quelle forme l'avez-vous acheté ? 1 = racine entière 2 = autre, précisez	3. Où l'avez-vous acheté ? 1 = marché 2 = magasin 3 = autre si 2 ou 3, précisez*
a. attiéké ☐	☐ _____	☐ _____
b. gari ☐	☐ _____	☐ _____
c. manioc en ragoût (bouilli) ☐	☐ _____	☐ _____
d. manioc frit ☐	☐ _____	☐ _____
e. autre, précisez : 1 _____ ☐	☐ _____	☐ _____
2 _____ ☐	☐ _____	☐ _____
3 _____ ☐	☐ _____	☐ _____
4 _____ ☐	☐ _____	☐ _____
5 _____ ☐	☐ _____	☐ _____

*précisez quelle entreprise, épicerie....

f. Description des recettes « autres » (indiquez le mode de préparation (principales opérations unitaires), les ingrédients utilisés)

1 :

2 :

3 :

4 :

5 :

Annexe 2.8

Table de composition des aliments adaptée au contexte béninois

Composition en énergie et en nutriments des aliments consommés.

Noms	Sources	TMS _g	Energi e _kcal	Energie _kj	Prot_g	Lip_g	Fibr_g	Fer _mg	Zinc _mg	Vit C _mg	Vit A _µg ER	B12 _µg	Folate _µg	Phytate s _mg
Ail	BF/FAOE	64,00	23	96	2,7	0,1	1,8	30,2	3,4	0,0	240,4	14,0	0,00	8,9
Akassa	Gnimadi	14,70	58	241	1,3	0,7	1,0	0,9	0,3	ND	0,1	ND	ND	44,0
Amande noix palme séchée	FAO	95,20	564	2359	23,4	45,2	6,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Amarante, feuille	Gnimadi/ Tanz	15,79	47	197	3,6	0,6	2,0	3,4	2,6	44,5	419,1	0,0	85,00	4,7
Amidon maïs/Mawè	Gnimadi	7,47	29	121	0,6	0,2	0,3	0,5	0,1	ND	ND	ND	ND	7,3
Ananas, frais	BF/ECSA	13,00	53	222	0,4	0,1	0,5	0,4	0,1	34,0	5,8	0,0	11,00	ND
Arachide grillée, salée, écorcée	BF/Dossa	93,00	571	2385	23,0	50,9	2,9	3,8	3,3	1,0	0,7	0,0	110,00	409,2
Arachide, fraîche, écorcée	BF/TAO	77,70	546	2281	13,5	45,0	0,0	3,9	2,1	0,0	0,1	0,0	124,00	427,4
Arachide, gr. entiers, séchés, roses	Mitchikpè/ TAO	93,79	547	2289	20,3	43,3	7,7	3,6	3,6	1,0	ND	0,0	110,0	ND
Arachide, gr. entiers, séchés, rouges	Mitchikpè/ TAO	94,89	554	2317	21,7	45,0	9,4	2,3	2,8	1,0	ND	0,0	110,0	ND
Atchonmon	BF	48,07	248	1038	3,7	ND	1,1	1,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,00	92,3
Banane mure crue	BF/TAO	23,00	88	368	1,5	0,3	0,9	0,3	0,2	9,0	7,5	0,0	19,00	0,0
poudre, pain de singe	BF/TAO	91,36	319	1335	2,3	0,7	5,7	9,0	0,9	70,0	37,0	0,0	14,00	0,0
Beignet de farine blé	Dossa	71,80	330	1381	4,7	12,0	ND	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Beignet de Haricot	Dossa	59,70	311	1301	10,2	19,9	ND	9,0	ND	5,0	ND	ND	ND	ND
Beignet de manioc	Dossa	ND	274	1146	0,9	9,3	ND	2,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Beurre de karité	BF	100,0	880	3680	0,0	ND	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Biscuit sucre	BF/Dossa	97,00	461	1927	7,0	1,1	4,2	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0	8,00	186,2
Biscuits emballes	BF	93,90	337	1409	7,9	ND	0,0	2,9	3,0	10,1	0,0	0,2	89,67	180,3
Carotte, crue	BF/ECSA	11,00	38	158	0,9	0,1	1,4	0,7	0,3	8,0	500,0	0,0	8,00	8,4

Noms	Sources	TMS_g	Energie_kcal	Energie_kj	Protéines_g	Lipides_g	Fibres_g	Fer_mg	Zinc_mg	Vit C_mg	Vit A_µg ER	B12_µg	Folate_µg	Phytates_mg
Champignon, cru	ECSA/Tanz	10,00	29	120	1,5	0,5	1,4	1,5	0,5	6,0	0,0	6,0	6,00	0,0
Chocolat en poudre sucre	BF	98,90	400	1672	3,3	ND	0,0	0,0	6,8	27,3	0,0	0,0	4,99	1938,4
chocolat, barre	BF/Tanz	92,70	456	1906	4,9	30,0	0,0	1,3	0,0	0,0	3,3	0,0	0,00	908,5
Chou préparé	BF/Tanz	6,40	22	92	0,9	0,3	1,7	0,2	0,1	20,1	7,0	0,0	12,48	8,2
Chou, cru	BF/FAOE	10,00	28	115	1,4	0,1	2,6	0,3	0,2	54,0	5,5	0,0	26,00	12,8
Choufleur, cru	BF	8,00	21	89	1,9	ND	2,3	0,4	0,3	58,0	0,9	0,0	57,00	0,4
Crincrin, feuilles	Amoussa	14,61	45	187	3,4	0,3	2,0	4,2	0,4	80,0	268,2	ND	ND	0,6
Crevette seche	BF/Dossa	87,50	329	1375	6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Cube maggi/Jumbo	BF/Mali	96,70	170	713	17,3	2,3	0,0	2,2	0,2	0,0	15,0	1,0	32,00	0,0
Eau	BF/Mali	0,00	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
fan (sucre)	BF/Mali	12,10	61	255	3,5	ND	0,0	0,0	0,6	0,5	27,4	0,4	4,84	0,0
farine cossette de manioc amer	Dossa/TAO	90,60	335	1402	2,1	0,6	2,2	0,7	0,7	1,0	0,0	ND	52,0	ND
Farine de maïs blanc non décortiqué	BF/Tanzanie	90,50	327	1367	8,8	3,6	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0	0,0	25,00	434,4
Farine de maïs blanc/jaune décortiqué	BF/Tanzanie	88,00	353	1475	8,0	3,6	0,6	1,1	1,8	0,0	0,0	0,0	25,00	211,2
farine de mil	Dossa/BF	87,00	331	1385	5,6	1,4	2,6	7,7	2,0	0,0	2,1	0,0	0,1	198,7
Farine de sorgho rouge	BF/Tanzanie	88,50	339	1417	9,8	3,3	2,3	1,6	1,0	12,0	0,0	0,0	0,00	734,6
Feuille de baobab, crue	BF/ECSA	23,00	71	295	3,8	0,3	2,8	1,1	0,4	52,0	259,5	0,0	104,00	0,0
Feuille de baobab, séchée	BF/Mali	92,70	139	581	16,6	4,3	42,9	66,7	1,9	1,8	486,0	0,0	486,00	2,8
Feuille de gombo, crue	BF/Mitchipkè	18,00	60	249	4,4	0,6	2,1	0,7	0,0	59,0	60,8	0,0	112,50	0,0
Feuille de haricot (niébé), crue	BF/Dossa	15,00	46	192	4,7	0,4	2,0	5,7	0,4	56,0	58,3	0,0	135,00	0,0
Feuille de moringa, crue	BF	13,10	26	109	2,5	ND	4,8	5,3	0,0	120,0	185,1	0,0	0,00	0,0

Annexes

Noms	Sources	TMS_g	Energ_kcal	Energ_kj	Prot_g	Lip_g	Fibr_g	Fer_mg	Zinc_mg	Vit C_mg	Vit A_μg ER	B12_μg	Fol_μg	Phyt_mg
Fromage de lait de vache	Dossa	21,00	118	494	8,5	7,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
fromage vache qui rit	TBF	41,50	295	1233	6,8	ND	0,0	1,1	0,5	0,0	341,0	0,4	11,70	0,0
Gari, farine de manioc, fermentée	Dossa/FAO	87,40	351	1469	1,0	1,1	1,5	1,6	ND	0,0	ND	ND	ND	ND
Gingembre, racine, frais	TBF/Tanzanie	19,10	67	280	2,3	0,0	2,4	2,6	4,7	6,0	3,3	0,0	57,90	0,0
Gombo, cosse cru	TBF/TAO	11,00	39	161	2,1	0,2	1,7	1,2	0,4	47,0	15,8	0,0	23,00	31,5
Gombo, cosse, séchée poudre	TBF	93,30	164	685	14,5	ND	44,7	78,2	4,7	0,4	24,0	0,0	89,00	5,6
Gombo, feuilles, séchées	Mitchikpè	90,08	150	626	16,5	4,2	43,9	100,3	4,5	ND	ND	ND	ND	ND
Gombo, fruit, séché	Mitchikpè/BF	91,35	146	612	14,9	2,3	47,3	30,8	4,7	0,0	1,7	0,0	6,4	0,4
Goussi	Dossa	94,00	575	2415	23,0	46,0	2,2	2,8	ND	2,0	13,5	ND	ND	ND
Graine de palme, crues	TBF/FAOE	27,50	203	849	0,6	27,6	0,0	0,2	0,1	4,0	501,0	0,0	9,00	0,0
Grande morelle, feuilles	Amoussa/TAO	12,03	38	158	4,3	0,7	1,9	1,6	0,7	6,0	316,9	0,0	25,00	0,6
Haricot vert cru	TBF/Dossa	89,23	343	1434	16,8	0,2	24,3	3,4	1,9	4,6	0,4	0,0	291,54	1002,1
Haricot, blanc séché	TBF	91,10	289	1210	22,1	ND	10,3	5,7	3,8	0,0	15,0	0,0	0,00	623,1
Haricot, farine	Dossa	ND	323	1351	24,6	0,5	ND	9,0	ND	5,0	2,5	ND	ND	ND
Huile d'arachide	TBF/Mali	100,00	881	3683	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Huile de palme rouge	TBF/Dossa	99,00	872	3646	0,0	98,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8000,0	0,0	0,00	0,0
igname, bouilli	TBF/ McCance	29,87	116	485	1,5	0,3	0,0	0,5	0,2	12,1	6,0	0,0	233,00	86,9
Igname, farine	TBF/Dossa	86,00	333	1392	3,4	0,7	1,6	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	44,39	250,3
Igname, frite	Dossa	ND	ND	ND	2,0	0,2	ND	1,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Igname, tubercule, frais	TBF/TAO	31,00	119	496	1,9	0,3	0,8	0,8	0,5	6,0	1,3	0,0	16,00	90,2
Jus de bissap	Dossa	100,00	45	188	0,0	ND	ND	0,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Annexes

Noms	Sources	TMS_g	Energ_kcal	Energ_kj	Prot_g	Lip_g	Fibr_g	Fer_mg	Zinc_mg	Vit C_mg	Vit A_µg ER	B12_µg	Fol_µg	Phyt_mg
Kluiklui, croquette d'arachide	Dossa	88,00	426	1782	10,5	20,3	ND	2,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lait concentre sucre	TBF/Dossa	67,80	297	1241	8,1	9,0	0,0	0,0	0,9	1,0	62,0	0,2	24,00	0,0
Lait en poudre	TBF/Dossa	97,53	496	2073	26,3	1,0	0,0	0,5	3,3	8,6	257,0	3,2	37,00	0,0
Lait entier frais, vache	TBF/Dossa	15,00	78	326	3,8	4,8	0,0	0,0	0,4	1,0	33,7	0,4	6,00	0,0
Macaroni, bouilli	TBF/FAO	40,00	152	637	4,7	0,9	0,2	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	4,00	116,0
Macaroni, séché	TBF/FAO	91,00	356	1486	11,9	1,3	4,2	1,0	1,4	0,0	0,0	0,0	16,00	263,9
Maïs, farine blanche	TBF/Tanzanie	88,00	353	1475	8,0	3,6	0,6	1,1	1,8	0,0	0,0	0,0	25,00	73,9
Maïs, jaune non décortiqué, farine	TBF	90,00	374	1564	10,0	ND	2,0	4,9	1,5	4,0	10,4	0,0	0,00	432,0
Mandarine, orange, crues	TBF/Dossa	12,00	46	194	0,6	0,4	0,6	0,1	0,1	46,0	19,2	0,0	37,00	0,0
Mangue mure crue épluchée	TBF/ECSA	17,00	65	271	0,6	0,2	0,9	1,2	0,1	42,0	200,0	0,0	7,00	0,0
manioc frais	Dossa/TAO	38,00	147	613	1,2	0,2	1,1	1,9	0,2	31,0	2,5	1,0	24,0	ND
Manioc, cossettes, séchées	Mitchikpè/TAO	89,75	309	1295	1,0	0,9	6,9	0,3	0,5	68,0	1,0	2,0	53,0	ND
Manioc, feuilles	Amoussa/Dossa	26,58	83	346	9,1	0,0	4,1	3,0	2,7	310,0	960,6	ND	ND	11,7
Mayonnaise, 80% graisse	TBF/Mali	84,00	720	3009	1,2	ND	0,0	0,5	0,1	0,0	42,8	0,2	10,00	0,0
Miel	TBF/Mali	80,80	323	1350	0,4	ND	0,7	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Moutarde	TBF/Mali	65,13	323	1353	29,0	22,7	9,8	37,3	8,4	3,0	16,8	0,0	133,00	281,5
Niébé, haricot, grains entiers, séché	Mitchikpè/ TAO	90,84	222	928	21,5	1,8	32,5	6,2	4,4	18,0	54,0	0,0	75,0	ND
Noix de coco, fraîche, amande dure	DOSSA/TBF	57,00	388	1623	3,6	39,0	6,6	2,5	1,1	2,0	4,2	0,0	26,0	0,0
Œuf de poule	Dossa	25,00	142	594	12,0	10,0	0,0	2,0	1,4	0,0	175,0	1,7	25,00	0,0
Oignon et feuille d'oignon, non murs	TBF/Mali	7,10	22	92	1,3	ND	1,0	0,7	0,2	17,0	48,0	0,0	40,00	0,0
Oignon séché	TBF/Mali	95,50	334	1396	10,2	ND	13,0	2,6	1,7	33,0	7,1	0,0	166,00	0,0

Annexes

Noms	Sources	TMS _g	Energ _kcal	Energ _kj	Prot _g	Lip _g	Fibr _g	Fer _mg	Zinc _mg	Vit C _mg	Vit A_ µg ER	B12 _µg	Fol _µg	Phyt _mg
Oignon, crus	TBF/ECSA	12,00	41	170	1,2	0,1	1,0	0,8	0,2	11,0	0,0	0,0	14,00	0,0
Oseille feuilles séchées	TBF	100,00	307	1281	33,0	ND	11,5	4,5	3,8	0,7	4300,3	0,0	140,00	190,0
Oseille, feuilles fraîche	TBF/FAO	11,20	37	155	3,7	0,3	1,3	0,5	0,4	0,1	519,0	0,0	104,00	21,3
Pain de blé	TBF/ECSA	58,43	220	921	6,7	2,0	2,0	3,0	0,7	0,0	0,0	0,0	16,00	14,0
Papaye, crue	TBF/ECSA	9,00	31	129	0,4	0,1	0,9	0,6	0,1	52,0	25,0	0,0	1,00	0,0
Patate douce, blanche, crue	TBF/TAO	31,00	122	508	1,6	0,3	1,0	2,0	0,0	37,0	2,9	0,0	52,00	5,3
Patate douce, jaune foncée, crue	TBF/ECSA	31,20	124	517	1,6	0,2	1,0	2,0	0,0	37,0	200,0	0,0	0,00	98,6
Patate douce, jaune, crue	TBF/ECSA	31,00	122	508	1,6	0,2	1,0	2,0	0,0	37,0	150,0	0,0	52,00	5,3
patate pelée bouillie	TBF/FAO	22,54	86	359	0,7	0,2	0,0	0,3	0,3	7,4	0,2	0,0	3,59	90,4
Pate d'arachide	TBF	92,80	584	2441	25,0	ND	1,5	6,0	3,3	0,0	0,0	0,0	126,00	408,3
pâte de maïs	Bénin-Gnimadi	20,26	79	330	1,8	0,9	1,3	1,1	0,5	ND	ND	ND	ND	78,4
Pâtée	Bénin-Dossa	ND	350	1463	6,5	ND	ND	2,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Piment, frais, demi-sec	Bénin-Dossa/FAO	65,30	240	1004	7,9	6,0	16,7	ND	ND	194,0	ND	ND	ND	ND
Piment, non spécifié, sec	Bénin-Dossa/FAO	89,80	347	1452	13,8	14,0	16,4	7,8	2,5	180,0	176,7	0,0	88,00	0,0
pintade, viande cuite	TBF	37,90	207	865	28,1	ND	0,0	1,4	2,0	0,0	0,0	0,2	4,30	0,0
Poisson cru maigre	TBF	20,30	77	322	16,8	ND	0,0	1,2	0,9	0,0	10,0	0,5	6,00	0,0
Poisson frit	TBF/ Bénin-Dossa	51,25	370	1545	10,4	9,5	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Poisson fume	TBF	94,20	378	1580	76,0	ND	0,0	16,7	3,7	0,0	35,0	3,1	35,00	0,0
poisson séché	Bénin-Dossa	86,00	255	1065	47,0	7,4	0,0	4,9	ND	0,0	0,0	ND	ND	ND
Poivre noir	TBF	89,50	228	954	10,9	ND	26,5	28,9	1,4	21,0	9,5	0,0	10,00	0,0
Pomme de terre bouillie	TBF	22,54	86	359	1,7	ND	0,6	0,3	0,3	7,4	0,2	0,0	12,91	90,4

Annexes

Noms	Sources	TMS_g	Energ_kcal	Energ_kj	Prot_g	Lip_g	Fibr_g	Fer_mg	Zinc_mg	Vit C_mg	Vit A_μg ER	B12_μg	Fol_μg	Phyt_mg
Pomme de terre, crue	TBF/ECSA	22,00	81	337	1,7	0,1	0,6	1,1	0,3	21,0	1,0	0,0	14,00	88,2
Pommes frites	TBF	29,40	145	605	1,5	ND	0,5	1,0	0,0	19,0	0,9	0,0	12,67	53,2
pop corn	TBF	95,90	382	1597	12,8	ND	2,0	2,7	3,4	0,0	10,0	0,0	30,75	613,8
Potassium, solide	TBF	91,40	2	9	0,5	ND	0,0	4,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Riz, blanc, poli	TBF/Bénin-Dossa	89,00	345	1444	6,1	0,5	1,1	0,4	1,3	0,0	0,0	0,0	7,00	783,2
Sandwich	Bénin-Dossa	ND	450	1881	20,0	ND	ND	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sardines a l huile, conserve	TBF/ Bénin-Dossa	47,00	283	1183	24,0	25,0	0,0	2,8	2,0	0,0	114,3	11,5	16,00	0,0
Sauce amarante	Bénin-Amoussa	26,34	156	651	6,1	13,4	1,6	2,2	0,7	ND	478,1	ND	ND	45,0
sauce baobab feuilles sèches	Bénin-Amoussa	10,67	39	162	2,3	2,4	0,8	11,6	0,4	ND	44,8	ND	ND	5,3
Sauce Vitex	Bénin-Amoussa	26,98	157	657	3,5	14,0	3,0	2,2	0,5	ND	734,7	ND	ND	17,0
Sauce gombo	Bénin-Amoussa	17,81	91	378	4,5	7,0	0,8	1,4	0,5	ND	354,1	ND	ND	5,9
Sauce gombo frais	Bénin-Amoussa	8,39	24	99	2,7	0,4	0,9	1,9	0,3	ND	ND	ND	ND	2,0
Sauce gombo sec	Bénin-Amoussa	14,15	71	298	3,7	5,3	0,6	1,5	0,3	ND	ND	ND	ND	2,7
Sauce graine avec LF	Bénin-Amoussa	22,20	141	591	2,9	13,3	1,5	1,5	0,3	ND	815,4	ND	ND	22,2
Sauce graine sans LF	Bénin-Amoussa	26,50	183	763	3,3	17,7	0,8	2,0	0,6	ND	843,0	ND	ND	65,7
Sauce grande morelle	Bénin-Amoussa	26,55	162	679	6,3	14,2	1,5	2,4	0,8	ND	224,9	ND	ND	125,8
Sauce manioc feuilles	Bénin-Amoussa	31,77	193	806	5,4	16,6	2,3	2,5	0,7	ND	713,2	ND	ND	28,3
Sauce Célosie	Bénin-Amoussa	25,41	146	609	5,2	12,5	1,6	2,9	1,1	ND	490,9	ND	ND	46,8
Sauce vernonia	Bénin-Amoussa	27,56	153	639	6,2	12,7	2,1	3,0	0,7	ND	379,5	ND	ND	60,6
Sel, région de Kayes	TBF	99,00	0	0	0,0	ND	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Sésame, graines entières séchées	TBF/ Bénin-Dossa	94,20	571	2387	17,9	48,4	4,5	8,1	7,8	0,0	2,5	0,0	97,00	1610,8

Annexes

Noms	Sources	TMS _g	Energ _kcal	Energ _kj	Prot _g	Lip _g	Fibr _g	Fer _mg	Zinc _mg	Vit C _mg	Vit A_ µg ER	B12 _µg	Fol _µg	Phyt _mg
Sodabi	Bénin-Dossa	0,00	308	1289	0,0	0,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Soja, farine de grain entier	Bénin-Dossa	91,00	400	1674	34,0	15,7	5,5	6,0	ND	ND	0,0	ND	ND	ND
Soja, graines entières, séchées	Mitchikpè/Dossa/TBF	92,93	318	1330	33,5	12,8	23,4	6,9	4,8	0,0	4,5	0,0	210,0	781,4
Soja, lait séché	Tanzanie	ND	380	1588	40,5	24,0	6,0	27	4	0,0	0	0,0	75,00	1870
Célosie, feuilles	Bénin-Amoussa	15,79	48	200	4,8	0,6	2,1	3,6	2,7	ND	351,6	ND	ND	0,8
Sorgho, blanc, grains entiers, séché	Bénin-Mitchikpè	90,59	293	1224	9,3	3,9	17,3	3,9	2,1	ND	ND	ND	ND	ND
Sorgho, farine (blanc)	TBF/ECSA	89,00	349	1460	10,4	2,8	4,7	1,6	1,0	0,0	0,0	0,0	11,00	94,3
Sorgho, rouge, gr. entiers, séchés	Bénin-Mitchikpè/BF	89,90	299	1251	6,7	3,5	14,0	3,5	1,9	12,0	0,0	154,0	ND	716,9
Sucre	TBF/ECSA	100,00	405	1692	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
Tapioca	Bénin-Dossa	ND	351	1467	1,0	ND	ND	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Taro, cru	Dossa/TAO/Tanzanie	27,00	102	427	1,8	0,1	1,0	1,2	0,2	8,0	4,0	0,0	22,00	78,0
Tomate, concentré	TBF/ECSA	28,00	96	403	4,5	0,4	3,6	3,5	0,7	4,0	105,0	0,0	54,00	13,7
Tomates, crues	TBF/ECSA	6,00	22	92	1,0	0,2	0,6	0,6	0,1	26,0	31,7	0,0	16,36	5,7
Vernonia, feuilles	Bénin-Amoussa	14,26	42	177	3,2	0,5	2,6	1,9	1,0	ND	251,4	ND	ND	4,3
Viande de bœuf préparée	TBF/Dossa	49,65	306	1281	24,2	8,0	0,0	3,1	7,5	0,0	0,0	1,4	6,58	0,0
Viande de bœuf, un peu grasse, crue	TBF/ECSA	37,00	231	968	18,0	18,0	0,0	3,6	2,7	0,0	24,4	1,4	7,00	0,0
Viande de porc, un peu grasse, crue	TBF/ Bénin-Dossa	54,00	401	1676	12,0	35,0	0,0	1,8	1,6	0,0	0,0	5,5	40,00	0,0
Voandzou, cru	Bénin-Dossa/TAO	89,70	367	1536	18,8	6,2	4,8	12,2	0,0	1,0	1,7	0,0	285,00	0,0
Voandzou, cuit, facteur 0.21	Bénin-Dossa	45,88	77	322	4,0	1,3	1,0	2,6	ND	ND	0,1	ND	ND	ND
Yaourt, de lait entier	Bénin-Dossa/TAO	15,30	85	356	4,2	5,5	0,0	0,2	0,6	1,0	17,5	0,4	4,84	0,0
Avocat cru	TBF/ ECSA	20	120	502	1,4	11	1,8	1,4	0,4	18	33,3	0	22	0,6

Annexe 2.9 : Exemples de recettes moyennes

Aliment / Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Zamkpiti	Farine de maïs	31,64	0,32
	Eau	47,19	0,47
	Sel	1,27	0,01
	Niébé blanc	37,93	0,38
	Huile rouge	6,85	0,07

Aliment/ plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Sauce de noix de palme	Jus de noix de palme	185,11	1,85
	Poivre	1,50	0,01
	Oignon	3,10	0,03
	Tomate fraîche	9,80	0,10
	Piment rouge	3,40	0,03
	Poisson fumé	10,20	0,10

Aliment / Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Riz blanc cuit	Riz	43,86	0,44
	Eau	76,82	0,77
	Sel	1,46	0,01

Aliment/ plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Pâte de maïs blanc non décortiqué	Farine de maïs blanc non décortiqué	37,40	0,37
	Eau	82,77	0,82

Aliment/ Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Pâte de maïs blanc décortiqué	farine de maïs blanc décortiqué	24,87	0,25
	Eau	87,50	0,87
Pâte de maïs jaune non décortiqué	farine de maïs jaune non décortiqué	21,49	0,21
	Eau	66,91	0,67
Pâte de maïs jaune décortiqué	farine de maïs jaune décortiqué	32,10	0,32
	Eau	62,89	0,63

Aliment/ Plat	Ingrédients minimums	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Bouillie de maïs blanc non décortiqué sucrée	Farine de maïs blanc non décortiqué	13,7	0,14
	Sucre	1,12	0,01
	Eau de cuisson utilisée	160,90	1,61

Aliment/ Plat	Ingrédient minimum	Proportion moyenne	Coefficient moyen
Bouillie de maïs jaune non décortiqué non sucrée	Faine de maïs jaune	14,00	0,14

Aliment/ Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Bouillie de maïs blanc et soja	Faine de maïs non décortiqué	0,13	0,13
	Farine de soja	0,10	0,10

Aliment / plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Bouillie de maïs et de mil	Faine de maïs grillé	5,83	0,06
	Faine de sorgho	2,95	0,03
	Sucre	0,95	0,01
	Eau	135,10	1,35

Aliment/ Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Sauce tomate fraîche	tomate fraîche	18,50	0,18
	Oignon	5,30	0,05
	Piment	4,70	0,05
	huile de palme rouge	22,38	0,22

Aliment/ Plat	Ingrédients minimum	Proportions moyennes	Coefficients moyens
Sauce tomate (tomate en boîte)	tomate en boîte	8,06	0,08
	oignon	4,33	0,04
	piment	6,02	0,06
	huile d'arachide	16,04	0,16
	Cube	0,91	0,01
	poisson fumé	15,09	0,15

Annexe 2.10

Les besoins moyens énergétiques et les besoins moyens et apports journaliers recommandés par la FAO et l'OMS pour les jeunes enfants (de 6 à 35 mois)

Age (mois)	Energie (kcal/kg PC/j)	Protéines (g/kg PC/j)		Fer* (mg/j)		Zinc** (mg/j)		Vit C (mg/j)		Vit A (µg ER/j)		Vit B12 (µg/j)		Vit B9 (µg/j)		
Sources	FAO 2001	FAO/WHO 2007		FAO/WHO 2004		FAO/WHO 2004		FAO/WHO 2004		FAO/WHO 2004		FAO/WHO 2004		FAO/WHO 2004		
	Besoins moyens	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	Besoins moyens	Apport de sécurité RNI	
6-11	6- 9	77														
	10-11	F : 77 M : 79	1,12	1,31	14,4	18,6	5,59	8,4	8	30	190	400	0,6	0,7	65	80
	12-23	F : 80,1 M : 82,4	0,95	1,14												
24-35	18-23	F : 80,1 M : 82,4	0,85	1,03												
		F : 80,6 M : 83,6	0,79	0,97	9,2	11,6	5,97	8,3	8	30	200	400	0,7	0,9	120	150

*pour un régime alimentaire avec faible biodisponibilité du fer (5%)

** pour un régime alimentaire avec faible biodisponibilité du zinc (15%)

Annexe 2.11 : Recommandations et composition du lait maternel

Quantités de lait maternel ingéré et apports en énergie du lait maternel dans les pays en développement (OMS 1998).

Age (en mois)	Quantités de lait maternel ingéré (l/jour)		Apport en énergie du lait maternel (kcal/kg de poids corporel/jour)	
	Niveau moyen	Niveau bas*	Niveau moyen (moy -2ET)	Niveau bas (moy -2ET)
Age < 9	0,660	0,354	67	35
9 ≤ Age < 12	0,616	0,272	56	28
Age ≥ 12	0,549	0,175	39	3

Source : Tableau réalisé dans le cadre du WP4 (INSTAPA) à partir des données de l'OMS (1998).

Composition du lait maternel en nutriments.

Nutriments	Protéine	Lipide	Lactose	Folates	Vit. B12	Vit. C	Vit. A	Fer	Zinc
Unités	g/l	g/l	g/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg ER/l	mg/l	mg/l
Teneurs	10,5	39,0	72	85	0,97	40	500	0,3	1,2

Source : OMS (1998).

Annexe 2.12: Fiche-type de suivi de préparation de sauce feuilles

Enquête d'observation de plats fréquemment consommés par les enfants de 6mois à 3ans à Cotonou et à Zè

Identification du plat :

N° d'observation:

Date d'observation :

Type d'observation: **ménage**

Observateur :

Production ingrédient de base :

Fréquence de préparation : nombre de fois par semaine /___/ par mois /___/

Préparation pour: vente consommation familiale

Identité de la productrice

Nom :

Prénom :

Identification

Arrondissement :

Village :

Nom de la maison:

Nationalité :

Ethnie :

I. Blanchiment:

Heure début:

Heure fin:

durée:

Poids de la marmite (vide):

Poids de la marmite + eau :

Poids eau:

Heure d'ajout des légumes dans l'eau bouillante :

Poids légumes bouilli + marmite :

Poids légumes bouilli:

Suivi de pH

Egouttage 1 : oui non si oui, préciser comment :.....

Heure début:

Heure fin :

Durée :

Poids du récipient vide

Poids du récipient + produit:

Poids du produit après égouttage:

Lavage :

Méthode de lavage :

Heure début :

heure fin :

durée

Observations :

Egouttage 2 : oui non ☐ si oui, préciser
comment :

Heure début :

Heure fin :

Durée :

Poids du récipient vide:

Poids du récipient + produit :

Poids du produit après égouttage

II. Cuisson : gaz charbon bois

Heure début:

Heure fin:

durée:

Poids de la marmite (vide):

Ingrédients à rajouter dans tableau des ingrédients dans l'ordre d'introduction

Poids louche ou calebasse (permettant de rajouter l'eau à la sauce) :

Nombre de fois de rajout d'eau à la sauce :

Poids eau rajoutée à la sauce :

Poids de la marmite +sauce:

Poids du produit final:

Prélèvement produit fini A : 20g

Prélèvement produit fini B : 100g

Prélèvement produit fini C : 5g

Masse moyenne d'une portion :

TMS Sauce:

Caractéristiques sauce :

pH	T°C

III. Conservation : oui non

Si oui :

Matériel de conservation :

Temps de conservation avant 1ère consommation :

Temps de conservation total au cours de la consommation :

Méthode de conservation :

Protection de l'aliment préparé

Liste des ingrédients

[illegible]

Annexe 2.13

Fiche de préparation de sauce légume

Identification du plat : N° d'observation:

Date d'observation : Type d'observation: ménage /___/ bonnes dames /___/

Observateur :

Production ingrédient de base : Production familiale/___/ Don/___/ Achat au marché /___/

Fréquence de préparation : nombre de fois par semaine /___/ par mois /___/

Préparation pour: vente /___/ consommation familiale /___/

Identité de la productrice

Nom: Prénom :

Identification : Ville: Quartier: Rue:

N° concession : Nationalité : Ethnie :

Les ingrédients de base

1. Prélèvement des matières premières fondamentales au marché/**PM** (exemple : légume feuille, poisson fumé, oignons, huile de palme, graine de palme etc.)

2. Prélèvement des Ingrédients de base et traitement thermique subi

Etape	Prélèvement		Blanchiment		
	A faire	Quantité totale utilisée avant blanchiment	Température maximale mise en jeu	Durée	Quantité totale après blanchiment
Feuille amarante	oui				
Huile rouge	oui				
Tomate	oui				
Poisson	oui				
Graine de palme	oui				
Autres					

N.B Prélèvements : Huile rouge de préparation de la sauce (200g)

Cuisson : gaz charbon bois

Heure début: Heure fin: durée:

Poids de la marmite (vide):

Poids eau rajoutée à la sauce :

Poids de la marmite +sauce:

Poids du produit final:

Prélèvement produit final (Sauce)

Prélèvement A (Pour mesures TMS déjà surplace au Bénin) = 50 g

Prélèvement B (Composition globale à juger si nécessaire) = 300 g

Prélèvement C (pour caroténoïdes) = 200 g

Dosages Prévus

TMS Sauce

Teneur en caroténoïdes

Composition globale:

Composition de la sauce

Nom et nature de la sauce / Ingrédients	Poids			Lieu d'achat	Traitement de l'ingrédient	Durée de traitement	Heure d'ajout	Heure de cuisson	Cuisson finale	
	Poids bol vide	Poids bol + ingrédient	Poids net						Durée	T°C
Sauce finale										

Annexe 2.14

QUESTIONNAIRE D'APPRECIATION DE SAUCES FORMULEES

N°ID : Age enfant : Date Enquête : Lieu :
 Nom et Prénom de l'enfant : Nom et Prénom de la mère :

A-Test hédonique : Echelle de catégorie

APPRECIATION DES SAUCES PAR LES MERES SELON LEUR DEGRE DE SATISFACTION ET CELUI DE LEURS ENFANTS

Consignes : Vous recevez une sauce. Goûtez-la et cochez selon votre degré d'appréciation, le numéro de l'échelle de catégorie correspondant à votre impression pour chaque sauce ainsi que ses attributs sensoriels (aspect, odeur, densité et goût)

	La sauce	Aspect (attirance)	Odeur	Densité/épaississement	Goût
<i>Aime beaucoup (5)</i>					
<i>Aime modérément (4)</i>					
<i>Indifférent (neutre) : (3)</i>					
<i>N'aime pas (2)</i>					
<i>N'aime pas du tout (1)</i>					

Sauce Dénoussounou simple

	La sauce	Aspect (attirance)	Odeur	Densité/épaississement	Goût
<i>Aime beaucoup (5)</i>					
<i>Aime modérément (4)</i>					
<i>Indifférent (neutre) : (3)</i>					
<i>N'aime pas (2)</i>					
<i>N'aime pas du tout (1)</i>					

Sauce Dénoussounou avec légume-feuille Fotètè

Sauce légume-feuille Fotètè avec huile rouge

	La sauce	Aspect (attirance)	Odeur	Densité/épaississement	Goût
<i>Aime beaucoup (5)</i>					
<i>Aime modérément (4)</i>					
<i>Indifférent (neutre) : 3</i>					
<i>N'aime pas (2)</i>					
<i>N'aime pas du tout (1)</i>					

EVALUATION DES QUANTITES DE SAUCES CONSOMMEES PAR LES ENFANTS

Avant de faire manger la sauce à l'enfant pesez la quantité initiale et le reste de façon à dégager la quantité effectivement ingérée par l'enfant. Pour les mesures, séparez le poids de la sauce de celui du

	Sauce Dénoussounou simple	Sauce Dénoussounou avec Légume-feuille Fotètè	Sauce Légume- Feuille Fotètè avec huile rouge
Plat vide (g)			
Plat vide+ sauce (g)			
Plat vide+ sauce+poisson (g)			
Reste sauce (g)			
Quantité sauce consommée			
Reste poisson (g)			
Quantité poisson consommée(g)			

poisson. Utilisez la colonne spécifique à chaque sauce.

B-Test de préférence : Choix des sauces

Parmi les 3 sauces dégustées, quel est à votre avis, la sauce la plus adaptée à votre enfant,

C'est – à- dire celle qu'il préfère ?

- ☐ Dénoussounou simple
- ☐ Légume-feuille Fotètè avec huile rouge
- ☐ Dénoussounou avec légume-feuille Fotètè

Annexe 2.15 :

Photos prises au cours des séances d'appréciation des sauces formulées et de mesure des ingérés.



Photos montrant les enfants et leurs mères au cours de la séance de dégustation.

ANNEXE 3

(Annexes du chapitre 3. Résultats et discussions)

Annexe 3.1

Poster proposé au concours de posters scientifiques pour la promotion des partenariats bénino-français en matière de recherche pour le développement organisé en 2010 à Cotonou par le service d'action culturelle de l'ambassade de France, poster qui a obtenu le premier prix

Les sources de vitamine A dans l'alimentation du jeune enfant au Bénin

Waliou Amoussa Hounkpatin¹, Claire Mouquet-Rivier²

¹Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

²IRD (Institut de Recherche pour le Développement), UMR 204 Nutripass, IRD/UM1/UM2/Supagro, 911 avenue Agropolis, 34094 Montpellier cedex 5, France

Introduction

La vitamine A est une vitamine liposoluble présente dans les produits animaux sous forme de rétinol et dans les produits végétaux sous forme de caroténoïdes, précurseurs du rétinol. La carence en vitamine A (vit A) est fréquente dans les pays en développement et touche plus particulièrement les femmes enceintes et allaitantes et les jeunes enfants.

Elle entraîne des troubles visuels pouvant aller jusqu'à la cécité, mais aussi une baisse de la résistance aux infections constituant ainsi la plus importante cause de morbidité et de mortalité chez l'enfant. Au Bénin, la carence en vit A affecte environ 68 % des enfants de moins de 5 ans et serait la cause sous-jacente de 34 % de la mortalité infanto-juvénile (Analyse Profiles, 2004). La carence est principalement due à un déficit d'apport dans l'alimentation, pourtant, de nombreux aliments riches en vit A (teneur supérieure à 100 µg équivalent rétinol -ER) sont disponibles sur les marchés béninois (exemples sur la Figure 1).



Figure 1 : Huile de palme rouge et légume-feuille amarante.

Cadre et objectif de l'étude

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre du projet européen INSTAPA qui vise à définir des approches basées sur l'alimentation pour améliorer le statut en fer, zinc et vit A des enfants en Afrique subsaharienne. Sont présentés ici, les résultats d'une enquête de consommation alimentaire visant à identifier les principales sources de vit A dans l'alimentation du jeune enfant béninois. Des suivis de préparation et un échantillonnage des aliments riches en vit A les plus fréquemment consommés ont ensuite été réalisés dans différents ménages afin de déterminer leurs teneurs en vit A et sa variabilité, et de caractériser les procédés de préparation et leur influence sur la teneur et la bioaccessibilité de la vit A.

Résultats

La mangue, l'huile de palme rouge, diverses sauces légumes-feuilles, la sauce de noix de palme et les œufs sont les principaux aliments riches en vit A consommés, malheureusement par un pourcentage relativement faible d'enfants (Figure 3). En fonction des aliments, il apparaît des disparités selon les sites: l'huile de palme rouge est consommée par un plus grand nombre d'enfants au sud qu'au nord. La consommation de la mangue est saisonnière et coïncide ici avec la période d'enquête dans le nord (mars).

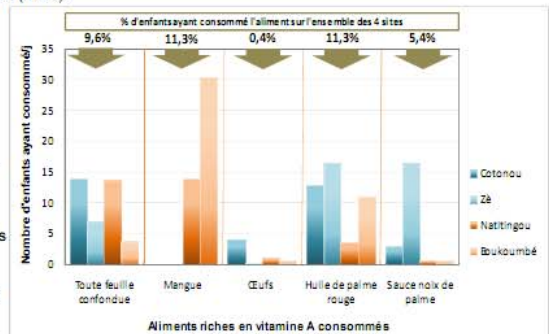


Figure 3. Aliments riches en vitamine A les plus fréquemment consommés par les jeunes enfants sur les 4 sites d'enquête.

Méthodologie

Une enquête de consommation alimentaire par pesée de tous les aliments consommés sur 3 jours non consécutifs a été réalisée en février-mars 2009 dans quatre localités du Bénin (figure 2) auprès de 420 enfants de 6 à 35 mois à raison d'environ 105 enfants par localité.

Les analyses biochimiques des légumes-feuilles et des sauces correspondantes ont été réalisées dans les laboratoires de l'IRD de Montpellier (France). Les caroténoïdes ont été dosés par chromatographie liquide haute performance (HPLC) et convertis en équivalent rétinol.



Figure 2 : Carte du Bénin présentant les 4 sites d'enquête.

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle des principales sauces consommées.

Type de sauce légume-feuille	n	Teneur en lipide* (g/100g)	Energie* (Kcal /100g)	Vitamine A* (µg ER/100g)
<i>Amaranthus cruentus</i> « Fotété »	5	13 ± 2	154 ± 13	539 ± 258
<i>Celosis argentea</i> « Soman »	5	12 ± 1	143 ± 6	564 ± 334
<i>Vernonia amygdalina</i> « Amanvivé »	5	13 ± 2	155 ± 10	440 ± 117
<i>Vitex doriani</i> « Forman »	5	14 ± 1	157 ± 6	815 ± 453
<i>Ocimum gratissimum</i> « Tchilayo »	5	16 ± 2	185 ± 11	1068 ± 1127
<i>Solanum macrocarpon</i> « Gboman »	5	14 ± 1	165 ± 6	246 ± 91
<i>Manihot esculenta</i> « Ringninman »	4	17 ± 3	194 ± 15	834 ± 110
Noix de palme + LF « Dénoussounou »	4	14 ± 1	146 ± 6	629 ± 503

*Moyenne ± Ecart-type



Figure 4 : Pilage de la noix de palme pour la préparation de la sauce de noix de palme avec légume-feuille amarante à Natitingou.

L'analyse biochimique des sauces à base de légumes-feuilles et d'huile de palme rouge ou de noix de palme révèle de fortes teneurs en lipides et en conséquence des valeurs énergétiques importantes (tableau 1). Leurs teneurs en vit A sont très élevées mais présentent aussi une grande variabilité. Cette variabilité est fonction de la formulation de la sauce et du procédé de préparation qui varient en réalité d'une préparatrice à l'autre.

Le tableau 2 présente le niveau de consommation des principaux aliments riches en vit A identifiés. Ces aliments couvrent plus du tiers des besoins en vit A. La sauce de noix de palme couvre à elle seule une seule prise près de 100% des apports journaliers recommandés.

Aliments	n*	Quantité moyenne consommée par prise (g)	Taux de couverture des AJR en vit A** (%)
Mangue	154	91,2	46
Œufs	22	91,1	40
Sauces			
- feuilles de vernonia	18	65,9	73
- feuilles d'amarante	49	60,1	81
- feuilles de manioc	3	42,6	89
- noix de palme***	93	52,5	83-114

*n= nombre de consommation pendant l'enquête

**AJR Vit A = apports journaliers recommandés chez les enfants de 6 à 35 mois = 400 µg ER (FAO/WHO, 2004)

***avec ou sans légume-feuille

Parmi ces différentes sauces, et en raison de leur fréquente consommation par les enfants durant l'enquête, celles aux feuilles d'amarante et huile de palme rouge ou noix de palme (figure 4) ont été retenues parmi les aliments ciblés pour la suite de l'étude pour une analyse plus approfondie.

Conclusion et perspectives

Cette étude montre qu'une large gamme d'aliments riches en vit A est disponible au Bénin. Lorsqu'ils sont consommés, ces aliments, en particulier les sauces participent très significativement à la couverture des apports recommandés. Cependant, peu de jeunes enfants y ont accès en quantité suffisante pour différentes raisons: la mangue est saisonnière et sa disponibilité est limitée à 2 ou 3 mois dans l'année. Très peu d'enfants consomment des produits animaux de type foie ou œuf, probablement pour des raisons de coût. Les sauces à base de légumes-feuilles et de noix de palme ou d'huile de palme rouge sont parmi les aliments riches en vit A consommés par le plus grand nombre d'enfants, mais leurs teneurs sont très variables en fonction des modes de préparation. Restent à étudier les risques liés aux procédés de préparation en vue de garantir une bonne rétention et la bioaccessibilité de ces caroténoïdes. L'étude se poursuit en effet pour caractériser l'influence du blanchiment des feuilles et de l'huile de palme rouge sur les teneurs en caroténoïdes des sauces.

Pour en savoir plus

- Site du projet Instapa : <http://www.instapa.org/instapa>
- FAO/WHO (2004) Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok. 2ème Edition.
- Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique et Macro International Inc. (2006). Enquête Démographique et de Santé – Bénin (EDSB-III). Calverton, Maryland, USA.





Annexe 3.2

Exemples de fiches-recettes

Les fiches recettes de la sauce à base de feuilles d'amarante et d'huile de palme rouge, ainsi que des sauces *Dénoussounou* à base de jus de noix de palme

Sauce noix de palme et feuilles - Sauce *Denoussounou*

Zone urbaine

Description et utilisations



Sauce noix de palme et feuilles

Cette sauce est préparée à partir de noix de palme et de différents types de feuilles (*Vernonia*, manioc, amarante...) qui sont finement hachées ou pilées. Elle est consommée en accompagnement de pâte de maïs.

Les noix sont d'abord versées dans une casserole contenant de l'eau qui est portée à ébullition. Les noix sont ensuite égouttées et pilées pour en extraire un jus riche en huile. Après filtration, le résidu fibreux (tourteau) est jeté. L'extrait est alors chauffé pendant en moyenne 45 min puis les ingrédients sont ajoutés et la cuisson est poursuivie.

- **Date et lieu d'observation** : 2009 à Cotonou.
- **Nombre d'observations** : 4 observations dans des ménages.
- **Teneur en matière sèche** moyenne de l'aliment tel que consommé : 22,0%.
- **pH moyen** : 5,6.

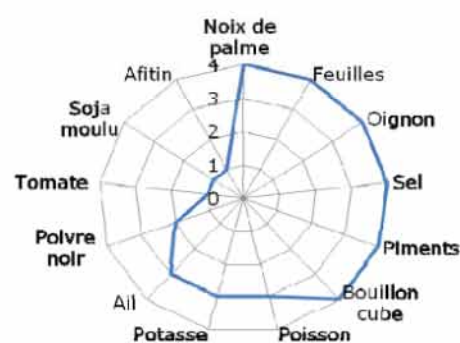
Ingrédients

Pour 300 g de noix de palme fraîches

Ingrédients	Poids brut (g)	%MS
Noix de palme	300	52
Feuilles	118	23
Oignon frais	11	1,4
Sel	6	6,0
Piment	frais	4
	sec	3
Bouillon cube	3	2,5
Maquereau frit	13	6,0
Potasse	1	0,4
Ail	1	0,2
Poivre noir	0,3	0,3
Tomate fraîche	22	0,2
Soja moulu	27	4,9
Afitin*	3	0,6
Eau	38	-

*voir notes en bas de p 108.

Nombre d'observations



Pilage des feuilles de manioc

Sauce noix de palme - Sauce *Denoussounou*

Zone urbaine

Description et utilisation



Sauce noix de palme

Cette sauce est préparée à partir de noix de palme comme la précédente mais aucune feuille n'est ajoutée à la préparation. Elle est consommée en accompagnement de pâte de maïs.

- **Date et lieu d'observation :** 2009 à Cotonou.
- **Nombre d'observations :** 4 observations dans des ménages.
- **Teneur en matière sèche** moyenne de l'aliment tel que consommé : 26,5%.
- **pH moyen :** 5,4.

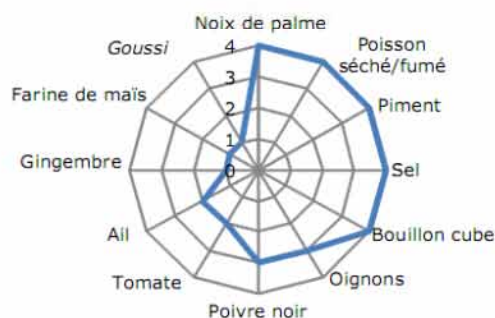
Ingrédients

Pour 300 g de noix de palme

Ingrédients	Poids brut (g)	% MS
Noix de palme	300	61
Poisson, frit ou fumé	32	25
Piment	frais	7
	sec	3
Sel	3	3,8
Bouillon cube	2	2,1
Oignon	5	0,6
Poivre noir	1	1,4
Tomate fraîche	13	0,5
Ail	1	0,4
Gingembre	1	0,1
Farine de maïs blanc	8	1,7
Faux sésame «goussi»*	8	2,4
Eau	12	-

*voir notes en bas de p 108.

Nombre d'observations



Noix de palme