

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA
SANTÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV)

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2018

N° d'ordre : 201856

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Nutrition et Alimentation Humaine

Présentée par

M. ABDOU BADIANE

**IMPACT DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION
SUR LA PREVENTION DE LA MALNUTRITION MATERNELLE
ET INFANTILE AU COURS DES 1000 PREMIERS JOURS DE VIE
A KAFFRINE**

Soutenue le 29 Janvier 2019, devant le jury composé de :

Président	M. Mouhamadou Guélaye	SALL	Professeur Titulaire	FMPOS-UCAD
Rapporteurs	M. Amadou Tidiane	GUIRO	Professeur Titulaire	FST-UCAD
	M. Philippe	DONNEN	Professeur Titulaire	ULB-BELGIQUE
	Mme Nicole Idohou	DOSSOU	Maître de Conférences	FST-UCAD
Examineurs	M. Kandoura	NOBA	Professeur Titulaire	FST-UCAD
	Mme Adama	DIOUF	Maître Assistante	FST-UCAD
Directrice de thèse	Mme Salimata	WADE	Professeur Titulaire	FST-UCAD

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire de Nutrition, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar sous la direction scientifique du **Professeur Salimata WADE**. Ce travail a bénéficié du soutien financier de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) de la Coopération Belge au développement à travers un Projet de Recherche pour le Développement (PRD). Ce travail a aussi bénéficié du soutien financier de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) à travers un Coordinated Research Project (CRP-E4.30.29). J'exprime mes remerciements à ces structures et leur témoigne toute ma reconnaissance.

Mes remerciements :

Au Professeure Salimata WADE, ma Directrice de thèse, pour avoir accepté d'encadrer cette thèse jusqu'au bout avec toute la rigueur scientifique, et ce malgré votre départ à la retraite. Durant toutes ces années passées à vos côtés, j'ai reçu un enseignement et un encadrement scientifique de qualité. Merci Professeure pour m'avoir communiqué votre amour du travail bien fait. Soyez assurée de ma reconnaissance éternelle. Je remercie Allah de m'avoir donné l'occasion de travailler avec vous et je l'implore pour qu'IL vous accorde une excellente santé pour que vous jouissiez totalement de votre retraite.

Au Docteur Adama DIOUF, Maître Assistante à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD, Département de Biologie Animale, Laboratoire de Nutrition, qui a été d'un soutien inestimable tout au long de la réalisation de ce travail. Vous savez donner sans rien attendre en retour. Je vous remercie du fond du cœur pour votre soutien, votre disponibilité et la confiance que vous avez toujours placée en moi. Que la bénédiction de Dieu repose sur vous et votre famille. Je vous souhaite une brillante carrière de chercheuse.

Au Professeure Nicole Idohou-DOSSOU, Maître de Conférences (CAMES) à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD, Directrice du Laboratoire de Nutrition et Responsable de la Formation Doctorale en Nutrition et Alimentation Humaine pour les suggestions pertinentes dont j'ai bénéficié auprès de vous tout au long de ce travail et pour avoir accepté de faire partie du jury. Votre personnalité, votre soutien moral, votre compréhension, votre gentillesse m'ont beaucoup marqué durant toutes ces années. Que le Bon Dieu vous bénisse et vous accompagne dans votre mission et dans tous les projets entrepris.

Au Professeur Mouhamadou Guélaye SALL de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar pour l'immense honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail et d'assurer la présidence de ce jury. Je vous remercie d'avoir été toujours présent par vos prières et vos conseils. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Que Dieu vous accorde longue vie et santé.

Au Professeur Amadou Tidiane GUIRO, Recteur de l'Université du Sine Saloum El Hadj Ibrahima Niass pour avoir contribué à ma formation universitaire, d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse et d'en être le rapporteur. Vos conseils et recommandations m'ont toujours été d'une grande utilité. Que Dieu vous accorde longue vie et santé.

Un remerciement tout particulier au Pr Philippe DONNEN, Professeur Titulaire à l'Ecole de Santé Publique de l'Université Libre de Bruxelles, pour avoir accepté de participer à ce travail. Votre simplicité est une de vos qualités qui m'a beaucoup marqué. Votre disponibilité, vos suggestions scientifiques pertinentes et surtout votre ouverture ont largement contribué à la réussite du projet PRD et de la qualité de cette thèse. Merci pour votre généreuse collaboration.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Professeur Kandjioura NOBA de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD pour l'honneur de siéger à mon jury de thèse. Merci pour votre présence.

Mes remerciements à toutes les équipes du PRD. J'associe à ces remerciements l'Agence Nationale d'Insertion et de Développement Agricole (ANIDA) ainsi que la Cellule de Lutte contre la Malnutrition.

Profondes gratitude au Docteur Ibrahima Sokhna, Médecin Chef de District de Malem Hodar, à Babacar Diop, Infirmier Chef de Poste de Kathiotte, à Mme Maimouna Ndiaye et Moussa Faye, Infirmiers Chef de Poste de Sagna, aux relais communautaires, aux chefs de ménages et aux couples mère-enfant pour leur engagement et leur collaboration pour la réalisation de cette étude.

Merci à l'équipe de terrain qui m'a aidé dans ce travail, malgré toutes les difficultés rencontrées. Je veux nommer Bathie Diome, Ndeye Ndambao Sarr, Malang Sagna, Mme Mame Astou Senghor, Mbeugué Thiam et Mariama Sarr.

Je souhaite également remercier chaleureusement les doctorants du Laboratoire de Nutrition « mes amis du syndicat » : Pape Mamadou dit Doudou Sylla, Mane Hélène Faye Badiane et Ousmane Diongue pour leur disponibilité et leurs appuis multiformes tout au long de ce travail. Je vous souhaite beaucoup de courage mes amis et surtout de la persévérance pour l'atteinte de vos objectifs respectifs.

Merci à tout le personnel administratif et technique du Laboratoire de Nutrition, mention spéciale à Mme Fofana Adama Sané pour son entière disponibilité. J'associe à ses remerciements, Youssou Ndour, Amadou B. Seydi, Maguette Sall Gueye.

Au Docteur Babou Diaham pour le temps qu'il a bien voulu consacrer à la relecture profonde de ce manuscrit. Trouvez ici l'expression de ma gratitude.

Profonds remerciements à ma belle-famille, ma belle-mère Aby Gueye en particulier, pour leur soutien moral.

Pour terminer, je voudrais témoigner toute ma reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES



A mon père Seni BADIANE et à mes deux chères mamans Fatou Diedhiou et Fatou Seck

Pour l'amour, l'éducation, le soutien sans faille et les sacrifices auxquels vous avez consenti. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité et la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Recevez à travers ce travail toute ma reconnaissance éternelle. Je prie Dieu, par son nom Al-Malikoul-Moulk, pour qu'IL vous accorde longue vie et santé.

A ma tendre épouse Ndeye Aissatou Fall BADIANE

Ce travail est le fruit de ta patience, ta tolérance et ton soutien permanent. Je m'excuse pour tous ces moments d'absence. Reçoit à travers ce travail tout mon amour et mon affection. Que Dieu, le Tout Puissant, nous accorde un avenir radieux.

A ma fille Souadou Abdou BADIANE

Mon adorable ange, mon rayon de soleil, je te dédie ce modeste travail en implorant DIEU le tout puissant de te protéger. Puisse ce travail te servir de référence dans la vie de tous les jours.

A mes frères et sœurs : Lamine, Babacar, Aliou, Mansour, Aissatou et Oumane

Vous avez été d'un soutien inestimable. Je vous suis reconnaissant pour les encouragements, les sacrifices, le soutien matériels et financiers et l'amour que vous avez toujours manifesté à mon égard.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	Analyse en composantes principales
ACRA	Association de Coopération Rurale en Afrique et en Amérique latine
ADN	Acide désoxyribonucléique
AGP	Alpha-1 Acide Glycoprotéine
AGR	Activité Génératrice de Revenus
AIEA	Agence Internationale de l'Énergie Atomique
ANIDA	Agence Nationale d'Insertion et de Développement Agricole
ANJE	Alimentation du nourrisson et du jeune enfant
ANOVA	Analyse de variance à un facteur
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
ARD	Agence Régionale de Développement
ASN	Agriculture Sensible à la Nutrition
BCG	vaccin Bilié de Calmette et Guérin
BOND	Biomarkers of Nutrition for Development
BRINDA	Biomarkers Reflecting Inflammation and Nutrition Determinants of Anemia
CEP	Champs écoles de producteurs
CI	Contrôle Interne
CLD	Comité Local de Développement
CLM	Cellule de Lutte contre la Malnutrition
CNERS	Comité national d'éthique pour la recherche et la santé
COSFAM	Comité sénégalais pour la fortification des aliments en micronutriments
CPN	Consultation prénatale
CPON	Consultation postnatale
CPP	Cadre de programmes pays
CRP	Protéine C-Réactive
CRPSSI	Centre de recherche sur les politiques et les systèmes de santé internationale
D ₂ O	Oxyde de Deutérium
DAN	Division de l'alimentation et de la nutrition
DEE	Dysfonctionnement entérique environnementale
DID	Dilution au deutérium
DOL	Degree of liking
DPRS	Direction de la planification de la recherche et des statistiques
ECT	Eau corporelle totale
EDS	Enquête démographique et de santé
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCFA	Franc de la Communauté financière africaine
FH	Facteur d'hydratation
FPN	Faible poids de naissance

FST	Faculté des Sciences et Techniques
FTIR	Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier
GIE	Groupement d'Intérêt Economique
Hb	Hémoglobine
HPLC	Chromatographie liquide haute performance
IA	Indice d'acceptabilité
IC	Intervalle de confiance
ICRISAT	International crops research institute for the semi-arid tropics
IFPRI	Institut international de recherche sur les politiques alimentaires
IMC	Indice de masse corporelle
IMG	Indices de masse grasse
IMM	Indices de masse maigre
IPDSR	Institut de formation et de recherche en population, développement et santé de la reproduction
IRA	Infection respiratoire aiguë
ISO	Organisation internationale de normalisation
ISRA	Institut sénégalais de recherches agricoles
IZiNCG	International zinc consultative group
LARTES	Laboratoire de recherche sur les transformations économiques et sociales
LQAS	Lot quality assurance sampling
M ± ET	Moyenne ± Ecart-type
MAER	Ministère de l'agriculture et de l'équipement rural
MAS	Malnutrition aiguë sévère
MDA	Diversité alimentaire minimale
MG	Masse grasse
%MG	Pourcentage de masse grasse
MI	Micronutrient initiative
MM	Masse maigre
MNTs	Maladies non transmissibles
MRC-HNR	Medical Research Council - Human Nutrition Research
MSAS	Ministère de la Santé et de l'Action Sociale
ODD	Objectifs de Développement Durable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation non-gouvernementale
P2RS	Projet de Renforcement de la Résilience à la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle Récurrente au Sahel
PADAER	Programme d'Appui au Développement Agricole et à l'Entrepreneuriat Rural
PADEN	Programme d'Aménagement et de Développement Economique des Niayes
PAFA	Programme d'Appui aux Filières Agricoles
PAM	Programme alimentaire mondial
PAPSEN	Programme d'Appui au Programme National d'Investissement de l'Agriculture au Sénégal

PASA	Projet d'Appui à Sécurité Alimentaire dans les Régions de Louga, Matam et Kaffrine
Lou-Ma-Kaf	
PB	Périmètre brachial
PCIME	Prise en charge intégrée des maladies de l'enfant
PDCO	Patate Douce à Chair Orangée
PNDN	Politique Nationale de Développement de la Nutrition
PRD	Projet de Recherche pour le Développement
PSE	Plan Sénégal Emergent
PSMN	Plan Stratégique Multisectoriel de la Nutrition
PTZ	Poids-pour-taille en z-score
RCIU	Retard de croissance intra-utérin
RE	Rétinol Equivalent
S&E	Suivi-évaluation
SDAF	Score de Diversité Alimentaire de la Femme en âge de procréer
SECNSA	Secrétariat Exécutif du Conseil National de Sécurité Alimentaire
SMART	Standardized Monitoring and Assessment of Relief and transitions
SPC	Suivi Promotion de la Croissance
SPRING	Strengthening Partnerships, Results, and Innovations in Nutrition Globally
SVA	Supplémentation en Vitamine A
TAZ	Taille-pour-âge en z-score
TDCI	Troubles Dus à la Carence en Iode
UCAD	Université Cheikh Anta Diop
ULB	Université Libre de Bruxelles
UNICEF	Fonds des Nations unies pour l'enfance
USAID	Agence des Etats-Unis pour le développement international
VA	Vitamine A
V _D	Volume de dilution
WASH	Water, Sanitation and Hygiene
WHO	World Health Organisation

PRESENTATION DE LA THESE

Notre travail comprend cinq parties :

- La première est une revue bibliographique de la littérature scientifique sur l'agriculture sensible à la nutrition (définition et historiques, composantes, programmes d'agriculture sensible à la nutrition mis en œuvre au Sénégal, suivi & évaluation des projets d'agriculture sensible à la nutrition) ;
- La seconde porte sur la malnutrition au cours des 1000 premiers jours (définition et importance, causes conséquences, stratégie de lutte et de prévention) ;
- La troisième est consacrée à la mise en place du projet d'agriculture sensible à la nutrition à Kaffrine avec ses différentes composantes, à la justification du choix des cultures et au test sensoriel et d'acceptabilité de la patate douce à chair orangée ;
- La quatrième partie porte sur la mesure du statut de base des couples mère-enfant en particulier sur le statut sociodémographiques, l'alimentation, la santé, l'état nutritionnel (anthropométrie et composition corporelle) et le statut en fer et en vitamine A ;
- La cinquième est consacrée à l'évaluation d'impact de l'agriculture sensible à la nutrition sur l'état de santé, l'alimentation et l'état nutritionnel des couples mère-enfant.

A la suite de ces différentes parties, nous présentons une conclusion générale du travail et des recommandations.

VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE

Les travaux présentés dans cette thèse ont donné lieu à des publications dans des revues à comité de lecture avec impact factor et à des communications présentées à des conférences nationales et internationales de nutrition.

Publications

Article 1 : Badiane A, Sylla PMDD, Diouf A, Tall L, Mbaye MS, Cisse NS, Dossou NI, Wade S, Donner P. Sensory evaluation and consumer acceptability of orange-fleshed sweet potato by lactating women and their children (<2 years old) in Kaffrine, Central Groundnut Basin, Senegal. *African Journal of Food Science* 2018;12(11):288-296.

Article 2 : Badiane A, Diouf A, Sarr M, Dione JMN, Dossou NI, Wade S. Factors associated with early initiation of breastfeeding and complementary feeding practices in infants and young children in rural area of Senegal: a cross-sectional study. ***BMC Pregnancy and Childbirth (en révision)***

Article 3 : Badiane A, Diouf A, Cissé NS, Sylla PMDD, Dossou NI, Tall L, Noba K, Sall AS, Mergeai G, Godin I, Wade S, Donner P. Impact of nutrition-sensitive agriculture on maternal and child (6-23 months) malnutrition in Kaffrine rural areas, Senegal: Study protocol and baseline data.

Public Health Nutrition (en révision)

Communications

21st International Congress of Nutrition, IUNS October 15-20 2017, Buenos Aires, Argentina

Badiane A, Dione JMN, Sarr M, Dossou NI, Diouf A, Wade S. Factors associated with early initiation of breastfeeding and complementary feeding practices in infants and young children in rural area of Senegal. *Ann Nutr Metab* 2017;71(suppl 2):1-1433. **Poster.**

1^{ère} édition des doctoriales du collège des écoles doctorales de l'UCAD, 29 novembre 02 décembre 2016

Badiane A, Diouf A, Sarr M, Dione JM, Dossou NI, Wade S. Pratiques d'allaitement maternel et d'alimentation complémentaire et facteurs associés chez les enfants âgés de 0-23 mois en milieu rural sénégalais. **Communication orale.**

3rd Federation of African Nutrition Societies Congress, FANUS 24th-28th May 2015, Arusha, Tanzania

Badiane A, Dione JMN, Sarr M, Dossou NI, Diouf A, Wade S. Complementary feeding practices and nutritional status of 6–23 months children in rural area of Senegal. **Poster.**



UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

THESE DE DOCTORAT

RESUME

Prénom et Nom de la candidate : Abdou Badiane

Titre de la thèse : Impact de l'agriculture sensible à la nutrition sur la prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie à Kaffrine

Jury :	Président	M. Mouhamadou Guélaye	SALL	Professeur Titulaire	FMPOS-UCAD
	Rapporteurs	M. Amadou Tidiane	GUIRO	Professeur Titulaire	FST-UCAD
		M. Philippe	DONNEN	Professeur Titulaire	ULB-BELGIQUE
		Mme Nicole Idohou	DOSSOU	Maître de Conférences	FST-UCAD
	Examineurs	M. Kandiouara	NOBA	Professeur Titulaire	FST-UCAD
		Mme Adama	DIOUF	Maître Assistante	FST-UCAD
	Directrice de thèse	Mme Salimata	WADE	Professeur Titulaire	FST-UCAD

Soutenue le 29 Janvier 2019 à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Résumé : L'agriculture sensible à la nutrition (ASN) est une approche durable qui vise à assurer la production d'aliments à haute valeur nutritionnelle, culturellement adaptés, sains, de qualité, en quantité suffisante et à des prix abordables pour satisfaire durablement les besoins nutritionnels des populations. L'objectif de notre étude est d'évaluer l'impact de l'ASN sur la prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie en milieu rural à Kaffrine. Une étude d'intervention à base communautaire a été menée dans trois (3) villages bénéficiant du Programme de Renforcement de la Nutrition de la CLM. Une ferme agricole a été mise en place à Sagna par l'ANIDA intégrant un poulailler et une culture associée de patate douce à chair orangé (PDCO) et de *Moringa oleifera* et d'autres produits horticoles. Sagna ainsi que les villages polarisés dans un rayon de 3 km constituent le « village d'intervention » et bénéficie des produits de la ferme et d'une nouvelle stratégie de communication/éducation nutritionnelle. Deux autres villages distants chacun d'au moins de 10 km du village d'intervention constituent les villages témoins : Malem Hodar (communication/éducation nutritionnelle) et Kathiotte (contrôle). L'étude du statut de base a été effectuée sur 213 couples mère-enfant à Sagna (n=71), Malem Hodar (n=72) et à Kathiotte (n=70). Les données socioéconomiques, alimentaires et de santé ont été collectées par questionnaires et l'état nutritionnel évalué par des mesures anthropométriques, de composition corporelle par dilution isotopique au deutérium et par des mesures biologiques (statut en fer et vitamine A). L'impact de l'ASN a été évalué entre le village de Sagna et de Kathiotte à 12, 18 et 23 mois.

Les teneurs en β -carotène de la PDCO et des feuilles de *Moringa oleifera*, mesurées par colorimétrie, peuvent couvrir entre 14 et 111% des apports en vitamine A des couples mères-enfant de 6 à 23 mois. Le test sensoriel et d'acceptabilité de la PDCO a été effectué chez 80 couples mère-enfant à Sagna en utilisant l'échelle des 7 points hédoniques. La PDCO bouillie, frite et en purée ont de bonnes propriétés sensorielles et sont bien appréciées par les mères et leurs enfants (index d'acceptabilité > 80%). L'étude du statut de base a révélé que 16% des mères ont un déficit énergétique et 33,3% un excès d'adiposité. Chez les nourrissons (6 à 8 mois), 4,2% présentent une émaciation et 9,9% un retard de croissance. Une association positive et significative a été observée entre le statut nutritionnel de la mère et celui de l'enfant. La carence marginale en VA et en fer touchent respectivement 27,7% et 37,1% des mères, alors que chez les nourrissons, 89,3% sont anémiques et 96,9% carencés en fer. Les pratiques d'allaitement et d'alimentation complémentaire sont inappropriées, marquées par une faible consommation d'aliments d'origine animale, de fruits et légumes et sont sous l'influence des facteurs socioculturels. Au cours de l'intervention de l'ASN, le score et la diversité alimentaire ont significativement augmenté à 12, 18 et 23 mois chez les couples mère-enfant de Sagna par rapport à ceux de Kathiotte. Une masse maigre significativement plus élevée est également observée à 23 mois chez les enfants de Sagna ($8,8 \pm 1,1$ kg) comparés à ceux de Kathiotte ($8,4 \pm 1,1$ kg ; $P=0,031$). Aucune différence significative n'est observée sur les indicateurs anthropométriques des mères et des enfants. En conclusion, la PDCO, cultivée pour la première fois dans la région de Kaffrine, est bien acceptée et appréciée par les mères et les enfants de 6-23 mois. La malnutrition et les maladies infectieuses sont présentes et à un stade précoce et persistent chez les enfants. L'ASN a eu un impact positif sur l'amélioration de la diversité alimentaire des couples mère-enfant et sur la composition corporelle des enfants à long terme. Par contre, aucun impact n'a été décelé sur l'émaciation et le retard de croissance. Une intervention d'ASN plus précoce et plus longue, avec une production animale relativement importante, devrait être envisagée ainsi qu'une meilleure stratégie de prévention et de contrôle des maladies maternelles et infantiles en milieu rural.

Mots-clés : Agriculture sensible à la nutrition, malnutrition maternelle et infantile, santé, alimentation, composition corporelle, milieu rural, Sénégal.

Thesis title: Impact of nutrition-sensitive agriculture on the prevention of maternal and child malnutrition during the first 1000 days of life of Kaffrine

Abstract:

Nutrition-sensitive agriculture (NSA) is a sustainable approach that seeks to ensure the production of a variety of affordable, nutritious, culturally appropriate and safe foods in adequate quantity and quality to meet the dietary requirements of the population. The objective of this study was to evaluate the impact of ASN on the prevention of maternal and child malnutrition during the first 1000 days of life in rural Kaffrine. A community-based intervention study was conducted in three (3) villages benefiting from the nutrition enhancement program of CLM. An agro-pastoral farm was set up in Sagna by ANIDA, integrating a poultry and associated cultivation of orange-fleshed sweet potato (OFSP) and *Moringa oleifera* and other horticultural products. Sagna and surrounding villages constituted the “intervention village” and benefited from farm products and a new communication/nutritional education strategy. Two other villages, distant at least 10 km from the intervention village, were used as control villages: Malem Hodar (communication/nutritional education) and Kathiotte (control). The baseline study was performed on 213 mother-child pairs selected in Sagna (n = 71), Malem Hodar (n = 72) and Kathiotte (n = 70). Socio-economic, food and health data were collected by questionnaires, nutritional status was assessed by anthropometry, body composition measured by deuterium dilution method and biological measurements (iron and vitamin A status). The impact of NSA was assessed between the village of Sagna and Kathiotte at 12, 18 and 23 months.

β -carotene contains of OFSP and *Moringa oleifera* leaves produced in the farm, measured by colorimetry, can cover between 14% and 111% of vitamin A intake of mother-child pairs 6 - 23 months of age. Sensory and acceptability test of OFSP was performed in 80 mother-child pairs in Sagna using the 7 hedonic points scale. Boiled, fried and mashed OFSP have good sensory properties and were well appreciated by mothers and their children (acceptability index > 80%). Baseline study found that 16% of mothers were underweight and 33.3% presented excess body fat. In infants (6 to 8 months), 4.2% was wasting and 9.9% stunted. A positive and significant association was found between nutritional status of mothers and that of children. Vitamin A insufficiency and iron deficiency affected respectively 27.7% and 37.1% of mothers, while 89.3% of infants was anemic and 96.9% iron deficient. Breastfeeding and complementary feeding practices were inappropriate, characterized by low consumption of animal source foods, fruits and vegetables and were influenced by socio-cultural factors. During the NSA intervention, dietary diversity score was significantly increased at 12, 18 and 23 months in mother-child pairs in Sagna compared to those of Kathiotte. A significantly higher fat free mass was also observed in Sagna children at 23 months (8.8 ± 1.1 kg) compared to Kathiotte (8.4 ± 1.1 kg, $P = 0.031$). No significant difference was found in all anthropometric indicators of mothers and children.

In conclusion, OFSP, cultivated for first time in Kaffrine area, was well accepted and appreciated by mothers and children aged 6-23 months. Malnutrition and infectious diseases were present in early life and persist in children. NSA had a positive impact on dietary diversity improvement of mother-child pairs and on children body composition in long term. No impact was detected on wasting and stunting. Earlier and longer NSA intervention, with relatively high animal production, should be considered as well as better strategy for the prevention and control of maternal and child diseases in rural area.

Keywords: Nutrition-sensitive agriculture, maternal and child undernutrition, health, diet, body composition, rural area, Senegal.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE SUR L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION	1
1. DEFINITION ET HISTORIQUE	2
2. COMPOSANTES DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION	3
2.1. Production alimentaire	4
2.1.1. Diversification et intensification durable de la production agricole	4
2.1.1.1. <i>Systèmes d'agriculture intégrée</i>	5
a) Définition et importance	5
b) Systèmes d'agriculture intégrée à grande échelle	5
c) Systèmes d'agriculture intégrée à petite échelle	8
2.1.2. Elevage et pêche sensible à la nutrition	9
2.1.2.1. <i>Elevage</i>	9
a) Volaille	9
b) Petits ruminants	10
c) Grands ruminants	10
2.1.2.2. <i>Pêche</i>	11
2.1.3. Biofortification	11
2.2. Gestion des produits de la récolte	12
2.2.1. Pratiques de gestion après les récoltes	12
2.2.1.1. <i>Stockage</i>	13
2.2.1.2. <i>Transformation</i>	13
2.2.2. Fortification ou enrichissement des aliments	14
2.3. Accès au marché et commercialisation des aliments	15
2.3.1. Accès au marché	15
2.3.2. Commercialisation des aliments	15
2.4. Demande des consommateurs, préparation des aliments et préférences alimentaires	16
2.4.1. Communication-éducation nutritionnelle	16
2.4.2. Protection sociale sensible à la nutrition	17
2.5. Autonomisation des femmes	18
3. PROGRAMMES D'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION MIS EN ŒUVRE AU SENEGAL	19
3.1. Initiative nationale	20
3.2. Initiatives des organisations non-gouvernementales	21
3.2.1. USAID/Yaajeende	21
3.2.2. USAID/SPRING (Strengthening Partnerships, Results, and Innovations in Nutrition Globally)	22
3.2.3. Programme Alimentaire Mondiale (PAM)	23
3.2.4. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)	23
3.2.4.1. <i>Alimentation et nutrition scolaire</i>	23
3.2.4.2. <i>Education nutritionnelle aux producteurs</i>	24

3.2.4.3. <i>Diversification alimentaire et autonomisation des femmes</i> -----	24
4. SUIVI ET EVALUATION DES PROJETS D'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION -----	24
CHAPITRE II : MALNUTRITION AU COURS DES 1000 PREMIERS JOURS DE VIE -----	28
1. DEFINITION ET IMPORTANCE DES 1000 PREMIERS JOURS.	29
2. MALNUTRITION AU COURS DES 1000 PREMIERS JOURS -----	30
2.1. Bref rappel sur la malnutrition au cours des 1000 premiers jours de vie-----	30
2.1.1. Malnutrition maternelle -----	30
2.1.1.1. <i>Carence ou déficit énergétique</i> -----	30
2.1.1.2. <i>Petite taille de la mère</i> -----	31
2.1.1.3. <i>Surpoids/obésité de la mère</i> -----	32
2.1.2. Malnutrition fœtale -----	33
2.1.2.1. <i>Retard de développement intra-utérin</i> -----	33
2.1.2.2. <i>Faible poids de naissance</i> -----	34
2.1.3. Malnutrition infantile-----	35
2.1.3.1. <i>Emaciation ou malnutrition aiguë</i> -----	35
2.1.3.2. <i>Retard de croissance</i> -----	37
2.1.3.3. <i>Surpoids/obésité</i> -----	40
2.1.4. Carences en micronutriments-----	41
2.1.4.1. <i>Carence en fer</i> -----	41
2.1.4.2. <i>Carence en vitamine A</i> -----	42
2.1.4.3. <i>Carence en zinc</i> -----	43
2.1.4.4. <i>Carence en acide folique</i> -----	44
2.1.4.5. <i>Carence en iode</i> -----	45
3. CAUSES DE LA MALNUTRITION PAR CARENCE -----	46
3.1. Causes immédiates de la malnutrition -----	47
3.1.1. Inadéquation de la ration alimentaire-----	47
3.1.2. Maladie -----	49
3.2. Causes intermédiaires ou sous-jacentes -----	49
3.2.1. Insécurité alimentaire-----	50
3.2.2. Inadéquation des pratiques alimentaires et sanitaires -----	50
3.2.3. Manque d'accès à l'eau et à un environnement salubre -----	52
3.3. Causes fondamentales -----	52
3.3.1. Causes politiques et économiques -----	52
3.3.2. Causes socioculturelles-----	53
3.3.3. Conflits -----	53
3.3.4. Changements climatiques -----	54
4. STRATEGIES DE PREVENTION DE LA MALNUTRITION AU SENEGAL ----	54
4.1. Interventions spécifiques à la nutrition -----	55
4.2. Interventions sensibles à la nutrition -----	55
5. PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE -----	56
6. OBJECTIFS DE L'ETUDE -----	57

6.1. Objectif général -----	57
6.2. Objectifs spécifiques -----	57
CHAPITRE III : MISE EN PLACE DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION A KAFFRINE-----	58
1. PROJET PRD : OBJECTIFS, COMPOSANTES ET RESULTATS ATTENDUS...59	
1.1. Objectifs-----	59
1.2. Composantes -----	59
1.2.1. Création de la plateforme multidisciplinaire de recherche -----	59
1.2.2. Choix du village d'implantation de la ferme agricole-----	60
1.2.3. Sélection des membres du groupement de producteurs de la ferme-----	60
1.2.4. Organisation et formation des membres du groupement de producteurs -----	61
1.2.5. Aménagement de la ferme agricole-----	61
1.2.6. Production agricole dans la ferme -----	62
1.2.7. Communication/éducation nutrition pour le changement de comportement-----	62
1.3. Résultats attendus du PRD -----	63
2. JUSTIFICATIFS DU CHOIX DES CULTURES PDCO ET MORINGA OLEFEIRA-----	63
2.1. Choix des cultures -----	63
2.2. Teneur en bêta-carotène et apports en vitamine A de la PDCO et du Moringa <i>oleifera</i> -----	64
2.2.1. Méthodes -----	64
2.2.2. Résultats-----	65
3. TEST SENSORIEL ET D'ACCEPTABILITE DE LA CONSOMMATION DE PATATE DOUCE A CHAIR ORANGEE CHEZ LES COUPLES MERE-ENFANT --	66
3.1. Objectifs-----	66
3.2. Matériel et méthodes -----	67
3.2.1. Sujets de l'étude-----	67
3.2.2. Taille de l'échantillon -----	67
3.2.3. Profil des participants-----	67
3.2.4. Préparations de la PDCO-----	67
3.2.5. Test sensoriel -----	68
3.2.6. Test d'acceptabilité -----	69
3.3. Analyses statistiques-----	70
3.4. Résultats -----	70
3.4.1. Caractéristiques des couples mère-enfant-----	70
3.4.2. Attitudes des couples mère-enfant vis-à-vis de la PDCO-----	70
3.4.3. Test sensoriel des différents types de préparations de la PDCO-----	72
3.4.4. Consommation de la PDCO, durée d'alimentation et vitesse de la prise alimentaire par type de préparation -----	74
3.4.5. Acceptabilité des différentes préparations de la PDCO-----	74
3.5. Discussion -----	76
CHAPITRE IV : STATUT DE BASE DES COUPLES MERE-ENFANT-----	79
1. METHODOLOGIE.....	80
1.1. Cadre de l'étude -----	80

1.2. Choix des villages témoins-----	80
1.3. Ethique -----	81
1.4. Réunions de sensibilisation des autorités administratives et sanitaires -----	81
1.5. Taille d'échantillon et sélection des couples mère-enfant -----	82
1.6. Collecte des données -----	82
1.6.1. Collecte des données par questionnaire -----	82
1.6.1.1. <i>Alimentation des couples mère-enfant</i> -----	83
1.6.1.2. <i>Santé et morbidité</i> -----	84
1.6.2. Evaluation de l'état nutritionnel des couples mère-enfant-----	84
1.6.2.1. <i>Mesures anthropométriques</i> -----	84
1.6.2.1.1. Poids-----	84
1.6.2.1.2. Taille-----	85
1.6.2.1.3. Calcul et expression des indices anthropométriques -----	85
1.6.2.2. <i>Mesure de la composition corporelle</i> -----	86
1.6.2.2.1. Principe -----	86
1.6.2.2.2. Préparation et administration des doses de deutérium-----	87
1.6.2.2.3. Collecte des échantillons de salive-----	87
1.6.2.2.4. Mesure de l'enrichissement des échantillons de salive en deutérium-----	88
1.6.2.2.5. Détermination de la composition corporelle des couples mère-enfant -----	90
1.6.2.2.6. Seuils de classification du niveau d'adiposité selon pourcentage de masse grasse	91
1.6.2.3. <i>Prélèvement sanguin et dosages biologiques</i> -----	91
1.6.2.3.1. Prélèvements sanguins et conservation des échantillons-----	91
1.6.2.3.2. Mesure du taux d'hémoglobine -----	92
1.6.2.3.3. Dosage de la ferritine plasmatique -----	93
1.6.2.3.4. Dosage du rétinol plasmatique -----	94
1.6.2.3.5. Dosage de la Protéine C-Réactive (CRP) et de l'alpha-1-Acide Glycoprotéine (AGP)	95
1.6.2.3.6. Définition des carences et des infections et/ou inflammation-----	97
2. GESTION, SAISIE, CONTROLE DE QUALITE DES DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES -----	97
3. RESULTATS -----	98
3.1. Caractéristiques sociodémographiques de base des couples mère-enfant -----	98
3.2. Etat physiologique, soins de santé et état sanitaire des couples mère-enfant -----	100
3.3. Alimentation -----	102
3.4. Anthropométrie et composition corporelle-----	103
3.5. Statut biologique et infectieux -----	106
3.6. Corrélations entre le statut nutritionnel de la mère et de l'enfant -----	108
3.7. Déterminants de l'état nutritionnel des mères -----	108
3.8. Déterminants de l'état nutritionnel des nourrissons -----	111

4. DISCUSSION	114
CHAPITRE V : IMPACT DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION SUR L'ETAT DE SANTE, L'ALIMENTATION, L'ANTHROPOMETRIE ET LA COMPOSITION CORPORELLE DES MERES ET DE LEURS ENFANTS A 12, 18 ET 23 MOIS	118
1. RAPPEL METHODOLOGIQUE	119
2. RESULTATS	119
2.1. Etat de santé des couples mère-enfant	119
2.2. Alimentation des couples mère-enfant	121
2.3. Evolution de l'alimentation des couples mère-enfant au cours du suivi	123
2.3.1. Consommation alimentaire des mères	123
2.3.2. Diversité alimentaires des mères au cours du suivi	125
2.4. Evolution de l'alimentation des enfants au cours du suivi	127
2.4.1. Consommation alimentaire des enfants	127
2.4.2. Diversité alimentaire des enfants à Sagna et Kathiotte au cours du suivi	129
2.5. État nutritionnel des couples mère-enfant	131
2.5.1. Anthropométrie	131
2.5.5.1. Evolution des indicateurs anthropométriques des mères	133
2.5.5.2. Evolution des indicateurs anthropométriques des enfants	134
2.5.2. Composition corporelle des couples mère-enfant	135
3. DISCUSSION	137
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	142
1. CONCLUSION GENERALE	143
2. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	144
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	146
ANNEXES	173
PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE	174
COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES	175
CURRICULUM VITAE	176

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Passerelles reliant l’agriculture et la nutrition (Gillespie et al., 2012)	3
Figure 2 : Système intégré agriculture-élevage (Lavigne, 2005)	7
Figure 3 : Schéma conceptuel de la relation entre l’agriculture familiale et les potentiels résultats nutritionnels et sanitaires (Girard et al., 2012)	9
Figure 4 : Période des 1000 premiers jours de la vie	29
Figure 5 : Cycle intergénérationnel de la malnutrition (WFP, 2012).....	32
Figure 6 : Période de la grossesse	33
Figure 7 : Programmation fœtale selon l’hypothèse de Barker (Tomar et al., 2015).....	34
Figure 8 : Prévalence de l’émaciation chez les enfants de moins de 5 ans à travers le monde (UNICEF/WHO/World Bank, 2018).	37
Figure 9 : Période d’apparition du retard de croissance (Victora et al., 2010)	38
Figure 10 : Prévalence du retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans à travers le monde (UNICEF/WHO/World Bank, 2018)	39
Figure 11 : Prévalence du retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans au Sénégal (ANSD, 2018)	40
Figure 12 : Cadre conceptuel de la malnutrition (Unicef, 2013)	47
Figure 13 : Différentes formes de préparations de la PDCO	68
Figure 14 : Echelle des 7 points hédoniques (Tomlin et al., 2007).....	69
Figure 15 : Diagramme ACP des attraits sensoriels de la PDCO bouillie et frite chez les mères	73
Figure 16 : Diagramme ACP des attraits sensoriels de la PDCO bouillie et en purée chez les enfants	73
Figure 17 : Situation géographique des villages d’intervention et témoins (ANIDA, 2015)...	81
Figure 18 : Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier	88
Figure 18 : Evolution du profil alimentaire des mères à Sagna	124
Figure 19 : Evolution du profil alimentaire des mères à Kathiotte	124
Figure 20 : Evolution du profil alimentaire des enfants à Sagna	128
Figure 21 : Evolution du profil alimentaire des enfants à Kathiotte	128

LISTE DES TABLEUX

Tableau 1 : Composantes et interventions de l'agriculture sensible à la nutrition.....	4
Tableau 2 : Liste détaillée des indicateurs existants pour des interventions sensibles à la nutrition	27
Tableau 3 : Teneur en caroténoïdes totaux et en β -carotène et apport en vitamine A de la PDCO et des feuilles de <i>Moringa oleifera</i>	65
Tableau 4 : Attitudes des couples mère-enfant vis-à-vis de la PDCO	70
Tableau 5 : Consommation des différents types de préparation de la PDCO, durée d'alimentation et vélocité de la prise alimentaire des couples mère-enfant.....	74
Tableau 6 : Scores d'acceptabilité et degré d'appréciation des couples mère-enfant selon le type de préparation de la PDCO.....	75
Tableau 7 : Classification de l'état nutritionnel des mères	86
Tableau 9 : Caractéristiques sociodémographiques de base des couples mère-enfant.....	99
Tableau 10 : Etat physiologique, soins de santé et état sanitaire des couples mère-enfant....	101
Tableau 11 : Alimentation des couples mère-enfant.....	103
Tableau 12 : Anthropométrie et composition corporelle des couples mère-enfant.....	105
Tableau 13 : Statut biologique et infectieux des couples mère-enfant.....	107
Tableau 14 : Corrélation entre le statut nutritionnel de la mère et de l'enfant.....	108
Tableau 15 : Analyse bivariée entre l'état nutritionnel et les caractéristiques sociodémographiques, sanitaires et alimentaires des mères.....	110
Tableau 16 : Régression multiple entre l'état nutritionnel et les variables indépendantes chez les mères.....	111
Tableau 17 : Analyse bivariée entre l'état nutritionnel et les caractéristiques sanitaires et alimentaires des nourrissons.....	112
Tableau 18 : Régression multiple entre l'état nutritionnel et les variables indépendantes chez les nourrissons	113
Tableau 19 : Etat de santé des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi	120
Tableau 20 : Alimentation des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi	122
Tableau 21 : Evolution de la diversité alimentaire des mères à Sagna et à Kathiotte au cours du suivi	126
Tableau 22 : Evolution de l'alimentation des enfants à Sagna et à Kathiotte au cours du suivi	130
Tableau 23 : Anthropométrie des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi	132
Tableau 24 : Evolution des indicateurs anthropométriques des mères à Sagna et à Kathiotte	133

Tableau 25 : Evolution des indicateurs anthropométriques des enfants à Sagna et à Kathiotte	135
Tableau 26 : Composition corporelle des couples mère-enfant à Sagna (Int) et à Kathiotte (Cont)	136

CHAPITRE I
INTRODUCTION GENERALE SUR L'AGRICULTURE
SENSIBLE A LA NUTRITION

2. DEFINITION ET HISTORIQUE

L'agriculture sensible à la nutrition (ASN) est définie par la FAO comme étant une approche qui vise à assurer la production d'aliments à haute valeur nutritionnelle, culturellement adaptés, sains, de qualité, en quantité suffisante et à des prix abordables pour satisfaire durablement les besoins alimentaires des populations (FAO, 2018). C'est une stratégie basée sur la communauté qui s'attaque principalement aux causes sous-jacentes de la malnutrition (Black et al., 2013). Son objectif principal est de contribuer à l'amélioration de la nutrition et de la santé, à travers la production d'aliments riches en nutriments, la sécurité alimentaire des ménages, la génération de revenus et l'autonomisation des femmes pour faciliter l'accès aux services de santé et l'application de technologies permettant d'alléger la charge de travail (FAO, 2018). En raison de son fort potentiel à améliorer la nutrition, l'ASN a l'avantage d'être économiquement réalisable et culturellement acceptable, par rapport aux autres stratégies classiques (FAO, 2014). Depuis l'avènement du concept de l'ASN, plusieurs cadres conceptuels ont été proposés avec des voies clés sur la manière dont l'agriculture pourrait contribuer à une meilleure nutrition (Ruel et al., 2013; Herforth & Harris, 2014; Kadiyala et al., 2014 ; Olney et al., 2016). La plupart de ces cadres conceptuels s'inspirent à la fois du modèle causal de la malnutrition de l'Unicef et des représentations micro et macro-économiques des liens entre la production agricole, le travail, les dépenses et la consommation alimentaire des ménages et des individus. Ainsi, pour mieux appréhender cette relation de causalité, l'analyse des passerelles (pathways) avec les sept points d'entrée (Figure 1) développée par l'Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI) permet d'identifier le lien entre l'agriculture et la nutrition (Gillespie et al., 2012). Ces passerelles portent sur i) la production agricole pour la consommation alimentaire, ii) la génération de revenus par la vente de la production pour l'achat de nourriture, iii) la génération de revenus par la vente de la production pour l'accès à des soins de santé, iv) le contrôle des prix des denrées alimentaires pour l'achat de nourriture, v) l'utilisation du temps des femmes pour les soins des enfants, vi) l'impact de la charge de travail des femmes sur leurs dépenses énergétiques et sur leur état nutritionnel et celui de leurs enfants, et vii) le contrôle des femmes sur les revenus.

Malgré ces propositions, les dernières revues systématiques ayant évalué les interventions d'ASN révèlent de sérieuses limites méthodologiques qui ne permettent pas de savoir avec certitude si ces interventions peuvent impacter sur les indicateurs nutritionnels. Les principales limites portent essentiellement sur les modèles d'intervention, les indicateurs de

suivi-évaluation, les tailles d'échantillon, la courte durée d'intervention et le groupe d'âge ciblé (Olney et al., 2016 ; Ruel et al., 2017).

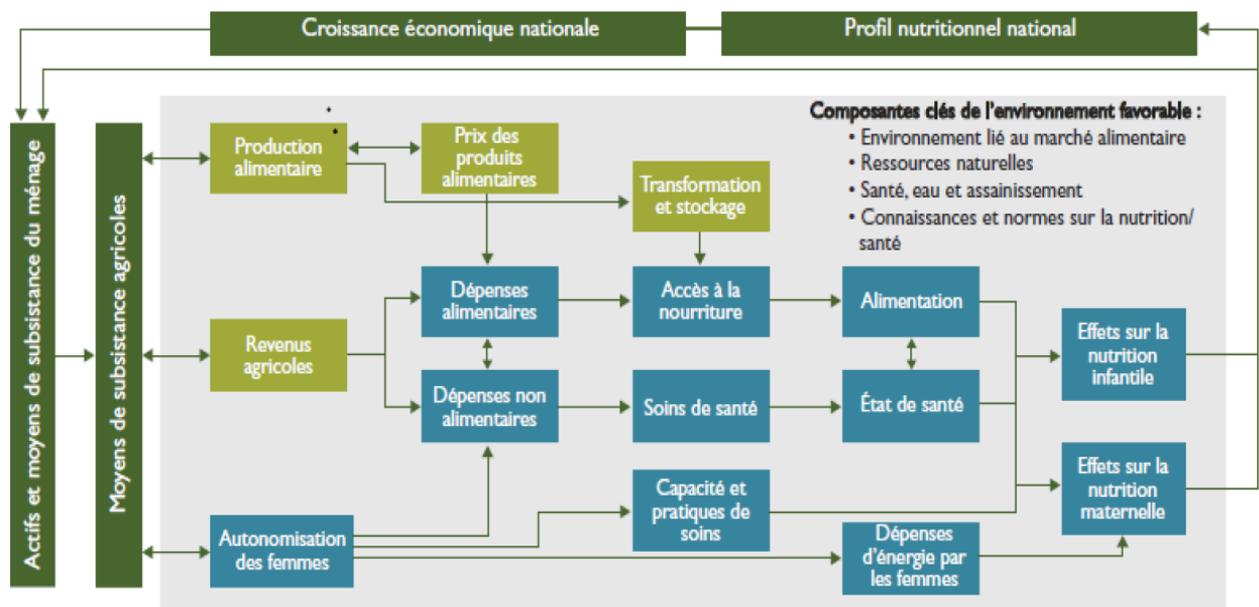


Figure 1 : Passerelles reliant l'agriculture et la nutrition (Gillespie et al., 2012)

3. COMPOSANTES DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION

Pour s'attaquer de manière efficace aux causes de la malnutrition, la FAO a classé les interventions de l'ASN autour de cinq composantes principales avec souvent des interventions transversales qui prennent en compte plus d'une composante (FAO, 2018). Ces composantes ainsi que leurs interventions respectives sont présentées dans le Tableau 1. Dans le cadre de ce travail, nous n'allons pas aborder toutes les interventions présentées dans le tableau 1 car certaines n'ont pas été testées au cours de notre étude.

Tableau 1 : Composantes et interventions de l'agriculture sensible à la nutrition

COMPOSANTES	INTERVENTIONS
Production alimentaire	Diversification et intensification durable de la production agricole
	Élevage et pêche sensibles à la nutrition
	Biofortification
	Biodiversité, alimentation et nutrition
	Agriculture urbaine et périurbaine
Gestion après-récolte, stockage et transformation des aliments	Pratiques de gestion après récolte, de stockage et de transformation sensibles à la nutrition
	Fortification des aliments
Commerce et marketing des aliments	Commerce et nutrition
	Marketing des aliments et pratiques publicitaires
	Politiques de contrôle des prix des aliments pour promouvoir une alimentation saine
	Étiquetage des denrées alimentaires
Demande des consommateurs, préparation des aliments et préférences alimentaires	Éducation nutritionnelle et communication axée sur le changement de comportement
	Création de revenus et nutrition
	Protection sociale sensible à la nutrition
	Alimentation scolaire et nutrition
	Assistance alimentaire humanitaire sensible à la nutrition
Questions transversales	Chaînes de valeur sensibles à la nutrition
	Autonomisation des femmes et égalité des sexes
	Pertes et gaspillages alimentaires: prévention, réduction et gestion
	Qualité, sécurité sanitaire et hygiène des aliments

2.1. Production alimentaire

2.1.1. Diversification et intensification durable de la production agricole

Selon les dernières estimations de l'IFPRI, environ 815 millions de personnes sont sous-alimentées dans le monde, soit 11% de la population (IFPRI, 2017). Les pays d'Afrique et d'Asie restent parmi les plus affectés par ce fléau (UNICEF/WHO/World Bank Group, 2017). L'une des principales causes de ce problème serait la difficulté des pays pauvres à mettre en place des systèmes alimentaires durables qui produisent suffisamment d'aliments nutritifs afin d'assurer une alimentation saine à leur population. Grâce à la diversification et à

l'intensification durable de la production alimentaire, il est possible d'améliorer la disponibilité, l'accessibilité, la stabilité et la consommation d'aliments variés tout en augmentant la résilience face au changement climatique et en renforçant la durabilité des écosystèmes. Au niveau des exploitations, la diversification peut constituer une stratégie d'adaptation saisonnière dans les contextes où les niveaux de revenus et la disponibilité des aliments nutritifs varient selon les cycles annuels de culture (Herrero et al., 2012 ; Moraine et al., 2014 ; Asante et al., 2017), alors que l'intensification permet quant à elle d'améliorer simultanément la productivité et la durabilité environnementale (FAO, 2018). L'application des principes de diversification et d'intensification durable de la production reposent sur la mise en place de systèmes d'agriculture intégrée.

2.1.1.1. Systèmes d'agriculture intégrée

a) Définition et importance

Les systèmes agricoles intégrés sont définis comme une stratégie durable de diversification et d'intensification agricole visant à accroître la production et la consommation de denrées alimentaires diverses grâce à une combinaison de cultures ou d'activités agricoles (horticulture, arboriculture, élevage, pêche) au sein d'une même unité de production sans dégrader la base des ressources naturelles et la qualité environnementale (Moraine et al., 2014 ; Asante et al., 2017). Ils ont des effets sur l'amélioration de la productivité des terres et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau mais aussi sur l'augmentation des revenus des petits agriculteurs disposant de ressources limitées. Selon le niveau d'intervention, les systèmes d'agriculture intégrée peuvent être appliqués à grande échelle ou à petite échelle.

b) Systèmes d'agriculture intégrée à grande échelle

Les systèmes agricoles intégrés à grande échelle constituent une unité économique et de production dans laquelle plusieurs agriculteurs ou éleveurs produisent divers types de cultures ou d'animaux en tant que société commune (FAO, 2018). Ces systèmes sont généralement installés sous forme de fermes ou de jardins communautaires avec une superficie supérieure ou égale à 1 hectare. Dans la communauté, les fermes intégrées peuvent être une association de jardins potagers ou de lots agricoles individuels (Brown et al., 2014). L'intérêt de la mise en place de fermes agricoles ou de jardins communautaires réside dans leur capacité à développer plusieurs activités agricoles (horticulture, arboriculture, élevage, pêche) au sein d'une même unité de production et d'augmenter les rendements sans dégrader la base des

ressources naturelles et la qualité environnementale (FAO, 2018). Selon le type de cultures ou de productions, on peut avoir des fermes communautaires intégrées avec des associations de cultures (légumes-fruits-céréales-légumineuses) ou de systèmes intégrés (agriculture-pisciculture ; agriculture-élevage ; agriculture-élevage-pisciculture).

✓ **Cultures associées ou diversifications de la culture**

Pratiquer des cultures associées signifie planter plusieurs espèces végétales à la fois au sein d'une même unité de production sous la forme de rotations et/ou de cultures intercalaires. Couramment pratiquée dans les pays du Sahel, l'association de cultures a des effets bénéfiques sur le rendement et les systèmes de cultures surtout dans les régions où la pluviométrie est déficitaire (Di Falco & Chavas, 2009). Une récente revue systématique ayant évalué l'impact de différents types de diversification de cultures en Afrique a montré que les cultures associées ont un effet positif sur la production alimentaire des ménages agricoles en particulier ceux situés dans les régions où la pluviométrie est déficitaire (Waha et al., 2018). D'autres ont trouvé un impact positif et significatif de la diversification des cultures, rotation maïs-légumineuses et association fruits-légumes-arachides, sur les indicateurs de sécurité alimentaire et de nutrition respectivement chez les petits exploitants agricoles en Zambie (Makate et al., 2016) et au Mali.

✓ **Systèmes intégrés agriculture-pisciculture**

Ce système est fréquent dans les pays d'Asie, notamment en Asie pacifique où le système intégré riziculture-pisciculture, avec l'adoption de technologies innovantes pour un plus grand choix d'espèces de poissons et de variétés de riz, a permis aux communautés rurales et autochtones de relever les défis de la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle (Frei & Becker, 2005 ; Islam et al., 2015). Différentes recherches expérimentales et empiriques dans de nombreuses régions d'Asie et d'Afrique ont montré le potentiel de ce système intégré en termes d'augmentation de la productivité, de rentabilité financière et de bénéfice environnemental et écologique (Ahmed & Garnett, 2011; Ahmed et al., 2011; Islam et al., 2015). Toutefois, à notre connaissance, aucune étude d'impact de ce système sur l'état nutritionnel des populations n'a été effectuée.

✓ **Systèmes intégrés agriculture-élevage**

Dans le cadre des systèmes d'agriculture intégrée culture-élevage, la caractéristique la plus visible est la synergie entre les cultures et le bétail (Figure 2). En effet, les cultures produites dans les fermes (herbes, fourrages, résidus de récolte) peuvent servir de nourriture pour les animaux. En retour, l'élevage peut fournir des produits (viande, œufs, lait) destinés à la consommation domestique et à la vente, et les animaux peuvent également être utilisés comme force de traction dans les travaux agricoles et leurs excréments (ou déchets) comme engrais pour améliorer la fertilité du sol dans les champs cultivés (Sarangi, 2014). Une revue systématique récente menée en Ethiopie sur les systèmes de production mixtes a montré que l'intégration cultures de céréales et élevage de petits ruminants (chèvres, moutons) était l'initiative la plus rentable qui contribuait aux moyens de subsistance et à la sécurité alimentaire des ménages (Mekuria1 & Mekonnen, 2018). Au Kenya, une étude sur les systèmes de diversification cultures-élevage a révélé que le modèle intégré bovins et production de fruits était positivement associé à une augmentation des revenus des ménages (Iiyama et al., 2007).

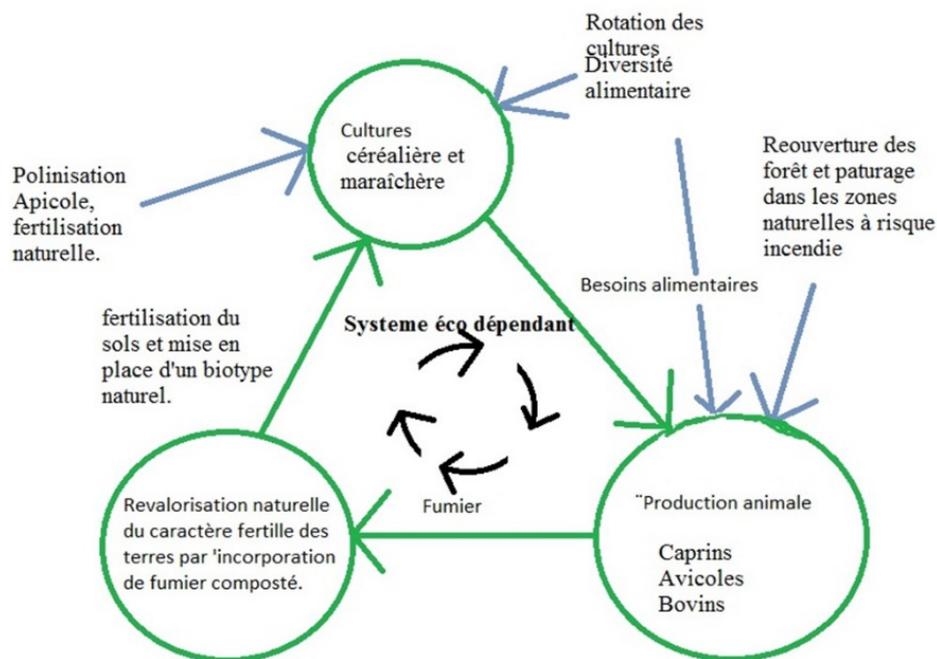


Figure 2 : Système intégré agriculture-élevage (Lavigne, 2005)

✓ Systèmes intégrés agriculture-élevage-pisciculture

Ce système de production constitue la meilleure formule pour assurer une diversification durable de la production agricole car il permet aux ménages d'avoir une plus grande diversité alimentaire en apportant à la fois des aliments d'origine végétale et la presque totalité des

aliments d'origine animale (Waha et al., 2018 ; FAO, 2018). C'est également un moyen efficace d'augmenter la production par unité de surface avec un faible apport d'intrants. Cependant, à notre connaissance les études d'impact ayant examiné les effets des systèmes intégrés agriculture-élevage-pisciculture sur la nutrition et la sécurité alimentaire sont quasi-inexistantes.

c) Systèmes d'agriculture intégrée à petite échelle

L'agriculture familiale consiste à pratiquer une culture intensive d'une grande variété de légumes, de racines, de tubercules, de fruits et d'herbes aromatiques dans des espaces restreints qui sont autour ou à faible distance de marche de la maison familiale et leurs produits sont principalement destinés à la consommation familiale (FAO, 2010). Plusieurs termes tels que «jardin familial, jardin d'arrière-cours ou jardin potager » sont utilisés pour désigner ce système de production (Odebode, 2006). Le jardin potager est caractérisé par une petite main-d'œuvre familiale, un faible apport en capital et une technologie simple (Galhena et al., 2013). Il constitue une source supplémentaire d'autres types d'aliments (FAO, 2010), mais aussi de revenus pour les ménages (Figure 3). Dans les pays à revenus faibles et intermédiaires, les politiques publiques accordent moins d'attention aux programmes de jardin familial du fait de leur manque de données (rendement et revenus) pour illustrer l'importance de leur contribution à l'économie et au développement du pays. Pourtant, les revues systématiques ayant évalué les interventions des jardins potagers ont révélé des effets positifs sur l'alimentation en particulier sur l'augmentation de la consommation en fruits et légumes. Par contre, leurs effets sur les indicateurs de santé sensibles à la nutrition (retard de croissance, émaciation, etc...) sont restés mitigés (Girard et al., 2012 ; Masset et al., 2012). Récemment plusieurs études menées en Afrique ont montré que les jardins d'arrière-cours ou domestiques avec cultures de fruits et légumes associées aux petits élevages avaient un impact significatif sur l'accès et la diversité alimentaire des ménages ainsi que sur l'alimentation des femmes bénéficiaires (Puett et al., 2014 ; Walsh & van Rooyen, 2015 ; Olney et al., 2015). Au Bangladesh, un programme intégré de nutrition et de jardin familial a eu comme résultats une augmentation de 30% de la consommation de légumes des ménages bénéficiaires dont 80% des légumes consommés attribuables au projet (Schreinemachers et al., 2016). De plus les auteurs ont conclu que les ménages bénéficiaires ont également généré plus de revenus avec la vente des produits récoltés dans les jardins et que les bénéfices obtenus ont contribué de façon significative à l'accès aux établissements de santé et à la scolarisation, en particulier celle des filles.

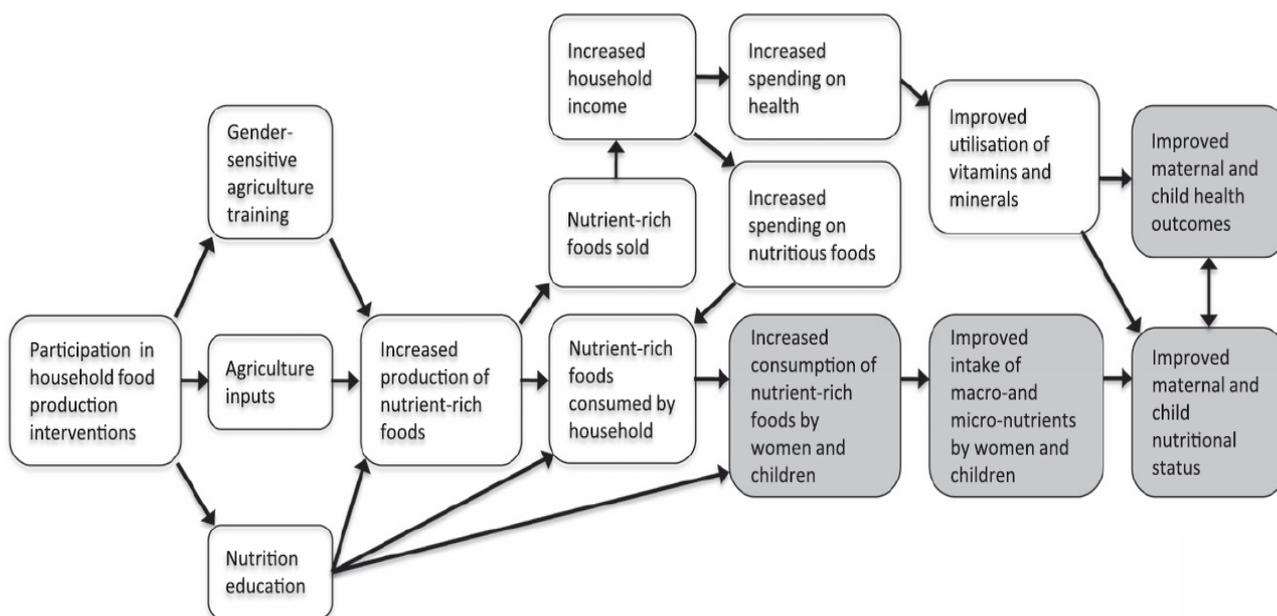


Figure 3 : Schéma conceptuel de la relation entre l’agriculture familiale et les potentiels résultats nutritionnels et sanitaires (Girard et al., 2012)

2.1.2. Elevage et pêche sensible à la nutrition

Selon la FAO, l’élevage constitue la meilleure stratégie pour faciliter la production et l’autoconsommation d’aliments d’origine animale (Azzari et al., 2015 ; FAO, 2018). Le deuxième avantage est que la possession d’animaux peut réduire la pauvreté des ménages en améliorant leurs revenus ; les protégeant ainsi des effets des chocs économiques ou sanitaires (McMahon, 2016). A l’instar de la diversification et de l’intensification durable de la production agricole, les activités d’élevage et de pêche sensibles à la nutrition peuvent se faire au niveau de la communauté ou de la famille. Cependant pour mieux impacter sur les principaux paramètres nutritionnels et sanitaires, la plupart des revues encourage la pratique d’une production animale familiale, c’est-à-dire l’élevage ou la pêche à petite échelle et à usage domestique (Ruel et al., 2013 ; Olney et al., 2016 ; FAO, 2018).

2.1.2.1. Elevage

a) Volaille

Les volailles, y compris les poulets, les canards et les dindes sont élevées pour produire de la viande et des œufs. Leur production nécessite peu d'intrants, ce qui la rend appropriée pour les ménages les plus pauvres ayant un accès limité à la terre et à l'eau.

Du fait de leur production rapide, les produits avicoles peuvent être consommés ou vendus régulièrement. Selon McMahon (2016), l'aviculture est la meilleure stratégie de production animale permettant aux ménages pauvres d'accumuler des actifs et de faire des revenus. Plusieurs études ont déjà montré que la volaille, surtout à domicile, facilite la consommation d'œufs et de viande (Mack et al., 2005 ; Alabi et al., 2006) et contribue pour 20 à 32% de l'apport journalier total en protéines animales (Tadelle et al., 2003). De même, une association inverse entre la possession de volaille et la réduction du retard de croissance a été rapportée en Ethiopie (Headey & Hirvonen, 2016). Au Bangladesh, les ménages ayant participé au programme de production de volailles ont consommé plus d'œufs mais surtout plus de poisson, suggérant que ces ménages consommaient et vendaient des œufs pour acheter des aliments complémentaires tels que le poisson (Nielsen et al., 2003).

b) Petits ruminants

Dans de nombreuses sociétés pastorales, les chèvres et les moutons sont utilisés pour compléter les bovins afin d'assurer un approvisionnement constant en lait pour les enfants pendant la saison sèche lorsque les vaches ne peuvent pas être traitées ou sont éloignées des ménages (Sadler & Catley, 2009). L'autre avantage des petits ruminants est leur cycle de reproduction assez court qui facilite leur utilisation dans les stratégies de diversification alimentaire. De plus, le lait de chèvre est plus riche en vitamine A que le lait de vache (Graulet, 2014). Au Rwanda, dans un programme de dons de chèvres laitières aux ménages vulnérables, les auteurs ont constaté un impact positif sur la consommation de lait et de viande chez les enfants de moins de 5 ans (Rawlins et al., 2014). Par contre, les résultats de la possession de petits ruminants sur les paramètres nutritionnels sont mitigés. Azzarri et al. (2015) ont montré que la possession de chèvres est associée à une réduction de l'émaciation et de l'insuffisance pondérale chez les enfants de 24 à 59 mois, mais pas chez les enfants 6-23 mois. Aucun impact sur le retard de croissance n'a été observé quel que soit l'âge (Rawlins et al., 2014 ; Azzarri et al., 2015).

c) Grands ruminants

Les grands ruminants fournissent généralement du lait et de la viande. Ils peuvent être utilisés parfois dans les travaux agricoles. Comme pour les petits ruminants, les ménages en

possession de grands ruminants ne consomment pas souvent le bétail en raison de longues périodes de gestation (généralement neuf mois) et de développement (plusieurs années). C'est pour cette raison que le lait est la principale source d'aliments produite par les éleveurs. Plusieurs études, surtout celles effectuées en Afrique australe, ont montré que les ménages propriétaires de vaches consomment plus de produits laitiers que les ménages qui n'en possèdent pas (Nicholson et al., 2003 ; Rawlins et al., 2014 ; Hoddinott et al., 2015 ; Azzarri et al., 2015) et ont généralement des revenus plus élevés grâce à la vente du lait. En ce qui concerne la relation entre possession de vache et amélioration du statut nutritionnel, les travaux de Rawlins et al. (2014) ont montré une réduction du retard de croissance chez les enfants des ménages ayant reçu des vaches laitières. Par contre, dans une récente étude menée en Ouganda, aucune amélioration n'a été observée sur les paramètres nutritionnels, en particulier sur le retard de croissance (Azzarri et al., 2015).

2.1.2.2. Pêche

Qu'il résulte d'une activité de pisciculture/d'aquaculture ou d'exploitation de poissons sauvages, le poisson constitue une excellente source de protéines animales, de minéraux et d'acides gras essentiels (HLPE, 2014). Il est aussi une source capitale de moyens d'existence et de revenus. Malgré son importance, la production de poisson est particulièrement absente dans la plupart des stratégies de réduction des carences en micronutriments (Allison et al., 2013). Pour faciliter l'accès des populations vulnérables aux poissons et autres fruits de mer, la FAO recommande la pêche à petite échelle à usage domestique qui est considérée comme la meilleure intervention sensible (FAO, 2018). En effet, les ménages qui vivent à proximité d'étendues d'eau (étangs, rivières, plaines inondables, etc), peuvent pratiquer des activités de pêche pour leur autoconsommation. L'impact positif de ces pratiques sur la consommation de poissons a été rapporté par Kumar & Dey (2006) en Inde et au Bangladesh chez les ménages possédant des bassins piscicoles, surtout pendant la saison où les produits d'origine animale sont peu disponibles ou non accessibles (Islam, 2007). Au Malawi, Dey et al. (2006) ont observé une consommation plus fréquente de poisson frais et séché dans les ménages possédant des bassins piscicoles comparés aux ménages témoins.

2.1.3. Biofortification

La biofortification est un procédé qui consiste à augmenter la teneur en vitamines et/ou minéraux d'une culture à un niveau acceptable par le biais de la sélection végétale, de

pratiques agronomiques (application d'engrais riches en micronutriments sur le sol ou les feuilles) ou de techniques transgéniques (HarvestPlus, 2017 ; de Brauw et al., 2015). C'est une stratégie prometteuse pour accroître la disponibilité et la consommation d'aliments riches en micronutriments en particulier pour les personnes dont l'alimentation est dominée par des cultures vivrières de base pauvres en micronutriments (Bouis et al., 2011b). La biofortification a deux avantages clés à savoir sa rentabilité à long terme et sa capacité à atteindre les populations rurales qui sont souvent exposées à des régimes alimentaires pauvres en micronutriments. Plusieurs études ont révélé son importance en tant que stratégie de lutte contre les carences en vitamine A, en fer et en zinc (Bouis & Saltzman, 2017). Des travaux récents ont montré que la biofortification en vitamine A de la patate douce (patate douce à chair orange, PDCO), du maïs jaune et du manioc avaient un impact sur la réduction de la prévalence et de la durée de la diarrhée, sur le statut en vitamine A et sur la cécité nocturne chez les enfants (Gannon et al., 2014 ; de Brauw, 2015 ; Palmer et al., 2016). Des études d'efficacité portant sur d'autres cultures biofortifiées, notamment des haricots et du mil biofortifiés en fer et du blé biofortifié en zinc, ont montré une augmentation significative de l'hémoglobine et du fer corporel total chez des femmes et des enfants (Finkelstein et al., 2015 ; Haas et al., 2017). Concernant le zinc, le seul essai évaluant la biofortification du blé en zinc a montré que la consommation de pain ou de bouillie à base de blé biofortifié en zinc réduisait la pneumonie et les vomissements chez les enfants et la fièvre chez les mères (Sazawal et al., 2018).

2.2. Gestion des produits de la récolte

2.2.1. Pratiques de gestion après les récoltes

Les pertes alimentaires post-récolte constituent une des principales limites de l'atteinte de la sécurité alimentaire dans les pays en développement (Olaoye & Onilude, 2008 ; Olaoye & Ade-Omowaye, 2011). Selon la FAO, environ 50% des produits agricoles périssables (fruits, légumes, racines et tubercules), et environ 30% des céréales vivrières (maïs, mil et riz) sont perdus après la récolte en Afrique de l'Ouest (FAOSTAT, 2017). Les facteurs en cause sont des technologies de récolte et de transformation inappropriées, des installations de stockage insuffisantes ou inexistantes, un mauvais système de conditionnement et de transport et des pratiques du marché inadéquates (FAO, 2018). La mise en place de bonnes pratiques de gestions post-récolte constitue dès lors une solution durable pour améliorer la disponibilité de certaines cultures ou aliments locaux (Keding et al., 2013). La gestion post-récolte dans le

cadre des programmes d'ASN contribue à augmenter et prolonger la disponibilité, l'accessibilité et la consommation d'aliments diversifiés riches en micronutriments tout au long de l'année mais aussi à augmenter la teneur en nutriments des aliments.

2.2.1.1. Stockage

Le stockage est la phase du système post-récolte au cours de laquelle les produits agricoles sont conservés de manière à préserver leur qualité et à limiter leur détérioration sur une période qui va au-delà de leur durée de vie normale (FAO, 2018). Dans de nombreux pays en développement, environ 25% des produits alimentaires récoltés ne sont jamais consommés par la population car détruits ou mangés par des insectes, des rongeurs ou des parasites (Adeyeye, 2017). Kendall & Dimond (2012) ont montré que le stockage adéquat des aliments aide à préserver leur qualité et leur valeur nutritionnelle. De plus, ces auteurs ont rapporté qu'un stockage adéquat des aliments peut aider à prévenir les maladies d'origine alimentaire causées par des mycotoxines, l'aflatoxine en particulier. Les mesures de prévention ou de lutte peuvent inclure la mise en place de mesures de protection et de contrôle des animaux destructeurs, la mise en place d'entrepôts ou de récipients étanches et la lutte contre les champignons ou parasites en stockant les aliments dans des endroits secs.

2.2.1.2. Transformation

La transformation consiste à préparer les aliments en vue de leur consommation ou d'une utilisation ultérieure. Elle comprend, entre autres, le nettoyage de base, l'épluchage, le découpage, le séchage, le broyage, l'extraction du jus, la mise en conserve, la cuisson et le séchage. La transformation des aliments joue un rôle important dans la sécurité alimentaire, en particulier lorsque l'agriculture ne fournit pas assez de produits frais. Elle contribue également à la nutrition en prolongeant la durée de vie des matières premières et en favorisant la sécurité sanitaire et la préservation de la valeur nutritionnelle de nombreux aliments (FAO, 2018). L'impact positif de la consommation d'aliments transformés sur l'état nutritionnel a été rapporté dans plusieurs pays. Au Ghana, la transformation des feuilles vertes foncées en poudre a permis de bien conserver ces aliments de sorte qu'elles puissent être disponibles, accessibles et abordables pour la plupart des ménages en saison sèche (Egbi et al., 2018). Au Sénégal, la consommation de la poudre de *Moringa oleifera* a eu un impact positif sur le maintien de l'indice de masse corporelle (IMC) des femmes en âge de procréer (Dossou et al., 2011). Ce résultat pourrait être lié à la teneur élevée en protéines trouvées dans la poudre de

feuilles séchées de *Moringa oleifera*. D'autres études sur la transformation de la patate douce à chair orangée en chips, en pain, en poudre ont montré une amélioration des réserves en vitamine A des populations, en particulier des femmes et de jeunes enfants (Gebremedhin et al., 2013 ; Sinha, 2015). Cependant, il est important de souligner que dans les pays en développement, certaines techniques de transformation sont obsolètes et inadéquates pour la conservation de la qualité nutritionnelle des aliments. Il est donc nécessaire de moderniser ces techniques et ces installations pour répondre aux défis d'une transformation sensible à la nutrition.

2.2.2. Fortification ou enrichissement des aliments

L'enrichissement des aliments consiste à ajouter un ou plusieurs nutriments essentiels à un aliment (véhicule) dans le but de prévenir ou de corriger une carence constatée dans la population générale ou dans des groupes spécifiques comme les nourrissons, les jeunes enfants et les femmes enceintes et allaitantes (Hanson et al., 2015). La fortification est l'une des interventions nutritionnelles les plus rentables pour fournir des micronutriments à la population sans changer leurs habitudes de consommation alimentaire (Allen et al., 2006). Plusieurs études ont démontré l'effet de la fortification dans la lutte contre les carences en micronutriments. L'iodation du sel est la forme la plus répandue d'enrichissement des aliments dans le monde avec des effets sur la prévention du crétinisme (Zimmermann, 2012 ; Aburto et al., 2014). En Europe, la fortification en vitamine B1 a permis l'éradication quasi-totale du béribéri (Whitfield et al., 2016). Aux Etats-Unis, l'enrichissement des aliments de base en acide folique a permis de réduire de 35% le nombre d'accouchements compliqués d'une anomalie du tube neural depuis qu'il a été rendu obligatoire en 1998 (William et al., 2015). Dans les pays en développement, on peut citer l'enrichissement de l'huile de cuisson, de la farine ou des condiments avec du fer, de l'acide folique, de la vitamine A, de la vitamine D, de l'iode, du zinc et de nombreux oligo-éléments. De manière générale, les études montrent que la consommation d'aliments enrichis améliore le statut en micronutriments des femmes et des enfants. Cependant, il existe peu de preuves d'impact de la consommation d'aliments enrichis sur la croissance des jeunes enfants (Das et al., 2013). Au Sénégal, l'étude que nous avons menée sur la fortification d'une bouillie infantile en zinc n'a pas eu d'effets sur le statut en zinc des enfants (Ba Lo et al., 2011).

Il existe également «l'enrichissement à domicile» qui consiste à ajouter des micronutriments sous forme de poudre à des aliments pendant ou après la cuisson pour améliorer la qualité nutritionnelle des aliments de complément des enfants de moins de 2 ans (De-Regil et al.,

2013). Des revues systématiques récentes menées dans des pays d'Asie, d'Afrique et des Caraïbes ont montré que l'enrichissement des aliments de complément à domicile avec des poudres de micronutriments est une intervention efficace pour réduire l'anémie et les carences en fer chez les enfants de 6 à 23 mois (De-Regil et al., 2013 ; Suchdev et al., 2015).

2.3. Accès au marché et commercialisation des aliments

2.3.1. Accès au marché

L'accès au marché apparaît dans de nombreuses études comme un facteur clé qui modifie la relation entre la production et la diversité alimentaire des ménages. Selon la FAO (2018), l'amélioration de l'accès au marché incite davantage les agriculteurs à produire plus d'aliments nutritifs et à augmenter leurs revenus. En Éthiopie et au Malawi, des études ont montré que l'accès au marché améliore la diversité alimentaire des ménages (Hirvonen & Hoddinott, 2014 ; Abay & Hirvonen, 2016 ; Koppmair et al., 2017). Ces résultats confirment l'analyse de la revue systématique de Sibhatu et al. (2015) qui a montré qu'une réduction de 10 km de la distance entre les ménages et les marchés avait pour effet une augmentation supplémentaire de la production d'une espèce de culture ou de bétail et une légère augmentation de 0,9% du nombre de groupes d'aliments consommés. De même, Abay & Hirvonen (2016) ont constaté que les enfants qui vivent près des marchés avaient des régimes alimentaires plus diversifiés et des moyennes de poids-pour-taille et poids-pour-âge z-scores plus élevées par rapport aux enfants qui vivent loin des marchés. Au Népal, Shively & Sununtnasuk (2015) ont constaté qu'un accès facile aux marchés, était associé à une consommation plus importante de produits d'origine animale et à une amélioration de l'indice taille-pour-âge z-score et une réduction du retard de croissance.

2.3.2. Commercialisation des aliments

La commercialisation diffère de l'accès au marché et regroupe généralement la part des produits alimentaires achetée par les ménages sur le marché et la part de la production agricole du ménage vendue au marché (Carletto et al., 2017). Elle constitue la composante finale et décisive du système post-récolte, bien qu'elle puisse intervenir à différents moments de la chaîne agro-alimentaire. La commercialisation permet d'étendre les marchés et de favoriser l'accès à des aliments nutritifs (FAO, 2018). Récemment la FAO, dans son guide « mettre l'agriculture au service de la nutrition », a formulé des recommandations pour une

commercialisation sensible à la nutrition (FAO, 2015). Ces recommandations portent sur la mise en place d'organes de réglementation du commerce, d'unités de transformation à petite échelle et des micro-entreprises, d'associations de producteurs pour aider les petits exploitants à acquérir un pouvoir de négociation et à participer aux processus de prise de décisions et enfin la mise en place de politiques d'amélioration des infrastructures (routes, irrigation, entrepôts, électrification) pour améliorer l'accès au marché.

2.4. Demande des consommateurs, préparation des aliments et préférences alimentaires

2.4.1. Communication-éducation nutritionnelle

L'éducation nutritionnelle est l'ensemble des activités de communication visant la modification volontaire des pratiques qui ont une incidence sur l'état nutritionnel de la population, dans la perspective d'une amélioration de celui-ci (Contento, 2007). Elle fait partie des recommandations clés pour améliorer la nutrition et la santé à travers les programmes d'ASN (Olney et al., 2016 ; FAO, 2018). Selon la Banque Mondiale, l'éducation nutritionnelle joue un rôle essentiel dans la durabilité des programmes d'ASN et constitue un moyen d'activer les aspects nutritionnels latents de nombreux projets et programmes de développement agricole (World Bank, 2013). A travers l'éducation nutritionnelle, les agriculteurs peuvent être incités à intensifier et diversifier davantage leur production afin d'améliorer les régimes alimentaires des populations locales. L'éducation nutritionnelle peut également participer à l'augmentation des connaissances sur la manière de cultiver, de récolter, de conserver et de préparer les aliments et sur l'utilisation des pesticides dans le respect de l'environnement (FAO, 2018).

Dans la communauté, l'éducation nutritionnelle cible en général les mères car elles sont plus susceptibles d'occuper des postes dans les structures communautaires et d'influencer les pratiques de soins des enfants dans la communauté (Casanovas et al., 2013). Plusieurs études ont souligné l'impact de l'éducation nutritionnelle sur l'adoption de bonnes pratiques d'allaitement et d'alimentation mais surtout sur l'amélioration de l'état nutritionnel des femmes et des enfants (Shi et al., 2010 ; Abebe et al., 2016). Toutefois, outre les connaissances et les capacités des mères à bien s'occuper des enfants, les autres membres de la famille, en particulier les maris et les grand-mères (catégories décisionnelles de la famille), jouent un rôle important dans la prise de décision en matière de nutrition et de santé (Aubel, 2012 ; Avula et al., 2013 ; Badiane et al., 2018 article en cours de révision). Ainsi, les

stratégies de sensibilisation limitées à des séances de démonstration culinaire dont sont absents les maris et les personnes âgées peuvent constituer une limite pour la réussite des programmes d'éducation nutritionnelle. Les maris ou les personnes âgées contrôlent et gèrent en général la presque totalité des dépenses et décisions liées à la nutrition et à la santé du ménage, alors que les responsabilités de la mère se limitent à la préparation des aliments et à l'occupation des tâches ménagères (Acharya et al. 2004, CLM, 2013). Par ailleurs, beaucoup d'études ont montré que la plupart des parents (mari, belle-mère, personne âgée) adoptent des pratiques nutritionnelles et sanitaires inappropriées concernant les femmes et leurs enfants (Aubel, 2012 ; Sherrif et al., 2014 ; Brown & Davies, 2014). Ainsi, une communication pour le changement de comportement axée sur la communauté, en particulier sur les catégories décisionnelles de la famille, et l'autonomisation des femmes par le biais de l'éducation nutritionnelle pourrait être un moyen efficace pour promouvoir de meilleures pratiques nutritionnelles et sanitaires liées à la femme en âge de procréer, au nourrisson et au jeune enfant, même dans les régions où l'insécurité alimentaire, la malnutrition et les carences en micronutriments sont élevées.

2.4.2. Protection sociale sensible à la nutrition

La protection sociale sensible aux enjeux nutritionnels est l'ensemble des mesures d'aides en espèces ou en nature qui permettent aux personnes vulnérables sur le plan nutritionnel d'avoir accès à une alimentation saine et durable ainsi qu'aux soins de santé (FAO, 2018). Elle cible les causes immédiates et sous-jacentes de la malnutrition maternelle et infantile (Karakochuk et al., 2018). Les transferts monétaires conditionnels ou inconditionnels et/ou la distribution alimentaire sont des exemples de programmes de protection sociale. Des preuves récentes indiquent que les programmes de protection sociale et de lutte contre la pauvreté augmentent le revenu des ménages, protègent contre la vente des biens et favorisent les comportements susceptibles de prévenir la malnutrition (Oxford Policy, 2015 ; Shwartz et al, 2015 ; Adamu et al, 2015). Les données provenant de plusieurs pays d'Afrique subsaharienne et d'Amérique latine ont prouvé que les allocations de bourses familiales ont permis aux ménages bénéficiaires d'améliorer leur sécurité alimentaire et la diversité de leur régime alimentaire (Paxson & Schady, 2010 ; Macours et al., 2012 ; Berhane et al., 2015 ; OPM, 2015).

Chez les enfants, seules quelques études ont traité spécifiquement de l'impact des filets de protection sociale sur l'alimentation, par opposition à la diversité alimentaire des ménages. Presque l'ensemble des études ont montré l'effet positif des programmes de transferts monétaires sur la consommation de fruits et de légumes et d'aliments d'origine animale

(Macours et al., 2012 ; Chaudhury et al., 2013 ; Gilligan & Roy, 2013). En ce qui concerne l'état nutritionnel, certains auteurs ont trouvé des relations significatives entre les programmes sociaux et l'amélioration des indicateurs anthropométriques des enfants (Handa et al., 2013 ; Chaudhury et al., 2013 ; OPM, 2015), d'autres n'ont pas trouvé d'associations significatives (Berhane et al., 2015) ou ont rapporté des résultats mitigés (Paxson & Schady, 2010 ; Paes-Sousa et al., 2011).

2.5. Autonomisation des femmes

Dans la série Lancet, Ruel et Alderman (2013) ont identifié six voies par lesquelles les interventions agricoles peuvent avoir un impact sur la nutrition, dont trois qui soulignent l'importance du rôle de la femme et de son autonomisation. D'autres auteurs identifient clairement la femme comme le lien entre le secteur de l'agriculture, de la nutrition et de la santé (Carletto et al., 2015 ; Malapit et al., 2015). A travers l'agriculture, l'autonomisation doit permettre aux femmes d'avoir accès aux ressources agricoles, aux activités rémunératrices, aux services de vulgarisation, aux crédits, à l'emploi et aux technologies qui leur permettent d'économiser du temps et d'alléger les travaux (y compris les services d'énergie et d'eau). L'autonomisation peut également permettre aux femmes de participer aux prises de décisions au niveau du ménage surtout en ce qui concerne l'alimentation, la nutrition et la santé et d'avoir accès au contrôle des revenus et des ressources du ménage (Regasa & Stoecker, 2012). Au Burkina, le projet de transfert d'intrants agricoles et de formation des groupements féminins sur les bonnes pratiques ont permis aux bénéficiaires de participer à la prise de décision concernant l'achat d'aliments riches en nutriments et les soins de santé (Olney et al., 2016). Au Bangladesh, le projet intégré jardins potagers (agriculture et petit élevage), destiné aux femmes leur a permis d'utiliser les revenus tirés de la vente des produits pour l'achat d'autres aliments riches en nutriments tels que les lentilles, les œufs, le lait et la viande (Schreinemachers et al., 2016). Au Népal, une étude a révélé que l'autonomisation globale des femmes dans l'agriculture dans les trois domaines spécifiques que sont la satisfaction vis-à-vis du temps de loisir, l'accès aux crédits et l'autonomie en matière de production, était positivement associée à l'indice taille-pour-âge z-scores des enfants de moins de 2 ans (Cunningham et al., 2015). Malapit et al. (2015) ont constaté que l'autonomisation des femmes par l'appartenance à un groupement féminin, le contrôle des revenus et une charge de travail réduite étaient positivement associées à une diversité alimentaire, un IMC plus élevé chez la mère et un indice taille-pour-âge plus élevé chez les enfants de moins de 5 ans.

4. PROGRAMMES D'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION MIS EN ŒUVRE AU SENEGAL

Au Sénégal, malgré l'inscription de la santé et de la nutrition au Plan Sénégal Emergent (PSE, 2014) de 2014 à 2018, puis dans le nouveau document de Politique Nationale de Développement de la Nutrition (PNDN, 2015), la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la lutte contre la pauvreté en milieu rural et la mise en place de systèmes agricoles durables constituent des défis pressants (Ndiaye et al., 2015 ; ANSD, 2018). A cette situation, s'ajoutent les effets du changement climatique, l'éducation, la santé et la démographie croissante. Sur le plan de la sécurité alimentaire figure en bonne place la limitation quantitative et qualitative des productions agricoles et agro-sylvo-pastorales locales, se traduisant par une monotonie et un manque de diversité de l'alimentation des ménages particulièrement ruraux (SECNSA, 2016 ; ANSD, 2018). Pour faire face à ces défis, le Gouvernement du Sénégal a fixé de grandes orientations agricoles portées par le Plan Sénégal Emergent (PSE), qui, à l'horizon 2035 et à court et moyen termes dès 2018, devra apporter des réponses pertinentes pour améliorer la productivité et la compétitivité de l'agriculture sénégalaise afin de répondre à la problématique de l'emploi des jeunes et de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. Ainsi cinq projets phares structurants sont proposés dans l'axe 1 « *Transformation structurelle de l'économie et Croissance* » du PSE : (i) la mise en place de 100-150 projets d'agrégation ciblés sur les filières à hautes valeurs ajoutées et l'élevage ; (ii) le développement de trois corridors céréaliers ; (iii) la mise en place de 150-200 projets de soutien à l'agriculture familiale ; (iv) la restructuration de la filière arachide ; et (v) la création de trois agropoles intégrés (nord, centre et sud du pays) pour stimuler l'investissement privé national et étranger dans la production et la transformation des aliments, diversifier les moteurs de la croissance et renforcer la résilience de l'économie (PSE, 2014). Afin de contribuer significativement à l'atteinte des objectifs de l'axe 1 du PSE, plusieurs programmes et projets sont mis en œuvre par le Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural (MAER), tels que l'Agence Nationale d'Insertion et du Développement Agricole (ANIDA), le Programme d'Appui aux Filières Agricoles (PAFA), le Programme d'Aménagement et de Développement Economique des Niayes (PADEN), le Programme d'Appui au Développement Agricole et à l'Entreprenariat Rural (PADAER), le Projet d'Appui à Sécurité Alimentaire dans les Régions de Louga, Matam et Kaffrine (PASA Lou-

Ma-Kaf), le Programme d'Appui au Programme National d'Investissement de l'Agriculture au Sénégal (PAPSEN), le Projet de Renforcement de la Résilience à la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle Récurrente au Sahel (P2RS), qui tous devraient contribuer directement au renforcement de la sécurité alimentaire et à l'amélioration de la balance commerciale agricole. Certains de ces programmes contribuent à l'ASN. A côté du gouvernement, les partenaires au développement appuient l'Etat du Sénégal dans cette démarche d'améliorer la nutrition à travers des projets d'ASN.

3.1. Initiative nationale

Dans le cadre de la mise en œuvre du volet agricole du PSE, l'ANIDA s'emploie à assurer la réalisation de fermes agricoles villageoises sur tout le territoire national. L'objectif des fermes ANIDA est de promouvoir des exploitations agricoles familiales modernes, intégrées, compétitives, rentables, attractives et respectueuses de l'environnement. Les activités dans les fermes tournent principalement autour de l'agriculture, l'élevage et l'aquaculture. Elles sont parfois intégrées, associant indifféremment ces trois formes d'exploitation. Parmi les fermes, figurent les domaines agricoles communautaires qui sont des fermes modernes de vaste étendue où les bénéficiaires sont sélectionnés au sein des populations de la zone du projet, organisés en GIE de producteurs fédérés autour d'une union de GIE et fonctionnant en véritable entreprise agricole. Depuis sa création en 2008, l'ANIDA a créé 196 fermes villageoises « Naatangué ». En 2017, 35000 tonnes de fruits et légumes ont été produites dans ces fermes villageoises marquées par une bonne diversification de la production avec au moins 18 spéculations produites et une forte présence de produits comme l'oignon, le haricot vert, le melon, le piment, le chou, la pomme de terre, la tomate et le gombo (ANIDA, 2018). La production laitière dans les fermes ANIDA ayant un volet production animale se chiffre à 90667 litres soit une augmentation de 2% comparée à l'année 2016. En ce qui concerne la production de poulets de chair, elle s'élève à 18240 sujets dont 14680 poulets de chair commercialisés, soit 24,3 tonnes de viandes accompagnées d'une production de 190290 œufs. Concernant la pisciculture, au total, la biomasse des différentes espèces élevées dans les fermes est estimée à 90 tonnes en 2017.

Malgré ces réalisations, l'agence, comme la plupart des programmes agricoles de l'Etat, n'a pas de données qui font le lien entre la production des fermes villageoises et la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. L'absence de ce point d'encrage entre l'agriculture et la nutrition se situe en premier lieu au niveau de la lettre de déclaration de politique sur l'agriculture qui, malheureusement, n'inclut pas de composantes ni d'objectifs

nutritionnels clés. De plus, la loi, à travers ses interventions, ne cible pas les populations bénéficiaires en fonction de leur vulnérabilité ou de leur profil nutritionnel. Son objectif principal se limite à améliorer la sécurité alimentaire et la diversité alimentaire de la population, qui en général ne sont jamais mesurées dans les projets et programmes agricoles nationaux.

3.2. Initiatives des organisations non-gouvernementales

3.2.1. USAID/Yaajeende

L'USAID|Yaajeende est un projet Feed The Future (nourrir le futur) de l'Agence américaine pour le développement international (USAID) conçu pour réduire la malnutrition dans les régions de Matam et Kédougou, ainsi que dans le département de Bakel (zone couvrant le tiers nord-est du Sénégal). Lancé en 2010, le projet a pour objectif d'encourager la participation des personnes souffrant d'extrême pauvreté à la croissance économique en milieu rural et d'améliorer l'état nutritionnel de la population. Les activités de l'USAID|Yaajeende portent sur cinq domaines d'actions que sont : i) la production agricole et la promotion d'une gestion durable des sols ; ii) la facilitation à l'accès aux marchés agricoles clés et le développement de chaînes de valeur ; iii) la réduction de la malnutrition à travers une alimentation équilibrée ; iv) le renforcement de la gouvernance locale des structures liées à l'alimentation ; v) la mise en place d'activités d'autonomisation des femmes en matière de sécurité alimentaire et de nutrition.

Après sept années de mise en œuvre, le projet a permis d'emblaver 70000 ha de terres pour une production de 62378 tonnes de céréales, dont 1200 tonnes de céréales bio-fortifiées, et 48500 tonnes de légumes (USAID|Yaajeende, 2017). Avec la production animale (moutons, chèvre et volaille), 39493 animaux ont été produits et 13896 familles ont été touchées soit près de 140000 personnes, dont 41688 enfants. Concernant le volet transformation, 100000 femmes regroupées dans des groupements ont été formées aux métiers de transformation des aliments et 232 tonnes de « farine enrichie » ont été fabriquées.

Sur le plan nutritionnel, le projet a permis à 25,5% d'enfants de moins de 5 ans d'avoir un régime alimentaire minimal acceptable (USAID/Yaajeende, 2017) contre 11,7% en 2011 (année de démarrage du projet), de réduire de 31% la malnutrition aiguë, de 17,9% l'insuffisance pondérale chez les enfants de 6-59 mois et de 25% la malnutrition chez les femmes en âge de procréer (LQAS, 2016). Au niveau des ménages, 80% ont eu une alimentation diversifiée dans la zone d'intervention du projet et 58% ont eu des

augmentations de revenus provenant des activités agricoles (USAID|Yaajeende, 2017). On peut cependant noter la limite de cette évaluation de type avant-après, auprès de la même population.

Pour continuer cette dynamique, l'initiative Feed The Future a lancé en 2018 un nouveau projet d'ASN, dénommé « projet Kawolor » dont l'objectif est d'accroître au sein des communautés bénéficiaires de l'intervention, la production, la commercialisation et la consommation d'aliments variés, sains et nutritifs. Les domaines d'activité du projet tournent autour de la production de céréales de qualité (mil biofortifié, maïs *obatampa*, sorgho sans tanin, etc...), la production horticole (patate douce à chair orange, carotte, gombo, pomme du sahel, etc...), l'élevage (d'animaux à cycle court), des bonnes pratiques de santé et nutrition, l'accès aux services financiers pour les organisations de producteurs, l'agro-entreprise, l'autonomisation des femmes, l'accès à l'eau (eau potable et eau de production) à l'hygiène et à l'assainissement et la gouvernance de la sécurité alimentaire. Pour une durée de cinq ans, le projet interviendra dans 129 communes des régions de Fatick, Kaffrine, Kaolack, Matam, Saint Louis, Kolda, Sédhiou, Ziguinchor et compte toucher 150000 ménages, soit 1500000 personnes.

3.2.2. USAID/SPRING (Strengthening Partnerships, Results, and Innovations in Nutrition Globally)

Le projet USAID/SPRING (Renforcement des partenariats, des résultats et des innovations dans le domaine de la nutrition à l'échelle mondiale) est également un projet Feed The Future de l'USAID mais d'une durée plus courte (18 mois) que celui de l'USAID/Yaajeende. Lancé en 2015, le projet SPRING était développé dans trois régions du Sénégal (Kaolack, Fatick, Kaffrine). Son objectif était de mettre en place une intervention d'ASN pour améliorer l'état nutritionnel des mères et des enfants au cours des 1000 premiers jours, en particulier le retard de croissance et l'anémie maternelle et infantile. Les activités du projet ont porté sur la communication sur les bonnes pratiques liées à la nutrition, à l'eau, à l'assainissement et à l'hygiène à travers la mise en place de stations de lavage des mains dans les ménages bénéficiaires. Le projet a également porté sur les pratiques agricoles sensibles à la nutrition avec l'installation de 1150 micro-jardins et 30 jardins communautaires pour la culture de la patate douce à chair orangée, du maïs *Obatampa*, du mil biofortifié et l'arboriculture familiale (Moringa, papaye et banane), la promotion de bonnes pratiques de récolte, de post-récolte et de transformation de produits agricoles. Des bâtiments de stockage, la mise en place d'unités de transformation et de production de farine composée et la formation des groupements de

femmes à l'utilisation et à la gestion des unités pour alléger les tâches et améliorer leurs revenus ont été réalisés en fin de projet. A côté des activités de production agricole, le projet SPRING a initié la promotion de l'aviculture villageoise améliorée à travers la construction de poulaillers et la distribution de 120 poules locales et 12 coqs de race destinés à des groupements féminins bénéficiaires.

L'évaluation en fin parcours a montré une amélioration significative de la pratique de l'allaitement maternel exclusif et des indicateurs de l'alimentation complémentaire des enfants dans les zones d'interventions comparées aux témoins (USAID/SPRING, 2017).

3.2.3. Programme Alimentaire Mondiale (PAM)

Le Programme alimentaire mondial (PAM) a mis en œuvre au plan national un projet d'appui intégré à la sécurité alimentaire et à la nutrition dans le cadre de la prise en charge des questions alimentaires et nutritionnelles des groupes vulnérables. Lancé en 2012 pour une durée de quatre ans, le projet, en lien avec les priorités du PSE, vise à améliorer la situation nutritionnelle et la production agricole dans les zones à risque d'insécurité alimentaire. Les activités du projet portaient sur l'appui à l'alimentation scolaire (cantines scolaires) et la nutrition des enfants souffrant d'émaciation et des femmes enceintes et allaitantes, l'assistance alimentaire ciblée à travers les modalités « distribution de vivres » et « bons d'achat alimentaire » et le développement de la production agricole rurale en lien avec la résilience des communautés (distribution de semences, d'engrais et de petits matériels agricoles, aménagement de bas-fonds, construction de digues, puits et clôtures). A notre connaissance le projet n'a pas fait l'objet d'évaluation nutritionnelle.

3.2.4. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)

Le soutien de la FAO au Sénégal s'inscrit dans le cadre de programmes pays (CPP) qui portent sur plusieurs domaines prioritaires à savoir :

3.2.4.1. Alimentation et nutrition scolaire

Depuis 2012, la FAO appui l'Etat du Sénégal dans la promotion de cantines scolaires durables, approvisionnés par la production agricole locale. Le projet touche actuellement les régions de Louga, de Fatick et de Sédhiou. Dans chaque région, des menus scolaires régionaux à base d'aliments locaux et de plats traditionnels à haute valeur nutritionnelle sont

élaborés. La FAO appuie également la formation des enseignants sur l'éducation nutritionnelle ciblant les élèves, l'aménagement de jardins scolaires et la formation des cuisinières. L'évaluation finale du projet n'a pas encore été effectuée.

3.2.4.2. Education nutritionnelle aux producteurs

Afin de les inciter à adopter des comportements favorables à une bonne nutrition (diversification alimentaire, bonnes pratiques d'hygiène, etc), la FAO a mené des activités d'éducation nutritionnelle destinées aux producteurs à travers l'approche champs écoles de producteurs (CEP). L'approche CEP permet aux producteurs d'apprendre en pratiquant et les encourage à privilégier des pratiques respectueuses de l'environnement. Les CEP soutiennent également les activités de renforcement des capacités en matière de résilience climatique des communautés rurales. En 2016, le projet a mis en place 1250 champs écoles et formé 500 facilitateurs et 10 nouveaux maîtres formateurs.

En 2015, une expérience pilote des CEP dans les communes de Bayakh, Diender et Kayar a montré, après 5 mois d'intervention, une amélioration du niveau de connaissance des producteurs sur la nutrition et une augmentation de la diversité alimentaire des enfants de 6-23 mois (données FAO-Sénégal non publiées).

3.2.4.3. Diversification alimentaire et autonomisation des femmes

Le projet « Micro-jardins de la ville de Dakar » a été mis en œuvre en partenariat avec la ville de Dakar et l'ONG ACRA (Association de Coopération Rurale en Afrique et en Amérique latine). L'initiative offre aux femmes davantage d'occasions de participer, d'améliorer leurs compétences, et d'être impliquées dans la production agricole à petite échelle pour la consommation et la commercialisation des légumes et épices frais. Ce faisant, elle contribue à la fois à leur autonomisation et à l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en milieu urbain. Dans la région de Dakar, 10000 bénéficiaires ont été formés. A notre connaissance aucune de ces initiatives n'a fait l'objet d'évaluation finale.

5. SUIVI ET EVALUATION DES PROJETS D'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION

La recommandation commune dans toutes les notes d'orientation est l'inclusion d'un système de suivi-évaluation (S&E) et d'indicateurs nutritionnels clairs, spécifiques et explicites dans les projets, programmes et politiques agricoles. Presque toutes les revues systématiques et les

institutions qui ont publié des directives sur l'ASN, ont formulé cette recommandation afin de mieux comprendre l'impact de ces projets et programmes sur les principaux paramètres nutritionnels et sanitaires (Kadiyala et al., 2014 ; Olney et al., 2016 ; Ruel et al., 2017). Le S&E permet de fournir des informations avant, pendant et après le projet et d'apporter des mesures de correction au besoin.

Pour le choix des indicateurs, la FAO recommande les indicateurs de consommation alimentaire comme la première étape la plus réalisable et la plus appropriée pour mesurer l'impact des interventions d'ASN sur la nutrition (FAO, 2018), bien que d'autres auteurs préfèrent l'impact des interventions sur les indicateurs de l'état nutritionnel, comme le retard de croissance et le statut en micronutriment (Tableau 2). Cependant, il est difficile d'observer ou d'attribuer l'impact d'un programme d'ASN sur l'état nutritionnel car, selon le contexte, d'autres facteurs, tels que le poids à la naissance, les pratiques d'allaitement et les infections fréquentes peuvent avoir des répercussions sur la croissance ou le développement de l'enfant. De même, les changements qui surviennent tels que l'autonomisation des femmes, la qualité de l'eau, ou autres facteurs influencés par l'agriculture, peuvent s'avérer importants sans immédiatement se traduire par des changements des paramètres anthropométriques.

Hormis ces éléments, la taille de l'échantillon, la durée d'intervention et le groupe d'âge ciblé font partie des éléments clés pouvant favoriser ou limiter l'analyse de l'effet des programmes d'ASN (Kadiyala et al., 2014 ; Olney et al., 2016 ; Ruel et al., 2017;).

La taille de l'échantillon est un élément important pour détecter un effet significatif des interventions d'ANS sur les indicateurs d'impact (FAO, 2018). En général, les tailles d'échantillon nécessaires pour observer une réduction de 5 à 10 % du taux de retard de croissance sont de l'ordre d'une ou plusieurs centaines de personnes (Gertler et al. 2010).

L'autre élément clé est la définition de la durée d'intervention nécessaire aux programmes d'ASN pour atteindre les résultats nutritionnels (Leroy et al, 2015 ; Guatam et al, 2015). D'après Leroy et al. (2015), la durée idéale entre le début et la fin du suivi et le bon moment pour l'évaluation de l'impact dépendent de cinq facteurs liés au temps. Le premier est le temps nécessaire pour que le programme soit pleinement déployé et que ces composantes atteignent une couverture complète au niveau de qualité de mise en œuvre. Le deuxième est lié au temps de réponse (biologique), qui dépend de la mesure d'intérêt. Par exemple, l'amélioration de la croissance linéaire des enfants prend beaucoup plus de temps que celle des paramètres de statut en micronutriments. Pour avoir un impact maximal au cours des 1000 premiers jours, les enfants doivent donc être exposés au programme pendant près de trois ans (in utero pendant la grossesse et au moins au cours de leurs 24 premiers mois de vie). Étant

donné que l'effet sur la croissance linéaire est cumulatif, l'impact devrait être évalué après 24 mois, au moment où l'effet le plus important devrait être observé. Cependant, l'impact sur les comportements ou les pratiques de nutrition et de santé doit être évalué avant l'âge de 24 mois. Le troisième délai est le temps nécessaire dans les études de cohorte pour recruter un nombre suffisamment grand de sujets dans le groupe d'âge requis. C'est l'exemple des programmes qui visent à inscrire des mères pendant la grossesse et à les suivre jusqu'à ce que leurs enfants aient deux ans. Il faudra plusieurs mois pour recruter l'échantillon cible de femmes enceintes, ce qui s'ajoutera au temps total nécessaire pour le suivi complet de chaque enfant jusqu'à l'âge de 24 mois. Le quatrième temps concerne la longue période de suivi allant de la mise en place du programme à son impact sur les paramètres biologiques. Par exemple, de l'installation de jardin à la récolte et à l'alimentation des enfants ou de l'éducation nutritionnelle des mères à l'adoption effective des pratiques alimentaires se traduisant par une amélioration des mesures d'état nutritionnel. Le cinquième facteur est lié à la saisonnalité connue pour influencer certains indicateurs, tels que la disponibilité alimentaire, l'apport alimentaire, la morbidité et l'émaciation de l'enfant (Gibson, 2005). Pour réduire l'effet de la saisonnalité, il est généralement recommandé de mener les enquêtes de référence et de suivi au même moment (mois) de chaque année.

Concernant les groupes d'âge ciblés, les femmes en âge de procréer et les enfants de moins de 5 ans sont identifiés comme les bénéficiaires primaires des programmes d'ASN (FAO, 2018). Toutefois, les autres groupes vulnérables sur le plan nutritionnel (enfants d'âge scolaire, les adolescentes, les personnes âgées, les personnes souffrant de handicap ou vivant avec le VIH) peuvent aussi constituer des cibles des programmes.

Tableau 2 : Liste détaillée des indicateurs existants pour des interventions sensibles à la nutrition

Disponibilité et accessibilité alimentaire (ménage)	Consommation alimentaire (individuelle)	Etat nutritionnel	Connaissances et pratiques de soins	Genre	Revenu
<ul style="list-style-type: none"> - Score de Consommation Alimentaire des ménages (SCAM) - Score de Diversité Alimentaire du ménage (SDAM) - Echelle de l'Accès déterminant l'Insécurité alimentaire des Ménages - Indice de la faim au sein du ménage (HHS) - Indice de stratégie de survie (CSI) - Indice réduit de stratégie de survie (rCSI) - Mois d'approvisionnement alimentaire adéquat des ménages (MAHFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - Diversité alimentaire minimale chez les femmes en âge de procréer (DAM-F) - Diversité alimentaire minimale chez les jeunes enfants de 6 à 23 mois (DAM) - Fréquence minimale de repas (enfants de 6-23 ans) - Apport alimentaire minimum acceptable (enfants de 6-23 ans) - Initiation précoce à l'allaitement - Allaitement exclusif en dessous de 6 mois - Allaitement poursuivi à deux ans 	<ul style="list-style-type: none"> - Retard de croissance (indice taille pour âge) - Emaciation (indice poids pour taille) - Insuffisance pondérale (indice poids pour l'âge) - Insuffisance pondérale maternelle (faible indice de masse corporelle) - Composition corporelle (masse maigre, masse grasse) - Statut en micronutriments (anémie, fer, zinc, vitamine A, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Indicateur des connaissances relatives à la nutrition et à la santé - Changements de comportements spécifiques préconisés en lien avec la nutrition et la santé - Couverture des services de santé (vaccination des enfants de moins de 2 ans) - Morbidité (fièvre, rougeole, diarrhée, IRA, paludisme) - Accès à des sources d'eau potable - Lavage des mains 	<ul style="list-style-type: none"> - Indice de l'autonomisation des femmes dans l'agriculture (IAFA) - Contrôle des revenus femmes sur les revenus - Main d'œuvre et emploi du temps des femmes - Possession d'actifs ventilée par sexe - Processus qualitatif pour apprécier l'équité, l'utilisation du temps et le contrôle des revenus 	<ul style="list-style-type: none"> - Indices de la richesse/niveaux de pauvreté - Vente de produits agricoles - Revenu ou consommation du ménage - Indices des actifs des ménages - % des dépenses dédié à l'alimentation - % du budget dédié à la santé

CHAPITRE II
MALNUTRITION AU COURS DES 1000 PREMIERS JOURS DE VIE

1. DEFINITION ET IMPORTANCE DES 1000 PREMIERS JOURS

Les 1000 premiers jours de la vie (Figure 4), période allant de la conception aux deux premières années de vie (grossesse + 2 premières années de vie) constituent une période critique appelée « fenêtre de vulnérabilité/opportunité » pour la croissance, la santé et le développement de l'enfant (Victoria et al., 2008 ; Dewey et Vitta, 2013). C'est également une période cruciale pour le bien-être des mères. Les 1000 premiers jours sont identifiés comme une période de changement physiologique rapide (Pinto et al., 2008). L'exposition à des facteurs alimentaires, environnementaux, hormonaux et autres stress au cours de cette période est associée à un risque accru de problèmes de santé. Les conséquences immédiates d'une malnutrition infantile au cours de cette période, sont une réduction de la croissance, une morbidité et une mortalité élevées, un retard de développement psychomoteur et des performances intellectuelles réduites à l'adolescence et enfin, à long terme, le risque de développer des maladies chroniques liées à l'alimentation dont le diabète de type 2, l'hypertension artérielle et les dyslipidémies (Victoria et al., 2008 ; Black et al., 2013). Les interventions effectuées au cours des 1000 premiers jours auront pour objectifs une population adulte en meilleure santé et plus productive, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire où le besoin en développement est le plus grand (Karakochuk et al., 2018). Cela réduirait les coûts de soins de santé et accroîtrait la prospérité économique (Fink et al., 2016).

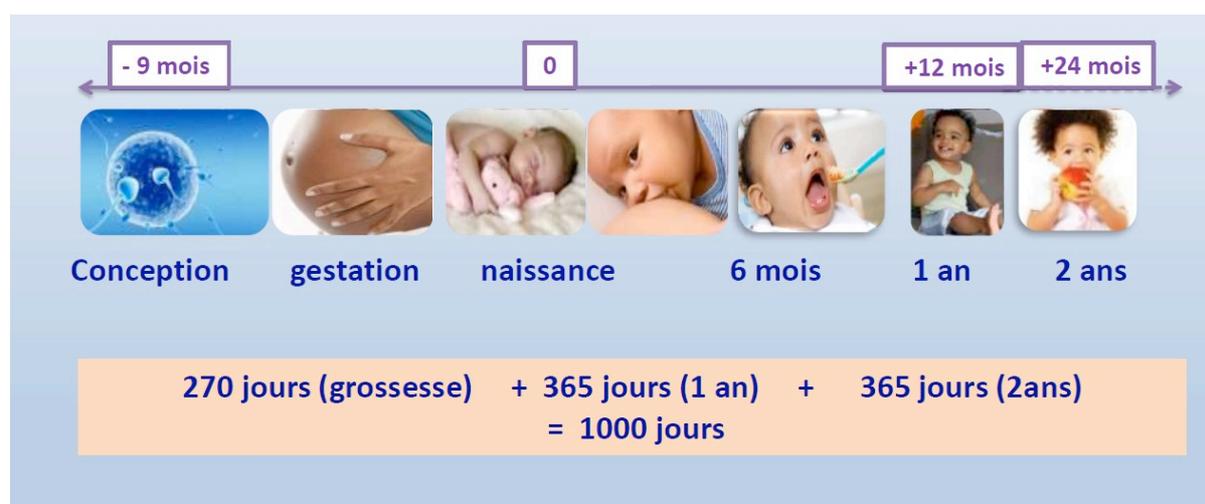


Figure 4 : Période des 1000 premiers jours de la vie

2. MALNUTRITION AU COURS DES 1000 PREMIERS JOURS

2.1. Bref rappel sur la malnutrition au cours des 1000 premiers jours de vie

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la malnutrition est un état pathologique qui résulte de la carence ou de l'excès relatif ou absolu d'un ou de plusieurs nutriments essentiels, que cet état se manifeste cliniquement ou ne soit décelable que par des mesures anthropométriques, biochimiques, physiologiques ou cliniques (OMS, 1982). On distingue deux types de malnutrition : la malnutrition par carence et la malnutrition par excès. La malnutrition par carence peut être due à un déficit énergétique, en nutriments spécifiques (fer, iode, zinc, vitamine A etc.) ou en plusieurs nutriments se traduisant par une émaciation (malnutrition aiguë) et/ou un retard de croissance (malnutrition chronique). La malnutrition par excès, quant à elle, est due à une consommation excessive d'aliments riches en énergie tels que les sucres et/ou les graisses. Elle entraîne le plus souvent une surcharge pondérale menant au surpoids et à l'obésité. Elle peut également potentialiser d'autres problèmes de santé comme les maladies non transmissibles (MNTs) liées à l'alimentation telles que le diabète de type 2, l'hypertension artérielle et les maladies cardiovasculaires (Victoria et al., 2008 ; Black et al. 2013). Selon la gravité, on peut distinguer trois types de malnutrition allant de la forme marginale à la forme modérée puis sévère (OMS, 2006).

2.1.1. Malnutrition maternelle

La malnutrition maternelle peut se manifester soit par un déficit énergétique chronique, un retard de croissance marqué par une petite taille à l'âge adulte, par une carence en micronutriments mais également par une surcharge pondérale et une obésité (Black et al., 2013).

2.1.1.1. Carence ou déficit énergétique

La carence énergétique maternelle est définie chez la femme non enceinte par un indice de masse corporelle (IMC) $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ (WHO, 1996). Chez la femme enceinte, elle est définie par un périmètre brachial (PB) $< 230 \text{ mm}$. L'IMC avant la conception et la mesure du PB pendant la grossesse constituent des prédicteurs importants de la santé maternelle et de l'issue de la grossesse (Ververs et al., 2013 ; Barber et al., 2017). Le déficit énergétique maternel en début de grossesse est le principal facteur de risque lié à la naissance dans les pays en

développement (Rahman et al., 2015). En effet, les conséquences d'un déficit énergétique chez la mère sont un risque élevé de retard de croissance intra-utérin (RCIU), d'accouchement prématuré ou d'un nouveau-né de faible poids de naissance (FPN), de mortinatalité et d'anomalies congénitales (Black et al., 2008 ; Barber et al., 2017). Une récente étude regroupant plus de 72000 femmes avec un faible IMC avant la grossesse a montré que le risque d'accouchement prématuré augmente avec la gravité du déficit énergétique pré-maternel de 1,14 pour un faible IMC ($< 18.5 \text{ kg/m}^2$) et de 1,54 pour un déficit énergétique sévère ($\text{IMC} < 16 \text{ kg/m}^2$) (Ginsen et al., 2016). Selon les dernières statistiques de l'OMS, la prévalence du déficit énergétique chez les femmes en âge de procréer a diminué en Afrique et en Asie, mais reste supérieure à 10% (WHO, 2017). Dans certains pays du Sahel et d'Asie du Sud, les prévalences dépassent le seuil critique de 30%. Au Sénégal, les résultats de l'enquête nationale utilisant la méthodologie SMART montrent une prévalence globale de 25% de déficit énergétique chez les femmes en âge de procréer (DAN, 2016).

2.1.1.2. Petite taille de la mère

Selon l'OMS, une femme en âge de procréer est considérée comme de petite taille si elle mesure moins de 145 cm (WHO, 1996). La taille de la mère est un déterminant important de l'issue de la grossesse, en particulier dans les pays en développement (Black et al., 2013 ; Kozuki et al., 2015). Elle constitue un marqueur simple, stable et utile pour évaluer les liens intergénérationnels en matière de santé (Figure 5). La taille de la mère reflète les effets persistants et cumulatifs des expositions alimentaires, sanitaires, environnementales et sociales d'une mère durant sa petite enfance et qui peuvent s'étendre sur plusieurs générations (Casapía et al., 2007 ; Huntsman & White, 2007 ; Subramanian et al., 2009). Les résultats d'une méta-analyse du groupe d'expert de l'OMS sur l'anthropométrie ont montré que la petite taille de la mère est un facteur de risque élevé de RCIU, d'accouchement par césarienne, de FPN et de prématurité (WHO, 1995). D'autres études ont également montré qu'une petite taille de l'utérus, généralement observée chez les mères de petite taille, entraîne un étirement de la membrane et le raccourcissement du col pouvant augmenter la probabilité de RCIU, d'accouchement prématuré, de FPN, de morbidité et de mortalité néonatales (Bhutta et al., 2013 ; Kozuki et al., 2015). En Inde, Subramanian et al. (2009) ont montré une association inverse entre la taille de la mère et la survenue du retard croissance chez l'enfant.

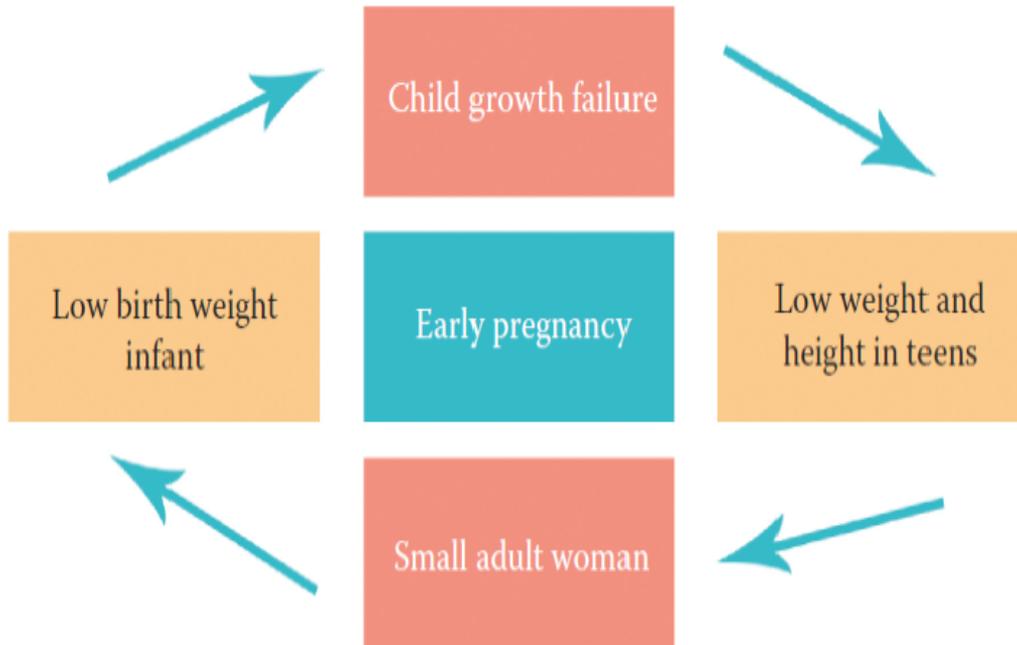


Figure 5 : Cycle intergénérationnel de la malnutrition (WFP, 2012)

2.1.1.3. Surpoids/obésité de la mère

Le surpoids/obésité est reconnu comme un problème de santé mondial croissant (Marie et al., 2014). Chez la femme en âge de procréer, le surpoids est défini par un IMC compris entre 25 et 29,9 kg/m², l'obésité par un IMC \geq 30 kg/m² (WHO, 1996). A l'échelle mondiale, la proportion de femmes en surpoids/obèses dans le monde est passée de 29,8% en 1980 à 38,0% en 2013, surtout dans les pays pauvres où l'on note une forte transition nutritionnelle. De plus, dans ces pays, le nombre de décès annuels dus au surpoids/obésité maternel a plus que doublé, passant de 336967 en 1990 à 840427 en 2010. Plusieurs études ont montré que le surpoids/obésité avant la grossesse est associé à un risque accru de complications maternelles et néonatales (Joshi et al., 2011 ; Liu et al., 2013 ; Rahman et al., 2015). Les effets indésirables majeurs sur la santé de la mère sont le diabète gestationnel, la pré-éclampsie, l'hémorragie post-partum et l'accouchement par césarienne. De même, les nouveau-nés, dont les mères sont en surpoids ou obèses, courent un risque accru de FPN, de macrosomie, de prématurité, de petite taille pour l'âge gestationnel et de mort-né (Rahman et al., 2015). Au Sénégal, les résultats de l'enquête SMART de 2015 a révélé que 18,9% des femmes en âge de procréer étaient en surpoids/obèses (DAN, 2016).

2.1.2. Malnutrition fœtale

La grossesse est la période qui s'écoule depuis la conception jusqu'à la naissance de l'enfant (Figure 6). C'est une période sensible et essentielle pour la santé néonatale. Tout problème de santé lié à la nutrition durant cette période aura pour conséquence un retard de développement fœtal et/ou un petit poids à la naissance. Il peut également entraîner la naissance d'un enfant souffrant de macrosomie (Black et al., 2013 ; Forsum, 2017 ; Karakochuk et al., 2018).

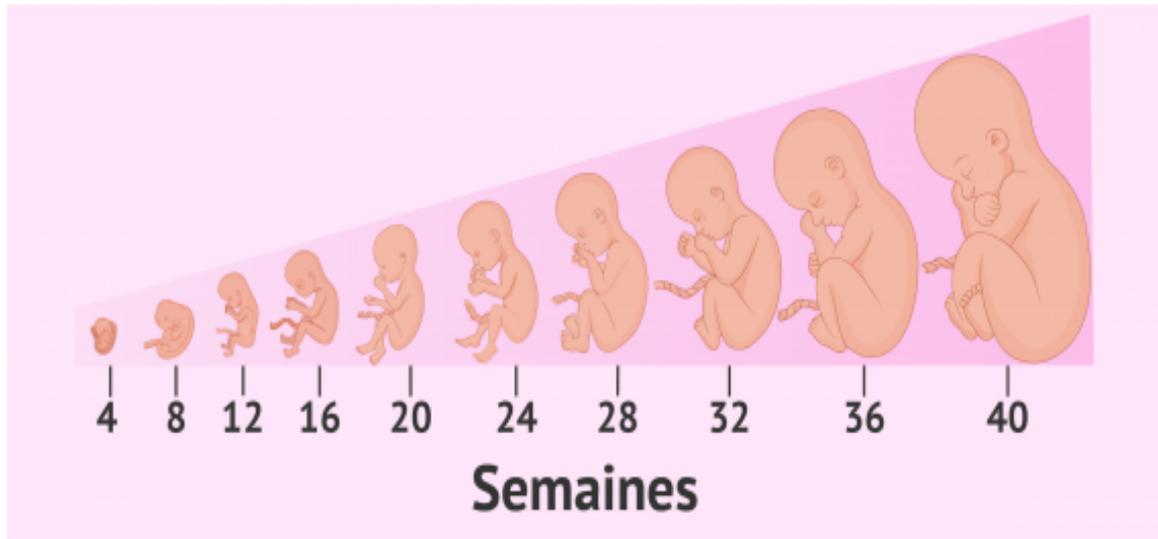


Figure 6 : Période de la grossesse

2.1.2.1. Retard de développement intra-utérin

Le retard de croissance intra-utérin (RCIU) est l'incapacité du fœtus à atteindre son potentiel de croissance génétique au cours de la grossesse (Chavatte-Palmer et al., 2008). Le RCIU constitue un problème majeur de santé publique et touche chaque année plus de 400000 nouveau-nés dans les pays en développement, l'Afrique subsaharienne et les pays d'Asie du Sud-Est représentant respectivement 20% et 30% de ce fardeau (UNICEF/WHO/UN/World Bank, 2018). Les conséquences du RCIU peuvent être à court et à long terme. A court terme, les enfants avec un RCIU présentent un risque accru de morbidité et de mortalité pendant la période néonatale et post-néonatale, une altération de la croissance et du développement neurologique pendant l'enfance (Longo et al., 2013 ; von Beckerath et al., 2013 ; Accrombessi et al., 2018). Les conséquences à long terme sont irréversibles et parfois intergénérationnelles (Barker et al., 1989 ; de Onis et al., 1998 ; von Beckerath et al., 2013 ; Accrombessi et al., 2018). En effet, selon Barker et al. (1989), le fœtus avec un RCIU serait programmé à développer un phénotype « économe » avec, à l'âge adulte, une augmentation

de la prise alimentaire et un stockage accru de graisse corporelle. Ce phénomène, appelé « programmation fœtale », a montré que la privation alimentaire durant la grossesse est associée à une restriction de la croissance fœtale et à une diminution du nombre des cellules bêta au niveau du pancréas. Par conséquent, à l'âge adulte il y a une augmentation de la résistance à l'insuline et un risque d'obésité, de diabète de type 2, d'hypertension artérielle et de décès par pathologies coronariennes (Figure 7).

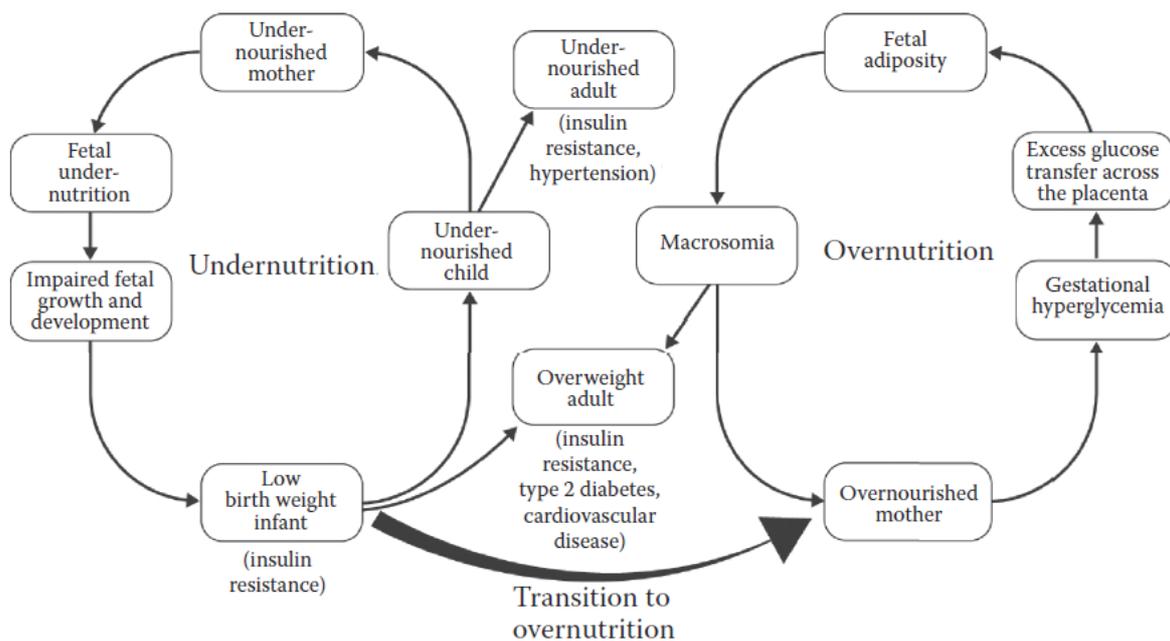


Figure 7 : Programmation fœtale selon l'hypothèse de Barker (Tomar et al., 2015)

2.1.2.2. Faible poids de naissance

Le faible poids de naissance (FPN) est défini comme un nouveau-né qui pèse moins de 2500 g quel que soit l'âge gestationnel (Black et al., 2013). C'est un indicateur étroitement lié à la survie, au bien-être et à la croissance de l'enfant. Il est la principale cause de mortalité néonatale, la deuxième cause de décès chez les enfants de moins de 5 ans (Unicef/WHO/World Bank, 2018). La réduction de 30% des cas de FPN fait partie des objectifs cibles de l'OMS d'ici 2025 (WHO, 2014). Les conséquences immédiates du FPN sont une augmentation de la morbidité et de la mortalité infanto-juvéniles (Black et al., 2013). Des études ont montré que les enfants avec un FPN ont plus de risque de développer des épisodes diarrhéiques, de pneumonie ou d'infections respiratoires aiguës que les enfants nés avec un poids ≥ 2500 g (WHO, 1992). A long terme, le FPN peut entraîner des dommages

irréversibles sur la capacité cognitive avec une faible scolarisation, la réduction de la taille chez l'adulte et l'augmentation des risques de maladies chroniques liées à l'alimentation comme l'obésité, le diabète de type 2, l'hypertension artérielle et les maladies coronariennes (Barker, 1993 ; Leon, 1998). Selon les dernières estimations, plus de 20 millions de nourrissons dans le monde (15,5% de toutes les naissances) sont nés avec un FPN, et plus de 95% des cas sont retrouvés dans les pays en développement (Unicef/WHO/World Bank, 2018). Les prévalences de FPN sont de 28% en Asie du Sud, 13% en Afrique subsaharienne et 9% en Amérique latine. Au Sénégal, les données de la dernière enquête EDS-Continue ont révélé que parmi les nouveau-nés dont le poids de naissance a été déclaré, 12,1% ont un FPN (ANSD, 2018). Cependant, il existe des disparités entre les régions du fait qu'une grande partie des données sur les FPN restent limitées ou sont peu fiables, car de nombreux accouchements ont lieu à domicile ou dans des petites cliniques et ne figurent pas dans les chiffres officiels, ce qui peut entraîner une sous ou surestimation de la prévalence des FPN.

2.1.3. Malnutrition infantile

Selon l'OMS, la période allant de la naissance à l'âge de deux ans constitue un moment critique pour la promotion de la croissance, de la santé et du développement de l'enfant (OMS, 2006). Plusieurs études ont déjà montré que c'est l'âge où le ralentissement de la croissance est maximum, les carences en nutriments essentiels et les maladies infectieuses sont les plus fréquentes (Victoria et al., 2010 ; Black et al., 2013). Les conséquences immédiates de cette malnutrition infantile, sont une réduction de croissance, une morbidité et une mortalité élevées, un retard de développement psychomoteur, des performances intellectuelles réduites à l'enfance et à l'adolescence et enfin, à long terme, le risque de développer des maladies chroniques liées à l'alimentation dont le diabète, l'hypertension artérielle et les dyslipidémies (Victoria et al., 2008 ; Black et al., 2013). La malnutrition infantile englobe l'émaciation, le retard de croissance et les carences en micronutriments.

2.1.3.1. Emaciation ou malnutrition aiguë

L'émaciation ou la malnutrition aiguë se caractérise par une insuffisance ou une perte de poids corporel par rapport à la taille (WHO, 2006). Elle est définie par un indice poids-pour-taille (PTZ) < -2 z-score selon les courbes de référence de l'OMS (WHO, 2006). Selon la gravité, l'émaciation chez l'enfant peut être modérée ou sévère. Sur le plan clinique, la malnutrition aiguë sévère (MAS) se présente sous deux formes, marasme et kwashiorkor bien

qu'il existe une forme intermédiaire appelée kwashiorkor-marasmique (OMS, 2000). Le marasme survient le plus souvent avant l'âge d'un an alors que le kwashiorkor, apparaît généralement pendant la période de sevrage entre 18-24 mois ou plus (Williams, 1935, Golden, 1991). Aujourd'hui, ces deux formes de malnutrition demeurent une des causes importantes de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans (Unicef/WHO/World Bank, 2018). Selon McDonald et al. (2013) le risque de décès d'un enfant souffrant de MAS est 11 fois plus grand que celui d'un enfant bien portant. L'OMS estime qu'à travers le monde, l'émaciation cause près de 2 millions de décès chez les enfants de moins de 5 ans soit 5% sur l'ensemble des décès dans ce groupe d'âge (McDonald et al., 2013).

En 2018, 51 millions d'enfants de moins de 5 ans étaient touchés par la malnutrition aiguë dans le monde, dont le tiers sous forme de MAS (Unicef/WHO/World Bank, 2018). Les pays en développement endossent la plus lourde charge avec plus de deux tiers des cas provenant des pays d'Asie du Sud et plus d'un quart en Afrique subsaharienne (Figure 8). Au Sénégal, les résultats de l'EDS-Continue de 2017 montrent que 9% des enfants de moins de 5 ans souffrent de malnutrition aiguë et 2% sont sévèrement émaciés (ANSD, 2018). Si l'on considère le milieu de résidence, la malnutrition aiguë touche un peu plus fréquemment le milieu rural que le milieu urbain (10% contre 5%) avec de grandes disparités entre les régions. Elle est beaucoup plus élevée au Nord à Matam (10,5%), au Centre à Louga (9,4%) et à l'Est à Tambacounda (10,5%). De plus, la prévalence de l'émaciation est liée au niveau de bien-être du ménage, elle est de 10% chez les enfants des ménages du quintile le plus bas contre 3% chez les enfants des ménages du quintile le plus élevé. En 2014, l'OMS s'est fixée comme objectif de réduire et de maintenir en-dessous de 5% le pourcentage d'enfants souffrant d'émaciation (OMS, 2014).



Wasting PREVALENCE

Wasting in Southern Asia constitutes a critical public health emergency
Percentage of wasted children under 5, by United Nations sub-region, 2017

GLOBAL
7.5%

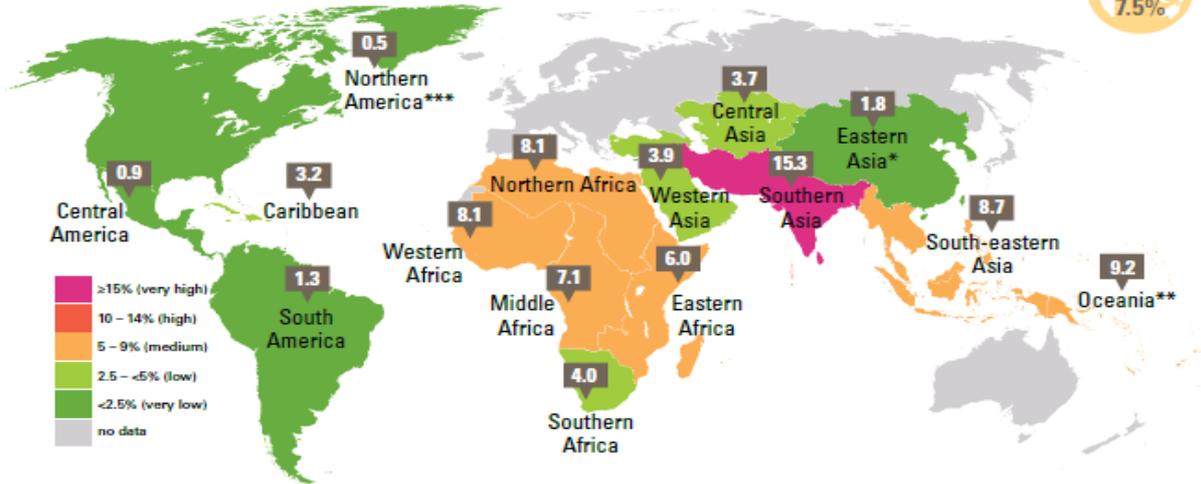


Figure 8 : Prévalence de l'émaciation chez les enfants de moins de 5 ans à travers le monde (UNICEF/WHO/World Bank, 2018).

2.1.3.2. Retard de croissance

Le retard de croissance fait référence à une croissance linéaire altérée et reflète une malnutrition chronique ou récurrente au cours des périodes les plus critiques de la croissance et du développement (WHO, 2006). Il indique également l'incapacité d'un enfant à atteindre son plein potentiel de croissance staturale (Golden, 2009). Le retard de croissance est un indicateur de vulnérabilité et de développement sous-optimal au niveau de la population (de Pee, 2018). L'OMS définit le retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans par un indice taille-pour-âge (TAZ) < -2 z-score rapport à la médiane des normes de croissance des enfants (WHO, 2006). La période de survenue du retard de croissance est la fenêtre critique des 1000 premiers de vie (Victoria et al., 2008 ; Dewey et Vitta, 2013). Dans une revue systématique publiée dans la Série Lancet, Victoria et al. (2010) ont montré que le retard de croissance commence généralement in utero, s'accélère au cours de la première année de vie et se poursuit, mais lentement, jusqu'à environ 2 ans (Figure 9). Après cette période, les auteurs indiquent que la croissance en longueur reste semblable à celle de la population de référence même dans un contexte de pauvreté (Victoria et al., 2010). La période des 1000 premiers jours de la vie constitue dès lors le moment clé pour prévenir le retard de croissance et ses conséquences connexes (Stein et al., 2010 ; Dewey et Vitta, 2013).

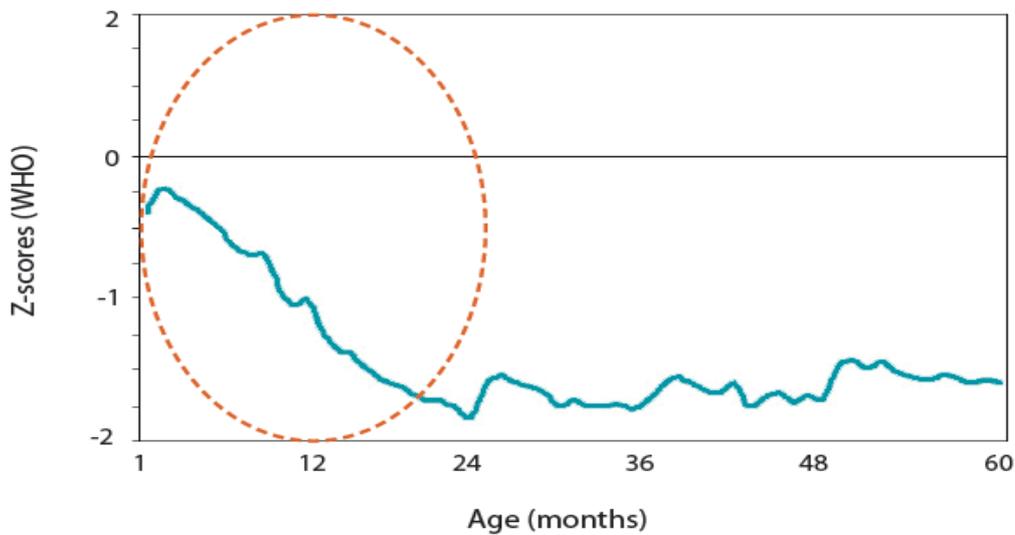


Figure 9 : Période d'apparition du retard de croissance (Victora et al., 2010)

Le retard de croissance a plusieurs conséquences à court et à long terme en raison des effets cumulés sur la croissance, la santé et le développement de l'enfant (Adair et al., 2013). Plusieurs études ont déjà montré le lien entre le retard de croissance et l'altération de la santé et des performances éducatives et économiques plus tard dans la vie (Dewey & Begum, 2010, 2011 ; Adair et al., 2013). La revue systématique de Prendergast et Humphrey (2014) fait état d'un rapport dose-réponse entre l'indice TAZ et la morbidité. En effet, les enfants qui présentent une croissance linéaire insuffisante sont 1,5 fois plus à risque de souffrir d'infections respiratoires et de diarrhées, une menace qui se voit multipliée par six lorsque le retard de croissance est sévère. Dans ce cas, les enfants sont également trois fois plus à risque de mortalité suite à d'autres infections, notamment la septicémie, la méningite, la tuberculose et l'hépatite (Prendergast & Humphrey, 2014).

Une récente étude a estimé les conséquences économiques du retard de croissance dans les pays pauvres et à revenus intermédiaires à plus de 175 milliards de dollars (101298 milliards de FCFA) en pouvoir d'achat et une réduction individuelle annuelle au cours de la vie active de 1400 dollars (810390 FCFA) par enfant (Fink et al., 2016). Ces pertes seraient en grande partie attribuables à un déficit cognitif qui entraîne une faible scolarisation, une faible capacité physique et des performances réduites sur le marché du travail.

En 2017, 162 millions d'enfants de moins de 5 ans étaient touchés par un retard de croissance soit une prévalence de 22,2% au niveau monde (Unicef/WHO/World Bank, 2018). Les prévalences les plus élevées sont trouvées dans les pays d'Afrique Subsaharienne (39%) et

d'Asie du Sud (50%) qui regroupent à eux seuls plus de trois quarts des cas de retard de croissance dans le monde (Figure 10). Pour éradiquer ce fléau, l'OMS s'est fixée comme objectif de réduire de 40% à l'échelle mondiale le nombre d'enfants de moins de 5 ans présentant un retard de croissance à l'horizon 2025 (WHO, 2014).

Au Sénégal, la dernière enquête démographique et de santé continue (EDS-Continue) montre une prévalence de 17% de retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans (ANSD, 2018). Dans l'ensemble, la situation semble acceptable, mais il existe des disparités importantes en fonction des variables sociodémographiques (Figure 11). La proportion d'enfants accusant un retard de croissance est plus élevée dans les régions de Kolda (32%), Kédougou (29%), Tambacounda (26%) et Kaffrine (26%), de plus cette proportion de malnutrition chronique est deux fois plus élevée en milieu rural (23%) qu'en milieu urbain (12%). Selon le niveau socio-économique, la prévalence du retard varie selon le quintile de bien être socio-économique des ménages. Elle est quatre fois plus élevée parmi les enfants vivant dans un ménage du quintile le plus bas (28%) que chez ceux des ménages du quintile le plus élevé (7%).

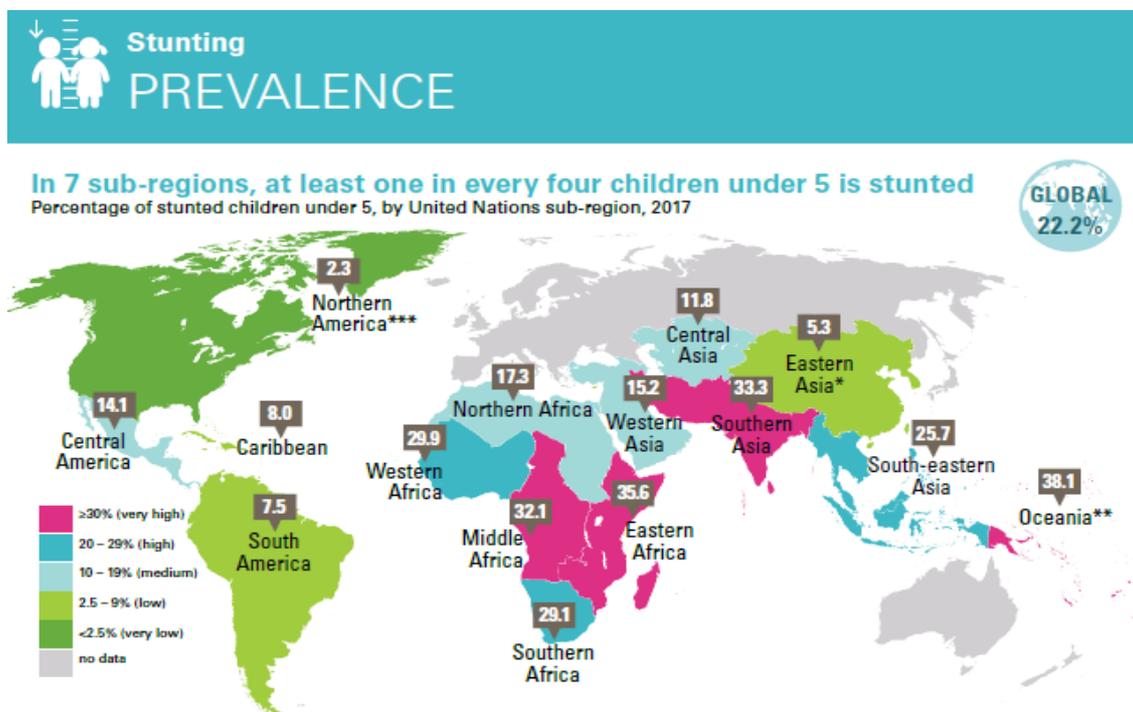


Figure 10 : Prévalence du retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans à travers le monde (UNICEF/WHO/World Bank, 2018)

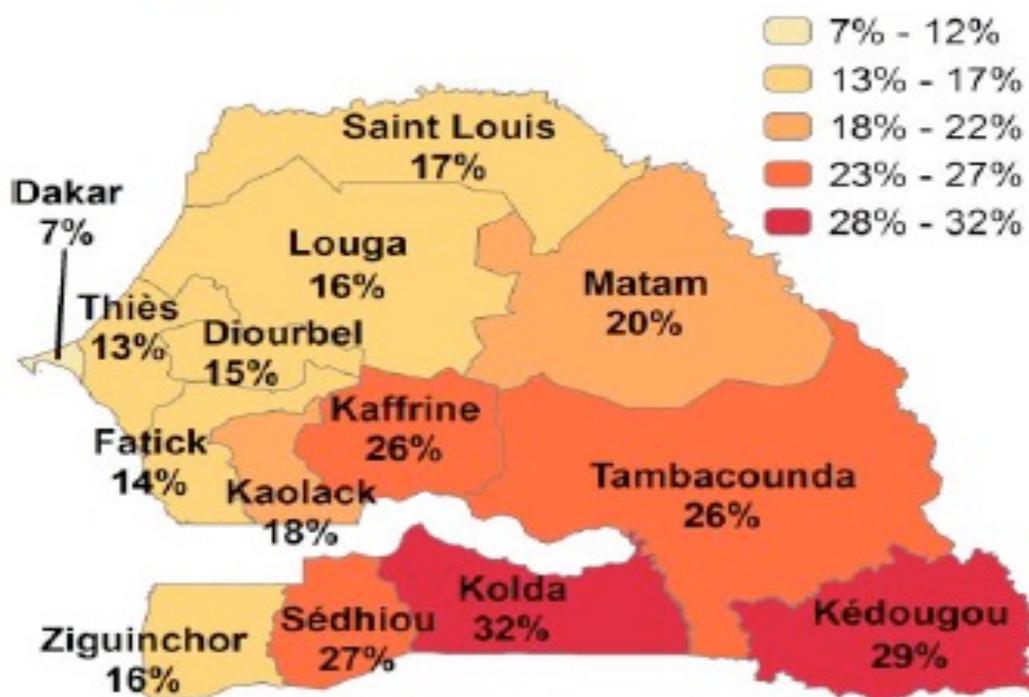


Figure 11 : Prévalence du retard de croissance chez les enfants de moins de 5 ans au Sénégal (ANSD, 2018)

2.1.3.3. Surpoids/obésité

Chez l'enfant, le surpoids/obésité est défini par un indice poids-pour-taille z-score supérieur à deux écarts type (+2 ET) par rapport à la médiane de la population de référence (OMS, 2006). Le surpoids et l'obésité infantile entraînent de nombreuses conséquences qui portent atteinte à la santé physique, émotionnelle et psychosociale des jeunes (OMS, 2012 ; Sahoo et al., 2015). Les enfants en surpoids ou obèses présentent un risque accru de développer des complications métaboliques sévères à l'âge adulte notamment le diabète de type 2, l'hypertension artérielle, les dyslipidémies, les AVC et certains cancers (Flegal & Kalantar-Zadeh, 2013 ; GBD, 2017). Les coûts humains, sanitaires, sociaux et économiques associés sont ainsi considérables (Tarride et al., 2012 ; Tremmel et al., 2017). Au cours des dernières décennies, le surpoids et l'obésité infantile ont augmenté de façon spectaculaire dans les pays en développement. Selon les dernières estimations, ils sont en hausse dans presque tous les pays et affectent environ ou 38,3 millions des nourrissons et jeunes enfants de 0 à 5 ans (5,6%) dans le monde en 2017 (UNICEF/WHO/World Bank, 2018). Au Sénégal, le surpoids/obésité touche 0,9% des enfants de moins de 5 ans (ANSD, 2018). Selon une étude récente à laquelle a participé l'équipe de nutrition de la FST, UCAD, cette prévalence devrait être multipliée par 3 (Diouf et al., 2018).

2.1.4. Carences en micronutriments

Le micronutriment est le terme générique utilisé pour désigner les vitamines et les minéraux nécessaires pour le fonctionnement normal de l'organisme (West et al., 2012). Bien que les quantités requises pour le corps soient très petites, les carences en micronutriments constituent aujourd'hui un problème majeur de santé publique avec des conséquences graves pour les groupes vulnérables tels que les femmes enceintes et allaitantes, les adolescentes, les nourrissons et les jeunes enfants (Black et al., 2013). Les carences en micronutriments ont des effets immédiats sur la croissance et le développement des jeunes enfants mais surtout sur le risque de maladies infectieuses et de décès par diarrhée, rougeole, paludisme et pneumonie (WHO, 2002). Contrairement aux autres types de malnutrition par carence, les effets de la carence en micronutriments sur la santé ne sont pas toujours bien visibles. Le terme « faim cachée » est utilisé de manière interchangeable pour décrire la nature invisible du problème et le manque de symptômes évidents de la carence en micronutriments (Mathayya et al., 2013). Dans le monde, les formes de carences en micronutriments les plus répandues sont la carence en fer, en vitamine A, en acide folique, en iode et en zinc. Selon les estimations de l'OMS, près d'un tiers de la population mondiale est touchée par les carences en micronutriments, la majorité vivant dans des pays en développement (OMS, 2017). On estime que les carences en micronutriments représentent environ 7,3% de la morbidité au niveau mondial, la carence en fer et en vitamine A étant classées parmi les 15 principales causes de morbidité mondiale (Richtie & Roser, 2018).

2.1.4.1. Carence en fer

La carence en fer est définie par une diminution du fer corporel avec un épuisement des réserves en fer. Elle débute par une déplétion des réserves au niveau de la moelle osseuse et aboutit à une anémie par carence en fer qui traduit la sévérité de la carence. La carence en fer est le problème nutritionnel le plus répandu dans le monde avec plus de 2 milliards de personnes touchées. Elle représenterait à elle seule 50% de tous les cas d'anémie chez les femmes enceintes et non enceintes et 42% des cas chez les enfants de moins de 5 ans (WHO, 2015). Plusieurs études ont montré que l'anémie par carence en fer chez la femme enceinte est associée à un risque accru d'accouchement prématuré, un FPN et à une diminution de la santé néonatale (Breyman, 2015 ; Daru et al., 2017). En fonction de la sévérité, l'anémie martiale contribue à 20% des décès maternels (de Benoist et al., 2008). La carence en fer affecte aussi la maturation auditive intra-utérine (Amin et al., 2010). Chez l'enfant, la carence en fer

apparaît souvent après l'âge de six mois (WHO/Unicef/UNU, 2001) et entraîne une diminution de la réponse immunitaire, un retard de développement moteur, une diminution de l'attention et affecte négativement la croissance et les performances cognitives ou comportementales (Osendarp et al., 2010 ; Lozoff et al., 2013). Selon Mannar (2007) la carence en fer pourrait empêcher 40 à 60% des enfants d'atteindre leur pleine capacité mentale, intellectuelle, physique et de productivité à l'âge adulte.

Au niveau mondial, les données sur la carence en fer sont moins nombreuses que celles relatives à l'anémie. Une analyse des données d'enquêtes de 185 pays collectées entre 1990 et 2011 a révélé qu'environ 1,6 milliard de personnes (un quart de la population mondiale) souffraient d'anémie, la prévalence étant la plus élevée chez les enfants d'âge préscolaire et les femmes en âge de procréer, en particulier ceux vivant dans les pays d'Afrique et d'Asie du Sud-Est (WHO, 2011). En Afrique c'est plus de 60% des enfants de moins de 5 ans qui sont touchés par l'anémie.

Pour atténuer ce lourd fardeau, la réduction de 50% de l'anémie chez les femmes en âge de procréer compte parmi les six (6) objectifs de l'OMS pour la nutrition d'ici 2025 (WHO, 2014). Au Sénégal, les résultats de l'étude nationale sur le statut biologique de base (fer, vitamine A et zinc) des femmes de 15 à 49 ans et des enfants de 12 à 59 mois, menée par le Laboratoire de Nutrition de la FST, UCAD, montrent que la carence en fer touche 39,0% des femmes et 82,4% des enfants (COSFAM/MI/UCAD, 2012). Selon la zone géographique, la carence en fer est plus élevée en zones rurales qu'en zones urbaines (Ndiaye et al., 2015). La même étude montre également que l'anémie était présente chez 47,9% des femmes et 66,1% des enfants. En 2017, les résultats de l'EDS-Continue montrent une situation plus grave avec 71% d'enfants et 54 % de femmes atteints d'anémie (ANSD, 2018). Les enfants de la tranche d'âge 12-17 mois constituent le groupe le plus affecté (88%).

2.1.4.2. Carence en vitamine A

La carence en vitamine A est un problème de santé publique dans la plupart des pays en développement. Globalement, elle est parmi les principaux facteurs de risque qui augmentent la morbidité et la mortalité (Lim et al., 2012 ; Black et al., 2013). Les enfants (en particulier ceux âgés de plus de 6 mois), les femmes enceintes et les femmes allaitantes sont les groupes à plus haut risque de carence, du fait d'une augmentation de leurs besoins en vitamine A généralement non compensés par l'alimentation (Black et al., 2008). Dans une étude menée en milieu périurbain dakarois, Agne-Djigo et al. (2012) ont montré que 73% des nourrissons

âgés de 6 mois avaient des réserves faibles en vitamine A, réserves qu'ils sont censés acquérir à partir du lait maternel. D'autres études ont rapporté que la carence en vitamine A se prolonge même jusqu'à l'adolescence (Singh & West, 2004 ; Fiorentino et al., 2013). Chez l'enfant, la carence en vitamine A peut entraîner la cécité nocturne et des altérations graves des structures épithéliales aboutissant à la kératomalacie ou à la cécité totale. Elle augmente également le risque d'infections infantiles courantes telles que les maladies diarrhéiques et la rougeole (Black et al., 2013). Chez les femmes enceintes, la carence en vitamine A survient surtout au cours du dernier trimestre, lorsque la demande fœtale et maternelle est la plus forte. Elle entraîne une cécité nocturne et peut augmenter le risque de mortalité maternelle (Sherry et al., 2016).

En 2009, l'OMS estimait que 190 millions d'enfants d'âge préscolaire et 19,1 millions de femmes enceintes dans le monde étaient touchés par la carence en vitamine A, en particulier dans les pays en développement (WHO, 2009). Cinq millions d'enfants d'âge préscolaire et 9,8 millions de femmes enceintes étaient également atteints de cécité nocturne sur la base de l'indicateur rétinol sérique ($<0,7$ mmol/L). Selon la Série Lancet, environ 250000 à 500000 enfants carencés en vitamine A deviennent aveugles chaque année et la moitié d'entre eux meurent dans les 12 mois qui suivent la perte de la vue (Black et al., 2013 ; Stevens et al., 2015).

Au Sénégal, l'étude menée par le Laboratoire de Nutrition sur le statut de base en micronutriments a montré que la carence en vitamine A touchait environ 2,1% des femmes de 15 à 49 ans et 17,2% des enfants de 12 à 59 mois (COSFAM/MI/UCAD, 2012), touchant un peu plus les zones rurales que les zones urbaines (Ndiaye et al., 2015). De plus, les auteurs montrent que le statut en vitamine A des enfants est relié à celui de leurs mères. En effet, le risque pour un enfant d'être carencé en vitamine A est 13 fois plus élevé dans les ménages ayant une femme carencée en vitamine A que dans ceux n'en ayant pas.

2.1.4.3. Carence en zinc

Le zinc est un minéral essentiel impliqué dans de nombreux aspects du métabolisme cellulaire (King, 2011). Le zinc est nécessaire à l'activité de plus de 300 enzymes et il est essentiel au fonctionnement du système immunitaire, à la division cellulaire et à la synthèse des protéines et de l'ADN (Bailey et al., 2015). Le zinc est également nécessaire à la croissance et au développement de l'enfant. Sa carence est largement reconnue comme un des principaux risques de morbidité et de mortalité (Black, 2008 ; Hess et al., 2009). Tous les groupes d'âge

sont exposés au risque de carence en zinc, mais les nourrissons et les enfants en bas âge ainsi que les femmes enceintes et allaitantes représentent les groupes les plus vulnérables (King et al 2016). Chez l'enfant, la carence en zinc augmente le risque, la gravité et la mortalité dues à la diarrhée, aux infections respiratoires et au paludisme (Chaffee & King, 2012 ; Black et al., 2013). Une carence sévère entraîne une dermatite, un retard de croissance, des troubles mentaux, un retard de maturation sexuelle et/ou des infections récurrentes (Allen, 2006). Selon la Série Lancet, la carence en zinc est responsable d'environ 4% de la mortalité infantile, soit 116000 décès d'enfants dans le monde (Black et al., 2013). De plus, l'Initiative pour les Micronutriments (MI) révèle que la carence en zinc contribue pour 19% des décès chez les enfants âgés de 12 à 47 mois (MI, 2009).

D'après les estimations de l'International Zinc Consultative Group (IZiNCG), environ 20% de la population mondiale seraient à risque de carence en zinc (IZiNCG, 2004). Récemment, Hess et al. (2017) ont fait une méta-analyse à partir d'études représentatives au niveau national dans des pays en développement et ont trouvé des prévalences de carence en zinc supérieures à 20% aussi bien chez les femmes en âge de procréer que chez les enfants de moins de 5 ans dans tous les pays participants à l'étude. Au Cameroun, au Bangladesh et au Mexique des prévalences respectives de 83%, 46% et 28% ont été trouvées chez des enfants âgés de 6 à 60 mois, tandis que chez les femmes en âge de procréer les prévalences sont respectivement de 82%, 58% et 29% (Morales-Ruan et al., 2012 ; Iccdr'b et al., 2013 ; Mejia-Rodriguez et al., 2013 ; Engle-Stone et al., 2014).

Au Sénégal, les résultats de l'enquête nationale sur le statut biologique a montré que 58% des femmes en âge de procréer et 42,8% des enfants 12-59 mois présentaient une carence en zinc (COSFAM/MI/UCAD, 2012) avec une prévalence plus importante en milieu rural (Ndiaye et al., 2015). Cette prévalence observée chez les femmes confirme les résultats de l'étude menée en 2006 en milieu rural sénégalais qui montrait une forte prévalence (69,3%) de la carence en zinc chez les femmes à Sédhiou (Guèye, 2006).

2.1.4.4. Carence en acide folique

L'acide folique est une vitamine hydrosoluble qui joue le rôle de coenzyme dans diverses réactions organiques ou de donneur universel de groupes méthyle (Shane, 2011). Il est également impliqué dans la synthèse des acides nucléiques, des érythroblastes et des tissus nerveux. La carence en acide folique a de nombreuses conséquences et provoque une anémie mégaloblastique ou macrocytaire (Ahmad et al., 2015). Elle est également associée à un

risque accru d'anomalies du tube neural et d'autres malformations congénitales (De-Regil et al., 2015) et constitue un facteur de risque de maladies métaboliques et cardiovasculaires (Ganji & Kafai, 2006). La carence en folate pendant la grossesse a également été associée à un FPN, à un accouchement prématuré et à un RCIU (WHO, 2007 ; Tamura et al., 2010). Selon l'OMS, la majorité des données sur la carence en folate est tirée d'enquêtes locales nationales ou régionales relativement restreintes, mais celles-ci suggèrent que la carence en folate pourrait être un problème de santé publique qui touche plusieurs millions de personnes dans le monde (Tulchinsky, 2017). Les quelques données nationales obtenues montrent de grandes variabilités entre les pays. Par exemple, en Sierra Leone, en Afrique du Sud, au Venezuela, en Éthiopie et au Bangladesh des prévalences respectives de la carence en acide folique chez les femmes en âge de procréer sont de 79,2%, 36,3%, 31,1%, 27,6% et 19% (Gamble et al., 2005 ; Gracia-Casal et al., 2005 ; Modjadji et al., 2007 ; Haidar, 2010 ; MHS, 2015). Au Sénégal, une récente publication de Ndiaye et al. (2017), utilisant les données de l'enquête nationale sur le statut biologique de base de la population, a montré que plus de la moitié (54,8%) des femmes sénégalaises en âge de procréer sont carencées en acide folique. Selon leur lieu de résidence, les femmes vivant en milieu urbain avaient des prévalences de carence en folate plus faibles (31,6%) que celles qui sont en milieu rural (62,0%).

2.1.4.5. Carence en iode

L'iode est essentiel à la croissance et au développement du système nerveux central fœtal et postnatal en particulier durant la période des 1000 premiers jours (Zimmermann, 2009 ; Tayie & Jourdan, 2010). Lorsque les besoins physiologiques en iode ne sont pas couverts, il se développe une série d'anomalies groupées sous l'appellation de Troubles Dus à la Carence en Iode (TDCI). Les signes concernent toutes les tranches de la vie du fœtus à l'adulte. Selon le groupe *Investing in the future*, la carence en iode est la principale cause évitable de lésions cérébrales (FFI/GAIN/MI, 2009). Chez la femme enceinte, les TDCI entraînent un retard de développement cérébral du fœtus, des avortements à répétition, un accouchement d'enfant de FPN, prématuré ou mort-né. Ils peuvent entraîner également un goitre (Zimmermann, 2009). Chez l'enfant, la carence en iode entraîne des troubles neurologiques et mentaux avec un retard de développement physique, une réduction du quotient intellectuel de 10 à 15 points et une baisse des performances scolaires (Tayie & Jourdan, 2010). Dans les formes les plus sévères, la carence en iode peut entraîner un crétinisme (Zimmermann et al., 2008). Les TDCI ont condamné des millions de personnes à un sous-développement persistant

(WHO/Unicef/ICCIDD, 2007). Dans une méta-analyse, Bleichrodt & Born (1994) ont montré que les personnes vivant dans des zones touchées par une carence sévère en iode pouvaient avoir un quotient intellectuel (QI) inférieur de 13,5 points comparé à celui des communautés vivant dans des zones non carencées en iode. Aujourd'hui les TDCI sont largement répandus dans le monde, on estime que 2 milliards de personnes (29%) ont une carence en iode (Black et al., 2013). En Asie du Sud-Est, c'est plus de 500 millions de personnes qui sont touchées. Au Sénégal, les TDCI ont été reconnus comme un problème de santé majeur au cours des dernières décennies et demeurent une menace pour la santé et le développement de la population. Les résultats de l'enquête menée en 2015 par l'Institut de Formation et de Recherche en Population, Développement et Santé de la Reproduction (IPDSR) ont révélé que 28,3% des femmes en âge de procréer présentaient une carence en iode (MSAS/MI/IPDSR, 2015). Cette prévalence est en augmentation comparée à celle de 24% rapportée en 2010 par une étude menée à l'échelle nationale (MSAS/MI/IPDSR, 2010).

3. CAUSES DE LA MALNUTRITION PAR CARENCE

La malnutrition par carences est un problème de santé publique multi-causal. Le modèle conceptuel développé par l'Unicef (Figure 12) montre que la malnutrition est la résultante des causes fondamentales, sous-jacentes et directes (ou immédiates) (Unicef, 2013). Les causes fondamentales concernent l'organisation du pays en termes politique, économique, géographique (climat, pluviométrie), sociétale (qualité et quantité des ressources humaines) et sécuritaire (conflit, guerre, crise). Les causes sous-jacentes se concentrent sur la sécurité alimentaire des ménages, les soins de santé et les pratiques d'alimentation, l'accès aux services de santé, à l'hygiène et l'assainissement, à la connaissance et à l'éducation. Les causes directes sont l'impact des causes fondamentales et sous-jacentes au niveau individuel en raison d'une consommation insuffisante de nourriture en quantité et/ou en qualité et de maladies. Le cadre conceptuel, conçu à l'origine en 1990, a été modifié pour des contextes géographiques ou d'interventions spécifiques (Levitt et al., 2009 ; Black et al., 2013).

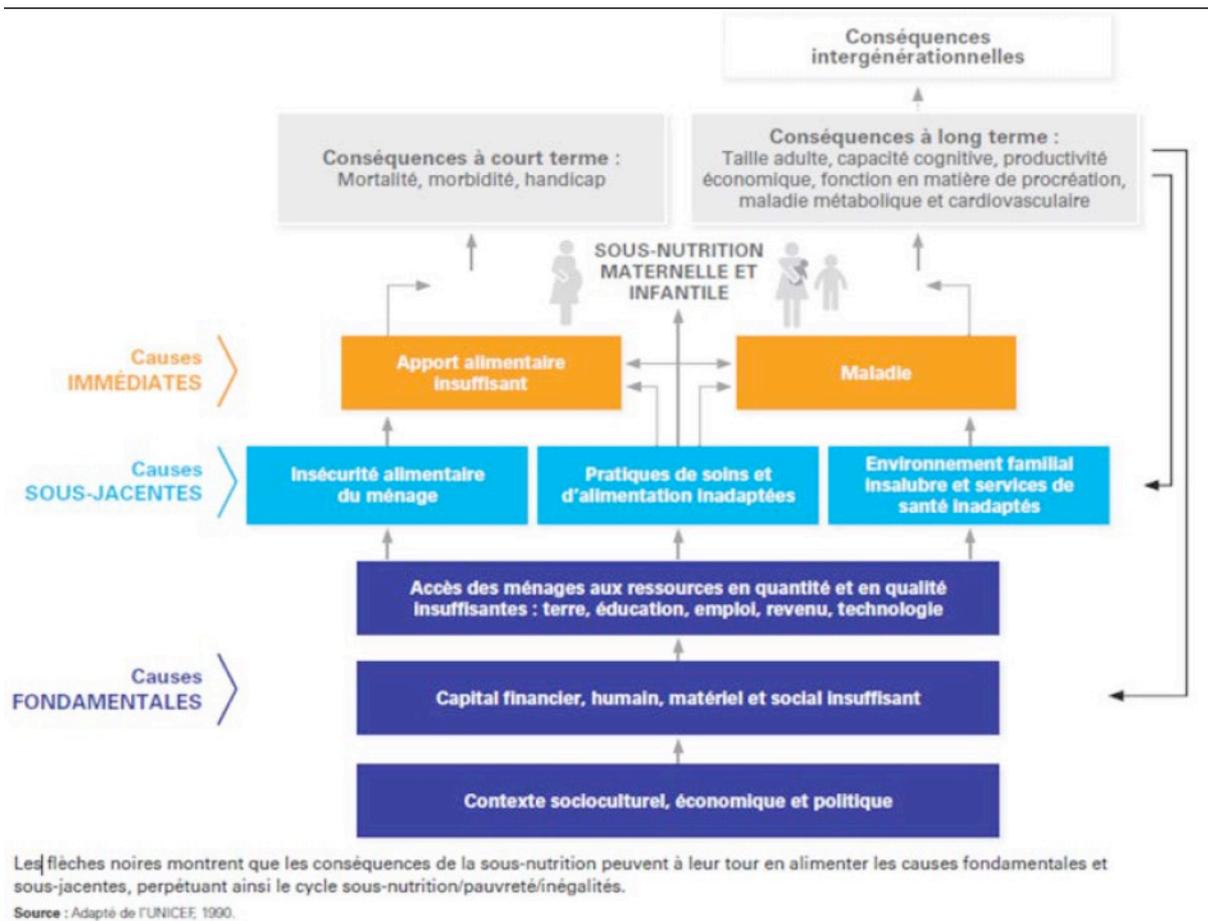


Figure 12 : Cadre conceptuel de la malnutrition (Unicef, 2013)

3.1. Causes immédiates de la malnutrition

Les 2 principales causes immédiates de la malnutrition sont l'inadéquation de la ration alimentaire et la maladie (Victoria et al., 2008).

3.1.1. Inadéquation de la ration alimentaire

L'inadéquation de la ration alimentaire est due chez l'enfant à une absence d'allaitement maternel optimal et/ou une alimentation insuffisante et/ou pauvre en nutriments (Black et al., 2013 ; Reinhardt & Fanzo, 2014). L'allaitement maternel optimal fait référence à une initiation précoce à l'allaitement maternel dans l'heure qui suit la naissance, l'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois et la poursuite de l'allaitement jusqu'à l'âge de deux ans ou au-delà. Le risque de morbidité et de mortalité lié à l'allaitement maternel sous-optimal chez les jeunes enfants a été documenté dans plusieurs études observationnelles. Les récentes revues systématiques ont montré que l'absence d'allaitement maternel exclusif pendant les six premiers mois et d'allaitement chez les nourrissons âgés de 6 à 23 mois sont associées à un

risque plus élevé d'infections diarrhéiques, de pneumonie et de mortalité néonatale associées (Victora et al. 2016 ; Smith et al., 2017). D'autres études semblent indiquer que l'absence d'allaitement maternel est corrélée à un plus faible quotient intellectuel (Horta et al., 2015) et à plus long terme, à une diminution des performances économiques sur le marché du travail (Lutter 2016 ; Rollins et al. 2016). Les dernières estimations donnent des prévalences de 22 à 39% d'enfants âgés de 2 à 5 mois exclusivement nourris au sein dans les régions d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes (WHO/UNICEF/World Bank, 2018). Au Sénégal, grâce à l'utilisation de techniques isotopiques stables, il a été montré que les besoins énergétiques des nourrissons de 6 mois sont couverts par le lait maternel des mères qui allaitent exclusivement (Agne-djigo et al., 2013). Cependant, les données nationales révèlent que seul 34% des nouveau-nés et 42% des nourrissons de moins de six mois sont respectivement mis au sein dans l'heure qui suit la naissance et exclusivement allaités au sein (ANSD, 2018). Dans une étude en milieu rural à Mbadakhoune dans le Département de Guinguineo, région de Kaolack au centre du pays, les résultats en cours de publication (Badiane et al. Soumis à BMC pregnancy and childbirth en 2018) montrent une prévalence de 32% de nouveau-nés mis au sein dans l'heure qui a suivi leur naissance.

A partir de 6 mois, les enfants doivent recevoir, en plus du lait maternel, des aliments de complément adéquats liquides, semi-solides et solides riches en nutriments (Black et al., 2013). L'apport d'aliments de complément adaptés à cet âge, riches en énergie et en nutriments aident à prévenir les carences nutritionnelles (Bhutta et al., 2013). Malheureusement, dans les pays en développement, les aliments de complément sont le plus souvent des bouillies de céréales, pauvres en nutriments essentiels et ne permettent pas de couvrir les besoins des enfants (Unicef, 2012 ; Black et al., 2013), favorisant ainsi une malnutrition chronique difficilement réversible plus tard (Idohou-Dossou et al., 2003 ; Coly et al., 2006) et de multiples carences en micronutriments. De plus, certains aliments de complément renferment parfois des teneurs très élevées en polyphénols qui peuvent inhiber l'absorption de certains micronutriments essentiels tels que le fer et le zinc (Gibson et al., 1998 ; Ba-Lo et al., 2014). Plusieurs revues ont déjà mis en évidence l'association entre l'alimentation complémentaire et la survenue de la malnutrition infantile (Jones et al., 2013 ; Ogechi & Chilezie, 2017). Récemment, Krasevec et al. (2017) ont montré qu'une faible diversité alimentaire est fortement associée à la survenue du retard de croissance. Les auteurs ont également révélé que chez les enfants de 6 à 23 mois, la consommation de moins de 4 groupes d'aliments augmente de 34% le risque de retard de croissance. De plus, les enfants

qui n'avaient pas consommé des aliments d'origine animale le jour précédent leur enquête présentaient un risque de retard de croissance supérieur à celui des enfants nourris avec trois types d'aliments d'origine animale (œuf + viande + produits laitiers).

Au Sénégal, les résultats de la dernière Enquête Démographique et de Santé (ANSD, 2018) montrent que la recommandation relative à l'alimentation du nourrisson et du jeune enfant à partir de l'âge de six mois n'est pas encore correctement suivie. En effet, 25 %, 31% et 8% des enfants de 6-23 mois ont respectivement une alimentation diversifiée, une fréquence minimale des repas et une alimentation minimale acceptable.

3.1.2. Maladie

La synergie entre malnutrition et infection est largement documentée. La conséquence majeure de la malnutrition est l'affaiblissement du système immunitaire et certaines infections, telles que la diarrhée, la pneumonie, la tuberculose, la rougeole et le VIH/SIDA, peuvent entraîner une anorexie et un défaut d'absorption et de digestion des nutriments (Farhadi & Ovchinnikov, 2018), mais aussi augmenter les besoins en nutriments (Dewey et Mayers, 2011). Golden en 1987 avait rapporté que le risque de survenue du Kwashiorkor était augmenté par la présence d'infections, particulièrement la rougeole, la tuberculose, le paludisme et la diarrhée (Golden, 1987). Le risque de retard de croissance chez un enfant de moins de 2 ans augmente avec l'incidence de la diarrhée (Checkley et al., 2008 ; Victora et al., 2008). En retour les carences en micronutriments, la carence vitamine A en particulier, augmente le risque de maladies infectieuses (Black et al., 2013). Cet effet dose-réponse entraîne un cercle vicieux entre malnutrition et infections. Au Sénégal, les résultats de la dernière enquête EDS-Continue ont révélé que 20%, 18%, et 4% des enfants de moins de 5 ont souffert respectivement de fièvre, de diarrhée et présentaient des symptômes d'infections respiratoires aiguës au cours des deux semaines ayant précédé l'interview (ANSD, 2018).

3.2. Causes intermédiaires ou sous-jacentes

L'inadéquation de la ration alimentaire et la maladie sont le résultat d'une insécurité alimentaire au niveau du ménage, de pratiques de soins inadéquates, d'un accès inadéquat à des services de santé et d'un environnement insalubre.

3.2.1. Insécurité alimentaire

La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins nutritionnels et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active (Sommet mondial de l'alimentation, 1996). Pour un ménage, cela signifie la capacité de se procurer une nourriture suffisante pour répondre aux besoins alimentaires de tous ses membres, soit par leur propre production, soit par l'achat de produits alimentaires. L'insécurité alimentaire expose les ménages, en particulier les femmes et les enfants, à une consommation insuffisante d'aliments riches en micronutriments et à une surconsommation d'aliments moins coûteux denses en énergie et pauvres en nutriments (Drewnowski & Eichelsdoerfer, 2010), augmentant ainsi le risque de malnutrition et la vulnérabilité aux infections (FAO, 2018). Récemment, une revue systématique de la FAO ayant examiné la relation entre l'insécurité alimentaire et les paramètres nutritionnels a montré que la plupart des études ont trouvé une association positive et significative entre l'insécurité alimentaire et le retard de croissance et le risque d'émaciation chez les enfants de moins de cinq ans (FAO, 2018). Chandrasekhar et al. (2017), ont utilisé les données d'une enquête nutritionnelle menée en Inde pour examiner le lien entre la sécurité alimentaire des ménages, la diversité alimentaire et l'état nutritionnel des enfants. Ils ont constaté que la sécurité alimentaire du ménage est indirectement liée au retard de croissance, à l'émaciation ou à l'insuffisance pondérale, mais plutôt associée à la diversité du régime alimentaire des enfants, ce qui conforte l'hypothèse selon laquelle la sécurité alimentaire des ménages influe sur la diversité du régime alimentaire des enfants et sur l'état nutritionnel des enfants. Au Sénégal la plupart des enquêtes menées sur l'approvisionnement des ménages montrent que les besoins nutritionnels d'une fraction importante de la population ne sont pas satisfaits (SECNSA, 2010, 2013, 2016). La dernière enquête nationale sur la sécurité alimentaire révèle qu'au niveau national, 17% des ménages sont en situation d'insécurité alimentaire dont 5% dans une situation sévère (SECNSA, 2016). Les prévalences les plus élevées sont retrouvées dans les régions de Diourbel, Fatick, Kaolack, Kédougou, Kolda, Matam, Saint-Louis, Tambacounda et Sédhiou où plus de 20% des ménages sont concernés.

3.2.2. Inadéquation des pratiques alimentaires et sanitaires

L'inadéquation des pratiques alimentaires concernent les mauvaises pratiques d'alimentation du nourrisson et du jeune enfant (ANJE). Le retard de l'initiation à l'allaitement maternel, dû

généralement à des pratiques culturelles, empêche les nouveau-nés de bénéficier du colostrum et les expose ainsi à des carences nutritionnelles dès les premiers mois de la vie. A côté des mauvaises pratiques d'allaitement, l'introduction précoce ou tardive d'eau ou d'aliments de compléments, les mauvaises conditions de préparation et de conservation des aliments et une réactivité inadéquate aux signaux d'alimentation prédisposent également les enfants à la malnutrition. Récemment, Danaei et al. (2016), dans une revue systématique, ont montré que l'introduction précoce d'eau ou d'aliments de complément, le plus souvent avant l'âge de six mois (3-4 mois), déplace et diminue la quantité de lait maternel produit et expose les nourrissons à des risques d'épisodes récurrents d'infections diarrhéiques, d'infections respiratoires aiguës et de mortalité néonatale associées (Bhutta et al., 2013). Au Sénégal, les résultats de la dernière enquête de l'ANSD montrent que la recommandation relative à l'introduction adéquate d'aliments solides de complément à partir de l'âge de six mois n'est pas encore correctement suivie car seul 58 % des enfants de 6 à 9 mois ont reçu, en plus du lait maternel, des aliments de complément (ANSD, 2018).

Les autres causes sous-jacentes de la malnutrition sont l'absence de supplémentation pendant la grossesse (fer/acide folique) et la petite enfance (vitamine A), le manque d'accès à des soins pré et postnatals de qualité, l'absence de vaccination contre les maladies courantes de l'enfant et l'incapacité des femmes à faire des choix éclairés à propos de leur santé et nutrition. Dans la littérature, il a été prouvé que la supplémentation en fer/acide folique chez la femme enceinte et allaitante et celle en vitamine A chez les enfants de moins de 5 ans constituent des interventions spécifiques nutrition pour lutter contre la mortalité liée aux carences en micronutriments (Imdad et al., 2010 ; Fernandez-Gaxiola & De-Regil, 2011 ; WHO, 2012). De plus, l'évaluation de la stratégie de l'OMS/UNICEF sur la prise en charge des soins pré et postnatals, la vaccination et la lutte contre les maladies courantes de l'enfant (PCIME), a montré des avantages sur la réduction de la mortalité et des coûts liés aux soins de santé dans de nombreux pays en développement (Black et al., 2013). En Tanzanie, la mise en œuvre de la PCIME était associée à des améliorations significatives du retard de croissance chez les enfants âgés de 24 à 59 mois (Schellenberg et al., 2004). Les mêmes conclusions ont été signalées au Bangladesh, où la mise en œuvre de la PCIME était associée à une augmentation significative de l'allaitement exclusif au sein et à une réduction plus rapide de la prévalence du retard de croissance chez les enfants âgés de moins de 5 ans (Arifeen et al., 2009).

3.2.3. Manque d'accès à l'eau et à un environnement salubre

Des conditions inappropriées d'approvisionnement en Eau, Assainissement et Hygiène (WASH en anglais) seraient l'une des principales causes de malnutrition chronique, de morbidité et de mortalité infantile (Reinhardt & Fanzo, 2014). L'environnement familial dans lequel les enfants se développent et grandissent est fortement corrélé à leur état nutritionnel. Des voies directes et indirectes existent entre le WASH et le retard de croissance. Au niveau biologique, 3 voies principales ont été identifiées : épisodes de diarrhée répétés, infections transmissibles par le sol (helminthes) et dysfonctionnement entérique environnementale (DEE). Le paludisme, souvent associé à l'assainissement et au drainage des eaux dans l'environnement, et d'autres infections, telles que les infections respiratoires aiguës, exacerbées par de mauvaises pratiques d'hygiène, constituent d'autres risques pour la santé liant le WASH et la malnutrition. Bien que les preuves scientifiques soient limitées, quelques études ont montré l'association entre les conditions améliorées en WASH, la croissance de l'enfant et la réduction du retard de croissance (Lin et al., 2013 ; Spears et al., 2013 ; Bain et al., 2014).

3.3. Causes fondamentales

Les orientations politiques et les idéologies sont des causes fondamentales de la malnutrition parce qu'elles affectent beaucoup de secteurs en particulier l'agriculture, la santé et l'éducation. Les autres causes fondamentales de la malnutrition sont liées à l'économie, à la société, à la culture, aux conflits et aux changements climatiques. La mauvaise gestion des ressources disponibles contribue aussi à la malnutrition.

3.3.1. Causes politiques et économiques

Les politiques et les programmes axés sur la croissance économique ont une incidence sur les résultats en matière de santé grâce à un accès accru aux services de santé et à une amélioration de la qualité des services de santé. Plus spécifiquement, la croissance économique, si elle est équitable, conduit à un plus grand pouvoir d'achat des ménages. En effet, la prévalence du retard de croissance de 1985 à 2011 dans le monde a globalement diminué, en raison de l'amélioration des indicateurs économiques (Stevens et al., 2012). De plus, le niveau de richesse des ménages a été présenté comme un indicateur de risque accru de retard de croissance (Martorell & Young, 2012). Il existe également un lien entre le risque de retard de croissance et le manque d'infrastructures de base, notamment l'eau, l'assainissement,

l'électricité et l'habitation (Reinhardt & Fanzo, 2014). Une association similaire entre la diminution du risque de retard de croissance et l'augmentation de la richesse du ménage et l'amélioration des ressources communautaires, en particulier des centres de santé, a également été rapporté dans l'étude de Schott et al. (2013).

3.3.2. Causes socioculturelles

Les facteurs culturels peuvent jouer un rôle important dans la croissance des enfants. Ils ont une très grande influence sur ce que les gens mangent, la manière dont ils préparent les aliments, leurs habitudes et préférences alimentaires (Latham, 2001). Dans de nombreux pays, par exemple, des pratiques liées à la tradition sont observées chez les nouveau-nés et les jeunes enfants et constituent des causes importantes de mortalité néonatale (Reinhardt & Fanzo, 2014). Au Sénégal, une étude qualitative menée par la Cellule de Lutte contre la Malnutrition (2013) sur les déterminants de la malnutrition au niveau communautaire a montré que les croyances culturelles, le statut social et la situation économique, les normes sociales, l'origine ethnique, de même que les médias et la religion ont une incidence importante sur les décisions et les pratiques en matière d'allaitement et d'alimentation des enfants. Le lait maternel n'est pas systématiquement donné au nouveau-né car selon les croyances, certaines pratiques et coutumes doivent être observées d'abord avant la mise au sein. L'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois est rarement respectée car les enfants sont souvent alimentés avec l'eau, en raison de représentations sociales et de conditions de vie spécifiques. L'introduction d'aliments intervient la plupart du temps avant 5 mois, mais se réalise aussi en fonction de certaines situations socio-familiales ou d'événements particuliers (CLM, 2012 ; Badiane et al., soumis à BMC pregnancy and childbirth en 2018).

A côté des facteurs socioculturels, l'analphabétisme et la place réduite des femmes sur le marché du travail sont des causes fondamentales de la malnutrition. En effet, les enfants nés de femmes n'ayant pas eu accès à l'éducation, ont deux fois plus de risques de morbidité et de mourir en bas âge (Adair et al., 2013).

3.3.3. Conflits

Les conflits ont un impact direct sur la sécurité alimentaire en compromettant considérablement l'accès à la nourriture. Souvent obligées de fuir devant l'escalade de la violence, les personnes déplacées par un conflit perdent leurs fermes et leurs commerces ou d'autres moyens locaux de production de nourriture, ainsi que leurs marchés, ce qui les

expose surtout les enfants, les femmes en âge de procréer et les personnes âgées à de graves pénuries alimentaires pouvant entraîner la famine et des crises alimentaires sévères. Une étude sur les conflits et les mauvaises récoltes au Rwanda a révélé que l'impact de ces événements était associé à une forte prévalence de retard de croissance, même après la fin de l'événement (Akresh et al., 2011).

3.3.4. Changements climatiques

Les effets des changements climatiques sont souvent dramatiques et touchent presque toutes les régions du monde entraînant ainsi une destruction des récoltes et une diminution de la production alimentaire. Selon une étude de l'IFPRI menée dans plus de 40 pays en développement, la baisse de la production agricole causée directement ou indirectement par les changements climatiques est à l'origine de l'augmentation drastique du nombre de personnes souffrant de la faim (IFPRI, 2017) ce qui contribuerait à l'augmentation du risque de malnutrition chez les personnes les plus vulnérables. Il a été démontré que l'exposition à la sécheresse et aux inondations en Inde avait augmenté le risque de retard de croissance de 7% (Datar et al., 2013).

4. STRATEGIES DE PREVENTION DE LA MALNUTRITION AU SENEGAL

En 2015, le Sénégal a élaboré une Politique Nationale de Développement de la Nutrition (PNDN) pour la période 2015-2025. Cadre stratégique de référence de la Nutrition en articulation avec le Plan Sénégal Emergent et les Objectifs de Développement Durable, la PNDN se fonde sur l'approche multisectorielle pour assurer la complémentarité et la mise en cohérence des interventions en lien avec la Nutrition. Pour mettre en œuvre cette politique, un Plan Stratégique Multisectoriel de la Nutrition (PSMN) a été récemment élaborée pour conjuguer toutes les interventions à mener par secteur au niveau national pour répondre aux problèmes nutritionnels et de sécurité alimentaire (CLM, 2016). La vision du Sénégal en matière de nutrition à l'horizon 2025 est « un pays où chaque individu jouit d'un état nutritionnel optimal en adoptant les comportements adéquats ».

Sur le plan opérationnel les stratégies de lutte et de prévention de la malnutrition sont mises en œuvre au travers des interventions spécifiques et des interventions sensibles à la nutrition.

4.1. Interventions spécifiques à la nutrition

- Le Suivi Promotion de la Croissance (SPC) des enfants jusqu'à 2 ans à travers les séances de pesées mensuelles
- La prise en charge des cas de malnutrition aiguë sévère et modérée
- La Prise en Charge Intégrée des Maladies de l'Enfant au niveau Communautaire (PCIME-C)
- La supplémentation en vitamine A pour les enfants de 6 mois à 5 ans et en fer pour les femmes enceintes et les 2 mois postpartum
- Le déparasitage des enfants de 12-59 mois et des femmes enceintes
- La solution de réhydratation orale contenant du zinc comme traitement de la diarrhée
- La promotion du respect des consultations prénatales (CPN) et postnatales (CPON)
- La stratégie de l'Alimentation du Nourrisson et du Jeune Enfant (ANJE)
- La promotion de la consommation des aliments locaux riches en micronutriments à travers les séances d'éducation nutritionnelle et de démonstration culinaire pour les mères d'enfants de moins de deux ans
- La communication pour le changement de comportement.

4.2. Interventions sensibles à la nutrition

- La fortification de l'huile végétale raffinée en vitamine A et de la farine de blé tendre en fer et acide folique (COSFAM)
- L'iodation du sel
- Les transferts sociaux en vue d'atténuer les effets négatifs de la hausse du prix des denrées alimentaires pour les populations vulnérables
- Les distributions de semences, d'engrais et de petits matériels aux agriculteurs, qui bénéficient également de formations en techniques agricoles, multiplication de semences et en renforcement des capacités commerciales et organisationnelles
- Le renforcement de la résilience des éleveurs, grâce à la recapitalisation du cheptel (distribution de petits ruminants), au déstockage du bétail, à la distribution d'aliments du bétail, ou encore à la maîtrise des risques sanitaires
- L'extension de la biofortification pour la consommation de variétés enrichies en nutriments
- L'implantation de jardins potagers et périmètres maraichers communautaires pour les ménages et les cantines scolaires.

5. PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE

Au Sénégal, malgré la mise à l'échelle des interventions spécifiques et la mise en œuvre de certaines interventions sensibles à la nutrition, la situation nutritionnelle est restée globalement précaire. Pour le gouvernement du Sénégal, l'enjeu est d'accélérer les progrès vers l'atteinte des cibles nutrition fixés par l'Assemblée Mondiale de la Santé à l'horizon 2025 et l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD), particulièrement l'objectif 2. Cependant, la visibilité actuelle de la nutrition dans les secteurs sensibles tels que l'agriculture ne permet pas d'atteindre les objectifs fixés. En effet, les interventions et actions ciblées par le secteur de l'agriculture n'intègrent pas d'actions portant sur l'éducation nutritionnelle en vue d'une meilleure diversification du régime alimentaire et n'inscrivent pas d'objectifs et d'indicateurs nutritionnels clés. Pourtant, il est clairement spécifié dans la littérature scientifique récente que la prévention de la malnutrition et des carences en micronutriments par la promotion de productions agro-pastorales appropriées et durables n'est pas assez documentée, notamment en Afrique (Ruel et al., 2013 ; Olney et al., 2016). L'impact de l'agriculture sensible aux enjeux nutritionnels combinée à une communication en nutrition/santé orientée par la demande des populations n'a jamais été étudié au Sénégal et les stratégies actuelles de prévention de la malnutrition maternelle et infantile ne sont pas basées sur les résultats de la recherche in situ. Les programmes de prévention de la malnutrition en cours utilisent des stratégies de communication/éducation nutritionnelle, le plus souvent orientées exclusivement vers les femmes, dont sont absents les maris et les personnes âgées (catégories décisionnelles de la famille). Elles sont souvent peu efficaces, les femmes n'ayant en général pas suffisamment d'autonomie de décision. Or, des effets positifs sur l'état nutritionnel des bénéficiaires sont plus fréquents lorsque les activités prennent pour cibles les femmes et incluent des actions pour renforcer leur responsabilisation et leur émancipation (amélioration de leurs connaissances et de leurs aptitudes, meilleur contrôle de la gestion des revenus) (Cunningham et al., 2015 ; Malapit et al., 2015). Ce projet de recherche pour le développement (PRD) a été donc initié en vue d'optimiser les stratégies agro-pastorales et de communication pour améliorer l'alimentation, la nutrition et la santé des mères et de leurs jeunes enfants au Sénégal. Les objectifs du PRD sont décrits au Chapitre III. C'est dans son volet mesure d'impact que s'inscrivent nos travaux.

6. OBJECTIFS DE L'ETUDE

6.1. Objectif général

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'impact de l'agriculture sensible à la nutrition (ASN) sur la prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie en milieu rural à Kaffrine.

6.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont :

- Définir le statut de base (alimentation, anthropométrie, statut en micronutriments, santé) des mères et de leurs enfants âgés de 6 à 8 mois
- Mesurer l'impact de l'ASN sur leur alimentation
- Mesurer l'impact de l'ASN sur leur santé
- Mesurer l'impact sur leur état nutritionnel

CHAPITRE III
MISE EN PLACE DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION
A KAFFRINE

7. PROJET PRD : OBJECTIFS, COMPOSANTES ET RESULTATS ATTENDUS

1.1. Objectifs

Le Projet de Recherche pour le Développement (PRD) a été mis en place à Kaffrine en août 2015. L'**objectif général** est d'optimiser les stratégies agro-pastorales et de communication pour améliorer l'alimentation, la nutrition et la santé des mères et de leurs jeunes enfants au Sénégal. Les **objectifs spécifiques** sont de renforcer les capacités de l'UCAD et des institutions de recherches associées en agro-écologie/nutrition, communication/nutrition, en analyse d'impact de projets d'agriculture sensible à la nutrition sur l'alimentation, sur l'état nutritionnel et sur la santé des mères et des enfants au cours de 1000 premiers jours de vie.

1.2. Composantes

1.2.1. Création de la plateforme multidisciplinaire de recherche

Avant le démarrage du projet, une plateforme multidisciplinaire de recherche a été créée à l'UCAD. Cette plateforme regroupe des équipes d'agronomes, de sociologues et de spécialistes en santé et nutrition provenant :

- De trois (03) laboratoires de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar : a) Laboratoire de Nutrition, b) et Laboratoire de Botanique et Biodiversité de la Faculté des Sciences de l'UCAD, et c) Laboratoire de Recherche sur les Transformations Economiques et Sociales (LARTES) de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire,
- Du Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA),
- Du Centre de Recherche « Politiques et systèmes de Santé-Internationale » de l'Ecole de Santé Publique de l'Université Libre de Bruxelles,
- Du Laboratoire d'Agroécologie tropicale et Horticulture de Gembloux Agro-Bio Tech de l'Université de Liège.

Chaque discipline apporte son expertise pour répondre à la problématique de la malnutrition. En plus de ces équipes de recherche, le Laboratoire de Nutrition qui assure la coordination du projet de recherche a signé un protocole d'accord avec la Cellule de Lutte contre la Malnutrition (CLM) et l'Agence Nationale d'Insertion et de Développement Agricole (ANIDA). Ainsi, l'ANIDA est chargée, dans le cadre de la mise en œuvre du volet agricole du projet, de réaliser une ferme agricole villageoise.

Les équipes d'agronomies assurent et pilotent, en plus de la production animale et végétale de la ferme, la mise en place d'un système de culture durable impliquant la patate douce à chair orangée (PDCO) et le *Moringa oleifera*, adapté aux contraintes agro-écologiques du milieu.

Les sociologues, en collaboration avec les experts en communication de la CLM, sont chargés de développer et de mettre en œuvre une nouvelle stratégie de communication/éducation nutritionnelle impliquant non seulement la mère mais aussi son mari et les personnes impliquées dans les prises de décisions au niveau de la famille.

Enfin, les chercheurs en santé-nutrition sont chargés d'évaluer l'impact de l'agriculture sensible à la nutrition sur l'alimentation, la nutrition et la santé des ménages participant au projet, en particulier des femmes et de leurs jeunes enfants (6-23 mois).

1.2.2. Choix du village d'implantation de la ferme agricole

Conformément à sa mission de contribuer à accroître l'offre alimentaire et durable dans le secteur agricole, l'ANIDA a mis en place un système de gouvernance sociale inclusive et participative pour la réalisation de fermes agricoles villageoises sur tout le territoire national. Le choix du village d'implantation de la ferme (village d'intervention) a été effectué par l'ANIDA en collaboration avec l'Agence Régionale de Développement (ARD) de Kaffrine et les autorités locales (maire, chef de village). La disponibilité du foncier et de la ressource en eau, ont été les éléments d'entrée qui ont prédéterminé le choix du village d'implantation de la ferme agricole. L'autre critère de choix du village est sa proximité avec la route nationale. Après plusieurs missions d'étude et de recherche, le village de Sagna, situé dans la commune de Sagna du Département de Malem Hodar dans la région de Kaffrine, a été retenu pour abriter la ferme agricole. Le conseil municipal a affecté une parcelle de cinq (05) hectares à l'ANIDA pour l'aménagement de la ferme agricole.

1.2.3. Sélection des membres du groupement de producteurs de la ferme

Dans cette même démarche, avec la collectivité locale, et sous l'autorité du sous-préfet de Sagna, un comité local de développement (CLD) a été mis en place pour informer, partager et valider les outils et procédures de sélection des membres du groupement producteurs de la ferme selon les critères définis par l'ANIDA, légèrement modifiés pour les besoins du projet :

- L'équité dans le choix des membres du Groupement d'Intérêt Economique (GIE) : chaque ménage avait droit à un seul membre ; la personne qui a alloué gratuitement la parcelle de 5 hectares a été autorisé à désigner également un membre ;

- Les femmes en âge de procréer représentent au moins 70% de l'effectif des membres du GIE ;
- L'engagement personnel des candidates (s) à intégrer la ferme à travers la fiche de demande d'adhésion.

Après l'application de ces critères, un total de 20 membres, dont 80% de femmes (16 femmes), résidant dans le village de Sagna a été choisi comme bénéficiaires et gestionnaires directs de la ferme. Les bénéficiaires indirects sont les populations qui vivent à proximité de la ferme.

1.2.4. Organisation et formation des membres du groupement de producteurs

Après la sélection des membres du groupement de producteurs, la procédure formalisée a permis aux membres de disposer d'une personnalité juridique (GIE Bokk Liggeey Jarinu). A l'issue de l'acte juridique, le GIE a eu le privilège de bénéficier de l'encadrement et du suivi rapproché de l'ANIDA et des équipes d'agronomes du PRD. Un conseiller agricole, recruté par l'ANIDA, est mis à la disposition du GIE pour assurer leur encadrement, le suivi des exploitations agricoles, la collecte et la transmission des données de suivi-évaluation. De plus, un contrat de concession, un protocole d'accord et un manuel de procédures ont été établis entre l'ANIDA et le GIE. Le manuel de procédures concerne :

- Les rôles de chaque membre du GIE ;
- La gestion de l'eau ;
- Les procédures culturales et d'élevage ;
- Le calendrier cultural ;
- La surveillance du périmètre ;
- Les procédures de gestion ;
- La commercialisation des produits.

1.2.5. Aménagement de la ferme agricole

Une fois la disponibilité des terres établie et la délibération obtenue, l'ANIDA a procédé aux travaux d'aménagement qui consistaient à :

- La délimitation du terrain,
- Le débroussaillage et le planage sommaire des terres,
- La construction d'un forage pour la maîtrise de l'eau d'irrigation,
- La parcellisation du site,

- La réalisation du réseau hydraulique structurant et de surface (système goutte à goutte),
- La construction d'infrastructures (station de pompage, magasin de stockage et toilettes).

En plus de ces infrastructures, le Laboratoire de Nutrition a participé à l'aménagement de la ferme en finançant la construction d'un poulailler d'une superficie de 300m², sous le contrôle d'un vétérinaire, pour la production d'œufs.

1.2.6. Production agricole dans la ferme

Après avoir creusé un forage, une association de cultures de PDCO et de *Moringa oleifera* avec une irrigation goutte-à-goutte a été testée dans la ferme. Les boutures de la variété de PDCO « Kandeé » produites par l'ISRA a été ciblée en raison de sa forte teneur en β -carotène (Kapinga et al., 2010). En ce qui concerne le *Moringa oleifera*, c'est la variété PKM1 produite par le centre ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) du Niger qui a été utilisée. Les premières productions de PDCO et de *Moringa oleifera* ont été effectuées en août 2016. Les récoltes de feuilles de *Moringa oleifera* et de tubercules de PDCO ont été respectivement effectuées à 4 et 5 mois après culture. Les résultats obtenus en termes de rendement ont été satisfaisants (Sylla et al., 2017). Les récoltes de tubercules sont effectuées progressivement de sorte que la PDCO soit disponible pour la consommation alimentaire des familles des villages de Sagna et environnant pour une période de 3 mois. Le *Moringa oleifera* a une disponibilité plus longue car étant récolté tous les deux mois. Hormis la production de PDCO et de *Moringa oleifera*, d'autres produits horticoles à haute valeur ajoutée sont aussi cultivés dans la ferme, notamment la tomate, l'oignon, le gombo, le piment, l'arachide, le maïs jaune.

Une production animale sous forme de poulailler a été introduite comprenant 100 poules pondeuses pour une production de 2 à 3 tablettes de 30 œufs par jour destinées à la consommation des femmes et de leurs enfants en particulier.

1.2.7. Communication/éducation nutrition pour le changement de comportement

Pour promouvoir une meilleure utilisation des produits de la ferme et permettre aux familles d'adopter de bonnes pratiques d'allaitement, d'alimentation et d'hygiène, les équipes du LARTES, du CRPSSI et du Laboratoire de Nutrition ont développé en collaboration avec la CLM une nouvelle stratégie de communication éducation nutritionnelle qui non seulement cible la mère, mais aussi le mari et les autres membres de la famille (belle-mère, personne âgée, etc.) qui ont un pouvoir de décision dans la famille. Trois (3) livrets de messages ont été

élaborés avec des messages clés qui portent sur l’allaitement, l’alimentation du nourrisson et du jeune enfant, l’alimentation de la femme enceinte et allaitante, l’hygiène, les maladies de l’enfant, les pratiques de soins des femmes et des enfants ainsi que la supplémentation (fer/acide folique et vitamine A) et la vaccination. Ils sont diffusés par l’équipe de sociologie du LARTES appuyée par les relais communautaires de la CLM au niveau des villages ciblés par le projet à travers des visites à domicile et des séances de mobilisation de masse.

1.3. Résultats attendus du PRD

Trois principaux résultats sont attendus :

- Un système de culture durable impliquant la PDCO et le *Moringa oleifera*, adapté aux contraintes agro-écologiques du milieu est développé et mis en œuvre par le GIE. Les activités pour atteindre ce résultat sont pilotées par des chercheurs en agronomie.
- Une stratégie de communication/éducation nutritionnelle impliquant non seulement la mère mais aussi son mari et d’autres membres de la famille est mise en place et évaluée. Les activités pour atteindre ce résultat sont pilotées par des chercheurs en sociologie.
- L’impact du projet sur l’alimentation, l’état nutritionnel et la santé des femmes et des jeunes enfants au cours des 1000 premiers jours de vie est mesuré. Les activités pour atteindre ce résultat sont pilotées par des chercheurs en santé/nutrition.

8. JUSTIFICATIFS DU CHOIX DES CULTURES PDCO ET MORINGA OLEFEIRA

2.1. Choix des cultures

La prévalence de la malnutrition (émaciation et retard de croissance) et les carences en micronutriments (fer, zinc, vitamine A) restent élevées au Sénégal, particulièrement chez les jeunes enfants et les femmes enceintes et allaitantes en milieu rural (CLM, 2015 ; Ndiaye et al., 2015 ; ANSD, 2018). Les causes principales de ce problème de santé publique sont une alimentation insuffisante en quantité et/ou qualité et des épisodes de maladies fréquentes. La diversification alimentaire et la promotion de la consommation d’aliments locaux à travers une production durable de denrées agricoles nutritionnellement adéquates dans un écosystème contrôlé pourraient constituer une approche pour améliorer l’alimentation, la nutrition et la santé des mères et des enfants au cours des 1000 premiers jours de la vie.

La patate douce (*Ipomoea batatas*), plante rustique produite pour ses tubercules, a le potentiel de lutter contre les pénuries alimentaires croissantes du fait de son haut rendement énergétique par unité de surface et de temps, mais également de sa capacité à fournir des quantités substantielles de vitamines et de minéraux (van Oirschot et al., 2003). Dans la vallée du fleuve Sénégal (zone nord), la patate douce est produite tout au long de l'année suivant deux systèmes de culture, à savoir la culture classique et la culture de décrue (ISRA/ITA/SAED, 2009). La production nationale annuelle de la patate douce est d'environ 35000 tonnes (FAOSTAT, 2016) et porte principalement sur les variétés à chair blanche et jaune. Ces deux variétés remplacent la pomme de terre dans beaucoup de ménages sénégalais et offrent une diversification dans le régime alimentaire (ISRA, 1986). Cependant, la production de la PDCO est récente et rare. En 2014, sa culture a été introduite dans le nord du Sénégal dans le cadre d'un projet de développement visant à lutter contre la malnutrition (USAID, 2017). Les résultats du projet ont montré une amélioration de la qualité de l'alimentation et de l'état nutritionnel des enfants de moins de cinq ans et des femmes, mais son impact sur le statut en vitamine A n'a pas été évalué. Dans la zone du bassin arachidier du Sénégal, en particulier dans la région de Kaffrine, la production de la PDCO a été introduite pour la première fois à travers le projet PRD. Plusieurs études ont montré les effets bénéfiques de la consommation de la PDCO sur l'amélioration des réserves et du statut en vitamine A (Low et al., 2007 ; Hotz et al., 2012a). Par ailleurs, dans le passé, les travaux du Laboratoire de Nutrition ont montré que la consommation de poudre de *Moringa oleifera* riche en fibres solubles et en protéines (Ndong et al., 2007 ; Dossou et al., 2011) avait un impact positif sur le maintien de l'indice de masse corporelle (IMC) des femmes en âge de procréer. L'intérêt économique et nutritionnel de ces cultures ont déterminé leur choix.

2.2. Teneur en bêta-carotène et apports en vitamine A de la PDCO et du *Moringa oleifera*

Les teneurs en bêta-carotènes de la PDCO et du *Moringa oleifera* produits dans la ferme de Sagna ont été mesurées pour calculer et estimer leurs apports dans la couverture des besoins en vitamine A des femmes en âge de procréer et des enfants de moins de 2 ans.

2.2.1. Méthodes

Les contenus en caroténoïdes de la PDCO (crue, bouillie et frite) et des feuilles de *Moringa oleifera* (fraîches et séchées) ont été mesurés par colorimétrie (Schweigert et al., 2010) à l'aide d'un dispositif i-Check (iCheck™ carotene BioAnalyt GmbH, Allemagne). Pour

chaque type de préparation de PDCO ou de *Moringa oleifera*, quatre (04) échantillons ont été mesurés. Une fois les caroténoïdes totaux obtenus, les teneurs en β -carotène de la PDCO ont été calculées à partir de 90% de la teneur totale en caroténoïdes (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004 ; Bengtsson et al., 2008). Pour le *Moringa oleifera*, la concentration en β -carotène est estimée à 27,8% de la teneur totale en caroténoïdes (rajyalakshmi et al., 2000). Ensuite, le rétinol équivalent (RE) est estimé à l'aide d'un facteur de bioconversion de 12 mg de β -carotène correspondant à 1 mg de rétinol (FAO/OMS, 2004).

2.2.2. Résultats

Le **Tableau 3** indique les contenus en caroténoïdes totaux et en bêta-carotènes et le rétinol équivalent (RE) de la PDCO et des feuilles de *Moringa oleifera*.

Les teneurs en β -carotène de la PDCO crue, bouillie et frite sont respectivement de 10000, 4508,8 et 4988,1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ (**Tableau 3**). Au cours de la cuisson, les PDCO bouillie et frite ont perdu respectivement 55% et 50% de leur teneur en β -carotène par rapport à la PDCO crue. Les teneurs le rétinol équivalent (RE) de 100g de PDCO crue, frite et bouillie sont respectivement de 275, 137 et 124 $\mu\text{g RE}/100\text{g}$.

Le contenu en β -carotène des feuilles fraîches et séchées de *Moringa oleifera* sont respectivement de 3213,8 et 12189 $\mu\text{g}/100\text{g}$. Après conversion, les apports en VA pour 100g de feuilles fraîches et séchées sont respectivement de 176,8 $\mu\text{g RE}$ et 670,4 $\mu\text{g RE}$.

Tableau 3 : Teneur en caroténoïdes totaux et en β -carotène et apport en vitamine A de la PDCO et des feuilles de *Moringa oleifera*

	Caroténoïdes totaux ($\mu\text{g}/\text{g}$)	β -carotène [‡] ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Apport en VA [§] ($\mu\text{g RE}/100\text{g}$)
PDCO^a			
Crue	111,1 \pm 2,8	10000 \pm 248,1	275,0 \pm 205
Bouillie	50,1 \pm 0,5	4508,8 \pm 40,3	137,2 \pm 205
Frite	55,4 \pm 1,5	4988,1 \pm 137,9	124,0 \pm 205
Feuilles de <i>Moringa oleifera</i>			
Fraîches ^a	115,0 \pm 7,4	3213,8 \pm 205,8	176,8 \pm 11,3
Séchées ^b	438,8 \pm 14,4	12189,0 \pm 390,2	670,4 \pm 21,5

^a Matière fraîche ; ^b Matière sèche

[‡]Teneur en β -carotène est calculée à partir de 90% des caroténoïdes totaux pour la PDCO et 27,8% pour le *Moringa oleifera*

[§]RE : rétinol équivalent ; 1 rétinol équivalent = 12 μg β -carotène avec une fraction biodisponible = 33%

La consommation de 100g de PDCO crue, frite et bouillie couvre respectivement 32,3%, 16,1% et 14,6% des apports journaliers recommandés en VA pour la femme âgée de 15-49 ans. Chez les enfants âgés de 7 à 24 mois, la consommation de 100g de PDCO bouillie apporte 31% des besoins journaliers en VA.

Concernant le *Moringa oleifera*, la consommation de 100g de feuilles fraîches et séchées de couvre 29,5% et 111,7% des apports journaliers en VA des femmes en âge de procréer, alors que chez les enfants, 100g de feuilles fraîches et séchées de *Moringa oleifera* apportent respectivement 47,1 et 178,8% des apports journaliers en VA.

9. TEST SENSORIEL ET D'ACCEPTABILITE DE LA CONSOMMATION DE PATATE DOUCE A CHAIR ORANGEE CHEZ LES COUPLES MERE-ENFANT

3.1. Objectifs

L'enquête sur les pratiques de culture associée menée dans le village de Sagna en 2015 avant le démarrage du projet PRD a montré que les feuilles et les fleurs en particulier de *Moringa oleifera* sont utilisées pour préparer la sauce feuille appelée « boum nébéday » qui accompagne le couscous de mil (thiééré mboum). L'enquête a également montré que le *Moringa oleifera* est largement connu et consommé par les populations dans la zone de Sagna. Elles sont aussi utilisées sous forme de poudre comme complément alimentaire ou en médecine traditionnelle. Par contre, la patate douce en particulier celle à chair blanche est habituellement consommée dans la zone sous la forme crue, bouillie ou frite, mais la consommation de la PDCO reste inconnue et est absente du régime alimentaire des populations. Ainsi, son acceptabilité et la perception de ses attributs sensoriels constituent une étape importante pour promouvoir sa consommation et améliorer les apports en vitamine A chez les femmes en âge de procréer et les enfants âgés de 6 à 23 mois. D'où l'objectif général de cette étude qui consiste à effectuer des tests sensoriels et d'acceptabilité de la PDCO auprès des couples mère-enfant de 6-23 mois à Sagna et environs. Les objectifs spécifiques sont :

- Effectuer différents types de préparation (bouillir, frire et transformer en purée) de la PDCO
- Réaliser les tests sensoriels et d'acceptabilité de ces différentes préparations auprès des couples mère-enfant de 6-23 mois.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Sujets de l'étude

Les sujets sont les mères allaitantes des enfants âgés de 6-23 mois et habitant à Sagna et dans les villages environnants polarisés par la ferme. Avant le démarrage du test, une séance d'information a été organisée avec les mères pour obtenir leur consentement verbal. A la même occasion, l'appétence de la PDCO bouillie a été testée chez les enfants qui, pour être éligibles à l'étude, devaient être apparemment en bonne santé et présenter un état nutritionnel satisfaisant (indice poids-taille $> - 2$ z-score ou périmètre brachial > 115 mm).

3.2.2. Taille de l'échantillon

Pour effectuer le test d'acceptabilité, une taille d'échantillon de 70 sujets est requise pour détecter le degré d'appréciation (Degree Of Liking : DOL) à partir de l'échelle des 7 points hédoniques avec une probabilité d'erreur de 0,05 et une puissance $\geq 0,80$ (ISO, 2017). Au total 80 couples mère-enfant ont été sélectionnés pour participer à l'étude.

3.2.3. Profil des participants

Avant le démarrage du test, de brèves interviews ont été réalisées avec chaque mère à l'aide d'un questionnaire pour collecter les informations sur leur âge, leur profession, leur niveau d'éducation, la consommation de PDCO au cours des deux dernières semaines, l'origine de la PDCO habituellement consommée, les méthodes de préparation habituelles et leur perception sur les avantages de la consommation de PDCO. Un questionnaire similaire a également été adressé aux mères pour leurs enfants. Les questions portent sur les méthodes de préparation habituelles de la PDCO destinées aux enfants et les perceptions des mères sur les avantages de la consommation de PDCO par les enfants.

3.2.4. Préparations de la PDCO

Les tubercules de PDCO matures utilisés pour cette étude ont été récoltés 5 mois après la plantation, comme recommandé pour cette variété (Kapinga et al., 2010), et conservés environ 5 jours avant l'évaluation sensorielle. Ils ont ensuite été triés pour éliminer ceux qui ont été endommagés durant le stockage. Les bons tubercules ont ensuite été pelés et découpés en morceaux de taille moyenne (30 à 50 g).

Une partie de ces tubercules a été bouillie dans l'eau du robinet pendant environ 20 minutes jusqu'à ce que la texture, évaluée par un couteau, soit considérée comme prête à la consommation. Les tubercules bouillis ont ensuite été coupés en plus petits morceaux et utilisés pour le test sensoriel des mères et des enfants plus âgés (≥ 1 an). Pour les enfants de moins de 1 an, la PDCO bouillie a été réduite en purée à l'aide d'une spatule.

La portion restante de tubercules de PDCO a été frite (10 min) dans de l'huile végétale raffinée jusqu'à ce que la texture, évaluée par un couteau, soit considérée comme prête à la consommation. Cette PDCO frite a été utilisée pour l'évaluation sensorielle des mères (**Figure 13**). La température de cuisson des différentes préparations (bouillies et frites) n'a pas été mesurée.

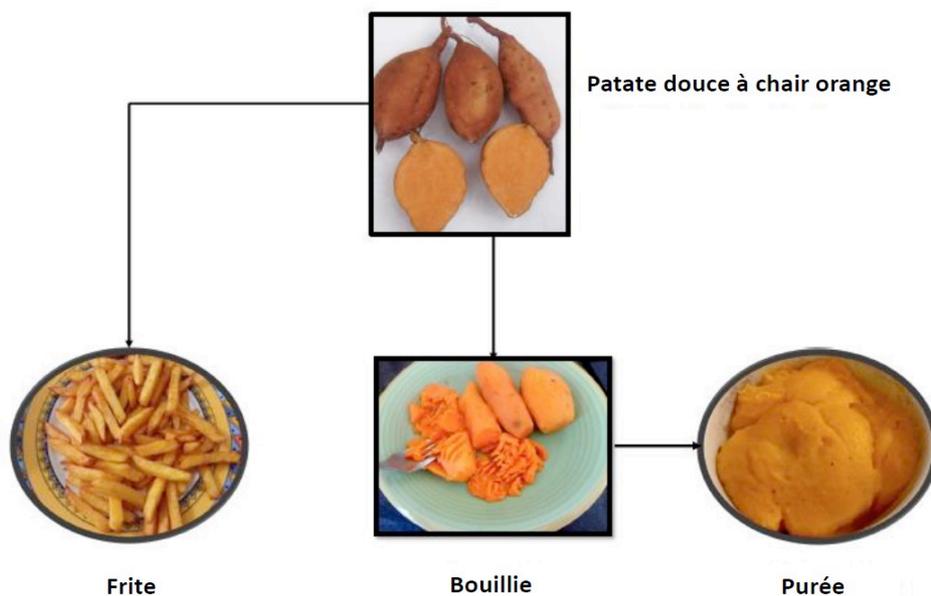


Figure 13 : Différentes formes de préparations de la PDCO

3.2.5. Test sensoriel

Le test sensoriel a été effectué sur un site approprié par un personnel qualifié. Avant le démarrage du test chez les mères, un tirage aléatoire des différents types de préparation (bouillie ou frite) est effectué pour déterminer la première préparation à tester. Ainsi la PDCO bouillie a été donnée aux mères avant la forme frite. Toutes les préparations étaient servies dans des assiettes jetables. Après chaque test, on a demandé aux mères d'évaluer leur appréciation sur l'apparence, la saveur et la texture à l'aide d'une échelle hédonique à 7 points de Tomlins et al. (2007) allant de 1 « je n'aime pas beaucoup » à 7 « j'aime beaucoup » (**Figure 14**). L'appréciation de l'apparence, de la saveur et de la texture de la PDCO bouillie

ou en purée servies aux enfants a été également demandée aux mères, en utilisant la même échelle hédonique.

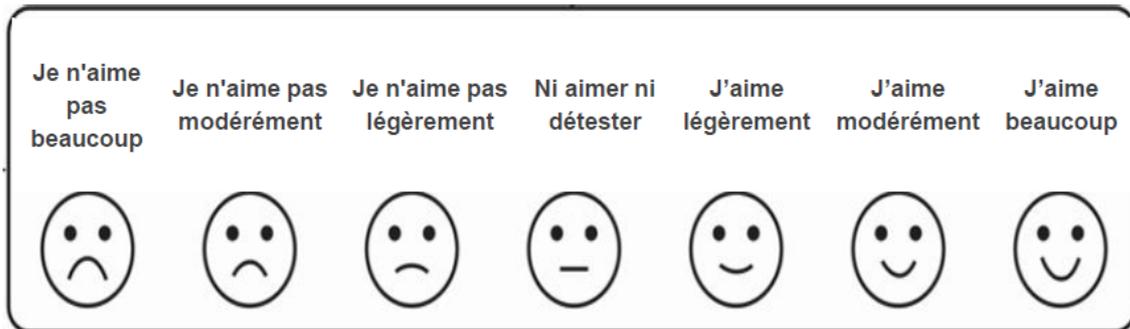


Figure 14 : Echelle des 7 points hédoniques (Tomlin et al., 2007)

3.2.6. Test d'acceptabilité

Avant le test d'acceptabilité, l'état émotionnel des enfants a été évalué selon les critères définis par l'étude de l'OMS sur le développement de la motricité globale (Wijnhoven et al., 2004), qui classe les enfants en fonction de deux paramètres : (1) complètement éveillé et calme, (2) agité ou en pleurs. Si l'enfant est somnolent ou se met à pleurer et ne revient pas à un état d'éveil et/ou d'arrêt des pleurs pendant que le repas était servi, l'alimentation était retardée de 30 mn. Si l'enfant n'arrive pas à avoir un état émotionnel adéquat durant ce temps d'attente, il est exclu du test.

Ensuite, 100 g de chacune des deux préparations de PDCO (bouillie et frite) ont été donnés aux mères et 50 g (bouillie ou purée) aux enfants par leurs mères 60 minutes au moins après le dernier allaitement. Les mères ont pour instruction de continuer à alimenter leurs enfants jusqu'à ce qu'ils mangent toute la nourriture ou refusent d'en prendre. La durée de consommation de chaque repas, ainsi que la quantité consommée par les femmes et les enfants, sont enregistrées (balance iBalance 2500, My Weigh, AZ, USA). Chez les mères, 50 ml d'eau ont été donnés après le premier repas et un intervalle de 30 minutes est observé avant l'application du deuxième test (Aaron et al., 2010).

Pour l'évaluation de l'acceptabilité, après chaque repas, les mères sont invitées à évaluer leur degré d'appréciation global (DOL) à l'aide de l'échelle hédonique à 7 points. On leur a également demandé avec l'aide des enquêteurs d'évaluer l'appréciation globale de leur enfant en interprétant les comportements et les signaux non verbaux lors de son alimentation (par exemple, tourner la tête en signe de refus, cracher la nourriture, repousser la cuillère ou la fuir, accepter les cuillerées avec une bouche ouverte, etc.) et en utilisant la même échelle hédonique à 7 points.

Les scores d'appréciation obtenus pour chaque mère et enfant ont permis de calculer l'indice d'acceptabilité (IA) en utilisant l'équation de Fernandes et Salas-Mellado (2017) :

$$IA (\%) = \frac{\text{score} * 100}{7}$$

Un aliment est considéré comme acceptable s'il a un indice d'acceptabilité $\geq 70\%$ (Spehar et al., 2002).

3.3. Analyses statistiques

Les données ont été saisies à l'aide d'Epi-Info version 3.5.1 et analysées avec le logiciel Stata/Special 14 (Stata Corporation, Texas et États-Unis). Les résultats sont présentés pour tous les couples mère-enfant ayant terminé l'étude et sont exprimés en moyenne \pm écart type (ET) ou en pourcentage (%). Pour les données de consommation et de l'évaluation hédonique, des tests *t* de Student indépendants et des tests *t* appariés sont utilisés pour déterminer les différences entre les types de préparation alimentaire. La relation entre les attrait sensoriels et le type de préparation de la PDCO est évaluée avec l'analyse en composantes principales (ACP) effectuée à l'aide du logiciel R version 3.4.3 (R Core Team, Vienne, Autriche, 2018). Un seuil de signification de 5% a été retenu pour toutes les analyses.

3.4. Résultats

3.4.1. Caractéristiques des couples mère-enfant

Au total, 80 mères et 77 enfants ont participé à l'étude. Trois (3) enfants ont été exclus car ils dormaient pendant le test. La majorité des mères a plus de 20 ans et sont multipares. Plus de 18% ont déclaré occuper un emploi et près de 72% d'entre elles ont fréquenté l'école. L'âge moyen des enfants est de $12,0 \pm 2,3$ mois et la moitié d'entre eux ont entre 12 et 16 mois. Il y avait autant de garçons que de filles.

3.4.2. Attitudes des couples mère-enfant vis-à-vis de la PDCO

L'enquête avec les mères a montré que 35% d'entre elles consommaient de la PDCO au moins une fois par jour, près de 59% entre 2 et 6 jours par semaine et 5% une fois par semaine (**Tableau 4**). Les enfants consomment généralement de la PDCO à une fréquence de 2 à 6 jours par semaine (59%) et préfèrent la PDCO bouillie (64%) ou en purée (31%). Chez les mères, la méthode de préparation la plus commune a été celle de la PDCO bouillie (>

60%). La principale source d’approvisionnement de la PDCO consommée par les mères et leurs enfants est la ferme agricole du projet PRD. Concernant les avantages de la PDCO, les mères ont généralement mentionné son apport en vitamine A et son avantage sur le plan de la santé et de la nutrition. Dans l’ensemble, 96% des mères sont disposées à acheter de la PDCO pour leur consommation et celle de leurs enfants.

Tableau 4 : Attitudes des couples mère-enfant vis-à-vis de la PDCO

	Mères (n = 80)	Enfants (n = 77)
Consommation de PDCO (15 derniers jours)	46,2	53,2 (41)
Fréquence de consommation		
Au moins 1 fois par jour	35,1	24,4
2 – 6 fois par semaine	59,5	58,5
1 fois par semaine	5,4	17,1
Forme de PDCO		
Crue	10,8	0
Frite	27,0	4,8
Bouillie	62,2	64,3
Purée	-	30,9
Source de PDCO		
Ferme de Sagna	87,8	87,8
Marché	7,3	7,3
Ailleurs	4,9	4,9
Bénéfices de la PDCO		
Riche en vitamine A	60,0	63,3
Santé/Nutrition	35,0	40,0
Riche en énergie	5,0	0
Augmente la production lactée	3,3	0
Prêt à acheter la PDCO pour la donner à leurs enfants	96,0	0

Données présentées en pourcentage

3.4.3. Test sensoriel des différents types de préparations de la PDCO

Les scores pour les attributs sensoriels à la fois pour la PDCO frite et bouillie sont généralement supérieurs à 5, correspondants aux attrait « j'aime modérément » à « j'aime beaucoup » (**Tableau 6**). Presque toutes les mères ont déclaré aimer la PDCO bouillie (95%) ou frite (99%). Néanmoins, le degré d'appréciation pour la saveur ($P < 0,001$), la texture ($P < 0,001$) et l'apparence ($P < 0,001$) de la PDCO frite sont significativement plus élevées que celles de la PDCO bouillie. Les relations entre les descripteurs sensoriels et les types de préparation de la PDCO sont illustrées dans les tracés de l'analyse des composantes principales (ACP) (**Figures 15-16**). La **Figure 15** montre que les mères ont des caractéristiques sensorielles différentes pour les différentes préparations de PDCO. Sur la base de l'analyse du test t apparié, les attributs sensoriels de l'apparence, de la saveur et de la texture de la PDCO sont mieux corrélés à la friture qu'à la forme bouillie. La friture (**Figure 15** ; quadrant supérieur droit) est le plus souvent associée à « j'aime beaucoup » pour la texture, la saveur et l'apparence, tandis que la forme bouillie (**Figure 15** ; quadrant inférieur droit) est plus associée à « j'aime modérément ».

Concernant les enfants, les plus âgés (≥ 1 an) ont reçu de la PDCO bouillie et les moins âgés (< 1 an), la purée de PDCO. Pour l'évaluation sensorielle, les scores moyens pour tous les attributs des deux types de préparations sont généralement supérieurs à 5 (**Tableau 6**). Environ 91% des mères ont déclaré que leurs enfants apprécient modérément ou beaucoup la PDCO bouillie ou en purée. La comparaison effectuée à l'aide du test t de Student n'a révélé aucune différence significative entre les paramètres d'apparence, de saveur et de texture de la PDCO bouillie ou écrasée en purée (**Tableau 6**). Cependant, l'analyse ACP (**Figure 16**) montre que la PDCO en purée (quadrant inférieur droit) est plus associée à « j'aime beaucoup », alors que la forme bouillie (quadrant supérieur droit) est davantage associée à « j'aime modérément ».

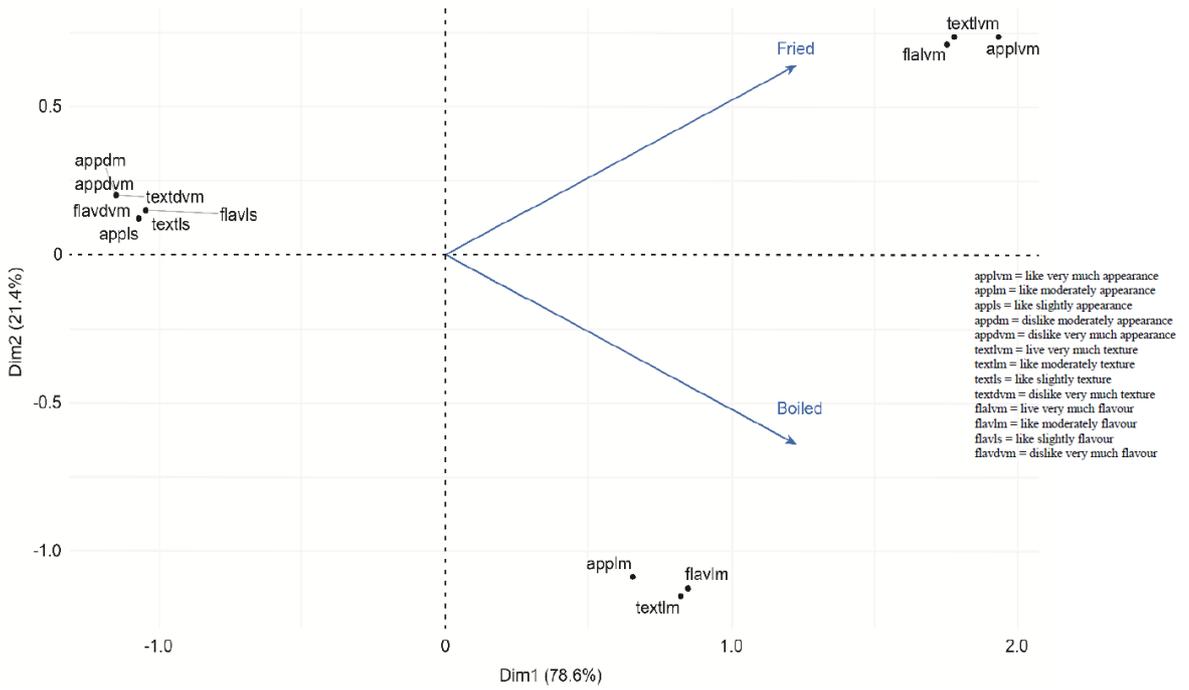


Figure 15 : Diagramme ACP des attraites sensoriels de la PDCO bouillie et frite chez les mères

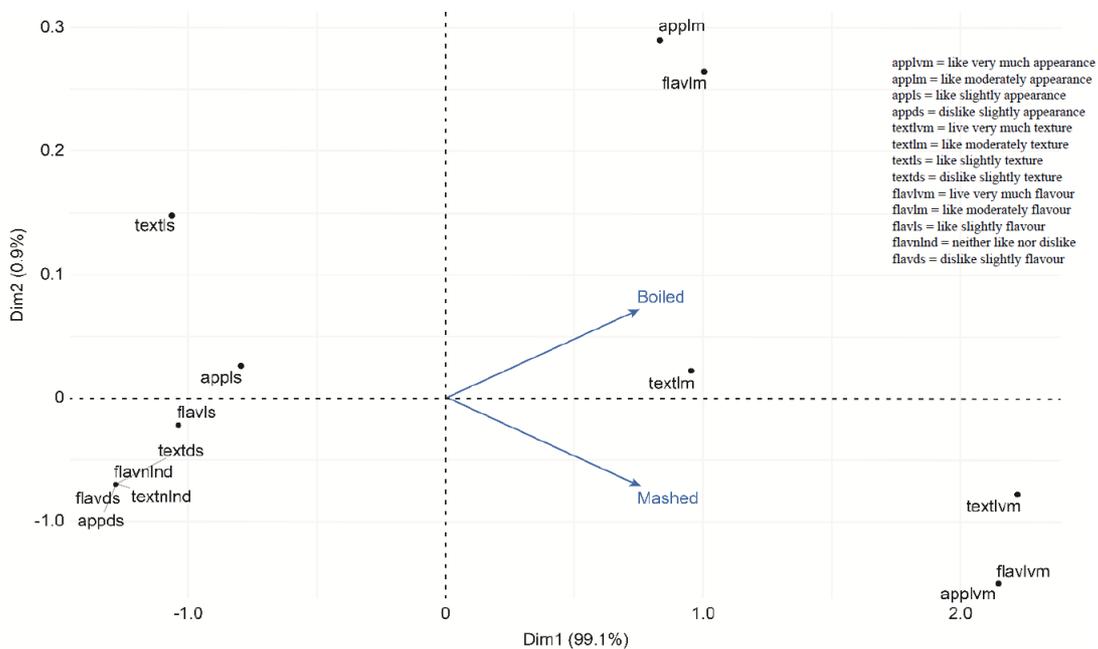


Figure 16 : Diagramme ACP des attraites sensoriels de la PDCO bouillie et en purée chez les enfants

3.4.4. Consommation de la PDCO, durée d'alimentation et vitesse de la prise alimentaire par type de préparation

La consommation de la PDCO, la durée d'alimentation et la vitesse de la prise alimentaire par type de préparation sont présentées dans le **Tableau 5**. Aucune différence n'est observée entre les méthodes de préparation de la PDCO et la quantité de nourriture consommée par les mères et les enfants. Cependant, chez les mères, la vitesse de consommation de la PDCO frite est significativement inférieure à celle de la PDCO bouillie ($P < 0,001$), alors que la durée de la prise alimentaire de la PDCO bouillie est plus rapide que celle de la PDCO frite ($P < 0,001$).

Tableau 5 : Consommation des différents types de préparation de la PDCO, durée d'alimentation et vitesse de la prise alimentaire des couples mère-enfant

	PDCO		
	Bouillie (n = 80)	Frite (n = 80)	P
Mères			
Consommation alimentaire (g)	96,5 ± 11,2	97,3 ± 9,6	ns
Durée d'alimentation (min)	5,8 ± 1,9	9,7 ± 3,4	<0,001
Vitesse de la prise alimentaire (g/min)	18,7 ± 7,4	11,5 ± 5,1	<0,001
Enfants	Purée (n = 36)	Bouillie (n = 41)	
Consommation alimentaire (g)	26,2 ± 15,5	26,2 ± 15,6	ns
Durée d'alimentation (min)	13,4 ± 4,6	12,4 ± 4,5	ns
Vitesse de la prise alimentaire (g/min)	2,3 ± 1,9	2,4 ± 1,9	ns

Données présentées en moyenne ± écart-type.

P test-t de Student selon le type de préparation ; ns = non significatif

3.4.5. Acceptabilité des différentes préparations de la PDCO

L'acceptabilité globale de la PDCO chez les mères est élevée tant pour la préparation bouillie que pour la préparation frite, avec des valeurs moyennes généralement supérieures à 6 (**Tableau 6**). Cependant, il existe une différence significative entre le score d'acceptabilité moyen de la PDCO frite et celui de la PDCO bouillie ($P < 0,001$). Sur la base des scores moyens globaux DOL, toutes les préparations sont acceptables pour la consommation car la majorité des mères (98,7%) ont eu un indice d'acceptabilité (IA) supérieur ou égal à 70%

(Spehar et al., 2002). Néanmoins, les valeurs d'IA de la PDCO frite et bouillie sont significativement différentes ($P < 0,001$), ce qui indique que les femmes préfèrent plus la forme frite que la forme bouillie.

Chez les enfants, la PDCO bouillie ou en purée est appréciée « modérément » à « beaucoup » par les enfants avec un score moyen, pour les deux préparations, égal à 6,2. De plus, les valeurs de l'IA sont bonnes ($> 88\%$), ce qui indique que les deux formes de préparation de la PDCO sont acceptables (Spehar et al., 2002).

Tableau 6 : Scores d'acceptabilité et degré d'appréciation des couples mère-enfant selon le type de préparation de la PDCO

Mères	PDCO		P
	Bouillie (n = 80)	Frite (n = 80)	
Apparence	6,3 ± 0,9	6,9 ± 0,3	<0,001
Goût	6,3 ± 0,8	6,8 ± 0,4	<0,001
Texture	6,3 ± 0,8	6,8 ± 0,4	<0,001
Appréciation globale	6,3 ± 0,7	6,9 ± 0,3	<0,001
IA (%)	90,5	98,0	<0,001
IA ≥ 70%	98,7	100	ns
Enfants	Bouillie (n = 41)	Purée (n = 36)	
Apparence	6,3 ± 0,8	6,5 ± 0,7	ns
Goût	6,3 ± 0,9	6,6 ± 0,6	ns
Texture	6,3 ± 0,9	6,6 ± 0,5	ns
Appréciation globale	6,2 ± 1,1	6,2 ± 1,2	ns
IA (%)	88,2	88,1	ns
IA ≥ 70%	96,6	93,8	ns

Données présentées en moyenne ± écart-type ou en pourcentage (%).

IA= Index d'Acceptabilité.

P : test-t de Student ou de Chi2 selon le type de préparation.

3.5. Discussion

La teneur en β -carotène de la PDCO crue (10000 $\mu\text{g}/100\text{g}$ PDCO) correspond aux résultats obtenus par Kapinga et al. (2010) pour la variété Kandee et reste relativement comparable aux teneurs obtenues dans d'autres variétés de PDCO (Kidmose et al., 2007 ; Bengtsson et al., 2008 ; Burri, 2011). Cependant, après la cuisson, les PDCO bouillie et frite ont perdu la moitié de leur contenu en β -carotène. Ces teneurs sont conformes aux valeurs rapportées dans la littérature pour la PDCO cuite (Kidmose et al., 2007 ; Bengtsson et al., 2008 ; Burri, 2011). Bengtsson et al. (2008) ont constaté des pertes moyennes de 22% pour les préparations bouillies et frites de plusieurs variétés de PDCO ougandaises. Ces faibles pertes par rapport à celles observées dans cette étude pourraient être dues à l'effet des fortes températures pendant la cuisson de la PDCO qui n'ont pas été mesurées dans cette étude. En effet, les méthodes de cuisson prolongées telles que la friture provoque de grandes pertes de β -carotène (Kotíková et al., 2016). D'autre part, la nature des échantillons de PDCO utilisés pour l'analyse des caroténoïdes totaux pourrait également l'expliquer. Dans cette étude, la teneur en caroténoïdes totaux a été calculée à partir de l'aliment frais, comme consommé par la population, au lieu de la matière sèche de l'aliment utilisée par d'autres (Kidmose et al., 2007 ; Bengtsson et al., 2008 ; Burri, 2011). Selon Kotíková et al. (2016), la rétention des β -carotènes est surestimée lorsqu'elle est calculée sur la base du poids sec.

Les tests d'acceptabilité ont montré que les mères pouvaient consommer en moyenne 100 g de PDCO par repas, et les enfants 25 g. D'après Burri et al. (2011), après ajustement par rapport aux pertes de caroténoïdes durant la cuisson, la conservation et la biodisponibilité, et sur la base des besoins estimés à 400 μg RE/j, les enfants âgés de 7 à 24 mois devraient consommer entre 23,4 et 131,2 g de PDCO/j pour couvrir leur apport journalier recommandé en vitamine A, tandis que les femmes allaitantes, avec des besoins estimés à 800 μg RE/j, devraient consommer entre 46,8 et 262,5 g de PDCO/j. Ainsi, la promotion d'une consommation minimale de 200 g de PDCO pour les mères et de 100 g pour les enfants, qui correspond respectivement à deux et trois repas par jour, permettra de couvrir une grande partie des besoins estimés en vitamine A.

Dans la présente étude, l'évaluation sensorielle et les tests d'acceptabilité de différentes préparations (bouillies, frites et en purée) de PDCO, pour imiter la consommation habituelle de la patate au Sénégal, ont montré que les PDCO bouillie et frite ont de bons attributs sensoriels chez les mères. Cependant, la PDCO frite a une apparence, une saveur et une texture meilleure que celle de la PDCO bouillie, et cette différence est probablement due

à la présence d'huile dans la préparation, car cet ingrédient contribue positivement à la texture et à la saveur (Burri, 2011 ; Selvakumaran et al., 2017). Chez les enfants, de bons attributs sensoriels ont été trouvés à la fois pour la PDCO bouillie et en purée sans aucune différence en termes d'apparence, de saveur et de texture, ce qui indique qu'après tout, les deux préparations sont bouillies. Ces résultats suggèrent que les mères et leurs enfants ont des perceptions différentes de la PDCO, en particulier en ce qui concerne les propriétés sensorielles, ce qui confirme les résultats de Tomlins et al. (2007).

Toutes les préparations sont acceptables pour la consommation (Spehar et al., 2002), ce qui indique une très bonne appréciation de cette variété de PDCO. Néanmoins, la plupart des mères préfèrent la PDCO frite à la PDCO bouillie, probablement parce qu'au Sénégal, la patate est traditionnellement consommée sous la forme bouillie comme un légume rarement sous la forme frite. Des résultats similaires suggèrent que la texture, la saveur et le goût peuvent être utilisés comme prédicteurs de la consommation et de l'acceptation de la PDCO, et des facteurs tels que la satiété et le prix sont moins importants (Burri, 2011 ; Selvakumaran et al., 2017). En revanche, la structure de l'aliment et la présence d'huile influencent l'absorption et la biodisponibilité des caroténoïdes (Bengtsson et al., 2008 ; Tumuhimbise et al., 2009).

Chez les enfants, les valeurs de l'IA obtenues à la fois pour la PDCO bouillie et en purée étaient bonnes (88%), ce qui indique que les deux préparations de PDCO sont acceptables (Spehar et al., 2002). Ces résultats confirment les valeurs obtenues par van Jaarsveld et al. (2005) en Afrique du Sud chez les enfants d'âge scolaire et selon Tomlins et al. (2007), les nouvelles variétés de PDCO étaient généralement acceptées par les jeunes enfants.

Conclusion

Cette variété de PDCO, qui est cultivée pour la première fois dans la région de Kaffrine, est acceptable pour les mères et leurs enfants de moins de 2 ans. Les méthodes de cuisson de la PDCO ont diminué le contenu en vitamine A, mais les niveaux d'activité du rétinol sont restés acceptables. Les PDCO bouillie, frite et en purée sont acceptées et des scores élevés sont enregistrés pour tous les attributs sensoriels. La cuisson de la PDCO avec de l'huile a eu une influence positive sur sa consommation. Le succès de cette variété de PDCO et son acceptabilité sont prometteurs pour la prévention de la carence en vitamine A maternelle et infantile en milieu rural à Kaffrine et au Sénégal.

Ce travail a fait l'objet d'une publication : **Sensory evaluation and consumer acceptability of orange-fleshed sweet potato by lactating women and their children (<2 years old) in Kaffrine, Central Groundnut Basin, Senegal.** Badiane A, Sylla PMDD, Diouf A, Tall L, Mbaye MS, Cissé NS, Dossou NI, Wade S and Donnen P. **African Journal of Food Science** 2018;12(11)288-296. DOI: 10.5897/AJFS2018.

CHAPITRE IV

STATUT DE BASE DES COUPLES MERE-ENFANT

10. METHODOLOGIE

1.1. Cadre de l'étude

Kaffrine est une région pastorale agro-forestière située dans le centre du Sénégal. Elle forme avec les régions de Kaolack et de Diourbel, le bassin central arachidier du Sénégal. Le climat est soudano-sahélien avec une courte saison des pluies et une longue saison sèche. Avec 90% des terres cultivables et 94% de la population vivant en milieu rural, la plupart des revenus de la population proviennent de l'agriculture traditionnelle (agriculture pluviale), de la vente de bois et de la collecte d'autres produits forestiers (ANSD, 2018). Les systèmes de culture prédominants sont basés sur l'arachide, le mil, le maïs et le niébé pour la consommation domestique et la commercialisation. Selon les dernières statistiques nationales, environ 34,8% des femmes de 15 à 49 ans souffrent d'insuffisance pondérale dans la région. Le retard de croissance et l'émaciation affectent respectivement 27,0% et 9,4% des enfants de moins de 5 ans (DAN, 2015 ; ANSD, 2018). Ces taux sont plus élevés chez les plus jeunes (6-23 mois). De plus, la prévalence de l'insécurité alimentaire y est également élevée (24%) (SECNSA, 2016).

1.2. Choix des villages témoins

Les villages ciblés dans le cadre du projet PRD bénéficient tous du Programme de Renforcement de la Nutrition mise en œuvre par la CLM. Le village de Sagna, zone d'implantation de la ferme agricole ainsi que les villages polarisés dans un rayon de 3 km constituent le « village d'intervention ». Celui-ci bénéficie des produits de la ferme et de la stratégie de communication/éducation nutritionnelle. Le choix des villages témoin 1 (communication/éducation) et témoin 2 (qui ne bénéficie d'aucune des deux interventions) a été effectué en collaboration avec la CLM. Le principal critère de choix de ces deux villages témoins était leur situation géographique. En effet, ils devaient être à une distance minimale de 10 km du village d'intervention pour éviter la contamination. C'est ainsi que la commune de Malem Hodar (Département de Malem Hodar) et le village de Kathiotte (Département de Kaffrine) ont été choisis respectivement comme villages témoin 1 et témoin 2 (**Figure 17**).

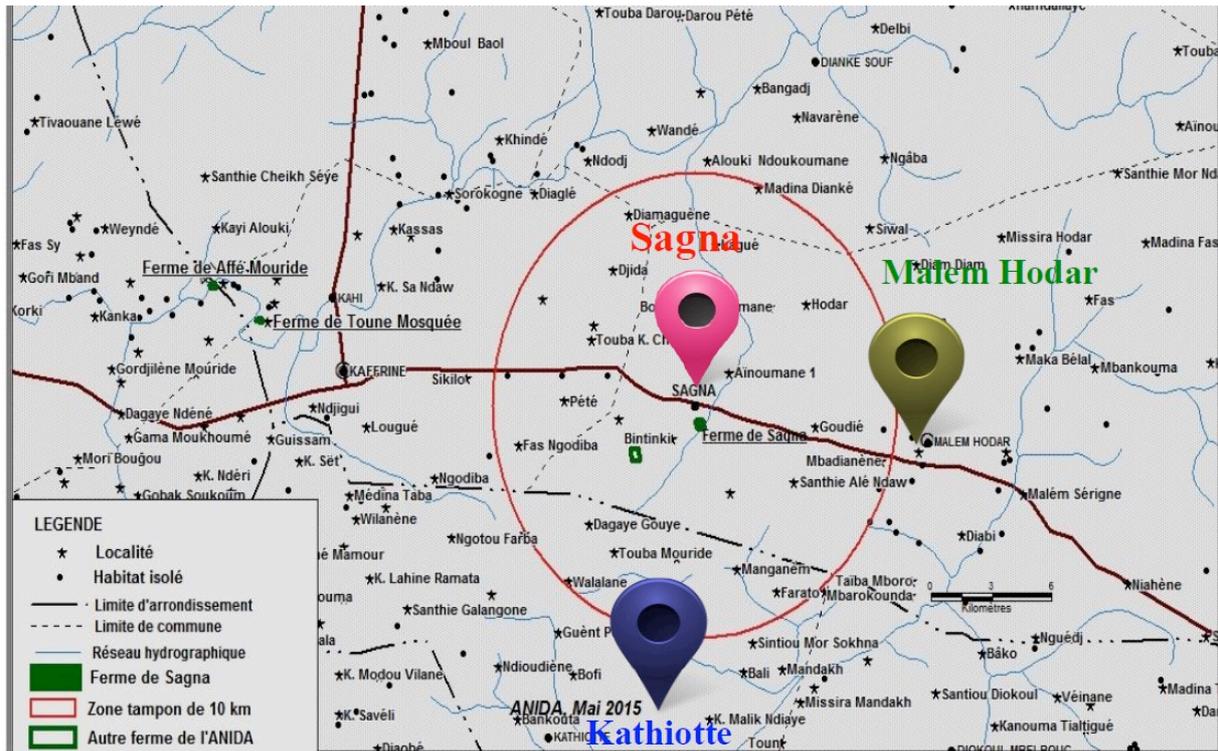


Figure 17 : Situation géographique des villages d'intervention et témoins (ANIDA, 2015)

1.3. Ethique

L'étude a été approuvée par le Comité National d'Ethique pour la Recherche et la Santé (CNERS) du Ministère de la Santé et de l'Action Sociale sous le numéro 178/MSAS/DPRS/CNERS (**annexe 1**) et a reçu l'autorisation administrative de la Direction de la planification de la recherche et des statistiques dudit Ministère (**annexe 2**). De plus, le consentement éclairé des chefs de ménage ou des mères/gardiennes d'enfants a été obtenu avant le démarrage de l'étude (**annexe 3**).

1.4. Réunions de sensibilisation des autorités administratives et sanitaires

Tout au long de la phase de préparation du projet, des rencontres d'information ont été organisées avec les autorités administratives et sanitaires de la région (Gouverneur, Préfet, Médecins chef de Région et de District, Infirmiers chef de poste). Des réunions villageoises ont été aussi organisées dans chaque village avec l'appui des relais communautaires de la CLM pour sensibiliser les populations à la mise en œuvre du projet notamment aux activités qui seront menées. Les informations délivrées ont porté sur l'objectif, la méthodologie et les résultats attendus de l'étude. L'accent a été mis en particulier sur la mesure de la composition

corporelle par dilution isotopique au deutérium et sur les prélèvements sanguins. A la même occasion, la liste de tous les ménages de chaque village a été recueillie auprès des chefs de village.

1.5. Taille d'échantillon et sélection des couples mère-enfant

La taille minimale de l'échantillon (n) de cette étude est estimée à 60 ± 10 couples mère-enfant par village. Cette estimation a été retenue sur la base d'un consensus après la réunion du groupe de recherche de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) sur « Using nuclear techniques to assess the role of nutrition-sensitive agri-food systems in improving diet, health and nutritional status of vulnerable populations ». Pour atteindre cette taille d'échantillon, une sélection progressive des couples mère-enfant a été effectuée dans les trois villages à partir des registres de naissances des structures sanitaires qui polarisent ces villages. Ainsi, la taille de l'échantillon a été atteinte au bout de 5 mois de recrutement (janvier à mai 2017).

1.6. Collecte des données

L'étude biologique a été menée entre janvier 2017 et octobre 2018. La collecte des données a été effectuée tous les 6 mois, de l'enrôlement des couples mère-enfant de 6-8 mois, jusqu'à l'âge de 23 mois des enfants. Les données sont collectées par des questionnaires et par des mesures physiques pour évaluer l'état nutritionnel des mères et de leurs enfants. Ces mesures ont porté sur l'anthropométrie et la mesure de la composition corporelle. Des prélèvements sanguins ont aussi été effectués pour déterminer le statut en micronutriments (fer et vitamine A) ainsi que le statut infectieux.

1.6.1. Collecte des données par questionnaire

Deux (02) questionnaires, un questionnaire Mère et un questionnaire Enfant ont été administrés à la mère (**Annexe 4**). Le questionnaire Mère porte sur les caractéristiques sociodémographiques, les soins de santé et la diversité alimentaire des mères. Le questionnaire Enfant renseigne sur les pratiques d'alimentation du nourrisson et du jeune enfant (ANJE) et sur leur état de santé. Avant le démarrage de l'étude, un pré-test de ces outils de collecte a été effectué pour évaluer le dispositif sur le terrain notamment, l'organisation et la répartition des tâches, mais aussi la revue générale de la méthodologie et la standardisation de l'administration des questionnaires.

1.6.1.1. Alimentation des couples mère-enfant

La consommation alimentaire des mères a été mesurée par *le score de diversité alimentaire (SDAF)* développé par la FAO (2016). Le SDAF consiste en un simple décompte des groupes d'aliments (10) consommés par la mère au cours des 24 heures précédant l'interview. La *diversité alimentaire minimale (DAM)* est un indicateur dichotomique qui détermine le pourcentage de femmes en âge de procréer ayant consommé, au moins cinq (5) groupes d'aliments définis sur les dix (10), le jour précédent. Les dix (10) groupes d'aliments sont : (1) féculent, (2) légumes feuilles vertes foncées, (3) fruits et autres légumes riches en vitamine A, (4) autres légumes, (5) autres fruits, (6) viande, abats et poisson, (7) œufs, (8) noix et graines, (9) légumineuses, et (10) lait et produits laitiers.

Chez les enfants, les données sur l'allaitement optimal et l'alimentation complémentaire sont recueillies à l'aide d'indicateurs standardisés de l'ANJE développés par l'OMS/IFPRI (2009). Ainsi *l'initiation précoce à l'allaitement maternel* est définie comme la proportion de nouveau-nés allaités au sein dans l'heure qui a suivi la naissance. La prévalence de *l'allaitement maternel exclusif* est obtenue par la proportion de nourrissons recevant uniquement le lait maternel et pas de nourriture ou de liquide autre que les solutions de réhydratation orale, les vitamines-minéraux et/ou les médicaments au cours des six premiers mois.

La *diversité alimentaire minimale (DAM)* chez les enfants est définie par la proportion d'enfants ayant consommé, au moins quatre des sept groupes d'aliments définis pour les enfants de 6-23 mois, le jour précédent : (1) aliments de base (céréales, racines et tubercules), (2) légumineuses et noix, (3) produits laitiers, (4) aliments frais (viande, poisson, volaille et foie/organes), (5) œufs, (6) fruits et légumes riches en vitamine A, et (7) autres fruits et légumes. La *fréquence minimale des repas* est définie par la proportion d'enfants âgés de 6 à 23 mois allaités ou non et ayant reçu, des aliments solides, semi-solides ou mous (y compris des aliments lactés pour les enfants non allaités), au moins le nombre minimum de fois. La fréquence des repas pour les enfants allaités porte uniquement sur la prise d'aliments non liquides (solides, semi-solides ou mous) et varie en fonction de l'âge (2 fois pour la tranche d'âge 6-8 mois et 3 fois pour la tranche d'âge 9-23 mois). Pour les enfants non allaités, le nombre minimum de repas ne varie pas en fonction de l'âge (4 fois pour tous les enfants âgés de 6 à 23 mois). *L'apport alimentaire minimum acceptable* est défini par la proportion d'enfants âgés de 6 à 23 mois qui ont reçu l'apport alimentaire minimum acceptable (en

dehors du lait maternel), c'est-à-dire qui ont atteint à la fois la diversité alimentaire minimale et le nombre de repas minimum.

Le profil alimentaire est mesuré à partir des groupes d'aliments consommés par les mères et les enfants le jour précédent l'enquête. La mesure du profil alimentaire permet de savoir les principaux aliments qui constituent le régime alimentaire des mères et des enfants. Ainsi, pour chaque groupe d'aliments, le pourcentage de consommation est calculé en divisant le nombre de personnes qui ont consommé le groupe d'aliment sur le nombre total de sujets. Les aliments qui ont atteint au moins les 50% sont les aliments les plus consommés.

1.6.1.2. Santé et morbidité

Les données portant sur la vaccination des enfants contre le BCG, la poliomyélite, le pentavalent et le pneumocoque, la supplémentation en vitamine A, le déparasitage et les antécédents de maladie récente des couples mère-enfant sont recueillies en collaboration avec le personnel médical local. Un rappel de deux semaines est effectué pour évaluer les maladies maternelles et infantiles courantes ou tout autre cas de morbidité connexe.

La fièvre est définie comme une température axillaire supérieure ou égale à 38 °C (WHO/CDS/CSR/ISR, 2000). La diarrhée est considérée comme l'émission d'au moins trois selles molles ou aqueuses au cours des dernières 24 heures. Une infection respiratoire est caractérisée par une infection des voies respiratoires et des poumons.

1.6.2. Evaluation de l'état nutritionnel des couples mère-enfant

L'état nutritionnel est évalué par des paramètres anthropométriques, la mesure de la composition corporelle et le statut en fer et en vitamine A.

1.6.2.1. Mesures anthropométriques

La méthodologie utilisée pour la mesure des paramètres anthropométriques est conforme aux procédures standards (Lohman, 1988). Toutes les mesures ont été effectuées en double.

1.6.2.1.1. Poids

Les mères sont pesées pieds nus, avec un pagne léger de poids connu, à l'aide d'une balance mécanique (Seca 877, GmbH et Co, Hamburg, Germany) d'une portée maximale de 200 kg et d'une précision de 100 g. La balance est posée sur une surface dure et plane. Elle est toujours calibrée avant son utilisation avec un poids étalon de 5 kg. Lors des mesures, les mères restent

debout sur la balance et la tête maintenue dans le prolongement du corps. Le poids est exprimé en kg.

Le poids des enfants est mesuré par la méthode de la double pesée avec la même balance ayant servi à peser les mères. Pour cela, la mère se tient sur la balance et porte l'enfant sur ses épaules, ainsi le poids du couple mère-enfant exprimé en kg est reporté. La différence entre le poids du couple mère-enfant et le poids de la mère permet de déterminer le poids de l'enfant.

1.6.2.1.2. Taille

La taille des mères exprimée en mètre est mesurée en double avec une toise verticale (SECA 216, GmbH et Co, Hamburg Germany) suivant les procédures standardisées qui consistent à poser la toise sur une surface plane et dure, à vérifier la verticalité et l'horizontalité du socle avant le début des mesures. Lors des mesures, les mères restent pieds nus et bien joints, le corps bien droit de sorte que les talons, les fesses et la nuque touchent la toise, et les deux bras le long du corps.

La taille des enfants exprimée en cm est mesurée avec une toise horizontale (SECA 417, GmbH et Co, Hamburg Germany) posée sur une surface plane, avec les mêmes précautions. Les enfants sont allongés sur le dos, la tête contre la partie fixe de la toise, le regard tourné vers le haut, les épaules, les fesses et les jambes touchent la planche de la toise, la colonne vertébrale non arquée, les deux bras positionnés le long du corps, la plante des pieds contre la planche et les orteils tournés vers le haut.

1.6.2.1.3. Calcul et expression des indices anthropométriques

L'âge des enfants est recueilli à partir des carnets de naissance. Les indices poids-pour-taille ou PTZ et taille-pour-âge ou TAZ sont calculés avec le logiciel AnthroPlus version 2.0.2 de l'OMS (www.who.int/childgrowth) à partir des courbes de référence des enfants âgés de moins de 2 ans (WHO, 2006). L'Indice de Masse Corporelle (IMC) en kg/m² ou l'IMC-pour-âge z-score (<20 ans) sont utilisés pour déterminer respectivement l'état nutritionnel des mères âgées de plus de 20 ans et de celles âgées de moins de 20 ans.

✓ Retard de croissance chez l'enfant

Le retard de croissance est défini par un indice TAZ inférieur à -2 z-score.

✓ Malnutrition aiguë ou émaciation chez l'enfant

L'émaciation ou malnutrition aiguë est définie par un indice PTZ inférieur à -2 z-score.

✓ Surpoids et obésité chez l'enfant

Le surpoids/obésité est défini chez les enfants par un indice PTZ supérieur ou égal à + 2 z-score.

✓ Etat nutritionnel des mères

Chez les mères l'IMC permet de les classer en 4 catégories selon leur âge et leur niveau d'adiposité : maigre ; normal, surpoids et obèse (de Onis et al., 2007 ; WHO, 1999). Ces seuils sont indiqués dans le **Tableau 7** selon l'âge de la mère.

Tableau 7 : Classification de l'état nutritionnel des mères

Corpulence	Mère < 20 ans (IMC z-score)	Mère ≥ 20 ans (IMC kg/m ²)
Maigre	IMC < -2	IMC < 18,5
Normal	$-1 \geq \text{IMC} \geq -2$	$18,5 \leq \text{IMC} \leq 24,9$
Surpoids	$+2 \geq \text{IMC} > +1$	$25,0 \leq \text{IMC} \leq 29,9$
Obèse	IMC > +2	IMC ≥ 30

1.6.2.2. Mesure de la composition corporelle

La composition corporelle des couples mère-enfant (masse maigre, masse grasse, pourcentage de masse grasse) est mesurée par la méthode de la dilution isotopique au deutérium (AIEA, 2010).

1.6.2.2.1. Principe

La technique consiste à administrer aux mères et à leurs enfants une dose orale de deutérium enrichi à 99,8% (Sigma-ALDRICH, Co. 3050, St Louis, USA). La dose est administrée sous forme d'oxyde de deutérium et ne présente aucune toxicité (AIEA, 2010). A l'équilibre avec l'eau corporelle, le deutérium est éliminé de l'organisme dans la salive, les urines et la sueur. Ainsi, en faisant des prélèvements de salive 2h30 et 3h après la dose chez les enfants et 3h et 4h chez les mères, on peut déterminer l'enrichissement en deutérium des échantillons de salive avec un Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).

1.6.2.2.2. Préparation et administration des doses de deutérium

Les doses de deutérium sont préparées la veille de la collecte des données. Chez les mères, 30g de D₂O (AIEA, 2010) sont préparés dans des flacons de 60 ml. Chez les enfants, les doses de D₂O à administrer sont préparées en fonction du poids de l'enfant dans des seringues stériles jetables en plastique (AIEA, 2010). Toutes les doses sont pesées avec une balance (OHAUS Corporation, Florham Park, USA) d'une capacité maximale de 210 g et d'une précision de 0,1 mg. Sur chaque flacon ou seringue, l'identifiant du couple mère-enfant, la date de préparation et le poids exact de la dose sont notés. Ils sont ensuite conservés à +4° c jusqu'au lendemain.

Sur le terrain, les couples mère-enfant reçoivent tôt le matin, à jeun une dose orale de deutérium pur ou diluée en fonction de leur poids corporel. La dose est administrée à l'aide d'une paille chez les mères alors que chez les enfants, elle est administrée directement à l'aide de seringue. Pour les mères, le flacon et la paille sont rincés avec 2 x 50 ml d'eau de robinet pour éviter toute perte de deutérium. Ensuite, l'heure d'administration de la dose est notée dans une fiche individuelle (**annexe 5**).

1.6.2.2.3. Collecte des échantillons de salive

Les échantillons de salive sont prélevés en donnant aux mères et aux enfants des boules de coton stériles qu'ils tournent dans leur bouche maintenue fermée jusqu'à ce qu'elles soient complètement imbibées de salive. Les boules de coton sont ensuite introduites dans une seringue de 20 ml (Norm-ject, HenkeSass Wolf, Tuttlingen, Germany) pour être pressées dans un tube stérile de 5 ml pour les mères et 2 ml pour les enfants (Termofisher-scientific, Danemark). Ces tubes sont mis dans des sachets ziploc puis placés dans une glacière pour le transport et enfin conservés à -20°C jusqu'au dosage. Pour chaque couple mère-enfant trois types d'échantillons de salive sont prélevés :

- Un échantillon « pré-dose » prélevé avant l'administration de la dose qui permet de déterminer l'enrichissement naturel en deutérium du compartiment eau de l'organisme de chaque sujet.
- Deux échantillons « post-doses » prélevés 2h 30mn et 3h pour les enfants et 3h et 4h pour les mères après administration de la dose.

Les heures de prélèvement des échantillons pré-doses et post-doses sont notées à la minute près.

1.6.2.2.4. Mesure de l'enrichissement des échantillons de salive en deutérium

✓ **Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)**

La spectroscopie infrarouge est une technique de détection et de dosage utilisée en chimie. Elle est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par la substance analysée. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans la substance et de déterminer la concentration des différents composés. L'enrichissement des échantillons de salive en deutérium est mesuré avec un FTIR (IR-Affinity-1, Shimadzu, Nakagyo-ku kyoto, Japon) (**Figure 18**). Le FTIR ne mesure pas la concentration en deutérium des échantillons de salive, mais leur enrichissement par rapport à un niveau de base des salives pré-dose. L'appareil scanne l'échantillon « pré-dose » qu'il enregistre comme niveau de base (background) et lit l'échantillon « post-dose » contre ce background. Il procède automatiquement à la soustraction du background pour donner le spectre définitif. Les spectres ainsi obtenus sont transférés sur le logiciel « Isotope.exe » un programme développé par le « Medical Research Council - Human Nutrition Research » (MRC-HNR, Cambridge, UK) et qui donne directement les enrichissements en ppm des échantillons.

✓ **Evaluation de la performance de l'appareil**

Avant chaque série de mesure, un test de validation JP (Japan Validation) est effectué à l'aide d'un film polystyrène (Shimadzu, Corporation Kyoto, Japon) afin d'évaluer la quantité d'énergie et la performance de l'appareil. Ce test permet de valider la performance du FTIR basée sur la vérification des cinq (5) paramètres suivants : la puissance du spectre, la résolution, l'exactitude de la longueur d'onde, la reproductibilité de la longueur d'onde et la reproductibilité de la transmission.



Figure 18 : Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier

✓ **Calibration du FTIR**

Un standard pur à 1000 mg/kg (ppm) est préparé en diluant 1 g de deutérium pur (Cambridge Isotope Laboratories, Inc, Andover, USA) soigneusement pesé avec une balance électronique de 0,001 mg de précision, dans environ 1 litre d'eau de robinet. Le FTIR mesure l'enrichissement des échantillons de salive par rapport à la valeur de ce standard pur. Dans le but de vérifier la précision de l'analyse du deutérium dans la gamme des concentrations susceptibles d'être mesurées, une série de solutions étalons de concentrations différentes (100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000 ppm) est également préparée. Ces différentes solutions sont lues au FTIR et la droite de régression entre les valeurs théoriques (calculées) et celles mesurées au FTIR est tracée. Si les valeurs des standards sont correctes, le coefficient de régression est proche de 1.

Un pool interne ou contrôle interne (CI) de salive est aussi préparé à partir des échantillons pré-doses et post-doses collectés chez les enfants. Les pré-doses et les post-doses sont séparément mélangées au vortex pour constituer le pool de CI (pré et post-doses).

✓ **Analyse des standards et des échantillons de salive**

La lecture du standard pur, du CI et des échantillons de salive est effectuée à l'aide d'une cellule en fluorure de calcium de 100 μm d'épaisseur et de 0,1 ml de volume, munie de deux orifices (CaF₂ Liquid Omni-Cell, SPECAC GmbH & Co Darmstadt, Germany). Pour remplir la cellule, l'échantillon (eau, standard, CI ou salive) est prélevé à l'aide d'une seringue de 1 ml et est introduit dans l'un des orifices tandis que l'autre est bouché avec du papier absorbant (Kimberly-Clark Inc., Ontario, Canada). Après remplissage, chaque orifice est bouché avec un bouchon en téflon et la cellule est nettoyée avec du papier absorbant avant d'être introduite dans le porte-cellule du FTIR. Les mesures sont effectuées entre 2300 et 2900 cm^{-1} . Le standard pur est lu trois fois avant et trois fois après chaque série de mesures des échantillons de salive. La mesure commence avec le standard pur qui est lu trois (3) fois de suite par rapport à l'eau ayant servi à sa préparation. Ensuite, pour chaque sujet, l'analyse des échantillons de salive se fait comme suit : l'échantillon pré-dose est mesuré comme background puis les échantillons post-doses sont lus en double. Le CI est mesuré de nouveau après chaque lot de quinze (15) échantillons. A la fin des mesures, le standard pur est relu trois (3) fois. L'enrichissement en ppm des échantillons est obtenu grâce au programme « Isotope.exe » développé par le MRC-HNR (Coward et al., 1988 ; IAEA, 2010).

✓ **Contrôle de qualité des mesures d'enrichissement**

Le contrôle de qualité des mesures a été effectué sur l'ensemble des données. Quatre (4) critères stricts, requis pour la mesure de l'eau corporelle totale, la masse grasse et le pourcentage de masse grasse, ont été appliqués aux mesures d'enrichissement du deutérium. Les critères de qualité étaient les suivants: 1) l'enrichissement en deutérium de chacun des deux échantillons post-dose devrait se situer à moins de 2% de la moyenne des deux échantillons ; 2) l'enrichissement des échantillons de salive doit se situer dans une fourchette attendue d'enrichissements normaux en fonction du poids corporel de la mère ou de l'enfant ; 3) les valeurs aberrantes dans la relation eau corporelle totale et taille de la mère ou de l'enfant sont aussi identifiées et exclues ; 4) les valeurs aberrantes du pourcentage de masse grasse sont identifiées et exclues si le pourcentage de masse grasse est < 5%, considéré comme « physiologiquement inacceptable ».

1.6.2.2.5. Détermination de la composition corporelle des couples mère-enfant

L'enrichissement en ppm des échantillons de salive est ensuite transféré sur une feuille de calcul Excel programmée pour calculer :

Le volume de dilution (V_D) du deutérium à partir de la formule suivante :

$$V_D \text{ (kg)} = \text{Dose D}_2\text{O (mg)}/\text{enrichissement de la salive (mg/kg)}$$

L'espace de dilution du deutérium étant supérieur au volume d'eau corporelle totale à cause de l'échange de deutérium avec d'autres atomes d'hydrogène que ceux de l'eau, l'eau corporelle totale (ECT) est calculée en tenant compte d'un facteur de correction de 4,1% (Forbes, 1987).

$$ECT \text{ (kg)} = V_D/1,041$$

La masse maigre est calculée à partir de l'ECT en tenant compte des facteurs d'hydratation (FH) qui varient en fonction de l'âge et du sexe chez les enfants (Lohman, 1992 ; AIEA, 2010). Le **Tableau 8** résume le facteur d'hydratation des enfants selon le sexe et l'âge.

$$\text{Masse maigre (MM kg)} = ECT/FH$$

Tableau 8 : Facteur d'hydratation des enfants selon l'âge et le sexe

Cibles	Facteur d'hydratation (%)
Mère	73
Garçon	77
Fille	78

La masse grasse (kg) est estimée à partir de la différence entre le poids corporel (kg) et la masse maigre (kg).

$$\text{Masse grasse (MG kg)} = \text{Poids corporel total} - \text{Masse maigre}$$

Le pourcentage de masse grasse, qui mesure l'adiposité est calculé par le rapport de la masse grasse sur le poids corporel total.

$$\text{Pourcentage masse grasse (\%MG)} = (\text{Masse grasse}/\text{Poids corporel total}) \times 100$$

Les indices de masse maigre et de masse grasse sont calculés par :

$$\text{Indice de masse maigre (kg/m}^2\text{)} = \text{Masse maigre}/\text{Taille}^2$$

$$\text{Indice de masse grasse (kg/m}^2\text{)} = \text{Masse grasse}/\text{Taille}^2$$

1.6.2.2.6. Seuils de classification du niveau d'adiposité selon pourcentage de masse grasse

Dans cette étude, nous avons utilisé les seuils proposés par Lorenzo et al. (2003) et William et al. (1992) pour classer respectivement les mères et les enfants selon leur niveau d'adiposité. Ainsi un % MG > 35 chez les mères, > 25 chez les garçons et > 30 chez les filles indiquent un excès d'adiposité associé à un risque accru de maladies métaboliques.

1.6.2.3. Prélèvement sanguin et dosages biologiques

1.6.2.3.1. Prélèvements sanguins et conservation des échantillons

Les échantillons de sang sont obtenus par ponction veineuse à l'aide d'un dispositif constitué d'un tube de prélèvement sous vide à usage unique indemne de contamination métallique et contenant de l'héparine de lithium comme anticoagulant (Sarstedt AG1&Co, Numbrecht,

Germany). Le matériel de prélèvement est stérile, individuel et à usage unique. Deux échantillons de sang, environ 10 ml chez les mères et 5-7 ml chez les enfants, ont été prélevés. Les prélèvements sont effectués de préférence chez les mères à jeun, tôt le matin. L'heure du dernier repas des mères et des enfants est systématiquement notée sur le questionnaire de même que l'heure du prélèvement. Une fois prélevés, les échantillons sont protégés de la lumière avec du papier aluminium. Un petit volume sanguin est versé dans un autre tube pour la détermination du taux d'hémoglobine. Le reste est immédiatement placé dans une glacière au froid à 4°C. Après les séances de prélèvements, le sang est immédiatement centrifugé à 3200 tours/min pendant 10 min (Centrifugeuse EBA, Andreas Hettich GmbH&Co, Tuttlingen, Germany) pour obtenir du plasma, lequel est aussitôt réparti en 5 aliquotes pour les mères et 4 aliquotes pour les enfants dans des cryotubes (Cm- Lab, wordingborg, Denmark). Ces derniers sont placés dans des cryoboxes, entourés de papier aluminium, puis conservés dans un congélateur à -20° C à Kaffrine. Les cryoboxes sont régulièrement transférés dans un mini-congélateur à -20°C (Waeco International GmbH, Emsdetten, Germany) de Kaffrine jusqu'au Laboratoire de Nutrition à l'UCAD où ils sont conservés à -80° C jusqu'aux dosages. L'identification des sujets comporte dans l'ordre le village/N° du ménage/Initial prénom et nom de la mère/N° d'enrôlement de couple mère-enfant/suivi d'un E pour les enfants.

1.6.2.3.2. Mesure du taux d'hémoglobine

La détermination du taux d'hémoglobine est effectuée sur le terrain aussitôt après le prélèvement. Le taux d'hémoglobine (Hb) est déterminé à l'aide du système HemoCue (HemoCue 301+, AB, Angelholm, Sweden) fonctionnant selon le principe de la photométrie.

✓ Principe et mode opératoire

Ce système comporte une microcuvette permettant de recueillir une goutte de sang qui réagit avec un réactif sec (désoxycholate de sodium, nitrite de sodium, azide de sodium et fluorescéine). Le sang total recueilli au cours du prélèvement sanguin a servi à la mesure. La fente située au bout de la microcuvette aspire la goutte de sang dont les érythrocytes sont hémolysés par le désoxycholate de sodium entraînant ainsi la libération de l'hémoglobine. Ensuite, le nitrite de sodium transforme l'hémoglobine en méthémoglobine qui réagit avec l'azide de sodium pour former l'azide de méthémoglobine. Après l'introduction de la microcuvette dans le photomètre HemoCue, la lecture du taux d'hémoglobine se fait en 15-45

secondes à deux longueurs d'onde, ce qui permet de corriger toute interférence de l'échantillon. Tous les échantillons ont été mesurés en double.

✓ **Contrôle de qualité des mesures d'hémoglobine**

La calibration du photomètre HemoCue est vérifiée chaque jour à l'aide de sérums de contrôle haut et bas (HemoTrol high, low (2 x1ml) (Eurotrol B.V, Keplerlaan 20, The Netherlands) avant chaque série de mesures.

1.6.2.3.3. Dosage de la ferritine plasmatique

✓ **Principe**

Le dosage de la ferritine plasmatique (FP) est réalisé avec un analyseur automatique Mini-Vidas (Biomérieux SA, Lyon, France). Le principe du dosage associe la méthode immunoenzymatique par sandwich à une étape de détection finale en fluorescence (ELFA, Enzyme Linked Fluorescent Assay).

✓ **Appareillage et réactifs**

La concentration de la ferritine plasmatique est déterminée avec un analyseur automatique Mini Vidas (Biomérieux SA, Lyon, France) au Laboratoire de Nutrition. Le kit de dosage Vidas Ferritin (Ref. 30411, Biomérieux SA, Lyon, France) est constitué de 60 cartouches et d'autant de cônes, un flacon de 2 ml du contrôle FER (C1), un flacon de 2 ml du calibrateur (S1), une solution Tampon de dilution FER, une carte MLE (une fiche de spécifications contenant les données usines nécessaires à la calibration du test) et une notice. Chaque cartouche est composée de 10 puits. Le premier puits comporte une partie réservée à l'échantillon et le dernier puits permet la lecture en fluorimétrie. Les différents réactifs nécessaires à l'analyse sont prêts à l'emploi et sont contenus dans les huit puits intermédiaires. Les cônes sont sensibilisés par des immunoglobulines monoclonales de souris anti-ferritine. Le cône à usage unique sert à la fois de phase solide et de système de pipetage.

✓ **Mode opératoire**

Cent microlitres (100 µL) de plasma sont introduits à l'aide d'une pipette automatique dans le puits échantillon de la cartouche (1er puits). Toutes les étapes du test, constituées de successions de cycles d'aspiration et de refoulement du milieu réactionnel, sont réalisées automatiquement par le Mini Vidas. Lors de l'étape finale de révélation, le substrat (4-Méthyl-ombelliferylphosphate) est aspiré puis refoulé dans le cône ; l'enzyme du conjugué

catalyse la réaction d'hydrolyse de ce substrat en un produit (4-Méthyl-ombelliférone) dont la fluorescence émise est mesurée à quatre cent cinquante nanomètres (450 nm). La valeur du signal de fluorescence est proportionnelle à la concentration de l'antigène présent dans l'échantillon. A la fin du test, les résultats sont calculés automatiquement par l'appareil par rapport à une courbe de calibration mémorisée puis imprimés.

✓ **Contrôle de qualité**

La qualité du dosage est vérifiée par un sérum contrôle FER (1x2ml, Réf.30411 Biomérieux). Le contrôle de la qualité interne des mesures a été effectué à l'aide d'un pool de plasma interne (SI). L'appareil est calibré tous les 15 jours.

1.6.2.3.4. Dosage du rétinol plasmatique

La chromatographie liquide haute performance (HPLC) est la méthode utilisée pour le dosage quantitatif du rétinol plasmatique dans notre étude. C'est une méthode chimique de séparation des constituants d'un mélange complexe. Cette chromatographie est dite liquide car l'échantillon dont on veut séparer les composés est entraîné par une phase mobile liquide dans une colonne contenant une phase stationnaire fixée à sa paroi. Il s'agit d'une méthode de choix avec une grande sensibilité et spécificité (WHO, 1996), considérée comme une technique de laboratoire suffisamment fiable pour les dosages systématiques.

✓ **Appareillage et principe**

L'appareillage est une chaîne Spectra SYSTEM qui comprend un dégazeur à membrane à 4 voies SCM1000, une pompe quaternaire à gradient P1000XR, un passeur avec injecteur automatique AS3000, un détecteur à barrettes d'iodes UV6000LP et un module d'interface SN 4000, le tout piloté par ordinateur. L'ensemble du système est géré par le logiciel ChromQuest, version 4.1 (Thermo Electron SAS, Cedex, France) qui traite les résultats. Tous les réactifs et solvants utilisés pour le dosage sont de grade HPLC.

Le principe de la détermination se base sur le fait qu'après précipitation de ses protéines vectrices (Retinol Binding Protein et Transthyrétine) provoquée par l'addition d'éthanol, le rétinol est extrait par l'hexane. Sa concentration est déterminée par chromatographie en phase inversée à l'aide d'une colonne ResolveTM C18 (3,9x150 mm) 5µm, 90Å, protégée par une pré-colonne (3,9x20mm) (Waters Corporation, Massachusetts, USA) couplée à une détection UV à 325 nm.

✓ **Mode Opérateur**

Deux cents microlitres de plasma (200 µl) additionnés de 40 µl d'acétate de rétinol (standard interne) sont traités avec 200 µl d'éthanol à 0,1% de BHT (butylhydroxytoluène, antioxydant). Après agitation au vortex, le mélange est extrait avec 2x500 µl d'hexane. Les surnageants d'hexane sont prélevés et mélangés dans un second tube puis évaporés sous azote grâce à un évaporateur N-EVAP 112 (Organomation Associates, Berlin, USA). L'extrait sec de vitamine A est repris dans 80 µl de méthanol/dichloroéthane (75/25 par volume) pour dissoudre la phase lipidique et un volume de 40 µl de cet échantillon est injecté dans le chromatographe. La phase mobile est un mélange Méthanol/Eau (95/5 par volume) additionné de 0,05% de Triéthylamine (TEA) (dont le rôle est d'augmenter la résolution des pics) à un débit de 1 ml/min.

Un volume de 20 µl d'acétate de rétinol (standard interne) est injecté seul pour évaluer le rendement de l'extraction. Ce rendement est le rapport des surfaces des pics d'acétate de rétinol de l'échantillon et du standard interne. Les concentrations en rétinol sont déterminées à l'aide de l'équation de la courbe de calibration externe réalisée à partir d'une solution de rétinol purifiée par HPLC. Les concentrations obtenues sont ensuite corrigées par le rendement d'extraction qui doit être supérieur à 90%.

✓ **Contrôle de qualité**

La qualité des mesures a été effectuée à l'aide d'un pool de plasma interne.

1.6.2.3.5. Dosage de la Protéine C-Réactive (CRP) et de l'alpha-1-Acide Glycoprotéine (AGP)

✓ **Principe**

La Protéine C-Réactive (CRP) plasmatique contenue dans l'échantillon provoque une agglutination des particules de latex couvertes avec les anticorps anti-protéine C-réactive humains. L'agglutination des particules de latex est proportionnelle à la concentration en CRP et peut être quantifiée par turbidimétrie.

L'alpha-1 Acide Glycoprotéine (AGP) aussi appelée orosomucoïde, présente dans l'échantillon à doser, précipite en présence d'anticorps anti alpha-1 Acide Glycoprotéine humains. La dispersion de la lumière générée par les complexes antigène-anticorps est proportionnelle à la concentration en alpha-1 Acide Glycoprotéine de l'échantillon et peut être quantifiée par turbidimétrie.

✓ **Appareillage et réactifs**

L'appareil utilisé est un analyseur automatique Biosystems A15 (BioSystems S.A, Costa Brava 30, Barcelona, Spain) piloté par ordinateur. La protéine C-réactive est dosée par un kit (Réf 13921, Biosystems) contenant les réactifs A (un tampon de glycine à 0,1mol/L, pH 8,6 ; 2x16ml) et B (suspension de particules de latex sensibilisées avec les anticorps anti CRP humaine ; 2x4ml) et un standard (1x1ml) reconstitué avec de l'eau distillée.

L'AGP est analysé avec un Tampon Tris (50 mmol/L, pH 8,5) (Réf 31928, BioSystems S.A, Barcelona, Spain) contenant des anticorps de chèvre anti-AGP humains. Un standard (1x1ml ; Réf 31195, BioSystems S.A, Barcelona, Spain) est utilisé pour la courbe de calibration.

✓ **Mode opératoire**

Un volume de 100 µl d'échantillon (sérum, standard ou pool interne de plasma) est introduit dans une cupule disposée sur le plateau d'échantillons de l'appareil.

Pour la CRP, le mélange des réactifs A (16 ml) et B (4 ml) est disposé sur le plateau réservé aux réactifs. Au cours de la réaction, 3 µl de plasma sont prélevés par l'analyseur qui effectue automatiquement le mélange avec 440 µl de réactif. La CRP de l'échantillon réagit avec les anticorps anti-CRP et conduit à la formation de complexes antigène-anticorps entraînant une agglutination qui est mesurée par turbidimétrie.

Pour l'AGP, le réactif est disposé sur le plateau qui lui est réservé. Lors du dosage, 3µl de plasma sont aspirés par l'analyseur qui effectue automatiquement le mélange avec 300 µl de réactif. Il y a ainsi formation d'immunocomplexes qui sont mesurés par turbidimétrie. L'absorbance des complexes est proportionnelle à la concentration en AGP dans l'échantillon qui est calculée par interpolation avec la courbe de calibration effectuée en 5 points selon les indications données par le fabricant.

✓ **Contrôle de qualité**

La précision et la validité des mesures de CRP et d'AGP sont vérifiées grâce aux sérums Contrôle Rhumatoïde niveau I (3x1 ml, Réf. 31213, BioSystems), niveau II (3x1 ml, Réf. 31214, BioSystems) et à un sérum contrôle Randox (12 x 5ml, Réf. LAN4214, Randox). Les mesures sont validées lorsque les valeurs des différents contrôles sont dans les limites admises (± 2 écarts type). Le contrôle de la qualité interne des mesures de la CRP et de l'AGP est effectué à l'aide d'un pool de plasma interne. Les mesures sont faites en double pour l'AGP et sont validées si le coefficient de variation entre deux mesures est inférieur à 5%.

1.6.2.3.6. Définition des carences et des infections et/ou inflammation

L'anémie est définie chez les femmes enceintes ou allaitantes et chez les enfants de moins de 2 ans par Hb < 110 g/L. Chez la femme non enceinte non allaitante, elle est définie par un Hb < 120 g/L. La carence en fer est définie chez la femme et l'enfant de 6-23 mois par une concentration de ferritine plasmatique < 12 µg/L, alors qu'un déficit des réserves martiales est défini chez la femme allaitante par une ferritine plasmatique < 15 µg/L (WHO, 2011).

Une concentration de rétinol plasmatique < 1,05 µmol/L a été utilisée pour définir la carence marginale en vitamine A chez les mères et le seuil de < 0,7 µmol/L pour déterminer la prévalence de la carence en vitamine A chez les couples mère-enfant (WHO, 1996).

L'inflammation est définie comme une infection chronique si AGP ≥ 1 g/L et CRP < 5 mg/L, une infection aiguë si AGP < 1 g/L et CRP ≥ 5 mg/L ou une infection mixte si CRP > 5 mg/L et AGP > 1 g/L (Thurnham et al., 2003).

En raison de l'absence de relation obtenus après corrélation entre l'inflammation et la ferritine et le rétinol chez les mères, les prévalences de la carence en fer et en vitamine A sont estimées à partir des valeurs brutes de la ferritine et du rétinol. Chez les enfants, la carence en fer et en vitamine A ont été estimées avec les valeurs ajustées de ferritine et de rétinol à l'inflammation en utilisant l'approche de correction développée par BRINDA (Suchdev et al., 2016 ; Larson et al., 2017). Les valeurs de référence de la CRP et de l'AGP utilisées pour effectuer la correction de l'inflammation ont été dérivées des données de l'enquête nationale sur le statut de base en micronutriments au Sénégal (Ndiaye et al., 2015, 2017). Ces valeurs de référence sont 0,12 mg/L et 0,57 g/L pour les enfants âgés de 12 à 59 mois.

11. GESTION, SAISIE, CONTROLE DE QUALITE DES DONNEES ET ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les données sont conservées au Laboratoire de Nutrition de l'UCAD en version papier (questionnaires et fiches de collecte) et en version électronique. La saisie, le traitement et l'analyse statistique des données ont été effectués avec les logiciels Epi-info, version 7 (Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, USA), AnthroPlus version 1.04 (OMS, 2007), Excel 2003 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) et STATA/SE version 14.0 (STATA Corporation, Texas, USA). Les résultats des analyses sont exprimés en moyenne ± écart type et en pourcentage. Une analyse descriptive a permis de décrire les caractéristiques sociodémographiques, anthropométriques, la composition corporelle et l'alimentation des couples mère-enfant. Le test *t* de Student est utilisé pour comparer les moyennes et le test

Khi² de Pearson pour comparer les prévalences ou les pourcentages. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) associée à un test post hoc (Bonferroni, LSD) a permis de faire la comparaison des paramètres de plus de deux classes. Les relations entre les données anthropométriques et de composition corporelle ont été évaluées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson. La régression linéaire multiple avec sélection pas à pas a été utilisée pour identifier les associations entre les variables dépendantes (anthropométrie et de composition corporelle) et indépendantes (socioéconomiques, sanitaires et alimentaires) des couples mère-enfant. Toutes les conditions de l'analyse de régression multiple ont été vérifiées (linéarité du modèle, normalité de la distribution des résidus, homoscedasticité et valeurs aberrantes). Pour toutes ces analyses statistiques, un seuil de signification de 5% est retenu.

12. RESULTATS

3.1. Caractéristiques sociodémographiques de base des couples mère-enfant

Un total de 213 couples mère-enfant (6 - 8 mois) a été enrôlé à Sagna (n = 71), à Malem Hodar (n = 72) et à Kathiotte (n = 70) pour participer à cette étude. Parmi ces 213 couples mère-enfant, 1 de Malem Hodar et 2 de Kathiotte n'ont pas obtenu de données sur la composition corporelle, la consommation alimentaire et les caractéristiques sociodémographiques. Par ailleurs, les données de deux (2) nourrissons du village de Kathiotte ont été supprimées de la base de données car ils ne répondaient pas aux critères de contrôle qualité de la mesure de composition corporelle. L'analyse finale des données de base a porté sur 213 mères pour l'anthropométrie, le statut en micronutriments et le statut infectieux, et 210 mères pour la composition corporelle et les caractéristiques sociodémographiques, de santé et de morbidité. Chez les nourrissons, les analyses ont porté sur 213, 210 et 208 enfants respectivement pour l'anthropométrie, la consommation alimentaire et la composition corporelle.

Les caractéristiques sociodémographiques de base des couples mère-enfant sont présentées dans le **Tableau 9**. L'âge moyen des mères est de 25 ± 6 ans avec une prédominance de mères âgées de plus de 20 ans (78,1%). La plupart d'entre elles sont de l'ethnie Wolof et essentiellement des femmes au foyer. Un quart sont analphabètes ou n'ont jamais fréquenté l'école. Plus de 75% sont multipares. Parmi les nourrissons, l'effectif est comparable entre les garçons et les filles.

Tableau 9 : Caractéristiques sociodémographiques de base des couples mère-enfant

	% ou M ± ET
Mères	(n = 210)
Age (année)	25 ± 6
< 20 ans	21,9
≥ 20 ans	78,1
Profession	
Ménagère	80,5
AGR ¹	19,5
Ethnie	
Wolof	94,4
Autre (Sérére/Toucouleur)	5,6
Niveau d'éducation	
Aucun	24,3
Education formelle (primaire/moyen/secondaire)	15,7
Coranique	60,0
Parité	
Primipare	24,3
Multipare	75,7
Nombre d'enfants de moins de 5 ans	
1	24,3
2	10,9
3-4	64,8
Enfants	(n = 210)
Age (mois)	6,8 ± 0,8
Sexe (filles)	50,2

¹AGR : activité génératrice de revenus.

3.2. Etat physiologique, soins de santé et état sanitaire des couples mère-enfant

Moins de 50% des mères ont eu recours à la planification familiale avant la dernière grossesse et la plupart d'entre elles a bénéficié d'un suivi prénatal au cours de la dernière grossesse (**Tableau 10**). Plus de 50% des mères ont accouché dans un établissement de santé et ont reçu des soins pré et postnatals. Peu de mères ont déclaré avoir reçu une supplémentation en fer/folate après l'accouchement. La moitié des nourrissons, a reçu la vitamine A au cours des 6 derniers mois et la majorité a reçu le vaccin contre le BCG, la poliomyélite, le pentavalent et le pneumocoque de la naissance à 3 mois. Plus de 20% des nourrissons ont eu la fièvre et la diarrhée et 16,7% une infection respiratoire aiguë (IRA) au cours des deux dernières semaines précédant l'enquête. La prévalence du petit poids naissance enregistrée chez les mères ayant accouché dans les établissements de santé locaux est faible.

Tableau 10 : Etat physiologique, soins de santé et état sanitaire des couples mère-enfant

	% ou M ± ET
Mère	(n = 210)
Etat physiologique	
Allaitante	99,1
Non allaitante	0,9
Planning familial avant la dernière grossesse	46,2
Consultation	
Prénatale (au moins 2 CPN)	92,9
Postnatale (au moins 2 CPON)	91,2
Supplémentation en fer/acide folique après accouchement	11,0
Maladies (15 derniers jours)	41,4
Fièvre	14,3
Maux de ventre	9,5
Toux/difficultés respiratoires	0,9
Diarrhée	0,5
Autres maladies	26,7
Enfants	(n = 210)
Poids de naissance (g) (n = 137)	3140
Petit poids de naissance	6,6
Vaccination complète ¹	99,0
Supplémentation en VA (6 derniers mois)	52,1
Déparasitage (6 derniers mois)	21,6
Maladies (15 derniers jours)	53,6
Fièvre	22,5
Diarrhée	24,4
Infection respiratoire aiguë	16,7
Dermatoses	2,4

¹Vaccination au BCG, Polio, Pentavalent et Pneumocoque.

3.3. Alimentation

Au total, 99% des mères ont donné le colostrum à leurs nouveau-nés mais seul 30,1% d'entre elles ont allaité leurs enfants dans l'heure qui a suivi leur naissance (**Tableau 11**). Les principales raisons pour lesquelles le colostrum était administré sont les suivantes : le colostrum renforce l'état nutritionnel du nouveau-né (53,7%) et est le premier vaccin du nouveau-né (26%). Néanmoins, plus de la moitié (53%) des nourrissons ont reçu des aliments/liquides (eau, miel, lait de chèvre et préparations pour nourrissons) avant le premier allaitement. La tradition familiale explique 96,4% de l'adoption de cette pratique. Seuls 13,4% des nourrissons de moins de 6 mois ont été exclusivement allaités au sein. Presque toutes les mères (99%) ont continué d'allaiter leur nourrisson après six mois.

Seules 42% des mères ont initié l'alimentation complémentaire des enfants conformément aux recommandations de l'OMS (à partir de 6 mois), par contre les autres (58%) ont introduit des repas familiaux ou des bouillies de céréales de façon précoce (45,3% avant 6 mois) ou tardive (12,7% au-delà 6 mois). Plus de 40% des nourrissons ont reçu au moins le nombre minimal de repas la veille. Le score de diversité alimentaire (SDA) moyen des nourrissons est de $2,5 \pm 1,0$ et seul 15,8% ont atteint la diversité alimentaire minimale ($SDAM \geq 4$ groupes alimentaires). La proportion de nourrissons ayant atteint une alimentation minimale acceptable est faible (7,2%).

L'analyse du régime alimentaire montre que les principaux aliments de complément donnés aux nourrissons sont ceux du groupe des céréales (50%), en général sous forme de bouillie. Les autres groupes d'aliments consommés par les nourrissons concernent pour la plupart ceux issus du plat familial (légumes, légumineuse, poisson, pâte d'arachide) et tournent autour de 20 à 25%. Le groupe lait/produits n'est consommé que par 19% des enfants et c'est souvent du lait en poudre utilisé dans la préparation des bouillies infantiles. Enfin la consommation d'œufs est assez rare chez les enfants à 6-8 mois (10%).

Chez les mères, le score de diversité alimentaire (SDAF) moyen des mères est de $5,2 \pm 1,5$ et 60% d'entre elles ont atteint la diversité alimentaire minimale ($SDAF \geq 5$ groupes alimentaires). Leur profil alimentaire est marqué par la consommation des cinq (5) groupes d'aliments constitués par les féculents, le poisson frais ou fumé séché, la pâte d'arachide, la tomate et le niébé. L'huile végétale ou l'huile de palme font partie aussi des groupes d'aliments les plus consommés par les mères dans les villages (52%). A l'exception du poisson, la consommation des autres produits d'origine animale est faible. Le lait/produits

laitiers ont été consommé que par 22% des mères alors que la consommation d'œufs est faible et ne concerne que 7% d'entre elles.

Tableau 11 : Alimentation des couples mère-enfant

	% ou M ± ET
Mère	(n = 210)
Score de diversité alimentaire	5,2 ± 1,5
Diversité alimentaire minimale ¹	67,6
Enfant	(n = 210)
Ayant reçu le colostrum	99,0
Initiation précoce à l'allaitement maternel	30,1
Allaitement maternel exclusif	13,4
Poursuite de l'allaitement maternel	99,1
Introduction d'aliments de compléments	71,7
Précoce (avant l'âge de 6 mois)	45,3
Appropriée (à l'âge de 6 mois)	42,0
Tardive (après l'âge de 6 mois)	12,7
Nombre de repas reçu	1,2 ± 0,9
Fréquence minimale des repas ²	33,1
Score de diversité alimentaire	2,2 ± 1,6
Diversité alimentaire minimale ¹	15,8
Alimentation minimale acceptable ³	7,2

¹Mère : score ≥ 5 groupes d'aliments ; Enfant : score ≥ 4 groupes d'aliments.

²Enfant allaité : ≥ 3 repas ; enfant non allaité : ≥ 4 repas.

³Enfant allaité : ≥ 3 repas & score ≥ 4 groupes d'aliments ; enfant non allaité : ≥ 4 repas & score ≥ 4 groupes d'aliments.

3.4. Anthropométrie et composition corporelle

L'IMC moyen des mères est de 21,3 ± 3,4 kg/m² et -0,4 ± 0,9 z score, respectivement pour le groupe d'âge de 20 ans et plus et des moins de 20 ans (**Tableau 12**). Selon la classification de

l'OMS, 16,4% des mères présentent un déficit énergétique, 11% sont en surpoids et 1,9% sont obèses. La masse maigre (MM) moyenne est comparable entre les groupes d'âge des mères, mais la masse grasse (MG) et le %MG des mères âgées de 20 ans et plus sont significativement plus élevés que ceux des mères de moins de 20 ans. L'excès d'adiposité (%MG > 35%) a touché plus de 30% des mères, sans aucune différence entre les groupes d'âges.

Chez les nourrissons, l'indice PTZ des garçons était plus faible que celui des filles ($P = 0,034$), toutefois, la prévalence de l'émaciation est restée comparables entre garçon et fille (**Tableau 12**). Les garçons ont une MM et un indice de masse maigre plus élevés ($P < 0,01$) et des pourcentages de MG plus faibles ($P = 0,039$) comparés aux filles.

Tableau 12 : Anthropométrie et composition corporelle des couples mère-enfant

Mères	Toutes	< 20 ans	≥ 20 ans	
Anthropométrie‡	(n = 213)	(n = 43)	(n = 170)	P
IMC (kg/m ²)	21,3 ± 3,4	-	21,3 ± 3,4	-
IMC z-score	-0,4 ± 0,9	-0,4 ± 0,9	-	-
Déficit énergétique, %	16,4	0,0	21,0	
Surpoids, %	11,7	10,9	12,0	
Obèse, %	1,9	0,0	2,4	
Composition corporelle	(n = 210)	(n = 46)	(n = 164)	P
Masse maigre (kg)	40,9 ± 4,9	40,5 ± 4,9	41,1 ± 4,9	0,484
Masse grasse (kg)	16,2 ± 6,5	14,0	16,8	0,010
% Masse grasse (%MG)	27,5 ± 6,9	25,2	28,1	0,010
Excès d'adiposité†, %	33,3	21,7	36,6	0,059
Nourrissons	Tous	Garçons	Filles	
Anthropométrie‡	(n = 213)	(n = 106)	(n = 107)	P
PTZ	-0,35 ± 1,0	-0,5 ± 1,0	-0,2 ± 1,0	0,034
Emaciation, %	4,2	6,7	1,9	0,137
Obèse, %	2,3	1,9	2,8	-
TAZ	-0,51 ± 1,1	-0,6 ± 1,1	-0,4 ± 1,1	0,137
Retard de croissance, %	9,9	10,4	9,3	0,136
Composition corporelle	(n = 210)	(n = 104)	(n = 104)	P
Masse maigre (kg)	5,5 ± 0,7	5,7 ± 0,7	5,3 ± 0,7	<0,001
Masse grasse (kg)	1,9 ± 0,6	1,9 ± 0,6	1,9 ± 0,7	0,680
% Masse grasse (%MG)	25,7 ± 6,5	24,8 ± 5,8	26,6 ± 7,0	0,039
Indice de masse maigre (kg/m ²)	12,2 ± 1,1	12,5 ± 1,0	12,0 ± 1,2	0,004
Indice de masse grasse (kg/m ²)	4,3 ± 1,3	4,2 ± 1,2	4,4 ± 1,4	0,136

IMC : indice de masse corporelle ; PTZ : poids-taille z-score ; TAZ : taille-âge z-score.

‡Déficit énergétique : IMC < 18,5 kg/m² & IMC z-score < -2 ; Surpoids : 25 ≤ IMC < 30 kg/m² & 1 < IMC z-score ≤ 2 ; Obèse : IMC ≥ 30 kg/m² & IMC z-score > +2.

†Excès d'adiposité : %MG > 35%.

P : test-t de Student ou de Chi2 selon l'âge des mères ou le sexe des nourrissons.

3.5. Statut biologique et infectieux

Les moyennes d'hémoglobine, de ferritine et de rétinol sont comparables entre les groupes d'âge chez les mères (**Tableau 13**). Au total, 23,9%, 37,1% et 6,6% des mères sont respectivement anémiques, carencées en fer et ayant des réserves faibles en fer. La prévalence de la carence en vitamine A est faible (6,1%), mais les réserves faibles en vitamine A touchent près d'un tiers des femmes (27,7%). Ces prévalences sont comparables entre les groupes d'âge.

Chez les nourrissons, le taux d'hémoglobine moyen est de $9,4 \pm 1,6$ g/dL, mais la moyenne d'hémoglobine des filles est significativement plus élevée que celle des garçons ($P = 0,029$). Presque tous les nourrissons sont anémiques (89%) et carencés en fer (97%). Par contre, la prévalence de la carence en vitamine A est faible (1,2%). Aucune différence n'est trouvée entre garçons et filles pour ces paramètres biologiques.

L'inflammation affecte plus de 30% des mères, quel que soit leur groupe d'âge, avec une prédominance pour l'infection aiguë. Il en est de même pour les enfants où la plupart d'entre eux sont touchés par une inflammation avec une prédominance d'infection chronique et mixte.

Tableau 13 : Statut biologique et infectieux des couples mère-enfant

Mères	Toutes	< 20 ans	≥ 20 ans	
Statut infectieux§	(n = 213)	(n = 43)	(n = 170)	P
Infection aiguë, %	23,9	23,9	23,9	0,373
Infection chronique, %	2,8	6,5	1,8	
Infection mixte, %	5,6	6,5	5,4	
Statut en micronutriments 	(n = 213)	(n = 46)	(n = 170)	P
Hémoglobine (g/dL)	11,7 ± 1,4	11,8 ± 0,9	11,6 ± 1,4	0,388
Anémie, %	23,9	19,6	25,1	0,432
Ferritine plasmatique (µg/L)¶	16,4 [14,3 ; 18,6]	13,8 [10,7 ; 17,8]	17,1 [14,7 ; 20,0]	0,183
Carence en fer, %	37,1	37,0	37,1	0,399
Réserves faibles, %	6,6	10,9	5,4	
Rétinol plasmatique (µmol/L)	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,3	0,759
Carence en vitamine A, %	6,1	6,5	6,0	0,961
Réserves faibles, %	27,7	26,1	28,1	
Nourrissons	Tous	Garçons	Filles	
Statut infectieux§	(n = 169)	(n = 87)	(n = 82)	P
Infection aiguë, %	9,1	8,3	10,0	0,475
Infection chronique, %	32,9	36,9	28,7	
Infection mixte, %	28,0	29,8	26,2	
Statut en micronutriments 	(n = 169)	(n = 87)	(n = 82)	P
Hémoglobine (g/dL)	9,4 ± 1,6	9,1 ± 1,7	9,7 ± 1,4	0,029
Anémie, %	89,3	88,5	90,2	0,714
Ferritine plasmatique (µg/L)¶	10,7 [9,3 ; 12,4]	10,1 [8,4 ; 12,2]	11,4 [9,2 ; 14,1]	0,405
Ferritine plasmatique ajusté (µg/L)¶	0,5 [0,4 ; 0,6]	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,5 [0,4 ; 0,9]	0,097
Carence en fer, %	96,9	100	93,7	0,020
Rétinol plasmatique (µmol/L)	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,020
Rétinol plasmatique ajusté (µmol/L)	1,6 ± 0,4	1,6 ± 0,4	1,6 ± 0,4	0,320
Carence en vitamine A, %	1,2	2,0	0	-

§Inflammation : aiguë (CRP >5 mg/l & AGP <1 g/l) ; chronique (CRP <5 mg/l & AGP >1 g/l) ; mixte (CRP >5 mg/l & AGP >1 g/l).

||Anémie : Hb <11g/dl ; carence en fer : ferritine <12 µg/L ; réserve faible en fer : ferritine <15 µg/L ; carence marginale en vitamine A : rétinol <1,05 µmol/L ; carence en vitamine A : rétinol <0,7 µmol/L.

¶Moyenne géométrique et [IC à 95%].

P : test-t de Student selon l'âge des mères ou le sexe des nourrissons.

3.6. Corrélations entre le statut nutritionnel de la mère et de l'enfant

La corrélation entre l'état nutritionnel des mères et des nourrissons montre que l'IMC ($r = 0,16$, $P = 0,039$) et la MM ($r = 0,25$, $P = 0,002$) des mères sont significativement corrélés à la MM des nourrissons (**Tableau 14**). A l'exception de l'IMC de la mère, tous les paramètres de composition corporelle de la mère présentent une corrélation significative avec l'indice TAZ du nourrisson.

Tableau 14 : Corrélations entre le statut nutritionnel de la mère et de l'enfant

	Nourrissons				Mères			
	PTZ	TAZ	MM	MG	%MG	IMC	MM	MG
Nourrissons								
PTZ								
TAZ	0,24**							
MM	0,41**	0,54**						
MG	0,68**	0,41**	0,13					
%MG	0,49**	0,22**	-0,25**	0,91**				
Mères								
IMC	0,04	0,15	0,16*	-0,02	-0,07			
MM	0,06	0,23**	0,25**	0,03	-0,07	0,61**		
MG	0,01	0,20**	0,08	0,04	0,02	0,90**	0,41**	
%MG	0,01	0,18**	0,03	0,04	0,04	0,77**	0,12	0,94**

PTZ : poids-taille z-score ; TAZ : taille-âge z-score ; MM : masse maigre ; MG : masse grasse ; IMC: indice de masse corporelle.

** $P < 0,05$; ** $P < 0,01$.*

3.7. Déterminants de l'état nutritionnel des mères

Dans les analyses bivariées, l'IMC, la MG et le %MG sont significativement plus élevés chez les mères qui ont un statut professionnel (AGR), effectué le planning familial avant la dernière grossesse, suivi des soins prénataux au cours de la dernière grossesse et un nombre élevé d'enfants en vie (**Tableau 15**). L'analyse de régression simple a également montré que l'IMC augmente avec l'âge des mères ($P < 0,001$). De plus, les mères qui sont multipares ont un IMC ($p = 0,002$) et une MG ($P = 0,022$) significativement plus élevés que celles qui sont primipares. En ce qui concerne la MM, les mères qui sont multipares, qui ont une AGR et 3 à 4 enfants en vie ont des valeurs de MM plus élevées que leurs paires primipares, ménagères et ayant 1 à 2 enfants en vie. Les résultats de la régression multiple montrent que l'activité

professionnelle (AGR), les soins prénataux et l'âge de la mère prédisent positivement l'IMC de la mère ($R^2 = 20,2\%$, $P < 0,001$), alors que la MG ($R^2 = 15,5$; $P < 0,001$) et le %MG ($R^2 = 14,3$ %, $P < 0,001$) sont positivement associés à l'âge et à la profession de la mère (AGR) (**Tableau 16**). Les résultats ont également montré que l'absence de consultation prénatale diminue de -2,6 fois l'IMC des mères. La MM des mères n'a aucune association avec les variables indépendantes maternelles dans la régression multiple.

Tableau 15 : Analyse bivariée entre l'état nutritionnel et les caractéristiques sociodémographiques, sanitaires et alimentaires des mères

	IMC (n = 164)	MM (n = 210)	MG (n = 210)	%MG (n = 210)
Age				
<20 ans	-	40,5 ± 4,5	14,0 ± 4,6	25,2 ± 1,6
≥20 ans	0,2 (0,1 ; 0,3) [†]	41,1 ± 5,0	16,8 ± 6,8	28,1 ± 7,0
<i>P</i>	<0,001	0,484	0,010	0,010
Parité				
Primipare	19,4 ± 2,3	39,6 ± 5,0	14,3 ± 5,0	26,0 ± 5,8
Multipare	21,7 ± 3,5	41,4 ± 4,8	16,7 ± 6,8	27,9 ± 7,2
<i>P</i>	0,002	0,024	0,022	0,086
Profession				
Ménagère	20,9 ± 3,2	40,6 ± 4,7	15,4 ± 6,1	26,8 ± 6,7
AGR	22,7 ± 4,0	42,4 ± 5,6	19,1 ± 7,2	30,2 ± 6,9
<i>P</i>	0,005	0,037	0,001	0,005
Niveau d'éducation				
Education non formelle	21,4 ± 3,3	41,1 ± 5,0	16,5 ± 6,3	27,9 ± 6,7
Education formelle	21,1 ± 3,4	39,6 ± 4,5	16,4 ± 6,1	28,5 ± 6,8
Coranique	21,3 ± 3,5	41,2 ± 4,9	15,9 ± 6,7	27,1 ± 7,0
<i>P</i>	0,914	0,249	0,843	0,522
Planning familial				
Oui	21,8 ± 3,8	41,5 ± 5,1	17,7 ± 7,7	29,0 ± 7,9
Non	20,7 ± 2,9	40,4 ± 4,6	14,8 ± 5,0	26,3 ± 5,7
<i>P</i>	0,037	0,111	0,001	0,006
Consultation prénatale				
Oui	24,2 ± 4,5	42,6 ± 4,2	20,7 ± 9,8	31,2 ± 8,7
Non	21,1 ± 3,3	40,8 ± 4,9	15,8 ± 6,1	27,2 ± 6,7
<i>P</i>	0,002	0,178	0,005	0,030
Nombre d'enfants				
1	19,6 ^a ± 2,2	39,8 ^a ± 4,9	14,5 ± 5,0	26,2 ^a ± 5,8
2	21,3 ^{ab} ± 3,1	38,8 ^a ± 4,4	17,8 ± 7,1	30,5 ^b ± 6,7
3-4	21,7 ^b ± 3,6	41,7 ^b ± 4,8	16,5 ± 6,8	27,4 ^{ab} ± 7,2
<i>P</i>	0,028	0,004	0,073	0,039
Diversité alimentaire minimale				
Oui	21,4 ± 3,6	40,9 ± 5,1	16,1 ± 6,5	27,5 ± 7,1
Non	21,3 ± 3,4	41,1 ± 4,5	16,2 ± 6,2	27,4 ± 6,4
<i>P</i>	0,844	0,737	0,993	0,934

IMC : indice de masse corporelle ; MM : masse maigre ; MG : masse grasse ; AGR : activité génératrice de revenus.

^{a,b} Dans une colonne les valeurs moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes.

[†] Valeur β et IC à 95% à partir de la régression linéaire ; *P* : test-t de Student ; test ANOVA ou régression linéaire.

Tableau 16 : Régression multiple entre l'état nutritionnel et les variables indépendantes chez les mères

	Coefficient β	IC à 95%	P
IMC ($R^2 = 20,2\%$, $n = 164$)			
Age en année	0,2	0,1 ; 0,3	<0,001
Profession			
Ménagère	0		
AGR	1,5	0,4 ; 2,7	0,010
Consultation prénatale			
Oui	0		
Non	-2,6	-4,5 ; -0,8	0,006
MG ($R^2 = 15,5\%$, $n = 210$)			
Age	0,3	0,2 ; 0,5	<0,001
Profession			
Ménagère	0		
AGR	2,7	0,6 ; 4,8	0,013
%MG ($R^2 = 14,3\%$, $n = 210$)			
Age	0,4	0,2 ; 0,5	<0,001
Profession			
Ménagère	0		
AGR	2,3	0,1 ; 4,5	0,043

IMC : indice de masse corporelle ; MM : masse maigre ; MG : masse grasse, AGR : activité génératrice de revenus.

R^2 = coefficient de détermination.

P : régression linéaire multiple avec une approche pas à pas.

3.8. Déterminants de l'état nutritionnel des nourrissons

L'analyse bivariée a montré que de l'indice PTZ ($P = 0,034$) et le %MG ($P = 0,039$) sont positivement associés au sexe féminin, alors qu'une MM élevée ($P < 0,001$) est associée au sexe masculin (**Tableau 17**). De plus, la diversité alimentaire des nourrissons est associée à une augmentation du PTZ, de la MG et du %MG. Une association négative est observée entre l'indice TAZ et la supplémentation en vitamine A.

Dans l'analyse de régression multiple, la diversité alimentaire et le sexe du nourrisson (fille) demeurent les facteurs positivement associés au PTZ ($R^2 = 7,8\%$, $P < 0,001$) (**Tableau 18**). La supplémentation en vitamine A et la diversité alimentaire restent les seules variables prédictives de l'indice TAZ ($R^2 = 4,1\%$, $P = 0,013$). Concernant la composition corporelle, la

diversité alimentaire est le seul facteur positivement associé à la MG ($R^2 = 4,9\%$, $P = 0,006$) et au %MG ($R^2 = 6,8\%$, $P = 0,006$) des nourrissons.

Tableau 17 : Analyse bivariée entre l'état nutritionnel et les caractéristiques sanitaires et alimentaires des nourrissons

	PTZ (n = 209)	TAZ (n = 209)	MM (n = 207)	MG (n = 207)	%MG (n = 207)
Sexe					
Garçons	-0,5 ± 1,0	-0,6 ± 1,1	5,7 ± 0,7	1,9 ± 0,6	24,8 ± 5,8
Filles	-0,2 ± 1,0	-0,4 ± 1,1	5,3 ± 0,7	1,9 ± 0,7	26,6 ± 7,0
<i>P</i>	0,034	<i>0,137</i>	<0,001	<i>0,681</i>	0,039
Diversité alimentaire minimale					
Oui	-0,1 ± 1,0	-0,2 ± 1,2	5,6 ± 0,7	2,2 ± 0,7	27,8 ± 6,5
Non	-0,4 ± 1,0	-0,6 ± 1,1	5,4 ± 0,7	1,9 ± 0,6	25,3 ± 6,4
<i>P</i>	0,005	<i>0,101</i>	<i>0,379</i>	0,008	0,042
Malade (15 derniers jours)					
Oui	-0,5 ± 1,0	-0,5 ± 1,1	5,5 ± 0,7	1,9 ± 0,6	25,0 ± 6,5
Non	-0,2 ± 1,0	-0,5 ± 1,1	5,4 ± 0,7	2,0 ± 0,6	26,5 ± 6,4
<i>P</i>	0,050	<i>0,931</i>	<i>0,534</i>	<i>0,177</i>	<i>0,092</i>
SVA* (6 derniers mois)					
Oui	-0,4 ± 1,1	-0,7 ± 1,1	5,5 ± 0,8	1,9 ± 0,6	25,0 ± 6,5
Non	-0,3 ± 1,0	-0,3 ± 1,1	5,4 ± 0,6	2,0 ± 0,6	26,5 ± 6,4
<i>P</i>	<i>0,405</i>	0,030	<i>0,402</i>	<i>0,154</i>	<i>0,092</i>
Vaccination complète‡					
Oui	-0,2 ± 1,0	-0,5 ± 1,1	5,5 ± 0,7	1,9 ± 0,6	25,6 ± 6,5
Non	-0,3 ± 1,0	-0,7 ± 1,2	5,2 ± 1,0	2,0 ± 0,6	28,2 ± 6,6
<i>P</i>	<i>0,754</i>	<i>0,729</i>	<i>0,293</i>	<i>0,623</i>	<i>0,313</i>

PTZ : poids-taille z-score ; TAZ : taille-âge z-score ; MM : masse maigre ; MG : masse grasse

**SVA : supplémentation en vitamine A.*

‡Vaccination au BCG, Polio, Pentavalent et Pneumocoque.

P : test-t de Student

Tableau 18 : Régression multiple entre l'état nutritionnel et les variables indépendantes chez les nourrissons

	Coefficient β	95% IC	P
PTZ ($R^2 = 7,8\%$, $n = 208$)			
Sexe			
Garçons	0		
Filles	0,3	0,03 ; 0,58	0,027
Diversité alimentaire minimale			
Non	0		
Oui	0,5	0,15 ; 0,91	0,006
Malade (15 derniers jours)			
Oui	0		
Non	0,3	-0,00 ; 0,55	0,050
TAZ ($R^2 = 4,1\%$, $n = 208$)			
Diversité alimentaire minimale			
Non	0		
Oui	0,4	0,02 ; 0,84	0,041
SVA (6 derniers mois)			
Non	0		
Oui	0,3	0,05 ; 0,65	0,022
MG ($R^2 = 4,9\%$, $n = 206$)			
Diversité alimentaire minimale			
Non	0		
Oui	0,4	0,12 ; 0,60	0,004
SVA (6 derniers mois)			
Non	0		
Oui	0,1	-0,02 ; 0,33	0,088
%MG ($R^2 = 6,8\%$, $n = 206$)			
Sexe			
Garçons	0		
Filles	1,6	-0,14 ; 3,37	0,071
Diversité alimentaire minimale			
Non	0		
Oui	2,8	0,42 ; 5,27	0,022
Malade (15 derniers jours)			
Oui	0		
Non	1,5	-0,26 ; 3,25	0,094
SVA (6 derniers mois)			
Non	0		
Oui	1,6	-0,16 ; 3,37	0,074

PTZ : poids-taille z-score ; TAZ : taille-âge z-score ; MG : masse grasse ; SVA : supplémentation en vitamine A. R^2 = coefficient de détermination.

P : régression linéaire multiple avec une approche pas à pas.

13. DISCUSSION

Cette étude présente la conception, la mise en œuvre et les résultats (situation de base) de l'étude d'impact de l'agriculture sensible à la nutrition (ASN) sur l'alimentation, la santé et l'état nutritionnel des mères et des enfants en milieu rural à Kaffrine au Sénégal. Pour la première fois en Afrique, dans le cadre d'un projet de recherche sur l'ASN, en plus de l'anthropométrie, la composition corporelle (masse grasse et masse maigre) a été mesurée simultanément chez des couples mère-enfant en utilisant une technique de référence, la dilution au deutérium (DID). Les résultats montrent que la malnutrition (émaciation et retard de croissance) est présente chez les nourrissons à un stade précoce (6 à 8 mois). Les taux de malnutrition trouvés dans ces villages de Kaffrine sont comparables aux prévalences nationales de l'émaciation (5,2%) et du retard de croissance (10,5%) rapportées lors de la dernière enquête EDS-continue chez les nourrissons âgés de 6 à 9 mois (ANSD, 2018). Les causes probables sont une morbidité fréquente, des pratiques d'allaitement (initiation précoce et allaitement maternel exclusif) et d'alimentation complémentaire inappropriées fortement influencées par des facteurs socioculturels, en particulier ceux liés aux décideurs de la famille. En effet, dans cette communauté, les aliments semi-solides et solides sont généralement introduits dans l'alimentation des nourrissons avant l'âge de 6 mois (à 4-5 mois) et sont principalement monotones et à base de céréales avec une faible consommation d'aliments d'origine animale, de fruits et de légumes.

L'étude a révélé des différences significatives de la masse maigre, de la masse grasse et de l'indice de masse maigre entre les garçons et les filles, probablement en raison de l'influence du sexe sur la composition corporelle qui intervient au cours de la croissance, comme l'ont rapporté Wells & Fewtrell (2008). L'étude de base a également mis en évidence la coexistence entre le déficit énergétique et le surpoids chez les mères en milieu rural. En effet, la malnutrition (faible IMC) est apparente chez les mères plus âgées (≥ 20 ans) avec une prévalence comparable à celle de 23,5% rapportée par l'enquête SMART (DAN, 2015). L'une des principales causes du déficit énergétique chez les mères pourrait être leur faible statut économique, qui peut contribuer de manière significative à leur mauvais état nutritionnel et celui de leurs enfants en raison de leur accès limité à des aliments riches en nutriments (Lartey, 2008 ; Senbanjo et al., 2013). Le surpoids maternel et l'excès de masse grasse mesuré par DID ont également été observés dans cette étude et sont en accord avec plusieurs études antérieures selon lesquelles la malnutrition chez les enfants est parfois associée à l'obésité et au surpoids des mères dans les pays en transition nutritionnelle (Black et al., 2013).

Chez les mères, l'âge, la profession et les soins prénataux sont apparus comme les principaux prédicteurs de leurs paramètres anthropométriques et de composition corporelle. Une variation de la maigreur a été observée entre les différents groupes d'âge. En effet, les mères adolescentes sont plus susceptibles d'être maigres que les mères plus âgées, comme l'ont montré des études en Ethiopie (Mulugeta et al., 2009 ; Yetubia et al., 2010). Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que lors de la croissance chez les adolescentes, il y a une demande accrue en éléments nutritifs essentiels, par conséquent, si les besoins ne sont pas satisfaits, cela peut affecter la composition corporelle (Wassie et al., 2015). Avoir une activité génératrice de revenus (agriculture, commerce et couture) est également apparu comme un prédicteur d'un meilleur état nutritionnel des mères. Une étude transversale réalisée au Brésil a montré que l'absence d'activités professionnelles génératrices de revenus chez les mères les expose à un déficit énergétique (Thurnham et al., 2015 ; Silva et al., 2017). Donc, l'autonomisation des femmes par le biais d'une augmentation de leurs revenus pourrait être un moyen efficace pour leur permettre d'acheter des aliments variés, en particulier des aliments d'origine animale, pour ainsi améliorer la diversité de leur régime alimentaire. Par ailleurs, l'absence de soins prénataux chez les mères affecte négativement l'IMC des mères. Ce résultat corrobore ceux obtenus en Inde par Indira et Kantha (2015), où les auteurs ont montré une association positive et significative entre l'IMC des mères et les prestations de soins de santé pré et postnatales délivrées, en particulier la supplémentation en fer/acide folique et en protéines. Une éducation sur les soins de santé pré et postnatales recommandée aux mères et à leurs familles et aux communautés, ainsi que des connaissances nutritionnelles appropriées pendant la période prénatale et postnatale, pourrait être une solution pour améliorer les résultats en matière de santé et de nutrition des mères et de leurs enfants.

Nous avons également observé une association positive et significative entre la MM des enfants et l'IMC et la MM des mères, ce qui confirme la relation étroite existante entre l'état nutritionnel de la mère et celui de son enfant. De plus, une association positive et significative a été trouvée entre l'indice TAZ des enfants et la MM, la MG et le %MG des mères. Ces résultats confirment ceux trouvés dans d'autres études épidémiologiques qui ont démontré l'influence de l'état nutritionnel de la mère sur la croissance linéaire de son enfant (Lander et al., 2012 ; Addo et al., 2013 ; Negash et al., 2015). En effet, dans une étude menée au Brésil, le poids et la taille de la mère avaient un impact significatif sur l'état nutritionnel des enfants (Lander et al., 2012). En Ethiopie, l'enquête Démographique et de Santé menée en 2011 a montré que l'émaciation était plus fréquente chez les enfants de mères ayant un IMC faible

(CSA, 2011). Ces résultats suggèrent que les stratégies d'amélioration de la nutrition maternelle pourraient jouer un rôle important dans la prévention de la malnutrition infantile.

Nos résultats ont également révélé une association positive et significative entre l'état nutritionnel des enfants (PTZ, TAZ, MG et %MG) et la diversité alimentaire ($DDS \geq 4$ groupes alimentaires). Ces résultats confirment les conclusions d'études antérieures (Ruel & Menon 2002 ; Armond & Ruel, 2007 ; Bork et al., 2012). Au Sénégal, Bork et al. (2012) ont montré que l'indice TAZ est l'alimentation des enfants, soulignant l'importance de promouvoir des pratiques optimales d'alimentation pour les jeunes enfants, en particulier les bonnes pratiques d'allaitement, une diversification alimentaire avec des aliments riches en nutriments et une atteinte du nombre minimal de repas.

Dans notre étude, une forte prévalence d'anémie et de carence en fer a été trouvée chez les nourrissons confirmant les résultats des études antérieures menées au niveau national (COSFAM/MI/UCAD, 2012 ; ANSD, 2018). Ce constat est en accord avec les données des études indonésiennes et africaines (Diana et al., 2017 ; Engle-Stone et al., 2017 ; Abizari et al., 2017). Les causes directes pourraient être liées aux pratiques d'allaitement maternel et d'alimentation complémentaire inappropriées ainsi qu'à la fréquence des maladies (diarrhée, infections respiratoires et rougeole) dans un contexte général de pauvreté (Black et al., 2008 ; Khan et al., 2015). Pour l'anémie, la prévalence trouvée chez les enfants est supérieure à celle rapportée dans la dernière enquête EDS-continue (ANSD, 2018), ce qui suggère que l'anémie demeure toujours un problème de santé publique dans ces villages ruraux du Sénégal. Pour le fer, la concentration en ferritine diffère selon la présence et le stade du processus inflammatoire (Silveira et al., 2010). En utilisant la correction de régression du BRINDA pour ajuster la ferritine à l'inflammation, nous avons constaté que la ferritine sérique est influencée de manière significative par l'infection et diminue lorsqu'elle est ajustée par rapport à l'inflammation. Dans cette étude, une prévalence élevée d'inflammation infraclinique a été observée chez les nourrissons et confirme les résultats antérieurs obtenus par l'équipe de nutrition de l'UCAD au niveau national (COSFAM/MI/UCAD, 2012). La prévalence de la carence en vitamine A est faible chez les nourrissons. Ce dernier résultat pourrait être dû à la mise en œuvre du programme de la supplémentation biannuelle en vitamine A chez les enfants âgés de 6 à 59 mois, comme recommandée par l'OMS (WHO, 2011). En effet, plus de la moitié des enfants ont été supplémentés en vitamine A au cours des 6 derniers mois précédant cette étude. La supplémentation en vitamine A peut potentiellement augmenter la concentration de rétinol et réduire la mortalité et la morbidité dues aux maladies infectieuses telles que la diarrhée et la rougeole (WHO, 2011 ; Imdad et al., 2011 ; Paiva et al., 2012).

Cependant, dans cette étude, les résultats ont montré que les enfants n'ont pas reçu la vitamine A en âge prescrit (à 6 mois). En effet, certains enfants l'ont reçue de façon précoce avant 6 mois (à 5 mois) et d'autres tardivement après 6 mois (7 à 8 mois). Ce dysfonctionnement pourrait expliquer le lien négatif obtenu entre la supplémentation en vitamine A et l'indice TAZ dans cette étude.

Concernant le statut biologique des mères, nos résultats montrent la présence d'inflammation coexistant avec l'anémie, la carence en fer et les faibles réserves hépatiques en vitamine A. Ces résultats confirment les données de la première enquête nationale sur le statut en micronutriments (COSFAM/MI/UCAD, 2012) mettant en évidence une inflammation et des carences en fer et en vitamine A concomitantes chez les femmes en âge de procréer au Sénégal. Cette prévalence élevée de carences pourrait s'expliquer par leur faible statut socio-économique et sanitaire associé à une alimentation non diversifiée (Ndiaye et al., 2017).

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que la malnutrition (retard de croissance et émaciation), l'anémie, la carence en fer et les maladies infectieuses sont déjà présentes chez les nourrissons à un stade précoce. Ils montrent également une association positive et significative entre le statut nutritionnel de la mère et celui de l'enfant. De plus, les résultats soulignent le besoin critique de gérer les déterminants socioculturels de l'allaitement maternel et de l'alimentation complémentaire dans cette communauté. La mise en œuvre d'une agriculture sensible à la nutrition, intégrant la production d'aliments d'origine animale, pourrait améliorer les statuts nutritionnels et sanitaires de la mère et de l'enfant en zone rurale. En outre, des efforts sont nécessaires pour promouvoir des pratiques d'allaitement et d'alimentation appropriées en tenant compte des bonnes pratiques d'hygiène pour la prévention des infections infantiles.

Ce travail a fait l'objet d'un manuscript : *Impact of nutrition-sensitive agriculture on maternal and child (6-23 months) malnutrition in Kaffrine rural areas, Senegal: Study protocol and baseline data*. **Abdou Badiane**, Adama Diouf, Ndeye S Cissé, Papa MDD Sylla, Nicole Idohou-Dossou, Laure Tall, Kandoura Noba, Abdou Salam Sall, Guy Mergeai, Isabelle Godin, Salimata Wade, Philippe Donnen. **Public Health Nutrition. (en cours de révision)**

CHAPITRE V
IMPACT DE L'AGRICULTURE SENSIBLE A LA NUTRITION SUR
L'ETAT DE SANTE, L'ALIMENTATION, L'ANTHROPOMETRIE ET
LA COMPOSITION CORPORELLE DES MERES ET DE LEURS
ENFANTS A 12, 18 ET 23 MOIS

14. RAPPEL METHODOLOGIQUE

Dans le cadre de cette thèse, l'évaluation de l'impact de l'agriculture sensible à la nutrition est effectuée comparativement entre le village de Sagna, village d'intervention, et le village de Kathiotte, village témoin ou contrôle. La nouvelle stratégie de communication étant toujours en cours dans le village de Malem Hodar, certaines données ne sont pas encore disponibles. La mesure d'impact a porté sur l'état de santé, l'alimentation, l'anthropométrie et la composition corporelle des mères et de leurs enfants à 12, 18 et 23 mois.

15. RESULTATS

2.1. Etat de santé des couples mère-enfant

Le **Tableau 19** présente l'évolution des données sur l'état de santé des couples mère-enfant des villages de Sagna et Kathiotte. Les résultats montrent que la recommandation sur l'espacement des naissances est respectée par la majorité des mères. Cependant, 18 mères sont tombées enceintes au cours du suivi, dont 4 mères à Sagna avant l'âge de 18 mois de l'enfant et 14 mères à Kathiotte (4 avant l'âge de 18 mois et 10 entre 18 et 23 mois).

Concernant les problèmes de santé, les affections les plus récurrentes chez les mères dans les deux villages sont la fièvre, les maux de ventre, la diarrhée et les maux de tête. Pour presque toutes les affections, les prévalences relevées sont comparables entre les deux villages, de l'enrôlement à 23 mois de suivi, sauf pour les maux de tête où on note une différence significative à 18 mois entre Sagna (11,8%) et Kathiotte (38,1%) ($P = 0,033$).

Plus de la moitié des enfants ont bénéficié de la supplémentation en vitamine A couplée au déparasitage à l'enrôlement et au cours du suivi (12, 18 et 23 mois) dans les deux villages. Toutefois, la couverture de la supplémentation en vitamine A n'a pas dépassé le seuil de 95%, recommandé par le plan national stratégique de survie de l'enfant au Sénégal.

Concernant les maladies courantes qui affectent les enfants, la fièvre est au premier rang et touche presque plus d'un tiers d'entre eux, quel que soit l'âge et sans aucune différence entre les deux villages. Elle est suivie par les infections respiratoires aiguës qui ont affecté plus d'enfants à l'enrôlement à Kathiotte (27,9%) qu'à Sagna (12,9%) et inversement à 18 mois. Les autres cas de morbidité qui affectent le plus les enfants de 6-23 mois sont la diarrhée et les dermatoses aussi bien à Sagna qu'à Kathiotte sans aucune différence entre les deux villages.

Tableau 19 : Etat de santé des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi

	Enrôlement			12 mois			18 mois			23 mois		
	Int (n = 71)	Cont (n = 70)	P	Int (n = 66)	Cont (n = 59)	P	Int (n = 66)	Cont (n = 59)	P	Int (n = 61)	Cont (n = 60)	P
Mère												
Etat physiologique												
Allaitante	100	100	ns	100	100	ns	90,8	83,9	ns	15,0	20,3	ns
Enceinte	0	0		0	0		6,1	4,8	ns	0	19,5	
Non enceinte non allaitante	0	0		0	0		4,2	1,1	ns	85,0	60,2	ns
Malade (15 derniers jours)	35,2	45,6	ns	31,8	42,1	ns	32,3	39,3	ns	23,3	34,5	ns
Fièvre	12,7	11,8	ns	10,6	8,8	ns	17,6	28,6	ns	58,3	60,0	ns
Maux de ventre	7,0	7,3	ns	22,7	31,6	ns	5,9	9,5	ns	8,3	6,7	ns
Diarrhée	0	0		6,1	8,8	ns	11,8	9,5	ns	0	13,3	
Maux de tête	23,9	33,8	ns	22,7	31,6	ns	11,8	38,1	0,033	33,3	20,0	ns
Enfants												
SVA/déparasitage ¹	58,6	50,0	ns	78,8	70,2	ns	75,4	67,7	ns	75,9	68,3	ns
Malade (15 derniers jours)	45,7	60,3	ns	74,2	71,9	ns	49,2	61,3	ns	61,4	66,8	ns
Fièvre	12,9	29,4	ns	36,4	43,9	ns	46,9	55,3	ns	40,0	35,0	ns
Diarrhée	17,1	26,5	ns	24,2	20,3	ns	28,1	34,2	ns	13,6	20,0	ns
Infection respiratoire aiguë	12,9	27,9	0,010	25,8	22,8	ns	62,5	21,6	0,002	20,0	21,7	ns
Dermatoses	2,9	2,9	ns	34,8	29,8	ns	3,1	7,9	ns	8,3	3,3	ns

Données présentées en pourcentage (%)

¹SVA/déparasitage : Supplémentation en vitamine A couplée au déparasitage reçu par les enfants au cours des 6 derniers mois

P : Test du chi² entre Sagna et Kathiotte

2.2. Alimentation des couples mère-enfant

L'alimentation des couples mère-enfant à chaque étape du suivi est présentée dans le **Tableau 20**. La comparaison de la situation alimentaire des mères montre qu'à l'enrôlement, le score de diversité alimentaire (SDAF) et la proportion de mères ayant une diversité alimentaire minimale (≥ 5 groupes d'aliments) sont comparables entre les deux villages. Cependant, au cours du suivi, les résultats indiquent que le SDAF moyen des mères est significativement plus élevé à Sagna qu'à Kathiotte respectivement à 12 mois ($P = 0,035$), à 18 mois ($P = 0,002$) et 23 mois ($P < 0,001$). Ainsi, la proportion de mères ayant une diversité alimentaire minimale est significativement plus élevée à Sagna qu'à Kathiotte respectivement à 12 mois ($P = 0,018$) et 23 mois ($P = 0,036$).

Chez les enfants, la pratique de l'allaitement diminue avec l'âge. Dans les deux villages, tous les enfants étaient allaités au sein au moment de l'enrôlement et jusqu'à 12 mois. A 18 mois, plus 85% des mères ont continué d'allaiter leurs enfants, mais à 23 mois, seul un quart d'entre eux sont encore allaités.

Concernant les pratiques d'alimentation complémentaire, tous les paramètres (fréquence des repas, diversité alimentaire et apport minimal acceptable) étaient comparables à l'enrôlement entre les deux villages. A 12 mois, les enfants de Kathiotte ont reçu un nombre et une fréquence de repas plus élevés que ceux des enfants de Sagna ($P < 0,05$). Cependant, cette différence ne s'est pas traduite en termes de diversité de l'alimentation car aussi bien le score de diversité que la diversité alimentaire minimale (≥ 4 groupes d'aliments) sont restés comparables chez les enfants des deux villages à 12 mois. Il en est de même de l'apport minimal alimentaire acceptable.

Par contre, le score de diversité alimentaire est significativement plus élevé chez les enfants de Sagna comparé à celui observé à Kathiotte respectivement à 18 mois ($P = 0,024$) et à 23 mois ($P = 0,020$), et cela s'est traduit par une augmentation significative de la proportion d'enfants ayant une diversité alimentaire minimale à Sagna par rapport à Kathiotte ($P = 0,014$).

Tableau 20 : Alimentation des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi

	Enrôlement			12 mois			18 mois			23 mois		
	Int	Cont	<i>P</i>	Int	Cont	<i>P</i>	Int	Cont	<i>P</i>	Int	Cont	<i>P</i>
Mère	(n = 71)	(n = 70)		(n = 66)	(n = 59)		(n = 64)	(n = 62)		(n = 61)	(n = 60)	
Score de diversité alimentaire	5,0 ± 1,6	4,9 ± 1,4	<i>ns</i>	4,9 ± 1,6	4,3 ± 1,6	0,035	6,0 ± 1,1	5,4 ± 1,1	0,002	6,2 ± 0,9	5,3 ± 1,1	<0,001
Diversité alimentaire minimale ¹	60,6	58,8	<i>ns</i>	65,1	43,9	0,018	91,9	80,3	<i>ns</i>	93,2	79,3	0,036
Enfant	(n=71)	(n=68)		(n = 66)	(n = 59)		(n = 64)	(n = 62)		(n = 61)	(n = 60)	
Poursuite allaitement maternel	100	100	<i>ns</i>	100	100	<i>ns</i>	95,3	87,1	<i>ns</i>	18,3	20,0	<i>ns</i>
Nombre minimum des repas reçu	1,2 ± 0,7	1,3 ± 1,0	<i>ns</i>	2,3 ± 1,3	2,9 ± 1,3	0,040	3,3 ± 1,0	3,4 ± 0,8	<i>ns</i>	3,4 ± 1,0	3,1 ± 0,9	<i>ns</i>
Fréquence minimale des repas ²	33,3	36,0	<i>ns</i>	48,5	68,4	0,009	81,5	87,1	<i>ns</i>	36,7	28,3	<i>ns</i>
Score de diversité alimentaire	2,5 ± 1,7	2,0 ± 1,4	<i>ns</i>	3,6 ± 1,5	3,9 ± 1,5	<i>ns</i>	4,7 ± 0,9	4,1 ± 1,2	0,024	4,8 ± 0,9	4,4 ± 1,0	0,020
Diversité alimentaire minimale ¹	15,7	10,3	<i>ns</i>	69,2	68,4	<i>ns</i>	90,8	74,2	0,014	91,7	85,0	<i>ns</i>
Alimentation minimale acceptable ³	7,1	5,9	<i>ns</i>	43,9	54,4	<i>ns</i>	73,8	67,7	<i>ns</i>	35,0	28,3	<i>ns</i>

Données présentées en Moyenne ± ET ou en %

¹Mère : score ≥ 5 groupes d'aliments ; Enfant : score ≥ 4 groupes d'aliments

²enfant allaité : ≥ 3 repas ; enfant non allaité : ≥ 4 repas

³enfant allaité : ≥ 3 repas & score ≥ 4 groupes d'aliments ; enfant non allaité : ≥ 4 repas & score ≥ 4 groupes d'aliments

P : test-t de Student entre Sagna et Kathiotte

2.3. Evolution de l'alimentation des couples mère-enfant au cours du suivi

2.3.1. Consommation alimentaire des mères

A Sagna, l'analyse de l'évolution montre que le profil alimentaire des mères s'est amélioré avec le temps (**Figure 18**). A l'enrôlement, le régime alimentaire des mères était constitué principalement par cinq (5) groupes d'aliments (féculents, poisson, noix et graines, autres légumes et fruits et légumes riches en vitamine A). A 12 mois, le profil alimentaire n'a pas évolué. Par contre, la consommation des aliments du groupe noix et graines a significativement diminué ($P < 0,001$). A 18 mois, les résultats ont montré une augmentation significative de la consommation des aliments des groupes légumes feuilles vertes foncées (*Moringa oleifera*), de fruits et légumes riches en vitamine A (PDCO et tomate), d'autres légumes (oignon et aubergine) et de légumineuses par rapport au début et à 12 mois de suivi. Il en est de même à 23 mois. A l'exception de ces groupes d'aliments, la consommation des autres groupes d'aliments n'a pas augmenté au cours du suivi, en particulier les aliments d'origine animale (œuf, viande, lait) qui est faible chez les mères du village de Sagna.

A Kathiotte, l'analyse du profil alimentaire traduit une alimentation monotone chez les mères au cours du suivi (de l'enrôlement à 23 mois), caractérisée par la consommation fréquente des cinq (5) groupes d'aliments à savoir les féculents, les autres légumes, les noix et graines, les viandes et poissons et enfin, les fruits et légumes riches en vitamine A (tomate) (**Figure 19**). Toutefois la consommation d'aliments des groupes de légumineuses et d'autres légumes (oignon et aubergine) a significativement augmenté à 23 mois. En revanche la consommation des aliments du groupe noix et graines a significativement diminué à 12 mois ($P < 0,001$). L'utilisation des aliments du groupe légumes feuilles vertes foncées (« mbum nduur » en particulier) a augmenté à 23 mois, mais n'a pas dépassé le seuil de 50%. Enfin, dans ce village, la consommation d'aliments d'origine animale (œuf, viande, lait) par les mères est faible.

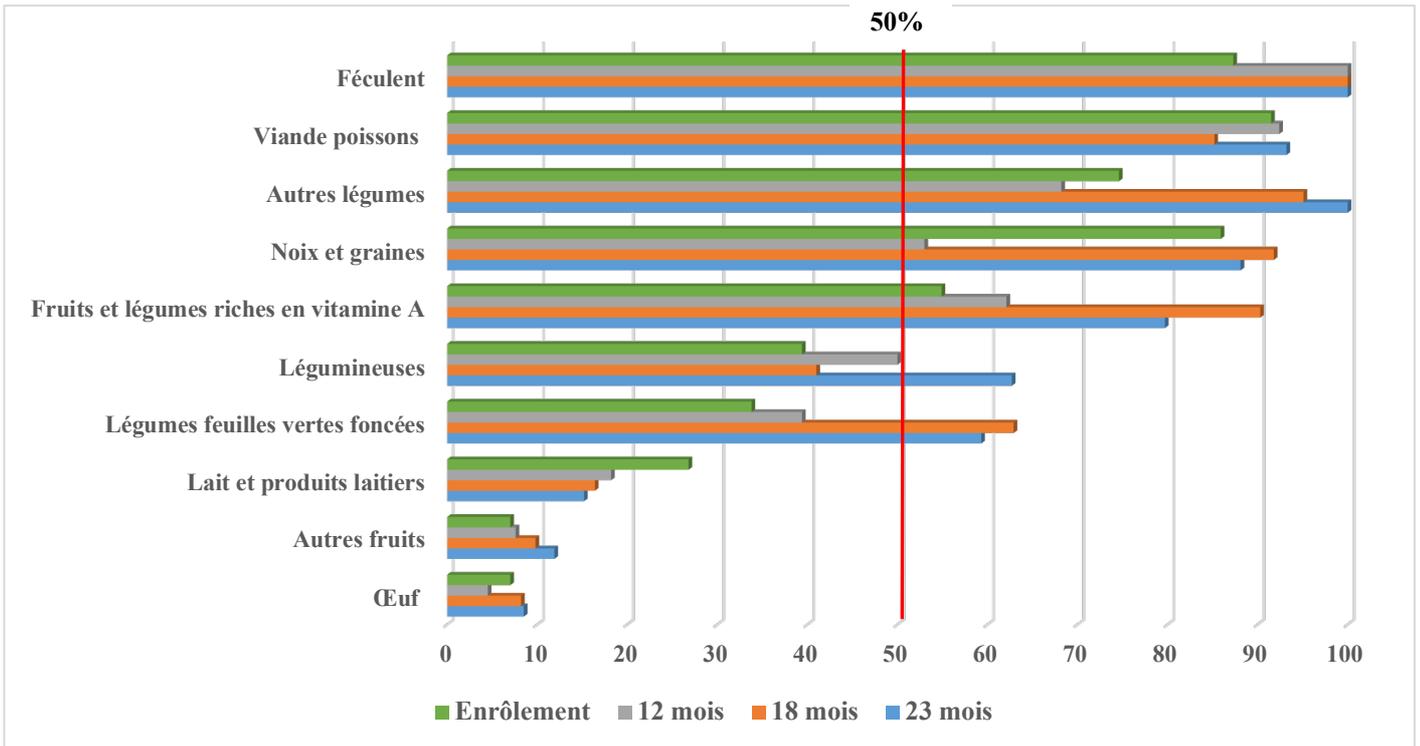


Figure 18 : Evolution du profil alimentaire des mères à Sagna

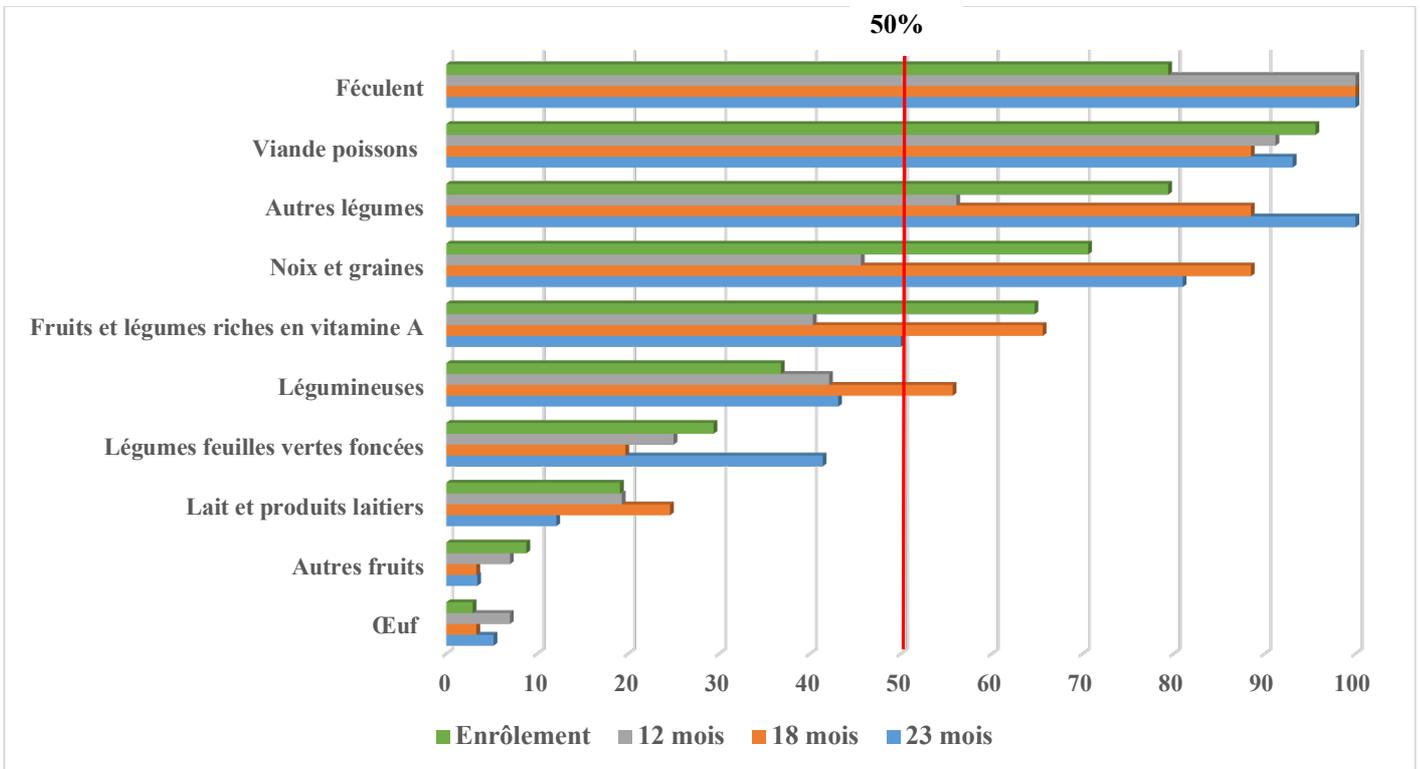


Figure 19 : Evolution du profil alimentaire des mères à Kathiotte

2.3.2. Diversité alimentaires des mères au cours du suivi

L'analyse de l'évolution de la diversité alimentaire des mères au cours du suivi est présentée dans le **Tableau 21**. A Sagna, le score et la diversité alimentaire minimale ont augmenté au cours du suivi. En effet, une amélioration significative du score de diversité est observée à 18 mois ($P = 0,001$) et puis à 23 mois ($P < 0,001$). Une augmentation significative du score de diversité est également observée entre 12 mois et 18 mois ($P < 0,001$) et 12 mois et 23 mois ($P < 0,001$). Il en est de même pour la diversité minimale, où on observe la même tendance.

A Kathiotte, aucune amélioration du SDAF et de la diversité alimentaire n'a été observée à 23 mois. Le SDAF a significativement diminué entre 12 mois et 18 mois ($P < 0,001$) et 23 mois ($P = 0,001$). Cette diminution du nombre de groupes d'aliments consommés à 12 mois s'est traduite par une différence significative entre la diversité alimentaire obtenue à 12 mois et celle obtenue à 18 mois ($P < 0,001$) et aussi à 23 mois ($P < 0,001$).

Tableau 21 : Evolution de la diversité alimentaire des mères à Sagna et à Kathiotte au cours du suivi

	Enrôlement	12 mois	18 mois	23 mois	
Sagna	(n = 71)	(n = 66)	(n = 64)	(n = 61)	P
Score de diversité alimentaire	5,0 ± 1,6 ^a	4,9 ± 1,6 ^a	6,0 ± 1,1 ^b	6,2 ± 0,9 ^b	<0,001
Diversité alimentaire minimale ¹	60,6 ^a	65,1 ^a	91,9 ^b	93,2 ^b	<0,001
Kathiotte	(n = 70)	(n = 59)	(n = 62)	(n = 60)	P
Score de diversité alimentaire	4,9 ± 1,4 ^a	4,3 ± 1,6 ^b	5,4 ± 1,1 ^{ca}	5,3 ± 1,1 ^{ca}	<0,001
Diversité alimentaire minimale ¹	58,8 ^a	43,9 ^a	80,3 ^b	79,3 ^b	<0,001

Données présentées en Moyenne ± ET ou en %

¹*Diversité alimentaire minimale : score ≥ 5 groupes d'aliments*

P : Test ANOVA pour mesures répétées (enrôlement, 12 mois, 18 mois et 23 mois)

^{a,b}*Dans une ligne les valeurs moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes.*

2.4. Evolution de l'alimentation des enfants au cours du suivi

2.4.1. Consommation alimentaire des enfants

A Sagna, les données obtenues à partir du rappel de 24 heures ont montré qu'en plus des céréales, qui constituent l'aliment de base, les autres groupes d'aliments sont rajoutés progressivement dans l'alimentation complémentaire des enfants (**Figure 20**). La consommation de tous les groupes a significativement augmenté au cours du suivi, sauf pour le lait et les œufs dont la consommation est assez rare. A 12 mois, l'alimentation des enfants est de type plat familial et est constituée par les quatre groupes à savoir les céréales, les légumineuses-noix-graines (pâte d'arachide et niébé en particuliers), les autres fruits et légumes et le groupe de viande-poisson (poisson fumé et séché en particulier). A 18 et 23 mois, la consommation des aliments du groupe fruits et légumes riches en vitamine A (PDCO, *Moringa oleifera*, tomate) avait significativement augmentée par rapport aux résultats obtenus à 6-8 mois et à 12 mois, ce qui a significativement contribué à l'augmentation de la diversité alimentaire.

A Kathiotte, les données ont montré qu'au-delà de 6-8 mois, ce sont toujours les mêmes groupes d'aliments (céréales, légumineuses - noix-graines, autres légumes et poisson) qui sont retrouvés dans le régime alimentaire des enfants à 12 et 23 mois (**Figure 21**). La consommation des aliments du groupe fruits et légumes riches en vitamine A n'a pas dépassé le pourcentage de 50%, excepté à 23 mois où elle a atteint 58%. La consommation d'aliments d'origine animale tels que les œufs, la viande, le lait et les produits laitiers est très faible chez ces enfants quel que soit leur âge.

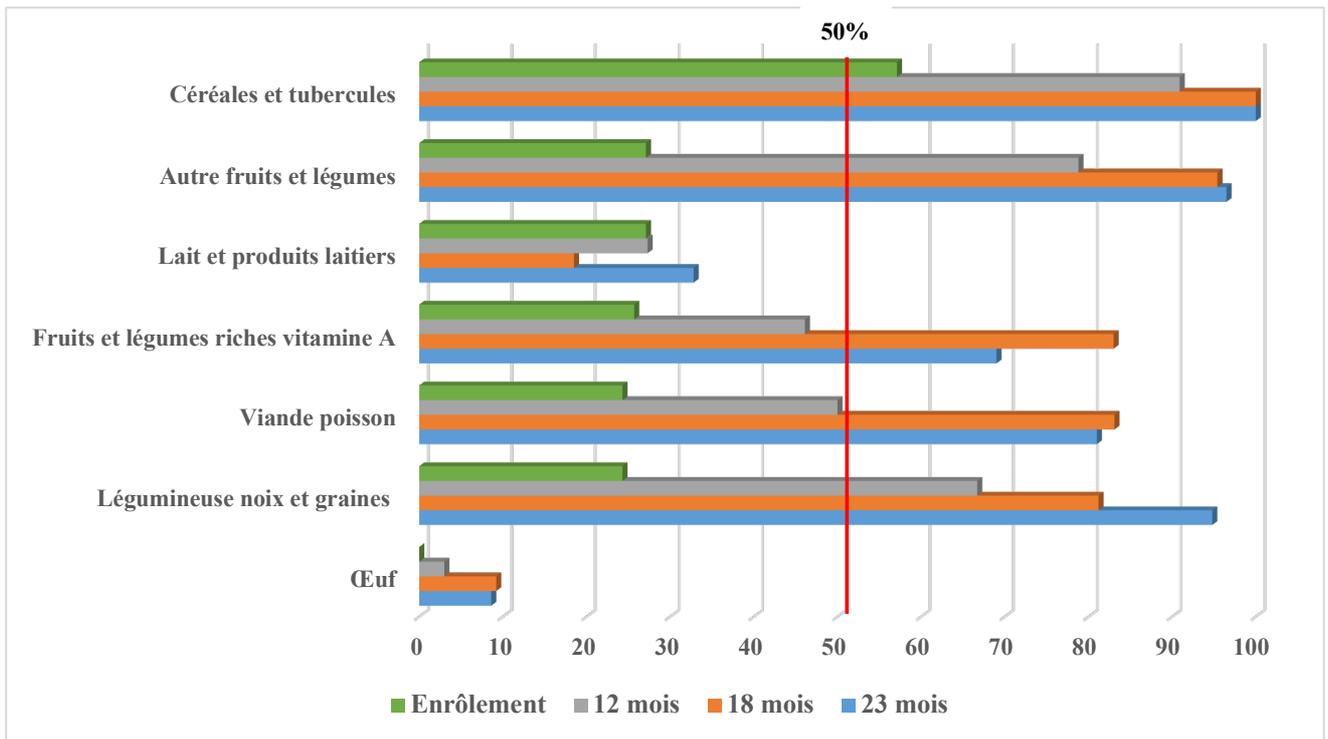


Figure 20 : Evolution du profil alimentaire des enfants à Sagna

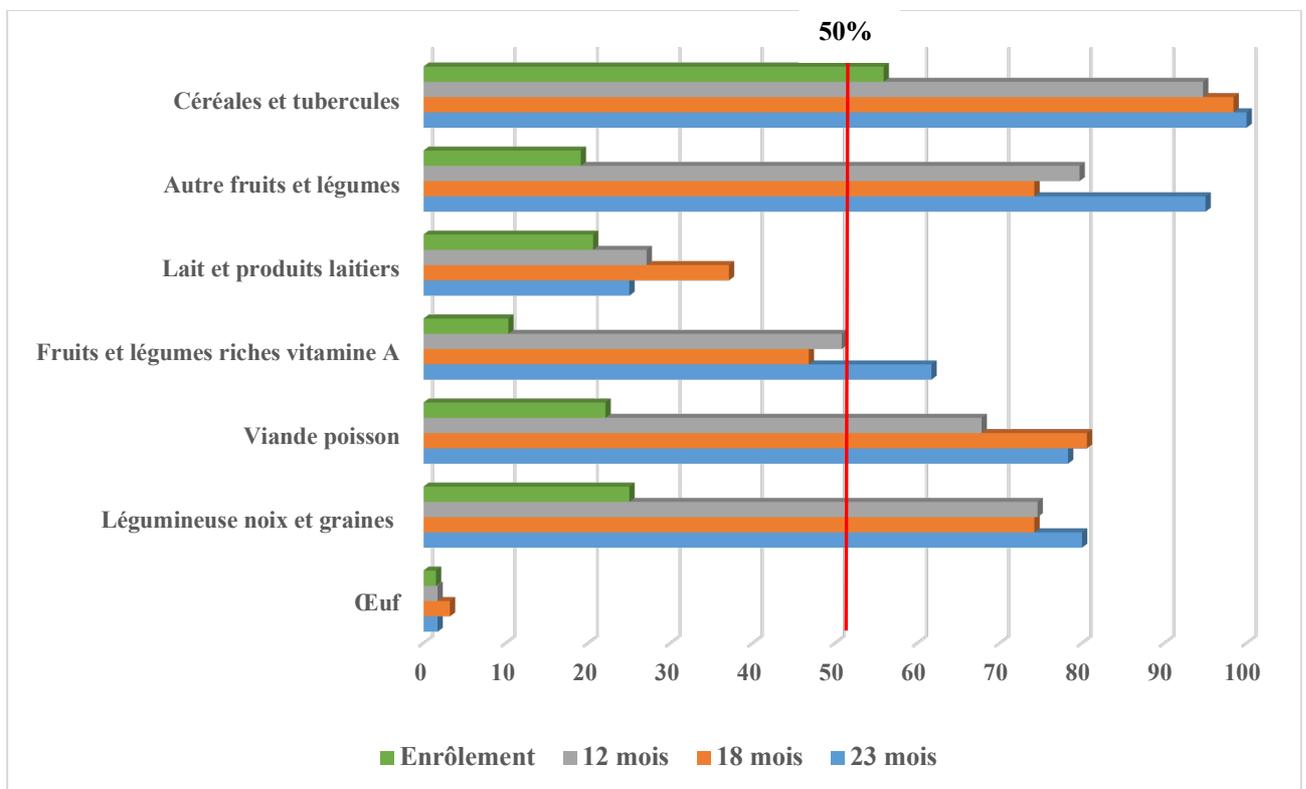


Figure 21 : Evolution du profil alimentaire des enfants à Kathiotte

2.4.2. Diversité alimentaire des enfants à Sagna et Kathiotte au cours du suivi

A Sagna, les résultats ont montré que le score et la diversité alimentaire se sont améliorés au cours du suivi. Une augmentation significative est observée à 12, 18 et 23 mois par rapport à l'enrôlement pour ces deux indicateurs (**Tableau 22**). Une augmentation significative du score de diversité est également observée entre 12 mois et 18 mois et entre 18 et 23 mois.

A Kathiotte, le score et la diversité alimentaire ont significativement augmenté entre l'enrôlement et 12, 18 et 23 mois. Cependant, aucune augmentation significative du score de diversité n'est observée entre 12 mois et 18 mois et entre 18 et 23 mois, mais la proportion d'enfants ayant atteint la diversité minimale à 23 mois a significativement augmenté par rapport à celle obtenue à 18 et 12 mois.

Tableau 22 : Evolution de l'alimentation des enfants à Sagna et à Kathiotte au cours du suivi

	Enrôlement	12 mois	18 mois	23 mois	
Sagna	(n=71)	(n = 66)	(n = 64)	(n = 61)	P
Score de diversité alimentaire	2,5 ± 1,7 ^a	3,6 ± 1,5 ^b	4,7 ± 0,9 ^c	4,8 ± 0,9 ^c	<0,001
Diversité alimentaire minimale ¹	15,7 ^a	69,2 ^b	90,8 ^c	91,7 ^c	<0,001
Kathiotte	(n = 68)	(n = 59)	(n = 62)	(n = 60)	P
Score de diversité alimentaire	2,3 ± 1,4 ^a	3,9 ± 1,5 ^b	4,1 ± 1,2 ^b	4,4 ± 1,0 ^b	<0,001
Diversité alimentaire minimale ¹	15,3 ^a	68,4 ^b	74,2 ^b	85,0 ^c	<0,001

Données présentées en Moyenne ± ET ou en %

¹*Diversité alimentaire minimale : score ≥ 4 groupes d'aliments*

P : Test ANOVA pour mesures répétées (enrôlement, 12 mois, 18 mois et 23 mois)

^{a,b}*Dans une ligne les valeurs moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes.*

2.5. État nutritionnel des couples mère-enfant

2.5.1. Anthropométrie

Les données anthropométriques des mères et des enfants des deux villages à chaque étape du suivi sont présentées dans le **Tableau 23**. Aucune différence statistiquement significative n'est observée pour les paramètres anthropométriques des mères et des enfants entre les deux villages à toutes les étapes du suivi.

Tableau 23 : Anthropométrie des couples mère-enfant à Sagna (Int) et Kathiotte (Cont) au cours du suivi

	Enrôlement			12 mois			18 mois			23 mois		
	Int (n = 71)	Cont (n = 70)	P	Int (n = 66)	Cont (n = 59)	P	Int (n = 64)	Cont (n = 62)	P	Int (n = 61)	Cont (n = 60)	P
Mère												
IMC, kg/m ²	21,4 ± 3,5	21,4 ± 3,3	ns	21,5 ± 3,6	21,4 ± 3,4	ns	21,4 ± 3,4	21,4 ± 3,6	ns	21,3 ± 3,6	21,4 ± 4,0	ns
IMC z-score	-0,5 ± 0,8	-0,5 ± 0,9	ns	-0,3 ± 0,8	-0,3 ± 0,9	ns	-0,3 ± 0,8	-0,4 ± 1,0	ns	-0,5 ± 0,9	-0,4 ± 0,9	ns
Déficit énergétique	15,5	20,0	ns	16,9	19,0	ns	16,1	25,4	ns	20,3	19,0	ns
Surpoids	12,7	11,4	ns	12,3	12,1	ns	12,9	10,2	ns	11,9	12,1	ns
Obésité	1,4	1,4	ns	1,5	3,4	ns	0	1,7		0	1,7	
Enfant												
PTZ	-0,3 ± 1,1	-0,5 ± 0,9	ns	-0,8 ± 1,1	-1,1 ± 1,0	ns	-0,4 ± 1,0	-0,7 ± 1,0	ns	-0,8 ± 1,0	-0,7 ± 0,9	ns
Emaciation	7,0	1,4	ns	13,6	23,2	ns	4,6	12,9	ns	13,3	8,3	ns
Obésité	4,2	0		0	0		0	0		0	0	
TAZ	-0,4 ± 1,2	-0,5 ± 1,1	ns	-1,0 ± 1,1	-1,0 ± 1,0	ns	-1,3 ± 1,1	-1,5 ± 1,4	ns	-1,4 ± 1,0	-1,7 ± 1,0	ns
Retard de croissance	9,9	11,4	ns	18,2	12,5	ns	21,5	32,3	ns	28,3	41,7	ns

Données présentées en Moyenne ± ET ou en pourcentage (%)

PTZ : poids-pour-taille z-score ; TAZ : taille-pour-âge z-score.

Emaciation : PTZ <-2 z-score ; retard de croissance : TAZ <-2 z-score ; déficit énergétique : IMC < 18,5 kg/m² ; surpoids : 25,0 ≤ IMC ≤ 29,99 kg/m² ; obésité : IMC ≥ 30 kg/m².

P : test-t de Student entre Sagna et Kathiotte.

2.5.5.1. Evolution des indicateurs anthropométriques des mères

L'analyse de l'évolution du statut nutritionnel montre que les indicateurs nutritionnels des mères n'ont pas varié de manière significative au cours du suivi, et ce, dans les deux villages (**Tableau 24**). Les prévalences du déficit énergétique et de surpoids sont restées respectivement autour de 20% et 12%.

Tableau 24 : Evolution des indicateurs anthropométriques des mères à Sagna et à Kathiotte

	Enrôlement	12 mois	18 mois	23 mois	
Sagna	(n = 71)	(n = 66)	(n = 64)	(n = 61)	P
IMC (kg/m ²)	21,4 ± 3,5	21,5 ± 3,6	21,4 ± 3,4	21,3 ± 3,6	ns
IMC z-score	-0,5 ± 0,8	-0,3 ± 0,8	-0,3 ± 0,8	-0,5 ± 0,9	ns
Déficit énergétique	15,5	16,9	16,1	20,3	ns
Surpoids	12,7	12,3	12,9	11,9	ns
Obésité	1,4	1,5	-	-	
Kathiotte	(n = 70)	(n = 59)	(n = 62)	(n = 60)	P
IMC (kg/m ²)	21,4 ± 3,3	21,4 ± 3,4	21,4 ± 3,6	21,4 ± 4,0	ns
IMC z-score	-0,5 ± 0,9	-0,3 ± 0,9	-0,4 ± 1,0	-0,4 ± 0,9	ns
Déficit énergétique	20,0	19,0	25,4	19,3	ns
Surpoids	11,4	12,1	10,2	12,1	
Obésité	1,4	3,4	1,7	1,7	

Données présentées en Moyenne ± ET ou en pourcentage (%)

IMC : Indice de masse corporelle ; PTZ : poids-pour-taille z-score ; TAZ : taille-pour-âge z-score

Emaciation : PTZ < -2 z-score ; retard de croissance : TAZ < - 2 z-score ; déficit énergétique (IMC < 18,5 kg/m²) ; surpoids : 25,0 ≤ IMC ≤ 29,99 kg/m² ; obésité : IMC ≥ 30 kg/m²

P : test ANOVA pour mesures répétées (enrôlement, 12 mois, 18 mois et 23 mois)

^{a,b} Dans une ligne les valeurs moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes.

2.5.5.2. Evolution des indicateurs anthropométriques des enfants

A Sagna, l'indice TAZ a significativement diminué à 12 mois ($P = 0,011$), 18 mois ($P < 0,001$) et 23 mois ($P < 0,001$) par rapport à l'enrôlement (**Tableau 25**). Cette diminution s'est traduite par une augmentation significative de la prévalence du retard de croissance entre l'enrôlement (9,9%) et 23 mois (28,3% ; $P = 0,009$), mais pas entre l'enrôlement 12 et 18 mois. A partir e de 12 mois, la prévalence du retard de croissance a augmenté mais sans aucune différence significative entre 12 mois et 18 mois et entre 18 mois et 23 mois. L'indice PTZ et la prévalence de l'émaciation n'ont connu aucune variation significative au cours du suivi.

A Kathiotte, l'indice PTZ a significativement diminué à 12 mois ($P = 0,001$) par rapport à l'enrôlement. Ainsi une augmentation significative de la prévalence de la malnutrition aiguë globale est notée entre l'enrôlement et 12 mois (1,4 versus 23,2% ; $P = 0,004$) et entre l'enrôlement et 18 mois (1,4 versus 12,9% ; $P = 0,031$) mais ne change pas entre 18 et 23 mois. Concernant le retard de croissance, l'indice TAZ a significativement diminué entre l'enrôlement et 18 mois ($P < 0,001$) et entre l'enrôlement et 23 mois ($P < 0,001$). Il a également diminué entre 12 mois et 23 mois ($P = 0,007$). La prévalence du retard de croissance obtenue à l'enrôlement (11,4%) est significativement plus faible que celle obtenue à 18 mois (32,3% ; $P = 0,010$) et à 23 mois (41,7% ; $P = 0,015$). Durant le suivi, la prévalence du retard de croissance a progressivement augmenté avec l'âge des enfants. En effet, les prévalences du retard de croissance observées à 18 mois (32,3% ; $P = 0,005$) et à 23 mois (41,7% ; $P < 0,001$) sont significativement plus élevées que celle mesurée à 12 mois (12,5%). Il en de même de la prévalence du retard de croissance entre 18 mois et 23 mois (32,3 versus 41,7% ; $P < 0,001$).

Tableau 25 : Evolution des indicateurs anthropométriques des enfants à Sagna et à Kathiotte

	Enrôlement	12 mois	18 mois	23 mois	
Sagna	(n=71)	(n = 66)	(n = 65)	(n = 60)	P
PTZ	-0,3 ± 1,1	-0,8 ± 1,1	-0,4 ± 1,0	-0,8 ± 1,0	<i>ns</i>
Emaciation	7,0	13,6	4,6	13,3	<i>ns</i>
Obésité	4,2	0	0	0	
TAZ	-0,4 ± 1,2 ^a	-1,0 ± 1,1 ^b	-1,3 ± 1,1 ^b	-1,4 ± 1,0 ^b	<0,001
Retard de croissance	9,9 ^a	18,2 ^b	21,5 ^b	28,3 ^b	0,049
Kathiotte	(n=68)	(n = 59)	(n = 62)	(n = 60)	P
PTZ	-0,5 ± 0,9 ^a	-1,1 ± 1,0 ^b	-0,7 ± 1,0 ^{ab}	-0,7 ± 0,9 ^{ab}	0,002
Emaciation	1,4 ^a	23,2 ^b	12,9 ^c	8,3 ^{ac}	0,001
Obèse (%)	0	0	0	0	
TAZ	-0,5 ± 1,1 ^a	-1,0 ± 1,0 ^{ab}	-1,5 ± 1,4 ^{bc}	-1,7 ± 1,0 ^c	<0,001
Retard de croissance	11,4 ^a	12,5 ^a	32,3 ^b	41,7 ^c	<0,001

Données présentées en Moyenne ± ET ou en pourcentage (%)

PTZ : poids-pour-taille z-score ; TAZ : taille-pour-âge z-score

Emaciation : PTZ < -2 z-score ; retard de croissance : TAZ < - 2 z-score

P : test ANOVA pour mesures répétées (enrôlement, 12 mois, 18 mois et 23 mois)

^{a,b} Dans une ligne les valeurs moyennes avec des exposants différents sont significativement différentes.

2.5.2. Composition corporelle des couples mère-enfant

Le **Tableau 26** indique l'impact de l'ASN sur la composition corporelle des mères et de leurs enfants entre l'enrôlement et 23 mois. Chez les mères, aucune différence n'est observée sur les paramètres de composition corporelle (masse maigre, masse grasse et % de masse grasse) à l'enrôlement et à 23 mois entre les deux villages.

Chez les enfants, la masse maigre, comparable entre les deux villages à l'enrôlement, a augmenté de façon significative chez les enfants de Sagna comparés à ceux de Kathiotte. Par contre, le %MG et l'indice de masse grasse des enfants sont significativement plus élevés à Kathiotte qu'à Sagna (P = 0,043).

Tableau 26 : Composition corporelle des couples mère-enfant à Sagna (Int) et à Kathiotte (Cont)

	Enrôlement			23 mois		
	Int	Cont	<i>P</i>	Int	Cont	<i>P</i>
Mère	(n = 71)	(n = 70)	<i>P</i>	(n = 57)	(n = 39)	<i>P</i>
MM (kg)	41,3 ± 5,0	41,0 ± 5,0	<i>ns</i>	46,3 ± 5,9	46,1 ± 6,5	<i>ns</i>
MG (kg)	15,7 ± 6,9	16,4 ± 6,3	<i>ns</i>	11,0 ± 7,1	13,2 ± 6,8	<i>ns</i>
%MG	26,7 ± 7,1	27,8 ± 6,7	<i>ns</i>	18,4 ± 8,9	21,5 ± 8,3	<i>ns</i>
Excès d'adiposité (%)	23,9	38,2	<i>ns</i>	10,5	15,4	<i>ns</i>
Enfant	(n=71)	(n=68)	<i>P</i>	(n = 58)	(n = 47)	<i>P</i>
MM (kg)	5,6 ± 0,8	5,5 ± 0,7	<i>ns</i>	8,8 ± 1,1	8,4 ± 1,1	0,031
MG (kg)	1,92 ± 0,7	1,9 ± 0,6	<i>ns</i>	1,4 ± 0,7	1,7 ± 1,1	0,050
%MG	25,0 ± 7,1	25,1 ± 6,5	<i>ns</i>	13,6 ± 6,2	16,3 ± 7,1	0,043
IMM (kg/m ²)	12,4 ± 1,3	12,2 ± 1,0	<i>ns</i>	13,0 ± 1,4	12,6 ± 1,0	<i>ns</i>
IMG (kg/m ²)	4,2 ± 1,4	4,1 ± 1,3	<i>ns</i>	2,0 ± 09	2,5 ± 1,5	0,029

Données présentées en Moyenne ± ET ou en pourcentage (%)

MM : Masse Maigre ; MG : Masse Grasse ; %MG : pourcentage de masse grasse ; IMM : Indice de masse maigre ; IMG : Indice de masse grasse.

P : test-t de Student entre village de Sagna et village de Kathiotte.

16. DISCUSSION

Au cours de la présente étude, l'impact de l'Agriculture Sensible à la Nutrition (ASN) sur la prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie a été évalué chez des couples mère-enfant de 6-23 mois vivant en milieu rural à Kaffrine. La mesure d'impact a été effectuée entre le village de Sagna, (bénéficiaire de la ferme agricole mise en place par ANIDA) et le village de Kathiotte (village témoin) distant d'une vingtaine de km l'un de l'autre, tous deux situés dans la région de Kaffrine. Ces deux villages présentent à l'enrôlement des caractéristiques identiques en termes de santé et nutrition maternelle et infantile, marquées par la présence de la malnutrition (émaciation et retard de croissance) et des maladies infantiles (fièvre, diarrhée et infections respiratoires aiguës) dès les premiers mois de la vie. Ces deux villages sont également comparables en termes de pratiques alimentaires et de prestations de soins santé dispensées aux mères et à leurs enfants de moins deux ans à travers les districts de santé. Les interventions de soins de santé standard (CPN, CPON, soins curatifs ambulatoires des maladies de l'enfant, supplémentation en VA, déparasitage et vaccination) et les prestations de nutrition (suivi de la croissance, éducation nutritionnel, prise en charge de la malnutrition aiguë) sont délivrées par le personnel médical local en collaboration avec les relais communautaires de la CLM.

Malgré ces interventions, les cas de fièvre, de diarrhée, et/ou d'infections respiratoires aiguës sont restés très fréquents comme observés lors de la dernière enquête nationale EDS-continue (ANSD, 2018). Face à cette situation, le projet d'ASN a été mis en place à Sagna et son impact sur la morbidité, l'alimentation, les indices anthropométriques et la composition corporelle des couples mères-enfants est mesuré sur une période de 18 mois. Cette étude est une première au Sénégal, car jusqu'ici, les programmes d'agriculture sensible aux enjeux nutritionnels n'avaient pas encore fait l'objet d'évaluation de l'état nutritionnel des bénéficiaires en utilisant des indicateurs biologiques. A l'enrôlement et au cours du suivi, bien que les vaccinations des enfants soient effectives, une forte prévalence de morbidité a été trouvée dans ces villages. Une prévalence d'infections respiratoires aiguës plus élevée a été observée à l'enrôlement chez les enfants de Kathiotte comparés à ceux de Sagna et inversement à 18 mois. Ce résultat pourrait être expliqué par la faible couverture de certaines interventions de soins santé, indiquant que des efforts supplémentaires devraient être déployés pour mieux prévenir les maladies. En effet, durant toute la durée de l'étude, la proportion d'enfants ayant reçu la supplémentation en vitamine A n'a pas dépassé le seuil de 95%, recommandé par le plan national stratégique de survie de l'enfant au Sénégal (Diaby et al.,

2018). De plus, il a été bien spécifié, dans le cadre conceptuel de l'UNICEF des causes de la malnutrition, que certaines maladies telles que la diarrhée et les infections respiratoires aiguës augmentent le risque de retard de croissance et d'émaciation chez les enfants (Black et al., 2013 ; Unicef, 2015), suggérant que la prévalence élevée de la malnutrition observée à Sagna et à Kathiotte dès les premiers mois de vie (6-8 mois) aurait, pour une des causes immédiates, la maladie.

En ce qui concerne les pratiques d'allaitement, tous les enfants sont allaités jusqu'à 12 mois et une grande majorité jusqu'à 18 mois dans les deux villages. La poursuite de l'allaitement jusqu'à 23 mois ne concerne qu'un quart des enfants. Cette forte prévalence de sevrage précoce dans ces villages de Kaffrine confirme les résultats de la dernière enquête nationale EDS-continue qui ont montré que seul 30% d'enfants sont allaités jusqu'à l'âge de 23 mois (ANSD, 2018). Ces résultats pourraient être expliqués par les facteurs socioculturels, en particulier ceux liés aux décideurs des familles (Badiane et al, 2018). De plus, l'étude sur les déterminants de la malnutrition menée en milieu rural par la CLM (CLM, 2013) a révélé qu'au Sénégal, le sevrage varie en fonction de l'âge et du sexe de l'enfant (18 mois chez les garçons et 24 mois chez les filles). L'apparition de la dentition détermine également la fin de l'allaitement au sein de l'enfant qui doit intégrer le bol familial en perspective de sa socialisation communautaire. L'occupation des femmes dans les travaux champêtres, de même que les grossesses rapprochées, sont autant de facteurs qui peuvent influencer le sevrage précoce en milieu rural (CLM, 2013). L'analyse de ces résultats suggère que les stratégies de communication sur la poursuite de l'allaitement maternel jusqu'à 24 mois ou au-delà, comme recommandé par l'OMS (OMS, 2006) doivent être renforcées en milieu rural à Kaffrine.

Notre intervention ASN a eu un impact positif sur la consommation de certains groupes d'aliments chez les couples mère-enfant du village de Sagna comparés à ceux du village de Kathiotte. En effet, la consommation des aliments du groupe feuilles vertes foncées (*Moringa oleifera*) et fruits et légumes riches en vitamine A (PDCO et tomate), qui était comparable à l'enrôlement entre Sagna et Kathiotte, a significativement augmenté chez les couples mère-enfant de Sagna dès 12 mois et s'est poursuivi jusqu'à 23 mois. De plus, malgré la faible production d'aliments d'origine animale de la ferme, la consommation d'œufs est un peu plus élevée à Sagna (8,3% des enfants) qu'à Kathiotte (1,7% des enfants). L'ajout de ces différents groupes d'aliments, provenant principalement de la ferme, dans le régime alimentaire habituel des populations de Sagna a abouti à un score et une diversité alimentaire améliorés chez les mères et les enfants de 6-23 mois. Ce résultat est en parfait accord avec la plupart des revues

systematiques sur l'ASN qui ont globalement montré que les programmes de développement agricole qui favorisent la diversité de la production de cultures riches en micronutriments ont la capacité d'améliorer la consommation d'aliments nutritifs et donc la diversité alimentaire au niveau des ménages. (Herforth et Ballard, 2016 ; Ruel et al., 2018). En Afrique les récentes études sur l'ASN, associant cultures de fruits et légumes à l'élevage de poules et petits ruminants, ont montré un impact significatif sur l'accès et la diversité alimentaire des mères et de leurs enfants bénéficiaires (Walsh & van Rooyen, 2015 ; Olney et al., 2015 ; Bliznashka et al., 2016). Au Bangladesh, un programme intégré d'ASN a eu comme résultat une augmentation de 30% de la consommation de légumes chez les bénéficiaires dont 80% attribuables au projet (Schreinemachers et al., 2016).

Dans ce travail, nous avons utilisé une méthode de référence, la technique de la dilution isotopique au deutérium, pour évaluer l'impact de l'ASN sur la composition corporelle (masse maigre, masse grasse et %masse grasse) des couples mère-enfant. L'intervention n'a pas eu d'impact sur la masse maigre et la masse grasse des mères de Sagna. Par contre, chez leurs enfants, la masse maigre a significativement augmenté à 23 mois en même temps que le score de diversité alimentaire. Ce résultat pourrait être attribué à la consommation d'aliments riches en protéines et en micronutriments tels que le *Moringa oleifera* et les légumineuses et une tendance plus élevée de consommation d'œufs chez les enfants. L'amélioration positive de la composition corporelle des enfants de Sagna (masse maigre) est à l'opposé de celle des enfants de Kathiotte qui ont gagné plus de masse grasse que de masse maigre. Ce résultat est confirmé en utilisant d'autres indicateurs de la composition corporelle à savoir l'indice de masse maigre (IMM) et l'indice de masse grasse (IMG) qui ajustent l'effet de la taille sur ces paramètres (van Itallie et al., 1990). Ainsi, après ajustement, les résultats montrent toujours un IMG significativement plus élevé chez les enfants de Kathiotte comparés aux enfants de Sagna, confirmant l'excès de gain de masse grasse chez ces enfants. Ce résultat pourrait être lié à une alimentation monotone riche en énergie et pauvres en micronutriments essentiels, comme observé dans l'analyse du profil alimentaire des enfants de Kathiotte. Ces données confirment le peu de résultats existant dans la littérature qui indiquent que la consommation de légumineuses, riches en protéines, est associée à une augmentation de la masse maigre et une réduction du dépôt de graisse viscérale (Marinangeli et Jones, 2012). De même, Wells et al. (2009) ont révélé que l'absence de certains micronutriments dans l'alimentation, dont le zinc et le fer en particulier, favorise la diminution de la masse maigre et l'accumulation de la graisse corporelle. Ces données de même que nos résultats suggèrent que l'absence d'une diversité alimentaire chez les enfants à partir de 6 mois pourrait favoriser le risque d'obésité

infantile dont les conséquences à long terme sont l'hypertension, le diabète de type 2 et les maladies cardio-vasculaires (Zhao et al., 2017).

Malgré ces résultats significatifs et positifs de l'ASN sur le score de diversité alimentaire et la masse maigre des enfants, l'impact attendu sur les paramètres anthropométriques (les plus couramment utilisés pour définir l'état nutritionnel) est mitigé. En effet, aucune amélioration de la prévalence de l'émaciation et du retard de croissance n'a été observée chez les enfants, bien que la prévalence du retard de croissance soit plus forte dans le village témoin que dans le village d'intervention. En d'autres termes, le taux de retard de croissance qui a augmenté à partir de 6 mois dans les deux villages est resté stable à partir de 12 mois à Sagna mais augmente de façon significative dans le village de Kathiotte. Ce résultat est conforme avec la plupart des conclusions des récentes revues systématiques qui ont souligné l'absence de preuves solides d'impact de l'ASN sur ces indicateurs (Masset et al., 2014 ; Leroy et al., 2015 ; Ruel et al., 2018). Pour expliquer l'absence d'impact plusieurs hypothèses peuvent être évoquées : i) la durée de l'intervention (18 mois) relativement courte, qui n'a débutée qu'à partir de 6 mois, serait insuffisante pour détecter un effet sur le retard de croissance (Leroy et al., 2015 ; Herforth & Ballard, 2016). Selon Leroy et al. (2015), pour avoir un impact sur les indicateurs de croissance au cours de 1000 premiers jours, les enfants doivent être exposés au programme pendant au moins trois (3) ans (in-utero, pendant la grossesse et au cours de leurs 24 premiers mois de vie). En Zambie, Kumar et al. (2015) ont constaté une association positive entre la diversité de la production et la diversité alimentaire chez les enfants âgés de 6 à 23 mois, mais l'association entre la diversité de la production et l'indice TAZ apparaît à long terme chez les enfants entre 24 et 59 mois. Ce qui renforce ainsi l'idée selon laquelle le retard de croissance est un processus cumulatif qui reflète la malnutrition chronique au fil du temps ; ii) la petite taille de l'échantillon de l'étude calculée à partir des effets attendus sur la composition corporelle. En effet, dans des revues systématiques de la littérature, Masset et al. (2012) et Leroy et al. (2015) indiquent que les tailles d'échantillon nécessaires pour observer une réduction de 5 à 10 % sur le taux de retard de croissance dans les programmes d'ASN sont de l'ordre d'une ou plusieurs centaines de sujets ; iii) l'accès à la nourriture peut ne pas constituer la seule solution à l'amélioration de la croissance des enfants, surtout dans le contexte marqué par une pauvreté, un environnement défavorable et une morbidité fréquente. Or, les deux villages, Sagna et Kathiotte, sont caractérisés par une forte prévalence de morbidité.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent la persistance d'une forte morbidité chez les mères et leurs enfants de 6 à 23 mois et un sevrage précoce des enfants. La mise en place d'une agriculture sensible à la nutrition (ASN) a eu un impact positif sur l'amélioration de la diversité alimentaire des mères et des enfants et sur la composition corporelle (augmentation de la masse maigre des enfants) à long terme (23 mois). Par contre, aucun impact n'a été décelé sur l'émaciation et le retard de croissance. L'ensemble de ces résultats suggèrent que des efforts supplémentaires devraient être déployés pour la prévention des maladies, la promotion des bonnes pratiques d'hygiène et d'assainissement. Ils suggèrent également une intervention d'ASN plus précoce et plus longue, avec une production animale relativement importante pour mieux diversifier l'alimentation.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

17. CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de l'agriculture sensible à la nutrition (ASN) sur l'alimentation, la santé et l'état nutritionnel des mères et de leurs enfants âgés de 6-23 mois à Kaffrine. L'installation, par l'Agence Nationale d'Insertion et de Développement Agricole (ANIDA), d'une ferme agricole intégrant un poulailler à Sagna et gérée par un groupement local de producteurs, composé à majorité de femmes, a permis la mise en place d'un projet d'Agriculture Sensible à la Nutrition (ASN). En plus d'autres productions horticoles, ce projet a permis d'introduire pour la première fois à Kaffrine la culture de la Patate Douce (*Ipomoea batatas*) à Chair Orangé (PDCO) de la variété Kandee, associée au *Moringa oleifera* (variété PKM1). Ces deux variétés ont été fournies par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Les teneurs en bêta-carotènes de la PDCO (crue, bouillie et frite) et des feuilles de *Moringa oleifera* (fraîches et séchées) produites dans la ferme peuvent couvrir entre 14 et 111% des apports en vitamine A des femmes en âge de procréer et des enfants de 6 à 23 mois. Un test sensoriel et d'acceptabilité de la consommation de la PDCO chez les couples mère-enfant a permis de montrer que les différents types de préparation (PDCO bouillie, frite et en purée) ont de bonnes propriétés sensorielles et ont été bien appréciées par les mères et les enfants. La PDCO frite a une apparence, une saveur et une texture meilleure que la PDCO bouillie, l'huile ayant eu une influence positive sur sa consommation. Chez les enfants, la PDCO bouillie et en purée ont les mêmes attraits sensoriels.

Pour mesurer l'impact de l'ASN, des villages bénéficiant du Programme de Renforcement de la Nutrition mise en œuvre par la CLM ont été ciblés. Le village de Sagna, zone d'implantation de la ferme agricole, ainsi que les villages polarisés dans un rayon de 3 km constituent le « village d'intervention ». Celui-ci bénéficie des produits de la ferme et d'une nouvelle stratégie de communication/éducation nutritionnelle. Deux autres villages distants chacun d'au moins de 10 km du village d'intervention constituent les villages témoins : Malem Hodar (témoin communication/éducation nutritionnelle) et Kathiotte (village contrôle). L'étude du statut de base des couples mère-enfant de 6-8 mois dans ces 3 villages a montré que la malnutrition (émaciation et retard de croissance), l'anémie, la carence en fer et les maladies infectieuses sont présentes chez les nourrissons à un stade précoce. Chez les mères, on a noté une coexistence entre déficit énergétique et surpoids/obésité concomitants à la présence d'anémie, de carence en fer et de faibles réserves hépatiques en vitamine A. La mesure de la composition corporelle (masse maigre et masse grasse) par dilution isotopique au deutérium a montré une association positive et significative entre le statut nutritionnel de la

mère et celui de l'enfant. Dans ces communautés rurales de Kaffrine, les facteurs socioculturels, en particuliers ceux liés aux décideurs des familles constituent les principaux déterminants liés aux mauvaises pratiques d'allaitement et d'alimentation complémentaire caractérisées par une faible consommation d'aliments d'origine animale et de fruits et légumes. L'impact du projet sur l'alimentation, la santé et l'état nutritionnel des couples mère-enfant a été évalué entre Sagna et Kathiotte à 12, 18, et 23 mois après la mise en place du projet ASN. Après 12 et 18 mois, la mise en place de l'ASN a eu un impact positif sur la consommation des groupes d'aliments produits dans la ferme et donc une amélioration du score et de la diversité alimentaire des mères et des enfants. Après 23 mois d'intervention, les résultats montrent un impact positif sur l'amélioration du score et de la diversité alimentaire des mères et des enfants. L'ASN a également eu un impact significatif sur la composition corporelle des enfants (augmentation de la masse maigre) à 23 mois. Par contre, aucun impact n'a été décelé sur l'émaciation et le retard de croissance bien que la prévalence du retard de croissance soit plus élevée dans le village témoin que dans le village d'intervention. Concernant la santé, les résultats de l'étude montrent une morbidité persistante chez les mères et leurs enfants de 6 à 23 mois et un sevrage précoce des enfants. L'ensemble de ces résultats suggèrent que des efforts supplémentaires devraient être déployés pour le contrôle et la prévention des maladies mais aussi la promotion des bonnes pratiques d'hygiène et d'assainissement. Ils suggèrent également une intervention d'ASN plus précoce et de plus longue durée, avec une production animale relativement importante pour mieux diversifier l'alimentation.

18. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

A la lumière des résultats de ce travail, en vue d'améliorer la situation nutritionnelle des populations, il serait souhaitable de mettre en œuvre les recommandations suivantes :

❖ A l'Agence Nationale d'Insertion et de Développement Agricole (ANIDA)

- ✓ Introduire la culture de la patate douce à chair orangée dans les fermes villageoises pour promouvoir sa consommation à l'échelle nationale,
- ✓ Intégrer la production d'œufs, de lait, de poisson et de viande dans les fermes villageoises pour améliorer la consommation d'aliments d'origine animale, en particulier chez les femmes en âge de procréer et les jeunes enfants.

❖ **A la Cellule de Lutte contre la Malnutrition (CLM)/Ministère de la Santé**

- ✓ Renforcer les séances d'éducatrices nutritionnelles pour améliorer les connaissances et les pratiques appropriées en matière de nutrition et santé,
- ✓ Renforcer les stratégies de communication sur les bonnes pratiques d'allaitement telles que l'initiation précoce à l'allaitement maternel, l'allaitement maternel exclusif jusqu'à 6 mois et la poursuite de l'allaitement maternel jusqu'à 24 mois ou au-delà,
- ✓ Intégrer les catégories décisionnelles des familles (maris, belles-mères, personnes âgées) dans les stratégies de communication pour le changement de comportement,
- ✓ Promouvoir la consommation d'aliments riches en nutriments, en particulier la patate douce à chair orangée, le *Moringa oleifera* et les aliments d'origine animale auprès des femmes en âge de procréer et des enfants âgés de 6 à 23 mois,
- ✓ Améliorer la couverture de la supplémentation en vitamine A chez les enfants de 6-23 mois
- ✓ Renforcer la promotion de la planification familiale/santé reproductive pour assurer l'espacement des naissances.

❖ **Perspectives de recherches**

- ✓ Intervenir plus tôt dans la fenêtre des 1 000 jours (pendant la grossesse),
- ✓ Prendre en compte les causes sous-jacentes de la malnutrition telles que les bonnes pratiques d'hygiène et d'assainissement et l'autonomisation des femmes,
- ✓ Considérer la production d'aliments d'origine animale dans les projets d'ASN pour améliorer la diversité alimentaire,
- ✓ Évaluer l'impact de l'ASN sur les indicateurs anthropométriques en utilisant une taille échantillon plus large et un temps de suivi plus long.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abay K, Hirvonen K. Does market access mitigate the impact of seasonality on child growth? Panel data evidence from northern Ethiopia. *J Dev Stud* 2016;53(9):1414-1429.

Abebe Z, Haki GD, Baye K. Health extension workers' knowledge and knowledge-sharing effectiveness of optimal infant and young child feeding are associated with mothers' knowledge and child stunting in rural Ethiopia. *Food Nutr Bull* 2016;37:353-63.

Abizari A-R, Azupogo F, Brouwer ID. Subclinical inflammation influences the association between vitamin A and iron status among school children in Ghana. *PLoS one* 2017;12(2):e0170747.

Aburto NJ, Abudou M, Candeias V, Wu T. Effect and safety of salt iodization to prevent iodine deficiency disorders: A systematic review with meta-analyses. WHO eLibrary of Evidence for Nutrition Actions (eLENA). Geneva: World Health Organization. 2014. p 150.

Accrombessi M, Zeitlin J, Massougbdji A, Cot M, Briand V. What do we know about risk factors for fetal growth restriction in Africa at the time of sustainable development goals? A Scoping Review. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2018;32(2):184-196.

Acharya K, Sanghvi T, Diene S, Stapleton V, Seumo E, Srikantiah S, et al. Using Essential Nutrition Action (ENA) to accelerate coverage with nutrition interventions in high mortality settings. *BASICS*: Washington, DC. 2004.

Adair LS, Fall CH, Osmond C, Stein AD, Martorell R, Ramirez-Zea M, et al. Associations of linear growth and relative weight gain during early life with adult health and human capital in countries of low and middle income: findings from five birth cohort studies. *Lancet* 2013;382(9891):525-34.

Adamu F, Gallagher M, Thangarasa PX. Child Development Grant Programme (CDGP) in Northern Nigeria: influencing nutrition-sensitive social policy programming in Jigawa State. *Field Exchange* 2015;51:104.

Addo OY, Stein AD, Fall CH, Gigante DP, Guntupalli AM, Horta BL et al. Maternal height and child growth patterns. *J Pediatr* 2013;163:549-554.

Adeyeye SAO. The role of food processing and appropriate storage technologies in ensuring food security and food availability in Africa. *Nutr Food Sci* 201;47(1):122-39.

ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie). Enquête Démographique et de Santé Continue. Rapport Final (EDS-Continue 2017). Dakar, Sénégal. 2018. p 380.

Agne-Djigo A, Dossou NI, Kwadjode KM, Tanumihardjo SA, Wade S. High prevalence of vitamin A deficiency is detected by the modified relative dose-response test in six-months-older Senegalese breast-fed infants. *J Nutr* 2012;142:191-96.

Agne-Djigo A, Kwadjode KM, Dossou NI, Diouf A, Guiro AT, Wade S. Energy intake from human milk covers the requirement of 6-month-old Senegalese exclusively breast-fed infants. *Br J Nutr* 2013;1-7.

Ahmad S, Basak T, Anand Kumar K, Bhardwaj G, Lalitha A, Yadav DK et al. Maternal micronutrient deficiency leads to alteration in the kidney proteome in rat pups. *J Proteomics* 2015;127(Pt A):178-84.

Ahmed N & Garnett ST. Integrated rice-fish farming in Bangladesh: meeting the challenges of food security. *Food Sec* 2011;3(1):81-92.

Ahmed N, Zander KK, Garnett ST. Socioeconomic aspects of rice-fish farming in Bangladesh: opportunities, challenges and production efficiency. *Aust J Agric Resour Econ* 2011;55(2):199-219.

Akresh R, Verwimp P, Bundervoet T. Civil war, crop failure, and child stunting in Rwanda. *Econ Dev Cult Change* 2011;59(4):777-810.

Alabi RA, Esobhawan RA, Aruna MB. Econometric determination of contribution of family poultry to women's income in Niger-Delta, Nigeria. *J Cent Eur Agric* 2006;7(4):753-60.

Allen L, de Benoist B, Dary O, Hurrell R. Guidelines on food fortification with micronutrients. World Health Organization Geneva. 2006. p 257.

Allison EH, Delaporte A, de Silva HD. Integrating fisheries management and aquaculture development with food security and livelihoods for the poor. Report submitted to the Rockefeller Foundation, School of International Development, University of East Anglia Norwich, UK. 2013. p 124.

Amin SB, Orlando M, Eddins A, MacDonald M, Monczynski C, Wang H. In utero iron status and auditory neural maturation in premature infants as evaluated by auditory brainstem response. *J Pediatr* 2010;156:377-81.

ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie). Enquête Démographique et de Santé à Indicateurs Multiples EDSV-MICS de 2017. Dakar, Sénégal. Rapport EDS-Continue. 2018. p 380.

Arifeen SE, Hoque DE, Akter T, Rahman M, Hoque ME, Begum K, et al. Effect of the integrated management of childhood illness strategy on childhood mortality and nutrition in a rural area in Bangladesh: a cluster randomized trial. *Lancet* 2009;374(9687):393-403.

Arimond M & Ruel MT. Dietary diversity is associated with child nutritional status: evidence from 11 Demographic and Health Surveys. *J Nutr* 2004;134:2579-2585.

Asante BO, Villano RA, Patrick IW, Battese GE. Determinants of farm diversification in integrated crop-livestock farming systems in Ghana. *Renew Agric Food Syst* 2017;33(2):131-149.

Aubel J. The role and influence of grandmothers on child nutrition: culturally designated advisors and caregivers. *Matern child nutr* 2012;8(1):19-35.

Avula R, Kosec K, Brian H, Parul T, Stephanie H, Purnima M. Education and work incentives for frontline workers and household socioeconomic status influence delivery of health and nutrition interventions in Bihar, India. *FASEB J* 2014;28(S1):624-5.

Azzarri C, Zezza A, Haile B, Cross E. Does livestock ownership affect animal source foods consumption and child nutritional status? Evidence from Rural Uganda. *J Dev Stud* 2015;51(8):1034-1059.

Ba Lo N, Aaron GJ, Hess SY, Dossou NI, Guiro AT, Wade S et al. Plasma zinc concentration responds to short-term zinc supplementation, but not zinc fortification, in young children in Senegal. *Am J Clin Nutr* 2011;93:1348-55.

Badiane A, Diouf A, Sarr M, Dione JMN, Dossou NI, Wade S. Factors associated with early initiation of breastfeeding and complementary feeding practices in infants and young children in rural area of Senegal: a cross-sectional study. 2018. Manuscript non in Press.

Bailey RL, West KP Jr, Black RE. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Ann Nutr Metab* 2015;66(Suppl.2):22-33.

Barber C, Rankin J, Heslehurst N. Maternal body mass index and access to antenatal care: a retrospective analysis of 619,502 births in England. *BMC Pregnancy Childbirth* 2017;17:290.

Barker D, Osmond C, Golding J, Kuh D, Wadsworth ME. Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. *BMJ* 1989;298(6673):564-7.

Barker DJ, Hales NJ, Fall CH, Osmond C, Phipps K, Clark PM. Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus, hypertension and hyperlipidemia (syndrome X): relation to reduced fetal growth. *Diabetologica* 1993;36:62-7.

Bengtsson A, Namutebi A, Alming ML, Svanberg U. Effects of various traditional processing methods on the all-trans- β -carotene content of orange-fleshed sweet potato. *J Food Compos Anal* 2008;21:134-143.

Berhane G, Devereux S, Hoddinott J, Hoel J, Roelen K, Abay K et al. Evaluation of the social cash transfer pilot programme, Tigray Region, Ethiopia. Endline report. International Food Policy Research Institute. 2015. p 184.

Bhutta ZA, Das JK, Rizvi A, Gaffey MF, Walker N, Horton S et al. Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost? *Lancet* 2013;382(9890):452-77.

Black RE, Allen LH, Bhutta ZA, Caulfield LE, de Onis M, Ezzati M, et al. Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet* 2008;371:243-60.

Black RE, Victora CG, Walker SP, Bhutta ZA, Christian P, de Onis M et al. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *Lancet* 2013;382:427-51.

Bleichrodt N & Born M. A Meta-analysis of research into iodine and its relationship to cognitive development, in *The Damaged Brain of Iodine Deficiency*, edited by John B. Stanbury, Cognizant Communication Corporation, New York, 1994;195-200.

Bork K, Cames C, Barigou S, Cournil A, Diallo A. A summary index of feeding practices is positively associated with height-for-age, but only marginally with linear growth, in rural Senegalese infants and toddlers. *J Nutr* 2012;142(6):1116-1122.

Bouis HE & Saltzman A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Glob Food Sec* 2017;12:49-58.

Bouis HE, Hotz C, McClafferty B, Meenakshi JV, Pfeiffer WH. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food Nutr Bull* 2011;32(Suppl 1):S31-S40.

Breymann C. Iron deficiency anemia in pregnancy. *Sem Hematol* 2015;52:339-347.

Brown A & Davies R. Fathers' experiences of supporting breastfeeding: challenges for breastfeeding promotion and education. *Matern Child Nutr* 2014;10(4):510-26.

Burri BJ. Evaluating sweet potato as an intervention food to prevent vitamin A deficiency. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2011;10:118-130.

Carletto C, Corral P, Guelfi A. Agricultural commercialization and nutrition revisited: empirical evidence from three African countries. *Food Policy* 2017;67:106-18.

Carletto G, Ruel M, Winters P, Zezza A. Farm-level pathways to improved nutritional status: introduction to the special issue. *J Dev Stud* 2015;51:945-57.

Casanovas MC, Lutter CK, Mangasaryan N, Mwadime R, Hajeebhoy N, Aguilar AM et al. Multi-sectoral interventions for healthy growth. *Matern Child Nutr* 2013;9(Suppl. 2):46-57.

Casapía M, Joseph SA, Núñez C, Rahme E, Gyorkos TW. Parasite and maternal risk factors for malnutrition in preschool-age children in Belen, Peru using the new WHO child growth standards. *Br J Nutr* 2007;98(6):1259-66.

Chaffee BW & King JC. Effect of zinc supplementation on pregnancy and infant outcomes: a systematic review. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2012;26(suppl 1):118-137.

- Chandrasekhar S**, Aguayo VM, Krishna V, Nair R. Household food insecurity and children's dietary diversity and nutrition in India. Evidence from the comprehensive nutrition survey in Maharashtra. *Matern Child Nutr* 2017;13(S2):e12447.
- Chaudhury N**, Friedman J, Onishi J. Philippines conditional cash transfer program impact evaluation 2012. Report Number 75533-PH. 2013. p 80.
- Chavatte-Palmer P**, Morel O, Pachy F, Tsatsaris V, Bonneau M. Modèles animaux du retard de croissance intra-utérin d'origine. *Bull Acad Vet France* 2008.
- Checkley W**, Buckley G, Gilman RH, Assis AM, Guerrant RL, Morris SS, et al. Multi-country analysis of the effects of diarrhea on childhood stunting. *Int J Epidemiol* 2008;37(4):816-30.
- CLM (Cellule de Lutte contre la Malnutrition)**. Elaboration du Plan Stratégique Multisectoriel de la Nutrition du Sénégal. 2016. p 20.
- CLM (Cellule de Lutte contre la Malnutrition)**. Etude qualitative des déterminants de la malnutrition Au niveau communautaire. Rapport final Point E Dakar Sénégal. 2013. p 81.
- Coly AN**, Milet J, Diallo A, Ndiaye T, Bénéfice E, Simondon F et al. Preschool stunting, adolescent migration, catch-up growth, and adult height in young Senegalese men and women of rural origin. *J Nutr* 2006;136:2412-20.
- Contento IR**. Nutrition education: Linking theory, research, and practice. *Asia Pac J Clin Nutr* 2008;17(Suppl 1):176-9.
- COSFAM/MI/UCAD**. Rapport de la situation de base en vitamine A, fer et zinc chez les enfants de 12-59 mois et les femmes en âge de procréer (15-49 ans) dans le cadre du programme de fortification des aliments en micronutriments au Sénégal. 2012. p 153.
- Coward WA**, Parkinson SA, Murgatroyd PR. Body composition measurements for nutrition research. *Nutr Res Rev* 1988;1:115-124.
- CSA (Central Statistical Agency) (Ethiopia)** and ICF International. Ethiopia Demographic and Health Survey 2011. Addis Ababa, Ethiopia and Calverton, Maryland, USA: Central Statistical Agency and ICF International. 2012. p 270.
- Cunningham K**, Ploubidis GB, Menon P, Ruel M, Kadiyala S, Uauy R et al. Women's empowerment in agriculture and child nutritional status in rural Nepal. *Public Health Nutr* 2015;1-12.
- DAN (Division de l'Alimentation et de la Nutrition)**. Enquête Nutritionnelle Nationale Utilisant la Méthodologie SMART: Rapport Final. Dakar, Sénégal. 2016b. p 87. Available at: https://www.unicef.org/senegal/french/Rapport_SMART.pdf.

Danaei G, Andrews KG, Sudfeld CR, McCoy DC, Peet E, Sania A et al. Risk factors for childhood stunting in 137 developing countries: A comparative risk assessment analysis at global, regional, and country levels. *PLoS Med* 2016;13(11):e1002164.

Daru J, Allotey J, Peña-Rosas JP, Khan KS. Serum ferritin thresholds for the diagnosis of iron deficiency in pregnancy: a systematic review. *Transfus Med* 2017;27:167-174.

Das JK, Salam RA, Kumar R, Bhutta ZA. Micronutrient fortification of food and its impact on woman and child health: A systematic review. *Syst Rev* 2013;2:67.

Datar A, Liu J, Linnemayr S, Stecher C. The impact of natural disasters on child health and investments in rural India. *Soc Sci Med* 2013;76:83-91.

de Benoist B, McLean E, Egli I, Cogswell M. Worldwide prevalence of anaemia 1993-2005: WHO global database on anaemia. Geneva, World Health Organization, 2008.

de Brauw A, Eozenou P, Gilligan DO, Hotz C, Kumar N, Meenakshi JV. Biofortification, crop adoption, and health information: Impact pathways in Mozambique and Uganda. *HarvestPlus* 2015;21:30.

de Lorenzo A, Deurenberg P, Pietrantuono M, Di Daniele N, Cervelli V, Andreoli A. How fat is obese? *Acta Diabetol* 2003;40:S254-S257.

de Onis M, Blossner M, Villar J. Levels and patterns of intrauterine growth retardation. *Eur J Clin Nutr*. 1998;52(Suppl1):5-15.

De-Regil LM, Pena-Rosas JP, Fernandez-Gaxiola AC, Rayco-Solon P. Effects and safety of periconceptional oral folate supplementation for preventing birth defects. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;12:CD007950.

De-Regil LM, Suchdev PS, Vist GE, Walleser S, Peña-Rosas JP. Home fortification of foods with multiple micronutrient powders for health and nutrition in children under two years of age (Review). *Evid Based Child Health* 2013;8(1):112-201.

Dewey KG & Begum K. Long-term consequences of stunting in early life. *Matern Child Nutr* 2011;7(Suppl 3):5-18.

Dewey KG & Begum K. Why stunting matters. *Alive Thrive* 2010;2:1-7.

Dewey KG & Mayer RD. Early child growth: how do nutrition and infection interact? *Alive Thrive* 2011;3:1-11.

Dey MM, Kambewa P, Prein M, Jamu D, Paraguas FJ, Pemsil DE, et al. Impact of development and dissemination of Integrated Aquaculture-Agriculture (IAA) technologies in Malawi. *World Fish Centre Quarterly* 2006;29(1&2):28-35.

Di Falco S & Chavas JP. On crop biodiversity, risk exposure and food security in the highlands of Ethiopia. *Am J Agric Econ* 2009;91(3):599-613.

Diaby A, Mohamed AS, Camara B, Sall G, Youssouf M. Couverture de la supplémentation en vitamine A chez les enfants âgés de 6 à 59 mois après deux campagnes successives au Sénégal. *J Pediatr Puéricul* 2018;31(6):277-281.

Diana A, Haszard JJ, Purnamasari DM, Nurulazmi I, Luftimas DE, Rahmania S, et al. Iron, zinc, vitamin A and selenium status in a cohort of Indonesian infants after adjusting for inflammation using several different approaches. *Br J Nutr* 2017;118:830-839.

Diouf A, Adom T, Aouidet A, El Hamdouchi A, Joonas NI, Loechl CU et al. Body mass index vs deuterium dilution method for establishing childhood obesity prevalence, Ghana, Kenya, Mauritius, Morocco, Namibia, Senegal, Tunisia and United Republic of Tanzania. *Bull World Health Organ* 2018;96:772-781.

Dossou NI, Diouf A, Gueye AL, Guiro AT, Wade S. Impact of daily consumption of Moringa dry leaf powder on iron status of Senegalese lactating women. *AJFAND* 2011;11(4):4985-99.

Dossou NI, Wade S, Guiro AT, Sarr CS, Diahm B, Cisse D et al. Nutritional status of preschool Senegalese children: long-term effects of early severe malnutrition. *Br J Nutr* 2003;90:1123-32.

Drewnowski A & Eichelsdoerfer P. Can Low-Income Americans afford a healthy diet? *Nutr Today* 2010;44(6):246-249.

Egbi G, Gbogbo S, Mensah GE, Glover-Amengor M, Steiner-Asiedu M. Effect of green leafy vegetables powder on anemia and vitamin-A status of Ghanaian school children. *BMC Nutr* 2018;4:27.

Engle-Stone R, Ndjebayi AO, Nankap M, Killilea DW, Brown KH. Stunting prevalence, plasma zinc concentrations, and dietary zinc intakes in a nationally representative sample suggest a high risk of zinc deficiency among women and young children in Cameroon. *J Nutr* 2014;144(3):382-391.

Engle-Stone R, Williams TN, Nankap M, Ndjebayi A, Gimou MM, Oyono UY, et al. Prevalence of inherited hemoglobin disorders and relationships with anemia and micronutrient status among children in Yaoundé and Douala, Cameroon. *Nutrients* 2017;9:693.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Agriculture et systèmes alimentaires sensibles à la nutrition en pratique : Option d'intervention. FAO, Rome. 2018. p 106.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/Food and Nutrition Technical Assistance III Project). Minimum Dietary Diversity for Women: A Guide for Measurement. FAO Rome. 2016. p 1-81.

FAO (Food and Agriculture Organization). Report of the global conference on small-scale fisheries-securing sustainable small-scale fisheries: Bringing together responsible fisheries and social development. Bangkok, Thailand. 2009c. FAO, Rome.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). Rapport mondial trimestriel de Septembre: Perspectives de récolte et situation alimentaire. Rome - Italie FAO. 2018. p 44.

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization). Human Vitamin and Mineral Requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Geneva: FAO/WHO. 2004. p 1-57.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization-Statistics). Food and agriculture databases: Crop statistics. 2016. Accessible sur : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.

Farhadi S & Ovchinnikov RS. The relationship between nutrition and infectious diseases: A review. Biomed Biotechnol Res J 2018;2:168-72.

Fernandes SS & Salas-Mellado MM. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. Food Chem 2017;227:237-244.

Fernandez-Gaxiola AC & De-Regil LM. Intermittent iron supplementation for reducing anaemia and its associated impairments in menstruating women. Cochrane Database Syst Rev 2011;12:CD009218.

FFI/GAIN/MI/USAID/World Bank/UNICEF. Investing in the future. A united call to action on vitamin and mineral deficiencies: Global Report 2009;978-1-894217-31-6.

Fink G, Peet E, Danaei G, Andrews K, McCoy DC, Sudfeld CR et al. Schooling and wage income losses due to early-childhood growth faltering in developing countries: National, regional, and global estimates. Am J Clin Nutr 2016;104(1):104-12.

Finkelstein J, Mehta S, Udipi S, Ghugre PS, Luna SV, Wenger MJ et al. A randomized trial of iron-biofortified pearl millet in school children in India. J Nutr 2015;145(7):1576-81.

Fiorentino M, Bastard G, Sembène M, Fortin S, Traissac P, Landais E et al. Anthropometric and micronutrient status of school-children in an urban West Africa setting: A cross-sectional study in Dakar (Senegal). PLoS One 2013;8(12):e84328.

Flegal KM & Kalantar-Zadeh K. Overweight, mortality and survival. Obesity 2003;21(9):1744-1745.

FAO (Food and Agriculture Organization). An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integ Crop Manage* 2010;13:1-63.

Forbes GB. Human body composition. New York, Springer Verlag, 1987.

Forsum E. Gestational weight gain and body composition in pregnant and postpartum women. In biology of the first thousand days. In *oxidative stress and disease* 2017;250-256.

Frei M & Becker K. Integrated rice-fish culture: coupled production saves resources. *Nat Res Forum* 2005;29(2):135-143.

Galhena DH, Freed R, Maredia KM. Home gardens: a promising approach to enhance household food security and wellbeing. *Agricult Food Sec* 2013;2:8.

Gamble MV, Ahsan H, Liu X, Factor-Litvak P, Ilievski V, Slavkovich V et al. Folate and cobalamin deficiencies and hyperhomocysteinemia in Bangladesh. *Am J Clin Nutr.* 2005;81(6):1372-77.

Ganji V, Kafai MR. Population reference values for plasma total homocysteine concentrations in US adults after the fortification of cereals with folic acid. *Am J Clin Nutr* 2006;84(5):989-994.

Gannon B, Kaliwile C, Arscott S, Schmaelzle S, Chileshe J, Kalungwana N, et al. Biofortified orange maize is as efficacious as a vitamin A supplement in Zambian children even in the presence of high liver reserves of vitamin A: a community-based, randomized placebo-controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2014;100(6):1541-50.

GBD (Global Burden of Disease) study. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *N Engl J Med* 2017 6;377(1):13-27.

Géa-Horta T, Silva RCR, Fiaccone RL, Barreto ML, Velásquez-Meléndez G. Factors associated with nutritional outcomes in the mother-child dyad: a population-based cross-sectional study. *Public Health Nutr* 2016;19(15):2725-2733.

Gebremedhin K, Abegaz K, Mulugeta A, Singh P. Nutritional analysis of vitamin A enriched bread from orange flesh sweet potato and locally available wheat flours at Samre Woreda, Northern Ethiopia. *Curr Res Nutr Food Sci* 2013;1(1):49-57.

Gertler PJ, Martinez S, Premand P, Rawlings LB, Vermeersch CMJ. Impact evaluation in practice. 2010. p 266. <http://www.worldbank.org/ieinpractice>.

Gillespie S, Harris J, Kadiyala S. The agriculture-nutrition disconnect in India, What do we know? IFPRI Discussion Paper 2012;1187:55.

Gilligan DO & Roy S. Resources, stimulation, and cognition: How transfer programs and preschool shape cognitive development in Uganda. Paper presented at the Agricultural & Applied Economics Association's & CAES Joint Annual Meeting, Washington, DC. 2013.

Ginsen AI, Mayo JA, Carmichael SL, Phibbs CS, Shachar BZ, Stevenson DK et al. Women's prepregnancy underweight as a risk factor for preterm birth: a retrospective study. *BJOG* 2016;123:2001-7.

Girard AW, Self JL, Corey M, Oludea O. The effects of household food production strategies on the health and nutrition outcomes of women and young children: A systematic review. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2012;26(Suppl. 1):205-222.

Golden MH & Ramdath D. Free radicals in the pathogenesis of kwashiorkor. *Proc Nutr Soc* 1987; 46:53-68.

Golden MH, Ramdath DD, Golden BE. Free radicals and malnutrition. In: Dreosti IE. (ed) Trace elements, micronutrients and free radicals. Totowa, NJ: Humana Press, 1991;199.

Golden MH. Proposed recommended nutrient densities for moderately malnourished children. *Food Nutr Bull* 2009;30:S267-342.

Gracia-Casal MN, Osorio C, Landaeta M, Leets I, Matus P, Fazzino F et al. High prevalence of folic acid and vitamin B12 deficiencies in infants, children, adolescents and pregnant women in Venezuela. *Eur J Clin Nutr* 2005;59(9):1064-70.

Graulet Benoît. A Source of Vitamins in Human Nutrition. *Anim Front* 2014;4(2):24-30.

Guatam OP, Mills JE, Chitty A, Curtis V. Complementary food hygiene: An overlooked opportunity in the WASH, nutrition and health sectors, 2015. p 1-10.

Gueye AL. Carences en fer, zinc et vitamine A chez les femmes rurales du Département de Sédhiou, Région de Kolda. Thèse de Troisième cycle. Soutenue à l'UCAD en 2006. p 162.

Haas J, Luna SV, Lung'aho MG, Ngabo F, Wenger M, Murray-Kolb L et al. Consuming iron biofortified beans significantly improved iron status in Rwandan women after 18 weeks. *J Nutr* 2017;146(8):1586-92.

Haidar J. Prevalence of anemia, deficiencies of iron and folic acid and their determinants in Ethiopian women. *J Health Popul Nutr* 2010;28(4):359-68.

Handa S, Seidenfeld D, Tembo G, Prencipe L, Peterman A. Zambia's child grant program: 24-month impact report. 2013. Accessible sur : <http://www.fao.org/3/a-i3692e.pdf>.

Hanson M, Bardsley A, De-Regil L, Moore SE, Oken E, Poston L et al. The International Federation of Gynecology and Obstetrics (FIGO) recommendations on adolescent, preconception, and maternal nutrition: “Think nutrition first.” *Int J Gynaecol Obstet* 2015;131(Suppl4):S213-S53.

HarvestPlus. Biofortification: The nutrition revolution is now. 2018. Accessible sur : <http://www.harvestplus.org/biofortification-nutrition-revolution-now>.

HarvestPlus. Disseminating orange-fleshed sweet potato: findings from a HarvestPlus Project in Mozambique and Uganda. *HarvestPlus* 2012:10.

Headey D & Hirvonen K. Is exposure to poultry harmful to child nutrition? An observational analysis for rural Ethiopia. *PLoS One* 2016;11(8):e0160590.

Herforth A & Harris J. Understanding and applying primary pathways and principles. Improving nutrition through agriculture technical brief series. *SPRING? Virginia*. 2014. Brief 1:1-14.

Herrero M, Thornton PK, Notenbaert A, Msangi S, Wood S, Kruska R, et al. Drivers of change in crop-livestock systems and their potential impacts on agro-ecosystems services and human wellbeing to 2030: A study commissioned by the CGIAR system wide livestock Program, Addis Ababa. 2012. p 1-114.

Hess SY & Brown KH Impact of zinc fortification on zinc nutrition. *Food Nutr Bull* 2009;30:S79-S107.

Hirvonen K & Hoddinott J. Agricultural production and children’s diets: Evidence from rural Ethiopia. *Agricult Econ* 2017;48(4):469-480.

HLPE (Groupe d’experts de haut niveau). La durabilité de la pêche et de l’aquaculture au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition. Rapport du Groupe d’experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, Rome 2014.

Hoddinott J, Headey D, Dereje M. Cows, missing milk markets and nutrition in rural Ethiopia. *J Dev Stud* 2015;51:958-975.

Horta BL, Loret de Mola C, Victora CG. Breastfeeding and intelligence: a systematic review and meta-analysis. *Acta Paediatr* 2015;104(467):14-9.

Hotz C, Loechl C, de Brauw A, Eozenou P, Gilligan D, Moursi M et al. A large-scale intervention to introduce orange sweet potato in rural Mozambique increases vitamin A intakes among children and women. *Br J Nutr* 2012a;108:163-176.

Howarth EB & Saltzman A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Glob Food Sec* 2017;12:49-58.

Huntsman AC, White NG. Modernization in Bali, Indonesia and the influence of socio-economic factors on the nutritional status of preschool children in 1989/1990: an anthropometric study. *Ann Hum Biol* 2007;34(4):411-24.

IAEA (International Atomic Energy Agency). Human health series No. 12: Introduction to body composition assessment using the deuterium dilution technique with analysis of saliva samples by Fourier Transform Infrared Spectrometry. Vienna: IAEA. 2010. p 1-96.

icddr'b, UNICEF, GAIN, Institute of Public Health and Nutrition. National micronutrients status Survey 2011-12. Dhaka, Bangladesh: icddr'b; 2013.

IFPRI (Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires). Scores GHI 2017 par sévérité. Carte de l'Indice de la faim dans le monde 2017 : Les inégalités de la faim. Bonn, Washington, DC & Dublin. 2017. p 1-8.

Iiyama M, Maitima J, Kariuki P. Crop-livestock diversification patterns in relation to income and manure use: A case study from a Rift Valley Community, Kenya. *Afr J Agricult Res* 2007;2(3):058-066.

Imdad A, Herzer K, Mayo-Wilson E, Yakoob MY, Bhutta ZA. Vitamin A supplementation for preventing morbidity and mortality in children from 6 months to 5 years of age. *Cochrane Database Syst Rev* 2010;12:CD008524.

Imdad A, Yakoob MY, Sudfeld C, Haider BA, Black RE, Bhutta ZA. Impact of vitamin A supplementation on infant and childhood mortality. *BMC Public Health* 2011;3:S20.

Indira A & Kantha K. Nutritional status of antenatal and postnatal mothers in selected rural areas at Nellore. *Int J Rec Sci Res* 2015;6(2):2796-2800.

Islam FU. Self-recruiting species (SRS) in aquaculture: their role in rural livelihoods in two areas of Bangladesh. 2007 PhD Thesis, University of Sterling.

Islama AHMS, Barman BK, Murshed-Jahan K. Adoption and impact of integrated rice-fish farming system in Bangladesh. *Aquaculture* 2015;447:76-85.

ISO (International Organization for Standardization). Sensory analysis methodology general guidance. ISO 6658:2017(en). Accessible sur : <https://www.iso.org/standard/65519.html>.

ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole). Les cultures maraichères au Sénégal: Bilan des activités de 1972-1985 du centre pour le développement de l'horticulture. 1986. p 1-269. Available at: http://intranet.isra.sn/aurifere/opac_css/docnum/CH0000187.pdf.

ISRA/ITA/SAED. La patate douce, filière de tous les espoirs. 2009. p 2. Accessible sur : <http://www.saed.sn/download/fiches/fiche%20papate%20douce.pdf>.

Jones AD, Ickes SB, Smith LE, Mbuya MN, Chasekwa B, Heidkamp RA, et al. World Health Organization infant and young child feeding indicators and their associations with child anthropometry: a synthesis of recent findings. *Matern Child Nutr* 2014;10(1):1-17.

Joshi S, Unni J, Vijay S, Khanijo V, Gupte N, Divate U. Obesity and pregnancy outcome in a private tertiary hospital in India. *Int J Gynaecol Obstet* 2011;114:82-83.

Kadiyala S, Harris J, Headey D, Yosef S, Gillespie S. Agriculture and nutrition in India: mapping evidence to pathways. *Ann N Y Acad Sci* 2014;1331(1):43-56.

Kapinga R, Tumwegamire S, Ndunguru J, Andrade MI, Agili S, Mwangi RO et al. Catalogue of orange-fleshed sweet potato varieties for Sub-Saharan Africa. Lima, Peru: International Potato Center (CIP). 2010. pp. 1-40.

Karakochuk CD, Whitfield CK, Green TJ, Kraemer K. Preface. In *Biology of the first thousand days. In Oxidative stress and disease* 2018. p 15-16.

Karakochuk CD, Whitfield CK, Green TJ, Kraemer K. Preface. In *Biology of the first thousand days. In Oxidative stress and disease* 2018. p 15-16.

Keding GB, Schneider K, Jordan I. Production and processing of foods as core aspects of nutrition-sensitive agriculture and sustainable diets. *Food Sec* 2013;1-22.

Kendall P & Dimond N. Food storage for safety and quality. *Food Nutr Series Health* 2012;9:3101-5.

Khan J, Vesel L, Bahl R, Martines JC. Timing of breastfeeding initiation and exclusivity of breastfeeding during the first month of life: Effects on neonatal mortality and morbidity-A Systematic review and meta-analysis. *Matern child Health J* 2015;19:468-79.

Kidmose U, Christensen LP, Agili SM, Thilsted SH. Effect of home preparation practices on the content of provitamin A carotenoids in coloured sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* Lam.) from Kenya. *Innov Food Sci Emerg Technol* 2007;8:399-406.

King JC, Brown KH, Gibson RS, Krebs NF, Lowe NM. Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)-Zinc Review. *J Nutr* 2016;146(Suppl):858S-85S.

King JC. Zinc: an essential but elusive nutrient. *Am J Clin Nutr* 2011;94:679S-684S.

Koppmair S, Kassie M, Qaim M. Farm production, market access and dietary diversity in Malawi. *Public Health Nutr* 2017;20(2):325-335.

Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Pivec V, Orsák M, Hamouz K. Carotenoid profile and retention in yellow-, purple- and red-fleshed potatoes after thermal processing. *Food Chem* 2016;197:992-1001.

Kozuki N, Katz J, Lee AC, Vogel JP, Silveira MF, Sania A et al. Short maternal stature increases risk of small-for-gestational age and preterm births in low- and middle-income countries: Individual participant data meta-analysis and population attributable fraction. *J Nutr* 2015;145:2542-50.

Kumar P & Dey MM. Nutritional intake and dynamics of undernourishment of farm households in rural India. *Indian Dev Rev* 2006;4(2):269-284.

Lander RL, Lander AG, Houghton L Williams SM, Costa-Ribeiro H, Barreto DL et al. Factors influencing growth and intestinal parasitic infections in preschoolers attending philanthropic daycare centers in Salvador, Northeast Region of Brazil. *Cad Saúde Pública* 2012;28:2177-2188.

Larson LM, Addo OY, Sandalinas F, Katherine Faigao, Roland Kupka, Rafael Flores-Ayala et al. Accounting for the influence of inflammation on retinol-binding protein in a population survey of Liberian preschool-age children. *Matern Child Nutr* 2017;13:e12298.

Lartey A. Maternal and child nutrition in Sub-Saharan Africa: challenges and interventions. *Proc Nutr Soc* 2008;67(1):105-8.

Latham M. La nutrition dans les pays en développement, FAO, 2001.

Lavigne S. La difficile percée d'un modèle alternatif dans les rapports Nord-Sud: Le cas de Songha. Mémoire de Maîtrise 2005 soutenu à l'Université du Québec à Montréal.

Leon DA, Lithell HO, Vågerö D, Koupilová I, Mohsen R, Berglund L et al. Reduced fetal growth rate and increased risk of death from ischaemic heart disease: Cohort study of 15000 Swedish men and women born 1915-29. *BMJ* 1998;317(7153):241-5.

Leroy JL, Olney KD, Ruel M. Chapter 10: Evaluating Nutrition-Sensitive Programs: Challenges, Methods, and Opportunities. *ReSAKSS Annual Trends and Outlook Report*. p 130-146.

Levitt EJ, Pelletier DL, Pell AN. Revisiting the UNICEF malnutrition framework to foster agriculture and health sector collaboration to reduce malnutrition: a comparison of stakeholder priorities for action in Afghanistan. *Food Policy* 2009;34:156-65.

Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2012;380:2224-60.

Lin A, Arnold BF, Afreen S, Goto R, Huda MT, and Haque R. Household environmental conditions are associated with enteropathy and impaired growth in rural Bangladesh. *Am J Trop Med Hyg* 2013;89:130-137.

Liu C, Mou S, Cai Y. FTO Gene variant and risk of overweight and obesity among children and adolescents: a Systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 2013;8(11):e82133.

Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youth. *Exerc Sport Sci Rev* 1986;14:325-57.

Lohman TG. Basic concepts in body composition assessment: Advances in body composition assessment. Champaign, IL. Human Kinetics 1992:109.

Longo S, Bollani L, Decembrino L, Di Comite A, Angelini M, Stronati M. Short-term and long-term sequelae in intrauterine growth retardation (IUGR). *J Matern Fetal Neonat Med* 2013;26:222-225.

Low JW, Arimond M, Osman N, Cunguara B, Zano F, Tschirley D. A food-based approach introducing orange-fleshed sweet potatoes increased vitamin A intake and serum retinol concentrations in young children in rural Mozambique. *J Nutr* 2007;137:1320-27.

Lozoff B, Smith JB, Kaciroti N, Clark KM, Guevara S, Jimenez E. Functional significance of early-life iron deficiency: outcomes at 25 years. *J Pediatr* 2013;163:1260-1266.

LQAS (Lot Quality Assessment Sampling). Evaluation du Programme de développement agricole et nutritionnel pour la sécurité alimentaire au Sénégal. Rapport Projet USAID/Yaajeende. 2016. p 1-62.

Lutter R. Cognitive performance, labor market outcomes and estimates of the economic value of cognitive effects of breastfeeding. 2016. Manuscrit non publié, mai.

Mack S, Hoffman D, Otte J. The contribution of poultry to rural development. *World's Poult Sci J* 2005;61(1):7-14.

Macours K, Schady N & Vakis R. Cash transfers, behavioral changes, and cognitive development in early childhood: Evidence from a randomized experiment. *Am Econ J* 2012;4(2):247-73.

Makate C, Wang R, Makate M, Mango N. Crop diversification and livelihoods of smallholder farmers in Zimbabwe: adaptive management for environmental change. SpringerPlus. 2016;5(1):1-18.

Malapit HJL, Kadiyala S, Quisumbing AR, Cunningham K, Tyagi P. Women's empowerment mitigates the negative effects of low production diversity on maternal and child nutrition in Nepal. *J Dev Stud* 2015;51:1097-123.

Mannar MGV. The case for urgent action to address nutritional anemia in Nutritional anemia. *Sight Life Press* 2007;14-18.

Marie Ng, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 2014;384(9945):766-81.

- Martorell R**, Young MF. Patterns of stunting and wasting: potential explanatory factors. *Adv Nutr* 2012;3(2):227-33.
- Masset M**, Haddad L, Cornelius A, Isaza-Castro J. Effectiveness of agricultural interventions that aim to improve nutritional status of children: systematic review. *BMJ* 2012;344:d8222.
- McDonald CM**, Olofin I, Flaxman S, Fawzi WW, Spiegelman D, Caulfield LE et al. The effect of multiple anthropometric deficits on child mortality: meta-analysis of individual data in 10 prospective studies from developing countries. *Am J Clin Nutr* 2013;97(4):896-901.
- McMahon K**. Herding livestock programs toward nutrition: A critical analysis with a focus on Rwanda's Feed the Future dairy program. A report of the CSIS global food security project. 2016. p 54.
- Mejia-Rodriguez F**, Shamah-Levy T, Villalpando S, Garcia-Guerra A, Mendez-Gomez HI. Iron, zinc, copper and magnesium deficiencies in Mexican adults from the National Health and Nutrition Survey 2006. *Salud Publica Mex* 2013;55(3):275-84.
- Mekuria W & Mekonnen K**. Determinants of crop-livestock diversification in the mixed farming systems: evidence from central highlands of Ethiopia. *Agric Food Sec* 2018;7:60.
- Modjadji SE**, Alberts M, Mamabolo RL. Folate and iron status of South African non pregnant rural women of childbearing age, before and after fortification of foods. *S Afr J Clin Nutr* 2007;20(3):89-93.
- Moraine M**, Duru M, Nicholas P, Leterme P, Therond O. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. *Animal* 2014;8(8):1204-17.
- Morales-Ruan Mdel C**, Villalpando S, Garcia-Guerra A, Shamah-Levy T, Robledo-Pérez R, Avila-Arcos MA, et al. Iron, zinc, copper and magnesium nutritional status in Mexican children aged 1 to 11 years. *Salud Publica Mex*. 2012;54(2):125-134.
- MSAS/MI/IPDSR**. Etude sur les troubles dus à la carence en iode au Sénégal 2009-2010. 2010.
- MSAS/MI/IPDSR**. Etude sur les troubles dus à la carence en iode au Sénégal. 2015.
- Mulugeta A**, Hagos F, Stoecker B, G Kruseman, V Linderhof, Z Abraha, et al. Nutritional status of adolescent girls from rural communities of Tigray, Northern Ethiopia. *Ethiop J Heal Dev* 2009;23(1):5-11.
- Ndiaye BN**, Siekmans K, Kung'u J, Wade S. Distribution of iron, vitamin A and zinc deficiencies in children and women in Senegal. *Eur J Nutr Food Saf* 2015;5:908-909.

Ndiaye NF, Idohou-Dossou N, Diouf A, Guiro AT, Wade S. Folate deficiency and anemia among women of reproductive age (15-49 Years) in Senegal: Results of a national cross-sectional survey. *Food Nutr Bull* 2017;39:65-74.

Ndong M, Wade S, Dossou N, Guiro AT, Gning RD. Valeur nutritionnelle du *Moringa oleifera*, étude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels Sénégalais avec la poudre des feuilles. *AJFAND* 2007;7(3):1-17.

Negash C, Whiting SJ, Henry CJ, Belachew T, Hailemariam TG. Association between maternal and child nutritional status in Hula, Rural Southern Ethiopia: A cross sectional study. *PLoS one* 2015;10(11):e0142301.

Nicholson Charles F, Mwangi L, Staal SJ, Thornton PK. Dairy cow ownership and child nutritional status in Kenya. Presentation, American Agricultural Economics Association, annual meeting, Montreal, Canada, 2003. p 29.

Nielsen H, Roos N, Thilsted SH. The impact of semi-scavenging poultry production on the consumption of animal source foods by women and girls in Bangladesh. *J Nutr* 2003;133(11 Suppl 2):4027S-4030S.

Odebode OS. Assessment of home gardening as a potential source of household income in Akinyele local government area of Oyo State. *Nig J Hort Sci* 2006;2:47-55.

Ogechi UP & Chilezie OV. Assessment of dietary diversity score, nutritional status and socio-demographic characteristics of under-5 children in some rural areas of Imo State, Nigeria. *Mal J Nutr* 2017;23(3):425-35.

Olaoye OA & Ade-Omowaye BIO. Composite flours and breads: potential of local crops in developing countries. In *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, Academic Press, Elsevier, London, San Diego 2011;183-192:9780123808868.

Olaoye OA & Onilude AA. Microbiological, proximate analysis and sensory evaluation of baked products from blends of Wheat-breadfruit flours. *Afr J Food Agricult Nutr Dev* 2008;8:192-208.

Olney DK, Bliznashka L, Pedehombga A, Dillon A, Ruel MT, Heckert J. A 2-year integrated agriculture and nutrition program targeted to mothers of young children in Burkina Faso reduces underweight among mothers and increases their empowerment: a cluster randomized controlled trial. *J Nutr* 2016;146(5):1109-17.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Hiérarchiser les domaines d'action prioritaires pour prévenir l'obésité de l'enfant dans la population. OMS 2012, Genève, 86 p.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). La prise en charge de la malnutrition sévère : Manuel à l'usage des médecins et autres personnels de santé à des postes d'encadrement. OMS, Genève, 2000. p 1-72.

OPM. Evaluation of the Uganda Social Assistance Grants for Empowerment (SAGE) Programme: Impact after one year of programme operations 2012-2013. 2015 Retrieved from http://www.opml.co.uk/sites/default/files/OPM_Uganda%20Report_web_FINAL.pdf.

Osendarp SJM, Murray-Kolb LE, Black MM. Case study on iron in mental development-in memory of John Beard (1947-2009). *Nutr Rev* 2010;68:S48-S52.

Oxford Policy Management India. Briefing on the Bihar child support programme, India. *Field Exchange* 2015;6:15.

Paes-Sousa R, Santos LMP, Miazakib DS. Effects of a conditional cash transfer programme on child nutrition in Brazil. *Bull World Health Organ* 2011;89:496-503.

Paiva AA, Rondo PHC, Reinaldo LGC, Pedraza DF, Ruz M. The Effect of vitamin A supplementation on retinol concentrations of children with anaemia. *Nutr Hosp* 2012;27(6):2151-2152.

Palmer AC, Healy K, Barffour MA, Siamusantu W, Chileshe J, Schulze KJ, et al. Provitamin A carotenoid-biofortified maize consumption increases pupillary responsiveness among Zambian children in a randomized controlled trial. *J Nutr* 2016;146(12):2551-2558.

Paxson C & Schady N. Does money matter? The effects of cash transfers on child development in rural Ecuador. *Econ Dev Cultur Change* 2010;59(1):187-229.

PNDN (Politique Nationale de Développement de la Nutrition) 2015-2015. Cellule de Lutte Contre la Malnutrition. Point E Dakar -Sénégal, 2015. p 1-25.

Prendergast AJ & Humphrey JH. The stunting syndrome in developing countries. *Paediatr Int Child Health* 2014;34(4):250-65.

Puett C, Salpéteur C, Lacroix E, Zimunya SD, Israël AD, Aït-Aïssa M. Cost-effectiveness of community vegetable gardens for people living with HIV in Zimbabwe. *Cost Eff Resour Alloc* 2014;12(1):11.

Rahman MM, Abe SK, Kanda M, Narita S, Rahman SM, Bilano V, et al. Maternal body mass index and risk of birth and maternal health outcomes in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews* 2015;16:758-70.

Rajyalakshmi K, Venkatalaxmi K, Venkatalakhmamma K, Jyothsna Y, Balachandramani KD, Suneetha V. Total carotenoid and beta-carotene contents of forest green leafy vegetables consumed by tribals of south India. *Plant Foods Hum Nutr* 2001;56:225-38.

Rawlins R, Pimkina S, Barrett CB, Pedersen S, Wydick B. The impact of Heifer International's livestock donation programs in Rwanda on nutritional outcomes. *Food Policy* 2014;44:202-213.

Regasa N & Stoecker B. Contextual risk factors for maternal malnutrition in a food insecure zone in southern Ethiopia. *J Biosoc Sci* 2012;44(5):537-48.

Reinhardt K & Fanzo J. Addressing chronic malnutrition through multi-sectoral, sustainable approaches: a review of the causes and consequences. *Nutr Env Sust* 2014;1(13):1-11.

PSE (Plan Sénégal Émergent) République du Sénégal. 2014-2035. Présidence de la république.

Rodriguez-Amaya DB, Kimura M. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. HarvestPlus Technical Monograph Series 2. Washington, DC: Harvest Plus. 2004. p 1-57.

Rollins NC, Bhandari N, Hajeebhoy N, Horton S, Lutter CK, Martines JC et al. Why invest, and what it will take to improve breastfeeding practices? *Lancet* 2016;387(10017):491-504.

Ruel MT & Menon P. Child feeding practices are associated with child nutritional status in Latin America: innovative uses of the Demographic and Health Surveys. *J Nutr* 2002;132:1180-1187.

Ruel MT, Alderman H, Maternal and Child Nutrition Study Group. Nutrition-sensitive interventions and programmes: How can they help to accelerate progress in improving maternal and child nutrition? *Lancet* 2013;382:536-51.

Ruel MT, Quisumbing A, Balagamwala M. Nutrition-sensitive agriculture: what have we learned and where do we go from here? IFPRI Discussion Paper 01681. 2017.

Sadler K & Catley A. Milk matters: The role and value of milk in the diets of Somali pastoralist children in Liben and Shinile, Ethiopia. 2009 Addis Ababa: Feinstein International Center, Tufts University and Save the Children.

Sahoo K, Sahoo B, Choudhury AK, Sofi NY, Kumar R, Bhadoria AS. Childhood obesity: causes and consequences. *J Fam Med Pri Care* 2015;4(2):187-192.

Sarangi SK, Madji B, Mahanta KK, Burman D, Mandal S, Mandal UK et al. Integrated Farming System: A holistic approach for farm income optimization and risk minimization in Coastal Region of India. *J Indian Soc Coastal Agric Res* 2016;34(2):15-21.

Sazawal S, Dhingra U, Dhingra P, Dutta A, Deb S, Kumar J et al. Efficacy of high zinc biofortified wheat in improvement of micronutrient status, and prevention of morbidity among preschool children and women - a double masked, randomized, controlled trial. *Nutr J* 2018;17:86.

Schellenberg JRM, Adam T, Mshinda H, Masanja H, Kabadi G, Mukasa O et al. Effectiveness and cost of facility-based Integrated Management of Childhood Illness (IMCI) in Tanzania. *Lancet* 2004;364:1583-94.

Schott WB, Crookston BT, Lundeen EA, Stein AD, Behrman JR. Periods of child growth up to age 8 years in Ethiopia, India, Peru and Vietnam: key distal household and community factors. *Soc Sci Med* 2013;97:278-87.

Schreinemachers P, Patalagsa MA, Uddin MN. Impact and cost-effectiveness of women's training in home gardening and nutrition in Bangladesh. *J Dev Eff* 2016;8(4):473-488.

Schweigert F, Schierle J, Hurtinne A, Mothes R. Analysis of total carotenoids in egg yolk – a fast and laboratory-independent assay. XIIIth European Poultry Conference. 2010. p 1-9.

SECNSA (Secrétariat Exécutif du Conseil national de Sécurité alimentaire). Enquête Nationale de Sécurité Alimentaire au Sénégal. Rapport final. 2016. p 1-47.

Selvakumaran L, Shukri R, Ramli NS, Dek MSP, Ibadullah WZW. Orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies. *J Saudi Society Agricult Sci* 2017. Article in Press. doi: 10.1016/j.jssas.2017.09.006.

Senbanjo IO, Olayiwola IO, Afolabi WA, Senbanjo OC. Maternal and child under-nutrition in rural and urban communities of Lagos state, Nigeria: the relationship and risk factors. *BMC Res Notes* 2013;6:286.

Shane B. Folate status assessment history: implications for measurement of biomarkers in NHANES. *Am J Clin Nutr* 2011;94(1):S337-S342.

Sherriff N, Hall V, Panton C. Engaging and supporting fathers to promote breast feeding: a concept analysis. *Midwifery* 2014;30(6):667-77.

Shi L, Zhang J, Wang Y, Caulfield LE, Guyer B. Effectiveness of an educational intervention on complementary feeding practices and growth in rural China: a cluster randomized controlled trial. *Public Health Nutr* 2010;13:556-65.

Shively G & Sununtnasuk C. Agricultural diversity and child stunting in Nepal. *J Dev Stud* 2015;51:107-86.

Shwartz Z, Fenn B, Mioli R, Sangrasi GM, Gallagher M. The REFANI Project in Pakistan: adapting research to a multi-sectoral programme for impact measurement. *Field Exchange* 2015;51:100.

Sibhatu KT, Krishna VV, Qaim M. Production diversity and dietary diversity in smallholder farm households. *Proc Nat Acad Sci* 2015;112(34):10657-10662.

Silva D, Valente A, Borgues A, Dias C, Almeida F, Cruz JL, et al. Relationship between the mothers' nutritional status with that of a child population from São Tomé Príncipe, "Africa". *Rev Bras Saúde Matern Infant Recife* 2017;17(2):327-335.

Silveira KBR, Alves J, Ferreira H, Sawaya AL, Florêncio TMMT. Association between malnutrition in children living in favelas, maternal nutritional status, and environmental factors. *J Pediatr* 2010;86(3):15-20.

Singh V & West KP Jr. Vitamin A deficiency and xerophthalmia among school-aged children in Southeastern Asia. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:1342-9.

Sinha Jyoti. PhD Dissertation. Nutritional evaluation of antioxidant rich products of two cultivars of sweet potato and effect of supplementation on nutritional status of elderly males and females. Punjab Agricultural University, Ludhiana. 2015. p 224.

Smith ER, Hurt L, Chowdhury R, Sinha B, Fawzi W, MK Edmond, et al. Delayed breastfeeding initiation and infant survival: A systematic review and meta-analysis. *PLoS one* 2017;12(7):e0180722.

Spears D, Ghosh A, Cumming O. Open defecation and childhood stunting in india: anecological analysis of new data from 112 districts. *PLoS One* 2013;8(9):e73784.

Spehar CR, Santos RLB, Quinoa BRS. Piabiru: Alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2002;37:809-893.

SPRING (Renforcement des partenariats, des résultats et des innovations en matière de nutrition) dans les régions de Fatick, Kaolack et Kaffrine. Protocole de recherche qualitative : Evaluation finale. Rapport 2017. p 1-35.

Stein AD, Wang M, Martorell R, Norris SA, Adair LS, Bas I, et al. Growth patterns in early childhood and final attained stature: data from five birth cohorts from low- and middle-income countries. *Am J Hum Biol* 2010;22:353-359.

Stevens GA, Bennett JE, Hennocq Q, Lu Y, De-Regil LM, Rogers L et al. Trends and mortality effects of vitamin A deficiency in children in 138 low-income and middle-income countries between 1991 and 2013: a pooled analysis of population-based surveys. *Lancet Glob Health* 2015;3:e528-36.

Stevens GA, Finucane MM, Paciorek CJ, Flaxman SR, White RA, Donner AJ, et al. Trends in mild, moderate, and severe stunting and underweight, and progress towards MDG 1 in 141 developing countries: a systematic analysis of population representative data. *Lancet* 2012;380(9844):824-34.

Subramanian SV, Ackerson LK, Davey Smith G, John NA. Association of maternal height with child mortality, anthropometric failure, and anemia in India. *JAMA* 2009;301(16):1691-701.

Suchdev PS, Namaste SM, Aaron GJ, Raiten DJ, Brown KH, Flores-Ayala R; et al. Overview of the Biomarkers Reflecting Inflammation and Nutritional Determinants of Anemia (BRINDA) Project. *Adv Nutr* 2016;7:349-356.

Suchdev PS, Peña-Rosas JP, De-Regil LM. Multiple micronutrient powders for home (point-of-use) fortification of foods in pregnant women. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;19(6):CD011158.

Sylla PMDD, Tall L, Mbaye MS, Ndoeye F, Diallo B, Dossou NI et al. Production of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) intercropped with *Moringa oleifera* in Kaffrine, agro-ecological zone of groundnut basin in Senegal. *Ann Nutr Metab* 2017;71(suppl 2):1-1433.

Tadelle D, Million T, Peters KJ. Village production systems in Ethiopia: 2. Use patterns and performance valuation and chicken products and socio-economic functions of chicken. *Livest Res Rural Dev* 2003;5(1). Accessible sur : <http://www.lrrd.org/lrrd15/1/tadeb151.htm>.

Tamura T, Picciano MF, McGuire MK: Folate in pregnancy and lactation; in Bailey LB (ed): Folate in Health and Disease, ed 2. Boca Raton, CRC Press, Taylor and Francis Group 2010;111-131.

Tanumihardjo SA, Russell RM, Stephensen CB, Gannon BM, Craft NE, Haskell MJ, et al. Biomarkers of Nutrition for Development (BOND)-vitamin a review. *J Nutr* 2016;146:1816S-1848S.

Tarride JE, Haq M, Taylor VH, Sharma AM, Nakhai-Pour HR, O'Reilly D et al. Health status, hospitalizations, day procedures, and physician costs associated with body mass index (BMI) levels in Ontario, Canada. *Clinic Econ Outcomes Res* 2012;4:21-30.

Tayie FA, Jourdan K. Hypertension, dietary salt restriction, and iodine deficiency among adults. *Am J Hypertens* 2010;23:1095-1102.

Thurnham DI, McCabe GP, Northrop-Clewes CA, Nestel P. Effects of subclinical infection on plasma retinol concentrations and assessment of prevalence of vitamin A deficiency: meta-analysis. *Lancet* 2003;362:2052-8.

Thurnham DI & Northrop-Clewes CA. The use of adjustment factors to address the impact of inflammation on vitamin A and iron status in humans. *J Nutr* 2015;145:1137S-1143S.

Tomar AS, Tallapragada DS, Nongmaithem SS, Shrestha S, Yajnik CS, Chandak GR. Intrauterine Programming of Diabetes and Adiposity. *Curr Obes Rep* 2015;4(4):418-28.

Tomlins K, Ndunguru G, Stambul K, Joshua N, Ngendello T, Rwiza E et al. Sensory evaluation and consumer acceptability of pale-fleshed and orange-fleshed sweetpotato by school children and mothers with preschool children. *J Sci Food Agricult* 2007;87:2436-2446.

Tremmel M, Gerdtham UG, Nilsson PM, Saha S. Economic burden of obesity: A systematic literature review. *Int J Environ Res Public Health* 2017;14(4):435.

Tulchinsky TH. Micronutrient deficiency conditions: gGlobal health issues. *Public Health Rev* 2010;32:243.

Tumuhimbise GA, Namutebi A, Muyonga JH. Microstructure and in vitro beta carotene bioaccessibility of heat processed orange fleshed sweet potato. *Plant Food Hum Nutr* 2009;64:312-318.

UNICEF (United Nations Children's Fund). Cadre Conceptuel adapté des causes de la malnutrition. 2013.

UNICEF/WHO/UN/World Bank. The UN Inter-agency Group for Child Mortality Estimation released the latest estimates on child mortality among children under age 5 and children aged 5-14: Explanatory Notes Child mortality trend series to 2018.

UNICEF/WHO/World Bank. Joint child malnutrition estimates - Levels and trends (2018 edition). Geneva: World Health Organization. 2018. p 1-16.

USAID (United States Agency for International Development). Projet de développement agricole YAAJENDE. Sénégal: Évaluation de la Performance à Mi-Parcours. 2017. Accessible sur : <http://docplayer.fr/10008890-Projet-de-developpement-agricole-yaajende-usaid-senegal-evaluation-de-la-performance-a-mi-parcours.html>.

USAID/Yaajeende (Agence américaine pour le développement international). Synthèse des impacts et résultats du projet USAID/Yaajeende de 2010 à 2017. p 1-2.

van Jaarsveld PJ, Faber M, Tanumihardjo SA, Nestel P, Lombard CJ, Benadé AJS. β -carotene-rich orange fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative dose-response test. *Am J Clin Nutr* 2005;81:1080-1087.

van Oirschot QEA, Rees D, Aked J. Sensory characteristics of five sweet potato cultivars and their changes during storage under tropical conditions. *Food Quality Pref* 2003;14:673-680.

Ververs MT, Antierens A, Sackl A, Staderini N, Captier V. Which anthropometric indicators identify a pregnant woman as acutely malnourished and predict adverse birth outcomes in humanitarian context? *PLoS Curr* 20135:ecurrents.dis.54a8b618c1bc031ea140e3f2934599c8.

Victora CG, Adair L, Fall C, Hallal PC, Martorell R, Richter L, et al. Maternal and child undernutrition: consequences for adult health and human capital. *Lancet* 2008;371(9609):340-57.

Victora CG, Bahl R, Barros AJ, Franca GV, Horton S, Krasevec J et al. Lancet Breastfeeding Series Group. Breastfeeding in the 21st century: epidemiology, mechanisms, and lifelong effect. *Lancet* 2016;387(10017):475-90.

- Victora CG**, de Onis M, Hallal PC, Blössner M, Shrimpton R. Worldwide timing of growth faltering: revisiting implications for interventions. *Pediatrics* 2010;125(3):e473-80.
- Victoria CG**, Bahle R, Barros AJD, França GVA, Horton S, Krasevec J, et al. Breastfeeding in the 21st century: Epidemiology, mechanisms, and lifelong effect. *Lancet* 2016;387:475-90.
- von Beckerath AK**, Kollmann M, Rotky-Fast C, Karpf E, Lang U, Klaritsch P. Perinatal complications and long-term neurodevelopmental outcome of infants with intrauterine growth restriction. *Am J Obstet Gynecol* 2013;208(2):130.e1-6.
- Waha K**, van Wijk MT, Fritz S, See L, Thornton PK, Wichern J et al. Agricultural diversification as an important strategy for achieving food security in Africa. *Glob Change Biol* 2018;24:3390-3400.
- Walsh CM & Van Rooyen FC**. Household food security and hunger in rural and urban communities in the Free State Province, South Africa. *Eco Food Nutr* 2015;54(2):118-137.
- Wassie MM**, Gete AA, Yesuf MI, Alene GD, Belay A, Moges T. Predictors of nutritional status of Ethiopian adolescent girls: a community based cross sectional study. *BMC Nutr* 2015;1:20.
- Wells JCK**, Hawton K, Darch T, Lunn PG. Body composition by 2 H dilution in Gambian infants: comparison with UK infants and evaluation of simple prediction methods. *Br J Nutr* 2009;102:1776-1782.
- West KP**, Stewart CP, Caballero B, Black RE. In *Global Health: Diseases, Programs, Systems, and Policies*, ed 3. Burlington, Jones and Bartlett Learning, 2012, pp 271-304.
- WFP (World Food Programme)** Bangladesh: Nutrition strategy 2012–2016, Rome: World Food Programme, 2012.
- Whitfield KC**, Karakochuk CD, Kroeun H, Hampel D, Sokhoing L, Chan BB, et al. Perinatal consumption of thiamine fortified fish sauce in rural Cambodia: A randomized clinical trial. *JAMA Pediatr* 2016;170(10):e162065.
- WHO (World Health Organisation)**. Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: Methods and development. WHO, Geneva 2006. p 312.
- WHO (World Health Organization)**. Conclusions of a WHO technical consultation on folate and vitamin B12 deficiencies. *Food Nutr Bull* 2007;29(2 suppl):S238-S244.
- WHO (World Health Organization)**. *Global nutrition targets 2025: Low birth weight policy brief*. Geneva: World Health Organization. 2014.

WHO (World Health Organization). Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005. WHO Global Database on Vitamin A Deficiency. Geneva: World Health Organization. 2009. p 11.

WHO (World Health Organization). Guideline: daily iron and folic acid supplementation in pregnant women. Geneva: World Health Organization. 2012.

WHO (World Health Organization). Guideline: Vitamin A supplementation for infants and children 6-59 months of age. Geneva, World Health Organization. 2011.

WHO (World Health Organization). Indicators for assessing vitamin A deficiency and their application in monitoring and evaluation intervention programmes. Geneva: World Health Organization. 1996.

WHO (World Health Organization). International statistical classification of diseases and related health problems, tenth revision. Geneva: World Health Organization. 1992.

WHO (World Health Organization). Maternal anthropometry and pregnancy outcomes: A WHO Collaborative Study. World Health Organ Suppl 1996;73:32-37.

WHO (World Health Organization). Serum ferritin concentrations for the assessment of iron status and iron deficiency in populations. Vitamin and mineral nutrition information system. Geneva: World Health Organization. 2011.

WHO (World Health Organization). The global prevalence of anemia in 2011. Geneva: World Health Organization 2015. (Accessed 19 October 2017).

WHO (World Health Organization). The World Health Report 2002 – Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneva: World Health Organization, 2002.

WHO (World Health Organization)/United Nations Children’s Fund/International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. Assessment of Iodine Deficiency Disorders and monitoring their elimination. A Guide for Programme Managers, ed 3. 2007.

WHO/CDS/CSR/ISR. Normes recommandées par l’OMS pour la Surveillance. Deuxième édition. OMS Genève, 2000. p 191.

WHO/UNICEF (World Health Organization/ United Nations Children’s Fund). Indicators for assessing infant and young child feeding practices Part 2 Measurement. Geneva: WHO/UNICEF. 2010. p 1-27.

WHO/UNICEF/UNU (World Health Organization/United Nations Children’s Fund/United Nations University). Iron Deficiency Anaemia: Assessment, Prevention, and Control. Geneva: WHO/UNICEF/UNU. 2001. p 114.

Wijnhoven TMA, de Onis M, Onyango AW, Wang T, Bjoerneboe GEA, Bhandari N et al. Assessment of gross motor development in the WHO multicentre growth reference study. *Food Nutr Bull* 2004;25:S37-S45.

Williams CD. Kwashiorkor a nutritional disease of children associated with a maize diet. *Lancet* 1935;2:1151-2.

Williams DP, Going SB, Lohman TG, Harsha DW, Snnivasan SR, Webber LS. Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents. *Am J Public Health* 1992;82(3):358-363.

Williams J, Mai CT, Mulinare J, Flood TJ, Ethen M, Frohnert B, et al. Updated estimates of neural tube defects prevented by mandatory folic acid fortification: United States, 1995-2011. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2015;64(1):1-5.

World Bank, 1993. World Development Report. Washington, D.C.

WHO (World Health Organization). Nutrition in the WHO African Region. Brazzaville: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. p 1-85.

Yetubie M, Haidar J, Hailu Kassa JL. Socioeconomic and demographic factors affecting body mass index of adolescent's students aged 10-19 in Ambo (a Rural Town) in Ethiopia. *Int J Biomed Sci* 2010;6:321-6.

Zhao W, Yu K, Tan S, Zheng Y, Zhao A, Wang P, Zhang Y. Dietary diversity scores: an indicator of micronutrient inadequacy instead of obesity for Chinese children. *BMC Public Health* 2017;17:440.

Zimmermann MB, Jooste PL, Pandav CS. Iodine-deficiency disorders. *Lancet* 2008;372:1251-2162.

Zimmermann MB. Iodine deficiency in pregnancy and the effects of maternal iodine supplementation on the offspring: a review. *Am J Clin Nutr* 2009;89:668S-672S.

Zimmermann MB. The effects of iodine deficiency in pregnancy and infancy. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2012;26:108-17.

ANNEXES

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

CURRICULUM VITAE