

Carence en fer et en vitamine A chez les enfants scolarisés dans le Grand Tunis

Ampleur, sévérité et facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents

Présenté par

Modibo Salia DRAME

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Santé

Spécialité Nutrition Internationale

Directeur de mémoire : **Pr Jalila El ATI**

Présenté le : 16 octobre 2023

Devant le jury composé de :

Mme Ekrame BOUBTANE	Présidente
Maîtresse de conférences – Habilitée à diriger la recherche, Université Clermont - Auvergne	
Mr Pierre TRAISSAC	Examineur
Ingénieur de recherche IRD Epidémiologie Biostatistique, IRD UMR MoISA	
Mr Pratrck THONNEAU	Examineur
Professeur d'université Université Senghor à l'Alexandrie	

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais exprimer toute ma reconnaissance. Je souhaite témoigner de la richesse de ces deux années à travers un corps professoral passionné, déterminé et qui a toujours su manifester son soutien.

J'adresse mes remerciements particuliers à notre maître et directrice de mémoire, Madame la professeure Jalila EL ATI, Chef du service « Etudes et planification » et Responsable du LR SURVEN à l'Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire de Tunis. Chère professeure, il est difficile de trouver suffisamment de mots pour témoigner ma reconnaissance. Votre accueil chaleureux à Tunis, votre dévouement à l'enseignement, votre humanisme profond, et la rigueur scientifique avec laquelle vous avez encadré ce mémoire sont inestimables. Que ce travail soit le témoignage de mon admiration et de ma gratitude envers vous.

Mes remerciements vont également au Chef du Département Santé, Monsieur le Professeur Patrick THONNEAU, et à notre chef du service administratif, Mme Alice MOUNIR. Je vous exprime ma profonde reconnaissance pour votre soutien constant.

Au Professeur Pierre TRAISSAC, je souhaite exprimer mes remerciements pour votre contribution à l'avancement de ce travail, ainsi que pour l'enseignement que j'ai reçu en biostatistique. Vos expériences partagées et la découverte de la ville de Tunis resteront inoubliables.

A Dr. Houda BEN GHARBIA et Dr. Sonia SASSI, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance pour votre assistance inestimable, qui m'a permis de maîtriser le logiciel Stata. Nos moments de convivialité autour du déjeuner et d'échanges de connaissances ont été des expériences inoubliables tout au long de ce parcours. Je vous suis sincèrement reconnaissant pour vos qualités humaines, vos conseils précieux et votre engagement constant envers l'avancement de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble du personnel de l'INNTA pour leur accueil chaleureux et leur contribution à mon intégration au sein du service et en Tunisie.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail :

à mes chers parents, dont le dévouement, l'amour, la tendresse et le soutien sans faille ont été mes sources d'inspiration tout au long de ma vie. Vos sacrifices et vos prières ont été la lumière qui a guidé mon chemin académique ;

à mes frères et sœurs, dont les encouragements constants et le soutien moral m'ont toujours poussé à donner le meilleur de moi-même. Vos mots d'encouragement ont été une source d'énergie précieuse ;

à mes amis, qui ont été à mes côtés, me soutenant à chaque étape de ce parcours. Votre présence et votre amitié ont rendu ce voyage académique plus significatif.

Que ce travail puisse être l'accomplissement des vœux que vous avez tant exprimés et le reflet de votre soutien inébranlable.

Résumé

Introduction : Les vitamines et minéraux, regroupés sous le terme de micronutriments, sont essentiels au bon fonctionnement du corps humain, bien qu'ils soient nécessaires en petites quantités. L'examen de la littérature suggère que la carence en minéraux et en vitamines pendant l'enfance et l'adolescence a un impact négatif sur la santé générale, la croissance, le comportement neuropsychologique, le développement cognitif et moteur, le quotient intellectuel, l'attention, l'apprentissage, la mémoire, les capacités linguistiques et la réussite scolaire.

Objectif : Analyser l'ampleur, la sévérité et les facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents de la carence en fer et en vitamine A chez les enfants scolarisés du Grand Tunis.

Méthode : Enquête transversale menée entre janvier 2020 et juin 2021 chez les enfants scolarisés (8 à 11 ans) et leurs parents au Grand Tunis. L'étude comprenant une enquête de ménages, un rappel de 24h qualitatif, ainsi que le dosage des paramètres hématologiques (hémoglobine), biochimiques (concentrations sériques de ferritine, protéine de liaison du rétinol, de protéine C-réactive et de l'alpha-1-glycoprotéine acide) et anthropométrique. Les seuils recommandés par l'OMS ont été utilisés. Une régression logistique univariée et multivariée a examiné les associations entre divers facteurs et l'anémie, la carence en fer et vitamine A. Le logiciel STATA version 15.0 a été utilisé pour l'analyse.

Résultats : Les prévalences de l'anémie, de la carence en fer et anémie par carence en fer étaient respectivement de 5,9 %, 22,4 % et 1,9 %. La concentration moyenne de la protéine de liaison au rétinol sérique était de $1,02 \pm 0,007 \mu\text{mol/l}$, avec 6,7 % présentant un niveau inférieur à $0,70 \mu\text{mol/l}$, le seuil de déficience en vitamine A. Aucun cas de déficience sévère ($\text{RBP} < 0,35 \mu\text{mol/l}$) n'a été détecté chez les enfants. Le sexe féminin ($\text{OR} = 1,4$; IC à 95 % : 1,17, 1,94), l'appartenance à une famille de niveau économique moyen ($\text{OR} = 0,7$; IC à 95 % : 0,46, 0,86) et le fait d'avoir une mère ayant un niveau d'étude secondaire ($\text{OR} = 0,7$; IC à 95 % : 0,42, 0,92) étaient associés à la carence en fer, $p < 0,05$. Les enfants déficients en fer ($\text{OR} = 1,7$; IC à 95 % : 1,14, 2,50) et en vitamine A ($\text{OR} = 2,1$; IC à 95 % : 1,10, 4,00) étaient significativement associés à l'anémie. Après ajustement pour les variables environnementales et les caractéristiques individuelles des écoliers, le surpoids ($\text{OR} = 0,3$; IC à 95 % : 0,20-0,56), le sexe féminin ($\text{OR} = 0,7$; IC à 95 % : 0,48-0,90) et le groupe d'âge de 10 à 11 ans ($\text{OR} = 0,7$; IC à 95 % : 0,45-0,95) étaient des facteurs associés à la carence en vitamine A chez les écoliers.

Conclusion : Nos résultats sont essentiels pour orienter les politiques de santé publique visant à améliorer la nutrition des enfants. Des actions ciblées et des programmes de sensibilisation sont nécessaires pour relever ces défis et améliorer la santé des enfants scolarisés en Tunisie.

Mots-clés : Micronutriments, enfants, inflammation, anémie, score de diversité alimentaire, Tunisie.

Abstract

Introduction: Vitamins and minerals, collectively referred to as micronutrients, are crucial for the normal growth, development, and proper functioning of the human body, despite being required in relatively small quantities. These micronutrients are essential throughout one's life, but their significance is particularly pronounced during childhood and adolescence, a period characterized by rapid growth and development. An analysis of existing literature underscores that mineral and vitamin deficiencies during childhood and adolescence can have adverse effects on overall health, physical growth, neuropsychological behavior, cognitive and motor development, intelligence quotient, attention span, learning capacity, memory, language skills, and educational attainment.

Objective: Analyze the extent, severity, and underlying demographic and socio-economic factors of vitamin A and iron deficiency among school-aged children in Greater Tunis.

Method: Cross-sectional study conducted between January 2020 and June 2021 among schoolchildren (8-11 years) and their parents in Greater Tunis. The study included a household survey, a qualitative 24-hour recall, as well as the measurement of hematological parameters (hemoglobin), biochemical parameters (serum concentrations of ferritin, retinol-binding protein, C-reactive protein, and alpha-1-acid glycoprotein), and anthropometry. Multivariate logistic regression examined associations between various underlying factors and anemia, iron deficiency, and vitamin A deficiency. STATA version 15.0 software was used for the analysis.

Results: The proportions of schoolchildren with anemia (according to WHO criteria), iron deficiency (serum ferritin < 15.0 µg/l), and iron-deficiency anemia (concurrent iron deficiency and anemia) were 5.9%, 22.4%, and 1.9%, respectively. The mean serum retinol-binding protein (RBP) level was 1.02 ± 0.007 µmol/l, with 6.7% having a level below 0.70 µmol/l, the cutoff value for low vitamin A status. No cases of severe deficiency (RBP < 0.35 µmol/l) were detected in children. Female gender (OR = 1.4; 95% CI: 1.17, 1.94), belonging to a middle-wealth family (OR = 0.7; 95% CI: 0.46, 0.86), and having a mother with secondary education (OR = 0.7; 95% CI: 0.42, 0.92) were associated with iron deficiency, $p < 0.05$. Children deficient in iron (OR = 1.7; 95% CI: 1.14, 2.50) and vitamin A (OR = 2.1; 95% CI: 1.10, 4.00) were significantly associated with anemia. After adjusting for environmental variables and the individual characteristics of schoolchildren, being overweight (OR = 0.3; 95% CI: 0.20-0.56), being female (OR = 0.7; 95% CI: 0.48-0.90), and age group 10-11 years (OR = 0.7; 95% CI: 0.45-0.95) were associated factors of Vitamin A deficiency in school children.

Conclusion: Our findings are crucial in guiding public health policies aimed at enhancing children's nutrition. Targeted interventions and awareness programs are necessary to address these challenges and improve the health of school-aged children in Tunisia.

Keywords: Micronutrients, children, inflammation, anemia, dietary diversity score, Tunisia.

Liste des acronymes et abréviations

- AAR : Apport Alimentaire Recommandé
- AGP : Alpha-1-glycoprotéine acide
- ANR : Apport Nutritionnel recommandé
- BME : Besoins Moyen Estimé
- CRP : Protéine C-Réactive
- EAR : Équivalents d'Activité du Rétinol
- FAO: Food and Agriculture Organization
- FC : Facteurs de Correction
- IMC : Indice de Masse Corporelle
- INNTA : Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire
- INPDP : Instance Nationale de Protection des Données Personnelles
- INPS : Institut National de Santé Publique
- MENA : Moyen-Orient et Afrique du Nord
- MNT : Maladies Non Transmissibles
- ODD : Objectif de Développement Durable
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- OR : Odds-Ratio
- RBP : Protéine de liaison du rétinol
- SDA : Score de Diversité Alimentaire
- sTfR : Récepteur soluble de la transferrine
- TSAT : Saturation de la transferrine
- UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

Table de matière

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des acronymes et abréviations	v
1 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte et justification	2
1.2 Objectif du mémoire.....	4
1.2.1 Objectif General	4
1.2.2 Objectifs spécifiques	4
2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	5
2.1 Micronutriments.....	5
2.1.1 Définition.....	5
2.1.2 Rôle des micronutriments dans l’organisme	5
2.1.3 Cas particuliers des minéraux et vitamines	6
2.2 Situation épidémiologique des carences en micronutriment dans le monde	13
2.3 Situation épidémiologique des carences en micronutriment en Tunisie	13
3 METHODOLOGIE	14
3.1 Type de l’étude	14
3.2 Lieu de l’étude	14
3.3 Population cible	15
3.4 Echantillonnage	15
3.4.1 Taille de l’échantillon	15
3.4.2 Base de sondage.....	16
3.4.3 Tirage de l’échantillon	16
3.5 Critères d’inclusion	17
3.6 Modèle conceptuel du statut en micronutriments.....	17
3.7 Variables de l’étude	18
3.7.1 Au niveau des enfants	19
3.7.2 Au niveau des parents.....	24
3.8 Déroulement de l’enquête sur le terrain	26

3.9	Traitement et analyse des données	26
3.9.1	Traitement des données	26
3.9.2	Analyse des données.....	27
3.10	Approbation éthique et consentement éclairé.....	29
4	RESULTATS	30
4.1	Caractéristiques générales	30
4.1.1	Caractéristiques anthropométrique et biologiques.....	30
4.2	Facteurs associés aux carences nutritionnelles.....	32
4.2.1	Facteurs associés à la carence en fer	33
4.2.2	Facteurs associés à l’anémie	36
4.2.3	Facteurs associés à la carence en vitamine A	39
5	DISCUSSION.....	43
6	CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	49
7	BIBLIOGRAPHIE	52
8	LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	61
9	LISTE DES TABLEAUX	61
10	ANNEXES.....	62
10.1	Annexe 1. Questionnaire enfants.....	62
10.2	Annexe 2. Questionnaire ménages	62
10.3	Annexe 3. Programmes Stata (fichier .do).....	63

1 INTRODUCTION

L'enfance et l'adolescence représentent une phase de croissance et de développement physique et cognitif rapides, ce qui nécessite une nutrition adéquate pour soutenir ces processus. Tout changement dans le statut nutritionnel au cours de cette période influence la santé, l'apprentissage et la forme physique. Les nutriments essentiels pour la croissance et le bon fonctionnement du corps humain sont les macronutriments tels que les glucides, les lipides et les protéines, nécessaires en grandes quantités, ainsi que les micronutriments tels que les vitamines et les minéraux, nécessaires en petites quantités [1,2].

Les vitamines et les minéraux, collectivement appelés micronutriments, bien que nécessaires en petites quantités, sont essentiels tout au long de la vie, mais la période de l'enfance et de l'adolescence revêt une importance capitale. De nombreuses études ont démontré que les carences en minéraux (calcium, fer, sélénium, iode et zinc) et en vitamines (particulièrement la vitamine A, vitamine D, vitamine B12 et folate) pendant cette période ont un impact négatif sur la croissance, le comportement neuropsychologique, le développement cognitif et moteur, le quotient intellectuel, l'attention, l'apprentissage, la mémoire, les capacités linguistiques et les réalisations éducatives [3–7].

À l'échelle mondiale, deux milliards de personnes sont touchées au moins par une carence chronique en micronutriments, connue sous le nom de faim cachée [8,6,9]. Comme l'indique le terme faim cachée, les signes de dénutrition et de faim sont moins visibles par rapport aux autres formes de malnutrition chez les personnes touchées. Néanmoins, ses conséquences négatives et souvent permanentes sur la santé, la productivité et le développement mental sont dévastatrices[10–12]. Les enfants et les femmes en âge de procréer vivant dans les pays à faible revenu et intermédiaires sont les plus vulnérables [13]. Les femmes sont vulnérables en raison d'un apport alimentaire insuffisant, d'un manque de disponibilité de nourriture, d'une distribution inéquitable de la nourriture au sein d'un même ménage, d'un manque de connaissances sur l'importance de la diversité alimentaire et/ou de l'apparition fréquente de maladies infectieuses [14]. Cet état de fait maintient la malnutrition intergénérationnelle exposant les enfants.

A l'heure actuelle, les trois micronutriments pour lesquels il a été constaté les carences les plus graves, souvent co-existantes, sont le fer, la vitamine A et l'iode [7]. Selon un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 190 millions d'enfants d'âge préscolaire et 19 millions de femmes enceintes sont exposés à la carence en vitamine A dans le monde [15]. Des preuves épidémiologiques limitées suggèrent que près d'un tiers des femmes en âge de procréer dans le monde ont souffert d'anémie due à une carence en fer au cours des dernières années [16,17]. Ainsi, depuis 1990, lors du Sommet Mondial pour les Enfants et la Conférence Internationale sur la nutrition de Rome en 1992, OMS, le Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF) et les gouvernements de tous les pays du monde se sont engagés à éliminer ces carences nutritionnelles en tant que problème de santé publique, et aussi leurs

conséquences telles que le goitre, l'anémie et la cécité, à l'horizon de l'année 2020 [18]. Ces objectifs ont été intégrés dans les cibles mondiales en matière de nutrition à atteindre d'ici 2025, et dans l'Objectif de Développement Durable ODD2 des Nations Unies visant à mettre fin à toutes les formes de malnutrition d'ici 2030 [19,20].

Dans de nombreux pays, les programmes d'intervention ont été mis en œuvre pour réduire le fardeau de ces carences notamment la supplémentation, la fortification des aliments et l'éducation nutritionnelle. Cependant, il y a une difficulté commune à toutes les carences en micronutriments : la prévalence n'est souvent pas bien quantifiée. Cela est en partie dû au fait que la plupart des carences en micronutriments restent non diagnostiquées en raison de symptômes spécifiques peu clairs. De plus, les biomarqueurs de l'état en micronutriments sont rarement inclus dans les enquêtes à l'échelle de la population, ce qui a créé un important manque de preuves sur le fardeau de la malnutrition en micronutriments au sein des pays et dans le monde.

En Tunisie, les informations concernant les carences en micronutriments ont été fournies par différentes enquêtes et par les systèmes sanitaires. La carence en vitamine A [21] et en iode [22,23] ne sont pas considérées comme un problème de santé publique, mais la carence en fer continue à être un des problèmes majeurs de santé publique, particulièrement chez les femmes en âge de procréer et les enfants de moins de 5 ans. La dernière enquête nationale sur la prévalence de l'anémie chez la population tunisienne âgée de 15 ans et plus a montré qu'elle était de 25,8 % (17,0 % chez les hommes et 34,3 % chez les femmes [24].

Néanmoins 15 ans après l'enquête du statut en vitamine A de l'enfant Tunisien, aucune enquête récente n'a actualisé les chiffres sur la prévalence de la carence en vitamine A et la carence en fer chez les enfants d'âge scolaire en Tunisie ces dernières années.

1.1 Contexte et justification

La transition nutritionnelle est un phénomène fréquemment évoqué dans le contexte des pays à revenu faible et intermédiaire, notamment les pays de la région MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord). Cette transition a été marquée au cours des deux dernières décennies par d'importantes évolutions alimentaires et de styles de vie dans cette région suite à une urbanisation et un développement économique rapide, avec une estimation de la prévalence de l'excès de poids et de l'obésité chez les enfants qui a doublé au cours de cette période [25,26]. Au Liban et en Tunisie, des pays à revenu intermédiaire, alors que le retard de croissance et les carences en micronutriments persistent, les estimations de prévalence du surpoids chez les enfants et les adolescents sont similaires à celles des pays à revenu élevé de la région, atteignant environ 30 % au Liban et 20 % en Tunisie [26].

Dans le contexte de la transition nutritionnelle rapide vécue par ces pays, les choix alimentaires et les comportements alimentaires des enfants et des adolescents constituent

des facteurs de risque précoces pour le développement de maladies non transmissibles (MNT). Les preuves probantes indiquent que leurs habitudes alimentaires prennent forme dès cette période et perdurent à l'âge adulte [27,28].

Les habitudes alimentaires inadéquates pendant l'enfance et l'adolescence peuvent avoir des répercussions sur la croissance et le développement, et augmenter les risques d'anémie par carence en fer et les carences en vitamine A [29,30]. De plus, une nutrition déficiente durant l'enfance peut accroître le risque de MNT à l'âge adulte, comme les maladies cardiaques ischémiques et le cancer [31,32]. Les recherches menées au cours de la dernière décennie ont mis en évidence que les régimes alimentaires des élèves fournissent une quantité d'énergie provenant des graisses (37,4 % à 38,7 %) qui dépasse les recommandations, et présentent des lacunes dans l'apport de plusieurs micronutriments, notamment la riboflavine, le fer, la vitamine A, le folate, le calcium et les fibres alimentaires. Ces profils nutritionnels sont en corrélation avec des choix alimentaires riches en confiseries, produits de boulangerie et boissons sucrées [33,34]

Le statut pondéral des enfants et leurs habitudes alimentaires sont influencés par de nombreux facteurs qui couvrent le modèle socio-écologique, comprenant la physiologie individuelle et les comportements, les caractéristiques et les interactions familiales, ainsi que les forces structurelles au niveau de la communauté, de la société et des environnements politiques [35,36]. La recherche sur les facteurs influençant ces comportements reste limitée dans la région.

Dans cette optique, le projet SCALE (*Impact de l'environnement communautaire, scolaire et familial sur l'alimentation des enfants dans les villes arabes : identification des leviers d'intervention*), mené en collaboration entre l'Université Américaine de Beyrouth et l'Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire et financé par le Centre de Recherches pour le Développement International. *L'objectif général* est de favoriser le développement d'environnements qui encouragent des choix alimentaires sains chez les enfants et leurs familles. *Quatre objectifs spécifiques* ont concrétisé l'objectif général :

- développer des méthodes innovantes qui évaluent l'ensemble complexe de facteurs qui jouent un rôle dans les choix et les comportements alimentaires des enfants ;
- décrire les environnements alimentaires au niveau des familles, des écoles et des communautés ;
- évaluer la relation entre le statut nutritionnel des enfants et son environnement sociétal ;
- définir les composantes potentielles des interventions aux différents niveaux qui influencent les choix alimentaires des enfants.

Le présent travail est une composante du projet, il s'est focalisé sur l'évaluation du statut et en micronutriments et de leurs déterminants des enfants scolarisés du Grand Tunis.

1.2 Objectif du mémoire

1.2.1 Objectif General

L'objectif de notre étude était d'analyser l'ampleur, la sévérité et les facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents de la carence en vitamine A et en fer chez les enfants scolarisés du Grand Tunis.

1.2.2 Objectifs spécifiques

- Évaluer le statut nutritionnel des enfants scolarisé du Grand Tunis à partir des mesures anthropométriques et biologiques.
- Actualiser les données nationales sur l'ampleur de la carence en vitamine A, fer et de l'anémie par carence en fer chez les enfants scolarisés.
- Déterminer les facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents de la carences vitamine A et fer.

2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Micronutriments

La santé et le bien être des êtres humains dépendent de l'apport alimentaire adéquat en macro- et micronutriments favorisant le bon fonctionnement des processus physiologiques, notamment la reproduction, la réponse immunitaire, les fonctions cérébrales et neurales, ainsi que le métabolisme énergétique [1]. Les micronutriments désignent l'ensemble des vitamines et les minéraux essentielles, indispensable pour l'organisme en quantités minimales de l'ordre du milligrammes ou microgramme pour certains d'où le terme de micronutriment [37].

2.1.1 Définition

Les vitamines sont des substances organiques issues de l'alimentation, classées en deux catégories en fonction de leur solubilité. D'une part les vitamines liposolubles, qui comprennent les vitamines A, D, E et K. Elles sont stockées dans le tissu adipeux et le foie. D'autre part, les vitamines hydrosolubles, qui englobent les vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12) et la vitamine C [2].

Les minéraux sont classés en deux catégories, les macroéléments, présents en quantité relativement grande dans l'organisme dont les principaux sont le sodium, potassium, calcium, magnésium, soufre, phosphore et chlorure, et les micro éléments ou oligoéléments dont le chrome, le fer, le fluor, l'iode, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le nickel, le sélénium, le vanadium, le zinc et l'étain [37,2].

2.1.2 Rôle des micronutriments dans l'organisme

Ils remplissent des rôles spécifiques et ponctuels dans le corps humain, et ne sont généralement pas interchangeables ou peu interchangeables entre eux. Ils peuvent agir en tant que cofacteurs ou constituants essentiels pour l'activité enzymatique. Par exemple, dans le métabolisme des acides nucléiques, la concentration en ions zinc joue un rôle primordial pour l'activité de nombreuses enzymes [38]. Ils peuvent également être des éléments nécessaires pour l'activité hormonale. Ainsi, une réduction de la sensibilité des tissus périphériques à l'action de l'insuline est observée en cas de déficit en chrome [37]. Certains d'entre eux sont essentiels pour la construction des tissus de soutien. Le manganèse, le calcium, le phosphore et la vitamine D sont impliqués dans le processus d'ostéogenèse et la maturation osseuse [37]. Ils agissent comme coenzymes, c'est le cas de la vitamine B1 et B2 qui jouent un rôle actif dans la chaîne de transport des électrons [39]. Ils ont la capacité de moduler la réponse des tissus à des stimuli spécifiques et, par conséquent, peuvent agir comme des "messagers" [40]. La plupart des composants du système de défense du corps humain contre le stress oxydatif sont des micronutriments (vitamines C et E) ou s'appuient sur des micronutriments (les superoxyde dismutases sont des métalloprotéines contenant un

atome de zinc, de cuivre ou de manganèse) [41,42]. Leurs rôles dans la transformation des protéines, des glucides et des acides gras dans le système digestif sont bien connus. Certaines vitamines du complexe B aident notre corps à convertir les glucides alimentaires en énergie pour nos cellules et aident à réguler notre appétit [2,39]. Certains sont reconnus pour leur rôle crucial dans le processus de maintien de la santé. Parmi ceux-ci, le fer est bien connu pour sa capacité à prévenir l'anémie, la fatigue et la susceptibilité aux infections ; la vitamine C est utile pour renforcer la résistance aux maladies et faciliter l'absorption de certains micronutriments ; la vitamine A est essentielle pour le fonctionnement normal du système visuel, le maintien de l'intégrité cellulaire épithéliale, de la fonction immunitaire et de la reproduction [37,1,2].

2.1.3 Cas particuliers des minéraux et vitamines

Fer

- *Définition*

Le fer est un oligo-élément essentiel de par son action dans de nombreuses fonctions biologiques dont la première est l'oxygénation des tissus et des muscles. Il est le composant principal de l'hémoglobine des hématies et la myoglobine dans les muscles, qui en contiennent environ 60 % du fer total dans l'organisme [2]. Le fer est présent sous forme héminique et non héminique dans l'alimentation. La forme héminique, la plus biodisponible, se trouve en plus grande quantité dans les sources animales telles que la viande rouge et les abats. Le fer non héminique, moins absorbé, est plus abondant dans les racines, les graines, les légumes à feuilles vert foncé. Le fer non héminique représente généralement plus de 90 % du fer alimentaire, en particulier dans les pays en développement [1]. L'absorption du fer est améliorée ou inhibée par de nombreux constituants alimentaires. Les protéines, l'acide ascorbique, les acides maliques, tartriques et succiniques, ainsi que de nombreux produits de fermentation, sont des activateurs de l'absorption du fer. Les inhibiteurs comprennent l'acide phytique et les polyphosphates, le calcium, le manganèse, les polyphénols tels que les tanins [1,2].

- *Rôle*

Le fer est indispensable au développement et au fonctionnement normal de tous les tissus du corps humain. Il entre dans la composition de nombreuses protéines dont les enzymes, les cytochromes, la myoglobine et l'hémoglobine. Sa capacité à agir en tant que récepteur d'électrons ou donneur d'électrons constitue la base fondamentale de son rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques, dont le transport de l'oxygène dans les tissus via le composant hème contenant du fer de l'hémoglobine et de la myoglobine [43–46]. Son rôle est important pour l'activité enzymatique des cytochromes présents dans les mitochondries. Il assure le transfert d'électrons permettant au cytochrome P450 dans le foie et l'intestin de dégrader les composés endogènes et les toxines environnementales. Il participe également à

la synthèse d'hormones stéroïdiennes et d'acides biliaires, à la détoxification de substances étrangères dans le foie et à la régulation de signaux dans certains neurotransmetteurs, tels que les systèmes de dopamine et de sérotonine dans le cerveau [1,44].

- *Besoins*

Les besoins en fer sont établis en fonction d'une modélisation factorielle qui prend en compte les éléments suivants : pertes basales de fer, pertes menstruelles, besoins du fœtus pendant la grossesse, besoins accrus en période de croissance afin de permettre l'expansion du volume sanguin, et l'augmentation du fer dans les tissus et dans les réserves de l'organisme. Ceci couvre les besoins du nouveau-né à terme au cours des 4 à 6 premiers mois de vie, c'est pourquoi les besoins en fer pendant cette période peuvent être comblés par le lait maternel, qui contient très peu de fer. Cette réserve de fer suffit à couvrir les besoins du nouveau-né pendant les 4 à 6 premiers mois de vie, ce qui permet au lait maternel, contenant peu de fer, de répondre à ces besoins pendant cette période [37,2] (tableau I).

Tableau I. Apport nutritionnelle de référence pour le fer en fonction de l'étape de la vie [47,1,2].

Etape de la vie	Fer (mg/jour)			
	BME ¹		ANR ²	
	Homme	femme	Homme	Femme
7 à 12 mois	6,9	6,9	11	11
1 à 3 ans	3,0	3,0	7	7
4 à 8 ans	4,1	4,1	10	10
9 à 13 ans	5,9	5,7	8	8
14 à 18 ans	7,7	7,9	11	15
≥ 30 ans	6,0	8,1	8	18
Grossesse				
≤ 18 ans		23		27
19 à 50 ans		22		27
Lactation				
≤ 18 ans		7		10
19 à 50 ans		6,5		9

¹ : BME : besoins moyen estimé. ² : ANR : apport nutritionnel recommandé.

Les hommes adultes doivent absorber environ 1 mg/jour par kg/poids de fer afin de maintenir un bilan équilibré. Les femmes ayant leurs règles doivent en absorber environ 1,5 mg /jour, et une faible proportion d'entre elles doivent même en absorber jusqu'à 3,4 mg /jour [48]. Les besoins en fer des femmes ayant leurs règles présentent une distribution asymétrique car les pertes menstruelles varient énormément d'une femme à l'autre. Les besoins en fer sont également plus élevés durant l'enfance et l'adolescence en raison de la poussée de croissance. Les besoins pendant cette période en fer alimentaire augmentent de 2,9 mg/jour pour les garçons et 1,1 mg/jour pour les filles durant cette période [1].

Carence en fer

- *Définition*

La carence en fer est la carence nutritionnelle la plus répandue dans le monde touchant plus de deux milliards de personnes selon les données de l'OMS [49]. La carence en fer se présente sous deux formes principales : absolue ou fonctionnelle. Une carence absolue en fer apparaît lorsque les réserves totales en fer sont faibles ou épuisées et ne répondent plus à un stade ultime aux besoins physiologiques de l'organisme. La carence en fer fonctionnelle est un trouble dans lequel les réserves totales en fer dans le corps sont quantitativement normales, mais l'apport en fer dans la moelle osseuse est insuffisant. Ce type de déficience est généralement présent dans de nombreux états inflammatoires aigus et chroniques [50].

- *Diagnostic de la carence en fer*

- *Signes cliniques*

La carence en fer, qu'elle soit associée ou non à une anémie, peut entraîner de nombreux symptômes. Ces symptômes varient en fonction de l'âge, de la présence et de la gravité de l'anémie, des comorbidités et de la rapidité avec laquelle se développe la carence [51]. Lorsque l'anémie est présente, de nombreux symptômes peuvent être attribués à une diminution de l'apport en oxygène aux organes et aux tissus [43]. Cependant, il existe également des preuves que la carence en fer peut jouer un rôle direct dans certaines manifestations cliniques chez les enfants atteints de cette condition. Par exemple, la fatigue, l'intolérance à l'effort et l'intolérance au froid pourraient être liées à des problèmes de respiration mitochondriale causés par la carence en fer. De plus, des anomalies dans la réplication de l'ADN et le cycle cellulaire pourraient contribuer à des problèmes tels que des lésions buccales, une perte de cheveux et des anomalies des ongles [45].

Sur le plan neurologique, le fer joue un rôle essentiel dans le développement cognitif des enfants et des adolescents. Des études précliniques ont montré que la carence en fer précoce, avant la naissance ou au cours des premiers mois de la vie, peut perturber divers processus neurodéveloppementaux. Cela peut entraîner des déficits cognitifs, visuels et auditifs, ainsi que des problèmes d'attention, de mémoire et de comportement chez les enfants [46,52]. En ce qui concerne le système immunitaire, la carence en fer peut inhiber la maturation, la prolifération et l'activation des lymphocytes, ce qui peut altérer l'immunité cellulaire [50].

- *Examen biologique*

Les réserves de fer de l'organisme sont principalement sous forme de ferritine. La concentration plasmatique de la ferritine reflète la concentration de fer stocké dans le foie, qui varie en fonction de l'âge et du sexe (tableau II) [53].

Lorsque l'apport en fer ne répond pas à la demande, les réserves de fer sont utilisées plus rapidement qu'elles ne peuvent être reconstituées, ce qui entraîne un épuisement du fer

(tableau II). Cela se caractérise par une réduction de la concentration en ferritine, tandis que les mesures du fer circulant (fer sérique, récepteur soluble de la transferrine (sTfR) et saturation de la transferrine (TSAT)) et le taux d'hémoglobine restent dans la plage normale. Sans intervention, l'épuisement du fer peut évoluer vers une carence en fer, où le corps n'a pas suffisamment de fer pour répondre à ses besoins en vue d'un fonctionnement normale. A ce stade, cela se manifeste biochimiques par une baisse du fer sérique et de la TSAT ainsi qu'une augmentation du sTfR. La régulation du fer est ajustée pour augmenter l'absorption et certaines activités dépendantes du fer sont régulées à la baisse, car le fer est préférentiellement utilisé dans la synthèse des globules rouges [54]. Si le déficit en fer persiste, la synthèse des globules rouges est compromise évoluant vers une anémie par carence en fer.

Tableau II. Valeurs seuils recommandées pour définir la carence en fer chez les individus apparemment en bonne santé par groupe d'âge [55].

	Sérum ferritine (µg/l)	
	Individus apparemment en bonne sante ¹	Individus avec infection ou inflammation
Enfants (moins de 5 ans)	< 12	<30
Enfants (5 ans et plus)	< 15	< 30

¹ : Un individu présentant un bien-être physique correspondant à son âge et à son état physiologique, sans maladies ou infirmités détectables.

Vitamine A

- *Définition*

La vitamine A est un nutriment essentiel indispensable au maintien de nombreuses fonctions physiologiques, croissance, vision, différenciation cellulaire, maintien de l'intégrité des épithéliums, fonctionnement membranaire, réponses immunitaires reproduction. Le déficit en vitamine A constitué un problème de santé majeur dans les pays à faible niveau socio-économique. Il est la première cause de cécité dans le monde le monde et il est facteur important de majoration de la mortalité et de la morbidité infantile dans ces régions [14,16,56,15].

Les différentes formes de vitamine A comprennent le rétinol et provitamine A. Le rétinol se trouve uniquement dans les aliments d'origine animale tel le foie, le lait et les produits laitiers, le poisson. Les provitamines sous forme de caroténoïdes se trouvent dans les végétaux (épinards, choux verts, feuilles de manioc, carottes, courges, patates douces jaunes, abricots, papayes, mangues) [57].

Le terme provitamine A est utilisé pour tous les caroténoïdes qui, comme précurseurs, possèdent une activité biologique comparable à celle de la vitamine A. Les besoins en vitamine

A sont maintenant exprimés en équivalents d'activité du rétinol (EAR) de la façon suivante : 1 EAR = 6 µg de β carotène = 12 µg de mélange de carotènes [37].

- *Rôle de la vitamine*

La vitamine A agit comme transducteur de la lumière en signaux neuronaux indispensables pour la vision. Il est important dans les mécanismes de différenciation cellulaire. En cas de déficit en vitamine A, les cellules à mucus disparaissent et sont remplacées par des cellules kératinisées. Ces modifications histologiques sont observées pour les tissus épithéliaux de la conjonctive et de la cornée de l'œil, de l'appareil respiratoire et digestif [1].

Deux [58] hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer le rôle de la vitamine A dans la différenciation cellulaire :

- L'expression des gènes est sous contrôle direct de la vitamine A ;
- L'acide rétinoïque est impliqué dans la synthèse des glycoprotéines qui elles-mêmes contrôleraient l'expression des gènes.

La vitamine fait partir des nutriments pouvant avoir un effet protecteur vis-à-vis du développement des processus cancéreux. Des enquêtes prospectives ont mis en évidence que des sujets ayant un cancer du poumon avaient consommé moins de β-carotène que les sujets non atteints et que la rétinolémie abaissée était en relation avec un risque accru de cancer du poumon ou du tube digestif [59]. Une carence en vitamine A entraîné une diminution du processus de phagocytose et de la production de cellules à mucus, des concentrations de lymphocytes T, de l'immunité humorale, en particulier de la production d'anticorps [60].

- *Besoins en vitamine A*

Les besoins en vitamine A sont fondés sur la disponibilité de réserves suffisantes de vitamine A. Le besoin moyen estimé est basé sur l'assurance de ces réserves adéquates (tableau III). L'Apport Alimentaire Recommandé (AAR) pour les hommes et les femmes est de 900 et 700 µg équivalents d'activité rétinol (EAR)/jour, respectivement [47].

Bien qu'un grand nombre de preuves épidémiologiques observationnelles suggèrent que des concentrations sanguines plus élevées de β-carotènes et d'autres caroténoïdes provenant d'aliments sont associées à un risque réduit de plusieurs maladies chroniques, il n'y a actuellement pas suffisamment de preuves pour fixer une proportion de l'apport recommandé de vitamine A alimentaire qui doivent provenir spécifiquement des caroténoïde provitamines A [59]. Cependant, les recommandations actuelles sont d'accroître la consommation de fruits et de légumes riches en caroténoïdes en raison de leurs effets bénéfiques sur la santé fermement étayées. D'où la recommandation de la consommation de cinq portions de fruits et légumes par jour soit équivalent de 400 g, l'apport de caroténoïdes provitamines A peut atteindre 5,2 à 6 mg/jour, ce qui représente environ 50 à 65 % de l'ANR de vitamine pour un homme adulte [1].

Tableau III. Apport nutritionnelle de référence, vitamine A en fonction de l'étape de la vie [47].

Etape de la vie	Vitamine A ($\mu\text{g EAR}^1/\text{jour}$)			
	BME ²		ANR ³	
	Homme	femme	Homme	Femme
1 à 3 ans	210	210	300	300
4 à 8 ans	275	275	400	400
9 à 13 ans	445	420	600	600
14 à 18 ans	630	485	900	700
≥ 30 ans	625	500	900	700
Grossesse				
≤ 18 ans		530		750
19 à 50 ans		550		770
Lactation				
≤ 18 ans		885		1200
19 à 50 ans		900		1300

¹ : EAR : équivalent d'activité du rétinol. ² : BME : besoins moyen estimé. ³ : ANR : apport nutritionnel recommandé.

Carence en vitamine A

- *Définition*

La carence en vitamine A est la cause majeure de graves troubles visuels et de cécité évitables chez l'enfant. L'OMS la définit comme des concentrations de vitamine A dans les tissus suffisamment bas pour avoir des conséquences néfastes sur la santé, même en l'absence de preuves de xérophtalmie clinique [61]. Cette carence peut se produire lorsque l'apport en vitamine A, provenant principalement de sources alimentaires telles que les produits d'origine animale (sous forme de vitamine A préformée) et les fruits/légumes riches en caroténoïdes (sous forme de provitamine A), est insuffisant pour répondre aux besoins du corps [61,62,30]. La carence en vitamine A est associée à une morbidité et une mortalité importantes chez les enfants et les femmes enceintes [56,30].

- *Diagnostic de la carence vitamine A*

- *Signes cliniques*

Le déficit en vitamine A est progressif, se manifestent différemment dans différents tissus (tableau IV). Dans l'œil, les symptômes et les signes sont collectivement appelés xérophtalmie. Le terme xérophtalmie englobe les changements structurels affectant la conjonctive, la cornée et parfois la rétine, les troubles biophysiques de la fonction des bâtonnets et des cônes rétinien attribuable à la carence en vitamine A [58]. Les stades de la xérophtalmie sont considérés à la fois comme des troubles et des indicateurs cliniques de la VAD, et peuvent

donc être utilisés pour estimer un aspect important de la morbidité lié à la cécité, ainsi que la prévalence de la carence [15]. La xérophtalmie comprend des stades plus légers tels que la cécité nocturne et les taches de Bitot, aux stades potentiellement aveuglants de xérose cornéenne, d'ulcération et de nécrose (kératomalacie) [61]. La cécité nocturne peut être diagnostiquée par l'anamnèse, et les taches de Bitot, qui sont observables à l'examen de la surface conjonctivale à la lumière.

Tableau IV. Classification des oculaires de la carence en vitamine A [61].

XN	Cécité Nocturne
X1A	Xérose conjonctivale
X1B	Tâche de Bitot
X2	Xérose cornéenne
X3A	Ulcération cornéenne/kératomalacie (< 1/3 de la surface cornéenne)
X3B	Ulcération cornéenne/kératomalacie (≥1/3 de la surface cornéenne)
XS	Cicatrice cornéenne
XF	Xérophtalmie

- *Examen biologique*

Le rétinol est la forme prédominante de la vitamine A circulant dans le sang. En réponse aux besoins des tissus, le foie le libère sous forme d'un complexe avec sa protéine porteuse de liaison, qui se lie ensuite dans le sang à la transthyrétine régulant ainsi les nombreuses fonctions essentielles de l'organisation.

Les concentrations sériques de rétinol reflètent les réserves hépatiques de vitamine A uniquement lorsque les réserves hépatiques sont gravement épuisées (< 0,07 µmol /g de foie) ou extrêmement élevée (>1,05 µmol/g de foie) [63]. Cependant, la distribution dans la population des concentrations sériques de rétinol ou de sa protéine porteuse de liaison au rétinol (RBP) où la prévalence d'individus présentant des concentrations sériques de rétinol ou de RBP < 0,70 µmol/L peut fournir des informations importantes sur le statut en vitamine A d'une population et peut refléter la gravité de la carence en vitamine en tant que problème de santé publique [64].

Des études ont montré une Relation 1 : 1 entre le rétinol sérique et la RBP, et par conséquent, la RBP est souvent remplacée comme indicateur du statut en vitamine A [65] avec l'avantage d'être moins coûteux à mesurer et probablement plus pratique dans des conditions de terrain, telles que l'exposition à la lumière et à la chaleur [65] d'où son utilisation dans notre étude comme indicateur du statut en vitamine A des enfants. Les valeurs seuils utilisées sont celles recommandées par l'OMS [66] :

- statut déficient (hypovitaminose A clinique ou sévère) : rétinolémie < 0,35 µmol/l ;
- statut marginal (hypovitaminose A infraclinique) : rétinol sérique ≥ 0,35 et 0,70 µmol/l.

2.2 Situation épidémiologique des carences en micronutriment dans le monde

À l'échelle mondiale 29 % des enfants d'âge scolaire souffrent d'une carence en vitamine A [67] et 18 % souffrent d'une anémie causée par un apport insuffisant en fer [49]. L'OMS et l'UNICEF estiment que près de 190 millions d'enfants d'âge préscolaire et 19 millions de femmes enceintes sont déficients en vitamine A [68,56,30]. La carence en fer est la carence nutritionnelle la plus répandue dans le monde est la principale cause d'anémie, elle touchant 33% des femmes non enceintes, 40% des femmes enceintes et 42% des enfants dans le monde. Et l'anémie ferriprive serait à l'origine de 22 % des décès maternels en 2019 [69].

Une meta-analyse sur The Lancet Global Health, les auteurs estiment qu'entre 2005 à 2019, à l'échelle mondiale, 56% des enfants d'âge préscolaire et 69% des femmes non enceintes en âge de procréer ont été déficients au moins un micronutriment. Cela équivaut à environ 372 millions d'enfants d'âge préscolaire et 1,2 milliard de femmes non enceintes en âge de procréer déficientes à l'un des micronutriments clés, à savoir le fer, le zinc et la vitamine A pour les enfants d'âge préscolaire, et le fer, le zinc et le folate pour les femmes non enceintes en âge de procréer. Le fardeau est plus grand en Asie du Sud, en Afrique subsaharienne, en Asie de l'Est et dans le Pacifique pour les enfants d'âge préscolaire, et en Asie de l'Est et dans le Pacifique et en Asie du Sud pour les femmes non enceintes en âge de procréer [7].

Une revue systématique menée au Éthiopie, au Kenya, au Nigéria et en Afrique du Sud. La prévalence de l'anémie chez les femmes en âge de procréer variait de 18 à 51 %, la carence en fer de 9 à 18 % et l'anémie ferriprive de 10 % à 15%. La prévalence était plus élevée chez les femmes enceintes et variait respectivement de 32 à 62 %, de 19 à 61 % et de 9 à 47 %. La prévalence des carences en vitamine A variait de 4 à 22% chez les femmes en âge de procréer, tandis que dans les femmes enceintes, elles varient respectivement de 21 à 48% [11].

En Égypte, la carence en fer a été observée chez 47,4 % des adolescents âgés de 12 à 19 ans et chez 38,2 % des enfants d'âge scolaire âgés de 5 à 11 ans [70], tandis qu'en Jordanie, elle a été observée chez 55,8 % des adolescents âgés de 12 à 16 ans [71]. La prévalence de la carence en fer était de 14,2 % au Liban. Et était plus élevée chez les filles par rapport aux garçons (respectivement, 20,8 % et 7,9 %) [72].

2.3 Situation épidémiologique des carences en micronutriment en Tunisie

En Tunisie, bien que la carence en vitamine A [21] ne soit plus considérée comme un problème de santé publique, la carence en fer demeure l'un des principaux enjeux de santé publique majeur. Cela concerne surtout les femmes en âge de procréer et les enfants. En effet, dès 1975, l'anémie touchait plus d'un tiers de la population tunisienne, avec une prévalence plus

marquée chez les enfants de moins de 2 ans (45 %), les enfants en âge préscolaire (30 %), les femmes en âge de procréer (31 %), les femmes enceintes (38 %) et les femmes allaitantes (45 %) [73].

Des années plus tard, l'enquête nationale sur la nutrition réalisée par l'Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire (INNTA) en 1996/1997 a montré une légère diminution des taux d'anémie, mais les mêmes groupes de population demeurent les plus touchés : les enfants de moins de 2 ans (38 %), les enfants en âge préscolaire (23 %), les femmes âgées de 15 à 49 ans (26 %), les femmes enceintes (32 %) et les femmes allaitantes (30 %) [74].

Une étude réalisée en 2002 sur les causes des anémies en Tunisie a révélé que la carence en fer représentait plus de deux tiers des cas d'anémie chez les groupes ciblés, à savoir les enfants et les femmes en âge de procréer [75]. Dans le gouvernorat de Grand Tunis, la zone la plus urbanisée du pays, plus plusieurs études transversales représentatives ont décrit la prévalence de la carence en fer. Il est de 27 % chez les âgées femmes de 20 à 49 ans [76], 20,5 % chez enfants d'âges scolaires [77] et 20 % chez les enfants d'âges préscolaires [78].

La dernière enquête nationale sur la prévalence de l'anémie chez les Tunisiens âgés de 15 ans et plus a révélé un taux de 25,8 % (17,0 % chez les hommes et 34,3 % chez les femmes). Les taux étaient particulièrement élevés chez les personnes âgées de 70 ans et plus (36,6 %) ainsi que dans le district de Tunis (28,7 %) [24].

3 METHODOLOGIE

3.1 Type de l'étude

Il s'agissait d'une enquête transversale, à passage unique, réalisée par l'Institut National de Nutrition et de technologies alimentaires (INNTA), menée entre janvier 2020 et juin 2021 au Grand Tunis.

3.2 Lieu de l'étude

Dans le cadre notre mémoire, nous avons travaillé sur les données de la Tunisie. L'enquête s'est déroulée dans la région du Grand Tunis, située dans le Nord-Est du pays (figure 1). C'est la zone la plus urbanisée et la plus développée de la Tunisie et compte 2709.765 habitants¹. L'étude a concerné les quatre gouvernorats du Grand Tunis : Tunis, Ariana, Ben Arous et Manouba.

¹ <https://www.populationdata.net/pays/tunisie/divisions>, consulté le 13 septembre 2023.

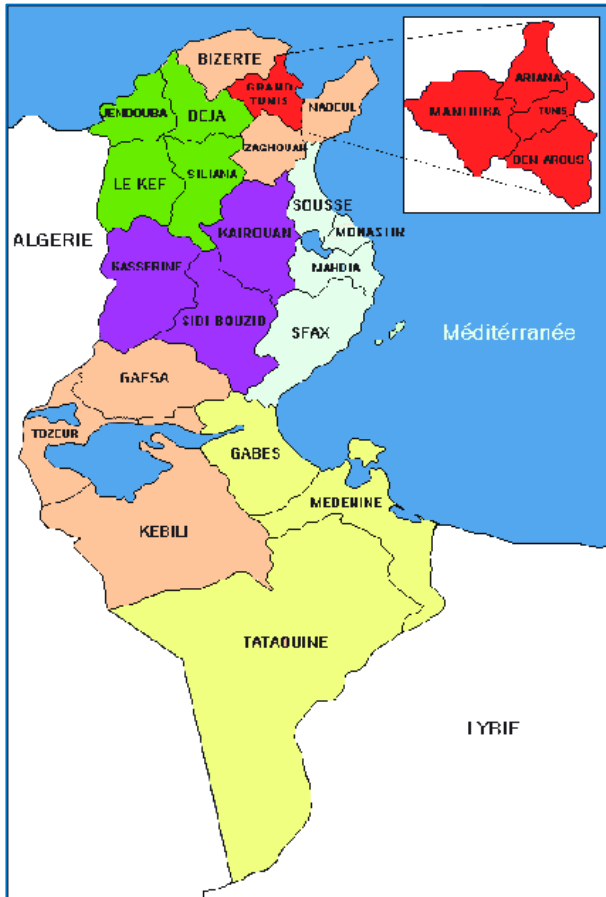


Figure 1. Carte de la Tunisie. Région du Grand Tunis

3.3 Population cible

L'enquête a visé les élèves âgés de 8 à 11 ans, fréquentant les écoles primaires (publiques et privées) dans le Grand Tunis. L'étude a ciblé également les parents/tuteurs de ces enfants ainsi que le staff de ces écoles (directeurs des écoles, enseignants et éducateurs en nutrition/santé).

3.4 Echantillonnage

3.4.1 Taille de l'échantillon

Les calculs de la taille de l'échantillon étaient basés sur des simulations réalisées par Moineddin et al. [79] pour réduire le biais relatif aux estimations dans les modèles de régression logistique à plusieurs niveaux. La taille de groupe minimale recommandée s'est avérée être de 50 avec au moins 50 observations par groupe pour la dérivation d'estimations valides. Les hypothèses sous-jacentes à cette recommandation ont été vérifiées pour plusieurs indicateurs clés de l'étude à l'aide de données issues de la littérature publiée (par exemple, la prévalence attendue et les coefficients de corrélation intra-classe pour les catégories de diversité alimentaire et le surpoids/obésité au sein des écoles) [80,81].

3.4.2 Base de sondage

Nous avons procédé par un tirage systématique stratifié à deux degrés des écoles primaires, de façon à obtenir un échantillon de 50 écoles en premier lieu. Pour cela, les écoles ont été classées en deux catégories, primaires publiques et primaires privées. La part des écoles de chaque gouvernorat a été calculée en fonction de l'effectif total des écoles du Grand Tunis et exprimé en pourcentage. Le nombre des écoles par gouvernorat a été obtenu à partir de ce pourcentage en fonction de la taille de notre échantillon.

En deuxième lieu il a été procédé au tirage systématique des 50 élèves (25 garçons et 25 filles) inscrits dans chacun de ces établissements après avoir obtenu la liste exhaustive des inscrits en contactant l'établissement échantillon.

3.4.3 Tirage de l'échantillon

L'échantillon de l'enquête a été sélectionné à l'aide d'un échantillonnage aléatoire simple stratifié à 2 degrés.

Au premier degré, le critère de stratification est la catégorie de l'école privée ou publique. L'ensemble des écoles primaires ont été classées selon ces strates prédéfinies dans chaque gouvernorat, ensuite un échantillon de (n) écoles primaires a été tiré dans chaque strate en utilisant une table de nombres aléatoires. Au total, 35 écoles publiques et 15 écoles privées (figure 2) ont été tirées à partir de la base initiale de sondage.

Au second degré, dans chacune des écoles primaires sélectionnées, un tirage de 50 élèves concernés par l'enquête a été réalisé. Pour garantir une représentativité optimale de l'échantillon, il a été procédé de la manière suivante :

- d'abord, les élèves dans chaque école ont été répartis en deux strates (filles/garçons), puis création de deux listes indépendantes des filles et des garçons âgés de 8 à 11 ans par ordre croissant d'âge ;
- ensuite, au niveau de chaque liste, 25 élèves ont été sélectionnés en utilisant un tirage systématique et en calculant le pas de tirage (P) comme la partie entière du nombre d'élèves dans la liste divisé par 25. Le premier élève (n1) a été choisi de façon aléatoire entre les nombres 1 et P.

Ce travail a été répété pour les deux listes de chaque école échantillon. En cas de refus ou d'absence d'un enfant, il était remplacé par un enfant ayant des caractéristiques similaires (âge et sexe) à partir d'une deuxième liste de remplacement, sélectionnée de la même manière que pour la liste principale.

Au terme de cette étape, un total de 2500 élèves a été tiré aléatoirement représentant la population cible avec un taux de sondage de 0,97%. Les coefficients d'extrapolation ont été calculés selon la méthode de tirage et les données exhaustives collectées pour chaque établissement.

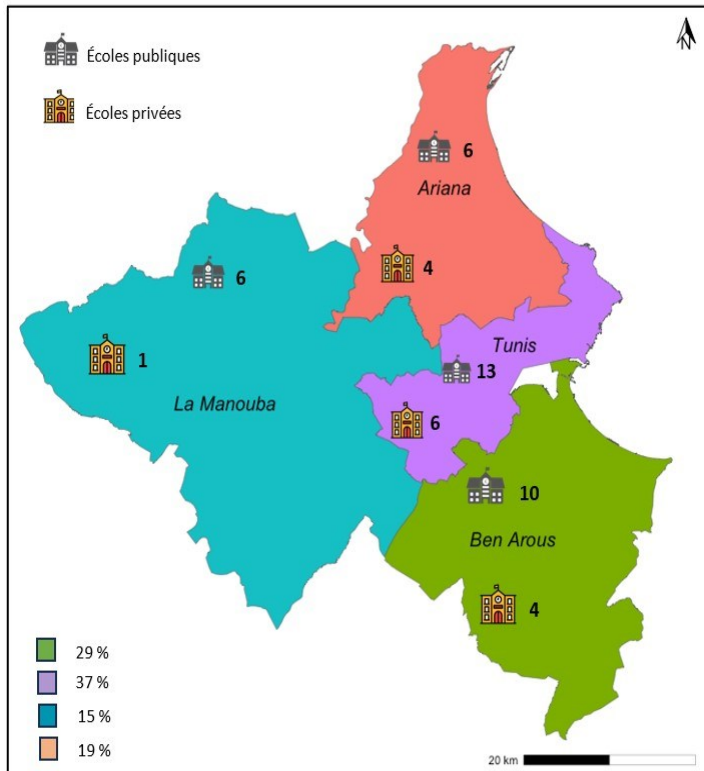


Figure 2. Répartition de la strate des écoles dans chaque gouvernorat

3.5 Critères d'inclusion

Enfant âgé de 8 à 11 ans, scolarisé et ayant consenti à participer à l'étude et leurs parents.

3.6 Modèle conceptuel du statut en micronutriments

Nous avons sélectionné les variables selon le modèle conceptuel (figure 3).

Il a été construit en basant sur le cadre conceptuel de la carence en micronutriments adapté du cadre conceptuel de l'UNICEF (UNICEF, 1990) ainsi que sur des études précédentes sur les carences en micronutriments [62,82,56,83].

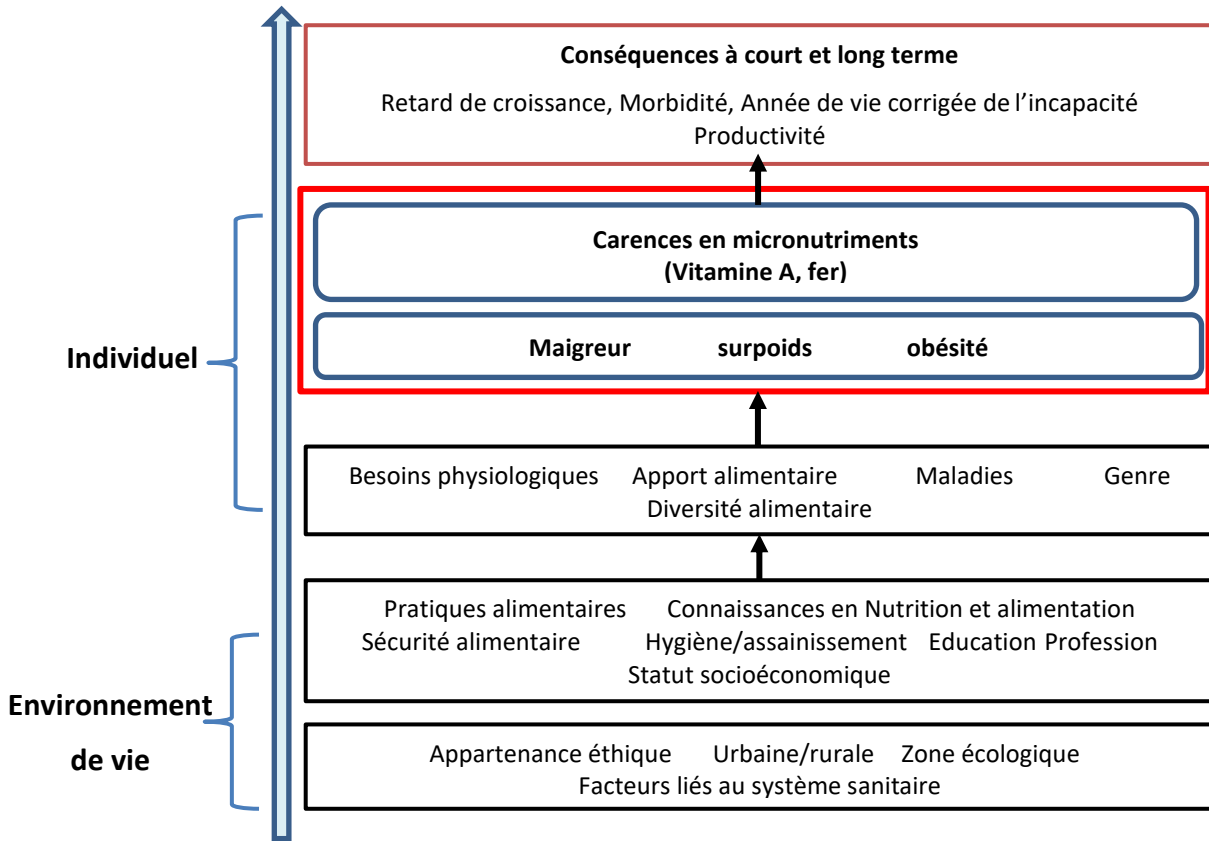


Figure 3. Modèle conceptuel du statut en micronutriments chez les enfants

3.7 Variables de l'étude

La collecte des données a été réalisée au niveau des enfants et des parents (tableau V).

Tableau V. Données collectées chez les enfants et leurs parents

	Enfants	Parents
Anthropométriques		
Poids	x	
Taille	x	
Bilan biologiques sanguines		
Protéine C-Réactive (CRP)	x	
Alpha-1-glycoprotéine acide (AGP)	x	
Ferritine	x	
Protéine de liaison du rétinol (RBP)	x	
Consommation alimentaire		
Rappel de 24 h qualitatif	x	
Echelle de sécurité alimentaire du ménage (version arabe)		x
Connaissance en nutrition et alimentation		
Questionnaire sur la connaissance en nutrition et alimentaire		x
Statut socio-économique		
Questionnaire ménage		x

3.7.1 Au niveau des enfants

Le recueil des données a été fait face à face avec les enfants dans les écoles durant 30 minutes par un questionnaire (annexe1) programmé sur une tablette via l'application KoboCollect. Il comprenait des questions sur les variables démographiques (âge et sexe), la consommation alimentaire, un module sur la diversité de l'alimentation des enfants et le niveau de connaissance en nutrition et alimentation. Des données anthropométrique (taille et poids) ont été recueillies et un prélèvement capillaire au doigt a été fait pour le dosage des micronutriments.

Mesures anthropométriques

L'anthropométrie est la principale méthode permettant d'évaluer la corpulence qui reflète dans une très large mesure l'influence de l'alimentation et de l'état de santé des individus. Les mesures anthropométriques traduisent la croissance de l'enfant et son l'état sanitaire global. Toutes les mesures anthropométriques ont été réalisées en conformément aux méthodes recommandées par l'OMS [84]. Ces mesures combinées avec l'âge et le sexe des enfants ont permis de calculer des indices afin d'évaluer leur état nutritionnel.

Des enquêteurs formés ont enregistré les mesures anthropométriques des élèves. Les mesures ont été prises individuellement, dans un espace privé et enregistrées sur une tablette.

- *Mesure du poids*

La mesure du poids a été effectuée par le biais d'une pèse personne (Detecto, Webb City, Mo USA) avec une précision de 100g. Chaque jour durant l'enquête, la balance a été tarée avant et entre les mesures, au moyen d'un poids déjà connu. Le sujet enquêté se maintient debout et immobile au centre du plateau après avoir été déchaussé de sorte que le poids du corps soit réparti sur les deux pieds. Quant aux fines chaussettes et aux sous-vêtements, ils ont été gardés et n'ont pas été déduits du poids total lu en conformité avec les données de référence [84] recommandée. Les enfants dont la mesure a été faite avec les vêtements, le poids des vêtements a été estimé et soustrait du poids mesuré pour obtenir le poids final avec lequel les indices ont été calculés.

- *Mesure de la taille*

La mesure de la taille a été faite à l'aide d'une toise à ruban métallique enroulé, gradué au mm muni d'un curseur horizontal mobile (modèle *person-chek*®, Réf 44 444, Germany, ou *SECA 206*), fixée sur une planche en bois de 5 cm de large, de 2,20 m de long et de 3 cm d'épaisseur. Le sujet à mesurer était pieds nus ou qu'avec de fines chaussettes. Il se tenait debout, le poids réparti sur les deux pieds, talons joints et la tête placée de sorte que la ligne de vision soit perpendiculaire au corps. La taille est notée à 1 mm près sur la graduation.

Le poids et la taille ont été mesurés deux fois, une troisième mesure était requise si les résultats étaient différents. La moyenne de chaque variable a été utilisée pour la construction des indices anthropométriques.

Indicateurs anthropométriques

L'Indice de Masse Corporelle (IMC) par âge et sexe est l'indicateur utilisé pour évaluer l'état nutritionnel des enfants (maigreur, surpoids, obésité) et l'indice taille-pour-âge est utilisé à la recherche du retard de la croissance staturale (tableau VI). Un déficit de taille supérieur à 2 écart-types par rapport à la population étudiée par le National Center for Health Statistics (NCHS) des Etats-Unis d'Amérique et recommandée par l'OMS du même âge et du même sexe traduit un retard de croissance avéré (tableau VI). Les recommandations internationales ont été utilisées pour définir les seuils de la maigreur, surpoids, obésité et retard de croissance.

Tableau VI. Classification de la corpulence selon le z-score de l'IMC-pour l'âge et le sexe chez les enfants de 8 et 11 ans [85].

Statut nutritionnel	Seuils de z-score de l'IMC¹ pour l'âge et le sexe
Maigreur sévère	< -3 ET
Maigreur	< -2 ET
Normal	≥ -2ET et ≤ +1ET
Surpoids	> +1 ET
Obésité	> +2 ET

¹ : IMC : Indice de masse corporelle

Consommation alimentaire

- *Recueil des données alimentaires*

L'évaluation de la consommation alimentaire présente plusieurs intérêts surtout l'identification des groupes de population dont l'apport est excessif ou insuffisant et la recherche d'éventuelles relations entre les apports alimentaires et le statut nutritionnel. La méthode utilisée dans notre étude était le rappel de 24 h qualitatif. C'est une méthode rétrospective, réalisé lors d'un entretien, d'une durée de 20 à 30 minutes, pendant lequel il a été demandé à l'enfant de répondre s'il a consommé les 16 groupes alimentaires du questionnaire au cours du dernière 24h en reprenant l'alimentation de la journée chronologiquement du matin au soir [86].

- *Score de diversité alimentaire*

La diversité alimentaire est une mesure qualitative de la consommation alimentaire. Des scores de diversité alimentaire (SDA) ont été développés et validés pour plusieurs groupes d'âge et de sexe pour constituer une mesure de la qualité du régime alimentaire en macronutriments et/ou micronutriments [87]. Il a été démontré que la progression de ce score

était corrélée avec l'adéquation de l'apport en macronutriments et une association accrue à des apports en micronutriments du régime alimentaire des enfants non allaités [88,89] et des adolescents [90]. Dans la construction du SDA, les aliments consommés mentionnés par les enfants lors du rappel 24 h ont été attribués à 6 groupes d'aliments adaptés des groupes d'aliments du résultat de l'atelier de la FAO sur les méthodes de validation de la diversité alimentaire [91]. Ces groupes d'aliments sont : féculents (Céréales, Racines et tubercules) ; fruits et légumes ; volailles, viandes et poissons ; œufs ; légumineuses, noix et graines ; lait et produit laitier. L'enfant obtenait un point s'il a consommé au moins une fois un aliment pour chaque groupe, avec un seuil de consommation d'une cuillère à soupe soit équivalent de 10 g. Ainsi, le SDA varie de 1 à 6. Il a été ensuite divisé en terciles : bas (1-2), moyen (3-4) et haut (5-6). Plus le score était élevé, plus l'alimentation était considérée comme diversifiée.

Nous avons exploré des groupes d'aliments spécifiques constituant de bonnes sources de vitamine A et de fer pour voir le lien entre leur consommation et le statut en micronutriments chez les enfants. Pour cela, nous avons construit des indicateurs binaires à partir de la consommation :

- d'aliments riche en fer non héminique ;
- d'aliments riche en fer héminique ;
- d'aliments d'origine végétale riche en vitamine A ;
- aliments d'origine animale riche en vitamine A.

Le score 1 indique la consommation d'au moins un aliment du groupe concerné. Le tableau VII recense les principaux groupes d'aliments utilisés pour la construction des indicateurs

Tableau VII. Micronutriments d'intérêt et groupes d'aliments correspondants [86]

Micronutriment	Groupe d'aliments
Vitamine A	Groupe d'aliments d'origine végétale <i>Légumes riches en vitamine A</i>
	Groupes d'aliments d'origine animale <i>Œufs</i> <i>Lait et produits laitiers</i>
	Groupes d'aliments d'origine animale <i>Viande, volaille et poisson</i>
Fer	Groupes d'aliments d'origine animale <i>Viande, volaille et poisson</i>
	Groupe d'aliments d'origine végétale <i>Légumineuse, noix et graines</i>

- *Consommation des cinq groupes d'aliments recommandés (All-5)*

Le score All-5 est un indicateur qui évalue la conformité minimale aux lignes directrices alimentaires nationales et mondiales [92]. Il se base sur la consommation des cinq groupes alimentaires de base : fruits, légumes, légumineuses, noix ou graines, aliments d'origine animale et féculents. Ce score a été développé pour différents contextes, tant dans les pays à

revenus élevés que dans les pays à revenus faibles et intermédiaires, par le Gallup, Département de santé mondiale et de la population de Harvard, la Global Alliance for Improved Nutrition, et d'autres collaborateurs [93].

Pour calculer l'indicateur All-5, les cinq groupes alimentaires susmentionnés ont été additionnés pour obtenir un score allant de 0 à 5. On ajoutait 1 point chaque fois qu'un aliment d'un groupe est consommé la veille partir des donné du rappel de 24 h. Un score inférieur à 5 indique que tous les cinq groupes alimentaires recommandés n'ont pas été consommés, ce qui nous a permis de construire l'indicateur All-5 représenté en score binaire (1/0).

Mesures biologiques

Les prélèvements sanguins ont été faits par une infirmière. Le prélèvement a été effectué au doigt des enfants pour obtenir environ 400 µL de sang, dont une aliquote a été utilisée pour mesurer l'hémoglobine sur place à l'aide d'un hématofluoromètre portable (hémocue) pour le diagnostic de l'anémie. L'autre aliquote a été centrifugée à 3500 tours/minute pendant 10 minutes après coagulation pour l'obtention du sérum. Un numéro d'identifiant anonymisés a été attribué à chaque enfant sur son prélèvement.

- *Hémoglobinémie*

Le dosage du taux d'hémoglobine a été réalisé par spectrophotométrie à partir du sang capillaire issue de la piqûre au bout du doigt via l'automate Hemocue. Son système est étalonné conformément à la méthode de cyan méthémoglobine (HiCN), la méthode de référence internationale en matière de détermination des concentrations d'hémoglobine [94]. Le principe est basé sur la transformation de l'hémoglobine en azoture de méthémoglobine reconnue par le spectrophotomètre qui effectue deux mesures d'absorption selon deux longueurs d'onde, et rend son résultat en moins de 30 secondes. L'hémoglobinémie a été utilisée pour le diagnostic de l'anémie qui est un état pathologique dans lequel le nombre des hématies est insuffisant pour répondre aux besoins physiologiques de l'organisme. Elle est définie par un taux circulant d'hémoglobine inférieur aux limites fixées par l'OMS [95]. Les valeurs sont définies en fonctions de l'âge, du sexe et des conditions physiologiques particulières.

L'anémie a été définie chez les enfants de 5 à 11 ans par un taux d'hémoglobine <115 g/l.

- *Marqueurs du statut en micronutriments (fer et vitamine A)*

Les tubes contenant des aliquotes de sérum (entre 50 et 100 µl chacune) ont été expédiées au laboratoire de l'University of Hohenheim, Institute of Biological Chemistry and Nutrition, 70599 Stuttgart, Allemagne, où un seul test ELISA a été développé pour mesurer la ferritine plasmatique, le récepteur soluble de la transferrine, la protéine de liaison au rétinol (RBP), permettant d'établir le statut en fer et en vitamine A des enfants [96]. La protéine C-réactive (CRP) et l'Alpha-1-acide glycoprotéine (AGP) ont été également dosés pour établir le statut inflammatoire des enfants et corriger les marqueurs du statut en fer et du statut en vitamine

A. Le coefficient de variation (CV) interpolé à un échantillon témoin sur 42 plaques ELISA était de 2,7 % pour la RBP, de 6,5 % pour la CRP, de 3,5 % pour l'AGP et de 3,1 % pour la ferritine.

L'inflammation et la nutrition sont étroitement liées, ce qui a pour conséquence que de nombreux biomarqueurs nutritionnels, tels que le rétinol sérique, la RBP et la ferritine, subissent des altérations en présence d'inflammation [54,64]. Plus précisément, les taux sériques de ferritine augmentent tandis que ceux du rétinol chutent quelques heures après le début de l'inflammation, et ces modifications sont rapidement suivies d'une augmentation de la CRP.

En ce qui concerne l'AGP, sa concentration maximale n'est atteinte qu'après 24 heures suite à une stimulation par l'interleukine 6 (IL-6), tandis que la ferritine atteint son pic après 48 heures de cette stimulation. Les taux de la CRP commencent à diminuer entre 24 et 48 heures après le début de l'inflammation, tandis que les taux de l'AGP restent élevés pendant 5 à 6 jours et ceux de la ferritine jusqu'à 10 jours [54]. Le rétinol sérique diminue de manière significative dans les 48 heures suivant une inflammation induite, reflétant ainsi les variations observées dans la CRP et revient au taux initial après 7 jours [65].

L'inflammation est définie si la concentration de la CRP dépasse les 5 mg/l et celle de l'AGP dépasse les 1 g/l.

- *Statut en fer* : Les réserves de fer de l'organisme sont principalement sous forme de ferritine. La concentration plasmatique de la ferritine reflète la concentration de fer stocké dans le foie, qui varie en fonction de l'âge et du sexe [53]. En l'absence d'inflammation, la concentration de la ferritine est corrélée positivement à l'ampleur des réserves totales de fer d'où les recommandations de l'OMS de son utilisation pour l'évaluation du statut en fer des populations. Cependant, la ferritine étant une protéine de phase aiguë, sa concentration augmente au cours du processus inflammatoire et par conséquent elle ne reflète plus les réserves de fer. Dans le cas échéant, des ajustements sont nécessaires. *La carence en fer a été définie pour la concentration de la ferritine sérique < 12 µg/l pour les enfants de 5 à 11 ans [55].*
- *Statut en vitamine A* : Le rétinol avec sa protéine porteuse de liaison (RBP) avec laquelle, il a une relation 1:1 est la forme prédominante de la vitamine A circulant dans le sang [65]. Sa concentrations sérique reflète les réserves hépatiques de vitamine A uniquement lorsque les réserves hépatiques sont gravement épuisées (< 0,07 µmol /g de foie) ou extrêmement élevé (>1,05 µmol/g de foie) [63]. Cependant, la distribution dans la population des concentrations sériques de rétinol ou de sa protéine porteuse de liaison au rétinol (RBP) fournit des informations importantes sur le statut en vitamine A d'une population et peut refléter la gravité de la carence en vitamine en tant que problème de santé publique [64], d'où son utilisation comme indicateur du statut en vitamine A des enfants. Les valeurs seuils utilisées sont celles recommandées par l'OMS [66]. *Le statut est*

déficient (avitaminose A clinique ou sévère) si la rétinolémie < 0,35 µmol/l. il est marginal (avitaminose A infraclinique) si la rétinolémie ≥ 0,35 et 0,70 µmol/l.

3.7.2 Au niveau des parents

Les indicateurs au niveau du ménage ont été collectés auprès des parents/tuteurs des enfants par le biais d'un entretien téléphonique de 15 à 20 minutes à l'aide d'un questionnaire structuré programmé sur des tablettes (annexe2). Ce questionnaire comprenait des caractéristiques sociodémographiques générales de la famille et du ménage (âge, sexe, éducation, emploi, taille du ménage, actifs, dépenses, richesse). Des données sur le niveau de connaissance en nutrition ont également été recueillies, fin un questionnaire a été induit pour avoir une perception de la sécurité alimentaire du ménage.

Caractéristiques sociodémographiques et alimentaires des ménages

Les trois principaux indicateurs des variables socio-économiques sont l'éducation, la profession et le revenu. Ces derniers représentent différentes dimensions socioéconomiques mais sont faiblement corrélés [97]. D'où l'intérêt d'examiner les trois afin de comprendre dans quelle mesure le statut social influence l'état nutritionnel des enfants.

- *Niveau économique du ménage*

Le niveau économique du ménage a été apprécié à partir du questionnaire adressé aux parents sur les déclarations des caractéristiques sociodémographiques générales de la famille selon une méthodologie utilisée plusieurs fois dans le contexte tunisien. [98–100].

Pour cela un proxy a été calculé à partir de 6 variables décrivant l'habitation (nombre de personnes par pièce, type d'évacuation, de toilettes, source d'eau potable, existence d'une cuisine et d'une salle de bain) et 11 variables sur les biens possédés par le ménage (réfrigérateur, lave-linge, lave-vaisselle, parabole, accès internet, télévision, chauffage, climatisation, téléphone, voiture, ordinateur). Une analyse factorielle des correspondances multiples a permis d'étudier les relations entre ces variables, le premier axe de cette analyse est interprété comme un gradient de niveau économique allant des ménages les plus démunis aux plus favorisés économiquement. Cette combinaison linéaire pondérée des variables initiales a été retenue comme proxy de niveau économique du ménage. Cet indice est utilisé après codage en terciles classant ainsi les ménages en trois niveaux économiques croissants : bas, moyen et élevé.

- *Niveau d'éducation des parents*

Le niveau d'éducation a également été utilisé pour évaluer le statut socio-économique par des informations recueillies par l'entretien téléphonique, les deux parents de chaque enfant ont été répartis en trois groupes en fonction de leur niveau d'éducation : non scolarisé/primaire, secondaire et universitaire.

- *Profession des parents*

L'activité professionnelle des parents recueillie a été classé en trois catégories : cadres supérieurs ou moyens, employés ou ouvriers, sans activité. L'activité du chef de ménage en deux catégories (avec activité professionnelle, sans activité professionnelle).

- *Echelle de sécurité alimentaire du ménage*

L'échelle de sécurité alimentaire des familles (version arabe) a été utiliser comme indicateur d'accès à la nourriture dans le ménage, précédemment validée au Liban [101]. L'échelle est composée de 8 questions avec des réponses dichotomiques simples de "oui" ou "non". Il a été demandé aux répondants s'ils avaient, à un moment quelconque au cours des 12 mois précédents, éprouvé différents niveaux de gravité de l'insécurité alimentaire. Ces questions vont de « s'inquiéter de ne pas avoir assez de nourriture à manger » à « avoir faim pendant toute une journée », en raison du manque d'argent ou d'autres ressources. Les réponses à ces questions ont été agrégées, les scores totaux allant de 0 à 8. Pour les analyses, les scores ont été classés en 3 catégories pour avoir une perception de la sécurité alimentaire du ménage : 1) sécurité alimentaire (score 0–3) ; 2) insécurité alimentaire modéré (score 4–6) et 3) insécurité alimentaire sévère (score 7-8).

Evaluation du niveau de connaissance en nutrition et alimentation humaine

Au cours des dernières années, de nombreuses études ont rapporté que l'apport alimentaire chez les enfants était associé aux connaissances nutritionnelles des enfants et de leurs parents [102]. L'utilisation des questionnaires comme instruments pour évaluer de manière fiable ces connaissances est très importante. Pour cela, le questionnaire publié par Parmenter et al a été utilisé pour l'évaluation de la connaissance des parents sur l'alimentation [103]. Il est confirmé pour sa fiabilité et sa validité, adapté et utilisé dans plusieurs pays [104–106]. Le questionnaire validé publié par Asakura et al. adapté au contexte tunisien a été utilisé pour évaluer le niveau de connaissance des enfants en matière de nutrition et d'alimentation [107].

Les deux questionnaires couvrent les recommandations alimentaires actuelles, les sources de nutriments, les choix alimentaires quotidiens et la relation alimentation-maladie. Le questionnaire des parents comprend 5 questions et 7 pour celui des enfants. Ils comportaient des questions fermées et à multiples choix comme par exemple, identifier le choix le plus sain à partir d'une liste d'options pour divers aliments. Il avait la possibilité de répondre par « je ne sais pas » pour éviter au participant de deviner les réponses. Toutes les questions ont été notées comme un point (+1) pour une réponse correcte avec un score maximum de 5 pour les parents et 7 pour les enfants. Les réponses ont été codifié pour classer les niveaux de connaissance en nutrition des enfants ainsi : bas (score 0-3), moyen (score 4-5), élevé (6-7) ; pour les parents, il a été apprécié ainsi insuffisant (0-2), passable (3), adéquat (4-5).

3.8 Déroulement de l'enquête sur le terrain

L'équipe en charge de mener l'enquête était multidisciplinaire afin de mener à bien les différentes étapes de l'enquête. Les enquêteurs ont été formés spécifiquement pour l'étude pour minimiser les variations inter enquêteurs et assurer la standardisation. Ils ont suivi deux semaines de formation par le biais d'ateliers en présentiel et de formation en ligne. Cela comprenait des considérations éthiques dans la collecte de données, les bases d'un entretien efficace, l'utilisation de KoboCollect et des méthodes de collecte de données anthropométriques.

3.9 Traitement et analyse des données

Ce chapitre présente notre contribution au projet SCALE dans le cadre de notre mémoire de fin de master. Notre travail consistait en une analyse approfondie de l'étendue, de la gravité et des facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents des carences en vitamine A et en fer chez les enfants scolarisés du Grand Tunis. Ce travail repose sur une revue exhaustive de la littérature, englobant les facteurs démographiques et socio-économiques liés aux différentes carences, les données sur la prévalence mondiale de ces carences en micronutriments, ainsi que les différentes méthodes d'analyse et d'ajustement des biomarqueurs de la carence en fer et en vitamine A en cas d'inflammation. Cette revue bibliographique a été réalisée en français et en anglais, utilisant des moteurs de recherche tels que Pubmed, COCHRANE, Science Direct, et Google Scholar, en se basant sur des mots-clés tels que : anaemia, inflammation, retinol-binding protein, vitamin A deficiency, iron deficiency, anémie par carence en fer, ajustement de la ferritine. À partir de cette revue, nous avons élaboré un plan d'analyse en collaboration avec notre encadreur, qui a servi de guide tout au long du processus d'analyse des données.

3.9.1 Traitement des données

Les questionnaires, tant ceux destinés aux parents qu'aux enfants, ainsi que les données anthropométriques, ont été importés depuis l'application KoboCollect au format xlsx. La gestion et l'analyse des données ont été effectuées à l'aide du logiciel Stata (version 15.0 ; StataCorp, College Station, États-Unis). Les différents fichiers ont été importés dans Stata et fusionnés (merge 1 :1) en utilisant l'identifiant unique des enfants. Une nouvelle base de données a été créée en ne sélectionnant que les variables pertinentes pour notre étude. Pour assurer la traçabilité et faciliter les corrections et les modifications ultérieures, nous avons rédigé des programmes Stata (fichier .do) (annexe 3). Cette approche présente plusieurs avantages, notamment la préservation de notre travail et la possibilité d'apporter des corrections ou des ajustements aux commandes. De plus, des commentaires explicatifs, non interprétables par le logiciel, ont été inclus dans les programmes pour faciliter la compréhension et assurer une documentation complète. L'épuration de la base de données a

consisté à vérifier les erreurs de codage, à identifier les données dupliquées ou manquantes, et à recoder certaines variables en modifiant les libellés et les types de données, au besoin. De nouvelles variables ont été créées, et des variables quantitatives ont été transformées en variables continues, telles que l'IMC calculé à partir de la taille et de l'âge de l'enfant. Les variables quantitatives ont également été converties en variables catégorielles ou dichotomiques, selon les besoins de l'analyse. Par exemple, l'âge a été regroupé en deux classes : moins de 10 ans (enfant) et 10 ans ou plus (adolescent), conformément à la classification de l'OMS [108]. Les indices et les scores z anthropométriques ont été calculés conformément aux recommandations de l'OMS en utilisant le package WHO Child Growth Standards de STATA WHO 2007. Les prévalences des carences nutritionnelles ont été estimées en utilisant les seuils recommandés par l'OMS, tels que précisés ci-dessus. Le dictionnaire des variables a été mis à jour pour inclure les nouvelles variables générées, et un second fichier « .do » a été créé pour l'analyse.

3.9.2 Analyse des données

- *Ajustement de la ferritine et du RBP en cas d'inflammation*

Le tableau VIII présente la procédure d'ajustement de la ferritine et du RBP (tableau VIII).

Tableau VIII. Procédure d'ajustement de la ferritine et du RBP en cas d'inflammation.

Mesure des micronutriments	Ajustement de la ferritine	Ajustement du RBP
Profil inflammatoire	CRP >5 mg/L = 5,6 %; AGP >1 g/L = 17,0%	
Etape 1 : A. Stratification par groupes : Groupe 1 ¹ : CRP ≤5mg/l & AGP ≤ 1g/L, (référence) Groupe 2 ² : CRP >5mg/l & AGP ≤ 1g/L Groupe 3 ³ : CRP >5mg/l & AGP >1g/L Groupe 4 ⁴ : CRP ≤5mg/l & AGP >1g/L B. Identification des facteurs de correction de Thurnham	A. Groupe 1 : n = 1975 Groupe 2 : n = 22 Groupe 3 : n =110 Groupe 4 : n = 297 B. Multiplier les CF par les Groupes appropriés Groupe 2, ferritine x 0,77 Groupe 3, ferritine x 0,53 Groupe 4, ferritine x 0,75	A. Groupe 1 : n = 1975 Groupe 2 : n = 22 Groupe 3 : n =110 Groupe 4 : n = 297 B. Multiplier les CF par les Groupes appropriés Groupe 2, RBP x 1,15 Groupe 3, RBP x 1,32 Groupe 4, RBP x 1,12
Etape 2 : Application des seuils pour l'estimation des prévalences	Ferritine ajusté < 12 µg/l	RBP ajusté < 0,35 µmol/l ≥ 0,35 et 0,70 µmol/l

¹ : Apparemment sain. ² : Incubation. ³ : Convalescence précoce. ⁴ : Convalescence tardive.

L'OMS recommande pour l'estimation de la prévalence de la carence en fer et de la vitamine A de faire des ajustements en fonction du statut inflammatoire mais il n'y a pas de consensus sur une méthode de correction de l'inflammation. Dans des méta-analyse, Thurnham et al. ont généré des facteurs de correction (FC) pour ajuster les concentrations sériques de la ferritine et du RBP des individus sur la base des stades d'infection subclinique [109,110]. Cette méthode implique d'abord de stratifier les individus en catégories basées sur une CRP et/ou un AGP élevé : groupe de référence apparemment sain (CRP ≤5 mg/L et AGP ≤ 1 g/L), en

incubation (CRP >5 mg/L et AGP >1 g/L), en convalescence précoce (CRP >5 mg/L et AGP ≤1 g/L) et en convalescence tardive (CRP ≤ 5 mg/L et AGP >1 g/L). Les valeurs individuelles ont ensuite été ajustées en les multipliant par les facteurs de correcteur de Thurnham, qui ont été obtenus par le rapport entre la moyenne géométrique du groupe apparemment sain et la moyenne géométrique de chaque groupe inflammatoire dans sa méta-analyse.

Dans le processus d'analyse, la sélection des variables explicatives n'est pas arbitraire, mais repose sur une compréhension préalable du modèle conceptuel du statut en micronutriments chez les enfants (figure 3). Les variables explicatives sont des facteurs indépendants qui ont le potentiel d'influencer positivement ou négativement l'apparition de la carence en micronutriments chez les enfants. Nous avons comparé les valeurs moyennes de toutes les variables continues, telles que les mesures anthropométriques et les variables biologiques chez les enfants, entre filles vs garçons en utilisant le test de t-Student et les prévalences de la carence en vitamine A, fer et l'anémie avec le test de chi².

Les résultats descriptifs ont été présentés de la manière suivante : pour les variables continues, nous avons utilisé des moyennes accompagnées de leur erreur standard, tandis que pour les variables catégorielles, nous avons utilisé des pourcentages avec un intervalle de confiance à 95 %. Pour l'analyse de régression logistique, les estimations des effets sont présentées sous forme de rapport de cotes (Odds-Ratio) avec des intervalles de confiance à 95 %. Toutes les analyses ont été réalisées en tenant compte du plan d'échantillonnage, comprenant la stratification, la formation de grappes et les poids d'échantillonnage, en utilisant la fonctionnalité "svy" de Stata. Le seuil de risque de première espèce a été fixé à 0,05 pour toute l'analyse.

- *Régression logistique*

Nous avons utilisé la régression logistique pour examiner l'association entre les indicateurs du statut en micronutriments respectifs, carence en fer, anémie, carence en vitamine A et les variables explicatives. Pour cela, nous avons construit des modèles hiérarchiques, le premier niveau, ce sont les variables dépendantes de l'enfant (sexe, âge, all-5, SDA, etc.) ; le deuxième niveau, ce sont les variables dépendantes de l'environnement de l'enfant (profession et niveau d'éducation des parents, score économique du ménage, etc.). Pour toutes les analyses, la catégorie de référence des variables explicatives a été définie comme étant celle supposée présenter la moins vulnérabilité nutritionnelle.

En analyse univariée, l'étude du lien entre l'exposition et la carence nutritionnelle (carence en fer chez l'enfant) a été faite sans tenir compte d'un tiers facteur. L'OR calculé est un OR brut. Dans ce cas, le modèle de la régression logistique s'écrit : $L(P(A)/(1 - P(A))) = \beta_0 + \beta_1 X$

En analyse multivariée, notre objectif était de déterminer le poids respectif de chacune des variables. Pour ce faire, nous avons ajusté nos modèles statistiques. Les modèles étaient faits à deux niveaux, le premier comprenait en compte les variables dépendantes de l'enfant et le

deuxième son environnement et en fin un troisième était construit avec les variables des deux niveaux. Les variables qui avaient des interactions, n'ont pas été mis dans les modèles concomitamment, celle qui avait un p-value significatif dans l'analyse univarié ou le plus proche a toujours été choisi (SDA et All-5).

3.10 Approbation éthique et consentement éclairé

Le protocole de l'étude a obtenu l'approbation éthique par le comité d'éthique de Recherche Humaine de l'INNTA (Visa n° 03/2019) du 12 juillet 2019, et celle du Conseil National de la Statistique de la Tunisie, (Visa n° 06/2019 du 28 avril 2019. L'Instance Nationale de Protection des Données Personnelles (INPDP) et la juge des familles ont donnés leur avis favorable pour l'étude.

Tous les parents/tuteurs ont signé leur consentement éclairé. Les informations qui ont été collecté, sont traitées avec la plus grande confidentialité

4 RESULTATS

4.1 Caractéristiques générales

Nous avons mené une enquête transversale dans le Grand Tunis auprès d'un échantillon représentatif des enfants scolarisés dans les écoles primaires ainsi que leurs parents. L'âge des enfants variait de 8 à 11 ans avec une moyenne de 10 ans. L'échantillon total était de 2465 sur un total théorique de 2500, soit un taux de réponse de 98,6 % pour les enfants et 94,9% pour les parents.

L'objectif principal étant de déterminer l'ampleur des carences en micronutriments, le prélèvement sanguin a été effectué chez 96,2% des enfants. Les principales causes de non-réponse étaient le refus des enfants de se faire piquer, le refus des parents et les prélèvements sanguins difficiles. L'échantillon d'étude comprenait 1237 filles et 1228 garçons qui représentaient en termes de pourcentage 50,3 % et 49,3 % respectivement. Parmi eux 32,2 % vivaient dans un ménage avec un niveau économique élevé, 34,2 % moyen et 33,6 % bas. Et seulement 1,3 % vivaient dans un ménage avec une insécurité alimentaire sévère.

4.1.1 Caractéristiques anthropométrique et biologiques

Caractéristiques anthropométriques

Le tableau IX présente les caractéristiques anthropométriques des enfants selon le sexe.

Tableau IX. Caractéristiques anthropométriques des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis, selon le sexe.

Variable	Ensemble (n=2465)	Fille (F) (1237)	Garçon (G) (1228)	Valeur P F vs G ³
	Moyenne ± ES ¹ ou % ²	Moyenne ± ES ¹ ou % ²	Moyenne ± ES ¹ ou % ²	
Poids (kg)	39,0±0,3	39,4±0,3	38,6±0,3	0,061
Taille (cm)	143,7±0,1	144,0±0,2	143,4±0,2	0,014
IMC ⁴ pour âge (kg/m ²)	18,7±0,1	18,8±0,1	18,6±0,1	0,27
Surpoids (%)	36,7	36,7	36,7	0,97
Obésité (%)	17,5	13,9	21,0	0,0003
Maigreur (%)	5,3	4,6	6,0	0,17
Retard de croissance (%)	0,7	0,7	0,7	0,92

¹ : moyenne ± erreur standard. ² : proportion pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : valeur P pour fille vs garçon. ⁴ : Indice de masse corporelle.

La moyenne du poids était de 39,0 ± 0,3 kg avec une variation entre un minimum de 19,8 kg et un maximum de 88,8 kg et la taille moyenne était de 143,7 ± 0,1 cm (minimum= 118,7 cm, maximum= 174,0 cm). La taille était significativement plus élevée chez les garçons que chez les filles (143,4 ± 0,2 cm vs 144,0 ± 0,2 cm ; p= 0,014). La différence de moyenne entre de l'IMC pour âge n'était pas significatif (p=0,27). Les résultats montrent que 36,7 % des enfants étaient

en surpoids, et 17,5 % étaient obèses avec une différence significative fille vs garçon ($p=0,003$). L'émaciation touchait 5,3 % des enfants alors que 0,7 % souffraient de retard de croissance.

Caractéristiques biologiques

Les dosages biologiques recueillis sont présentés dans le tableau X en fonction du sexe. L'anémie affectait 5,9 % de l'ensemble des enfants. La carence en vitamine A était de l'ordre de 6,7 % avec une différence significative entre les filles et les garçons ($p=0,034$). La carence en fer touchait 22,4 % et 1,9 % des enfants avaient atteint le stade d'une anémie martiale.

Tableau X. Caractéristiques biologiques des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis, selon le sexe.

Variable	Ensemble (2404)	Féminin (F) (1210)	Masculin (M) (1194)	F vs M Valeur p^3
	Moyenne \pm ES ¹ ou % ²	Moyenne \pm ES ¹ ou % ²	Moyenne \pm ES ¹ ou % ²	
Paramètres biologiques sanguines				
Hémoglobine (g/dl)	13,23 \pm 05	13,23 \pm 0,5	13,23 \pm 0,5	0,84
Alpha-1-acide glycoprotéine (g/l)	0,80 \pm 0,005	0,78 \pm 0,008	0,82 \pm 0,008	0,001
Protéine C-Réactive (mg/l)	1,41 \pm 0,08	1,34 \pm 0,89	1,49 \pm 0,14	0,41
Ferritinémie (μ g/l)	26,31 \pm 0,43	25,06 \pm 0,47	27,59 \pm 0,55	0,000
Protéine de liaison au rétinol (μ mol/l)	1,02 \pm 0,007	1,03 \pm 0,008	1,00 \pm 0,009	0,016
Pathologies nutritionnelles et inflammatoires				
Inflammation (%)				
<i>Convalescence précoce</i>	0,9	1,4	0,4	
<i>Convalescence</i>	4,7	3,8	5,6	0,020
<i>Convalescence tardive</i>	12,4	11,5	13,2	
Anémie (%)	5,9	5,8	6,0	0,86
Carence en fer (%)	22,4	25,3	19,5	0,005
Anémie par carence en fer (%)	1,9	1,9	1,9	0,99
Carence en vitamine A (%)	6,7	5,6	7,8	0,034

¹ : moyenne \pm erreur standard. ² : proportion pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy. ³ : valeur P pour fille vs garçon.

La distribution des valeurs individuelles de la ferritinémie des enfants est représentée sur la figure 4. La moyenne était supérieure que le seuil de carence fixé à $<15 \mu\text{g/l}$. Elle était de $26,31 \pm 0,43 \mu\text{g/l}$. Les valeurs individuelles s'échelonnaient entre 1,39 et $170,9 \mu\text{g/l}$, avec une médiane de $23,16 \mu\text{g/l}$. La différence de la moyenne était significative entre les filles et les garçons ($p < 0,05$).

La vitamine A sérique moyenne était plus élevée que le seuil d'épuisement fixé à $0,70 \mu\text{mol/l}$ par l'OMS. Elle était de $1,02 \pm 0,007 \mu\text{mol/l}$. Les valeurs individuelles s'échelonnaient entre 0,37 et $2,62 \mu\text{mol/l}$, avec une médiane de $0,99 \mu\text{mol/l}$. La différence de la moyenne était significative entre les filles et les garçons ($p=0,016$).

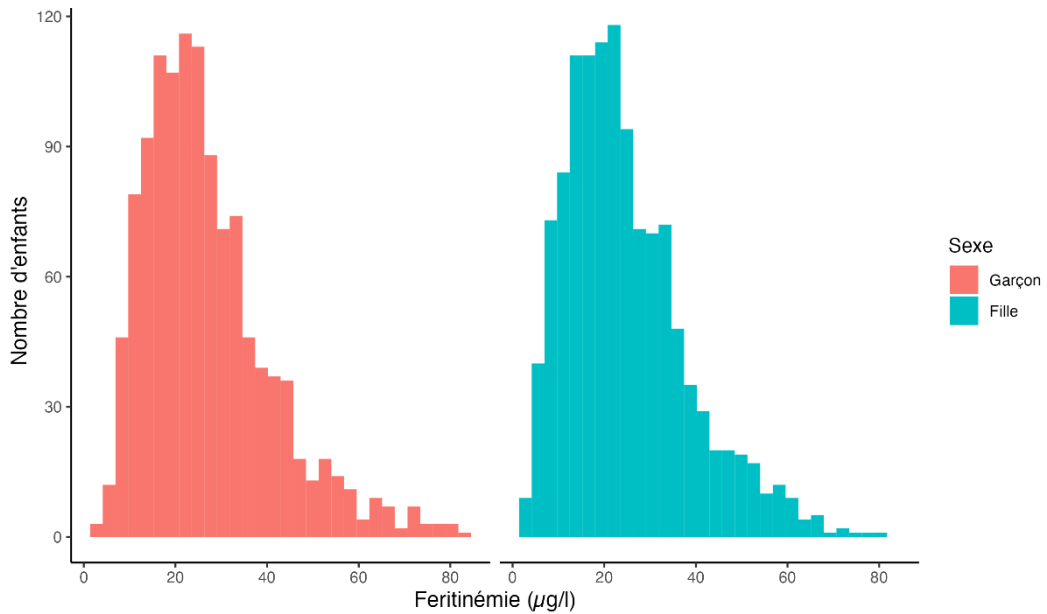


Figure 4. Distribution de la Ferritinémie chez les enfants selon le sexe.

La distribution des valeurs individuelles du rétinol sérique chez les enfants est représentée sur la figure 5.

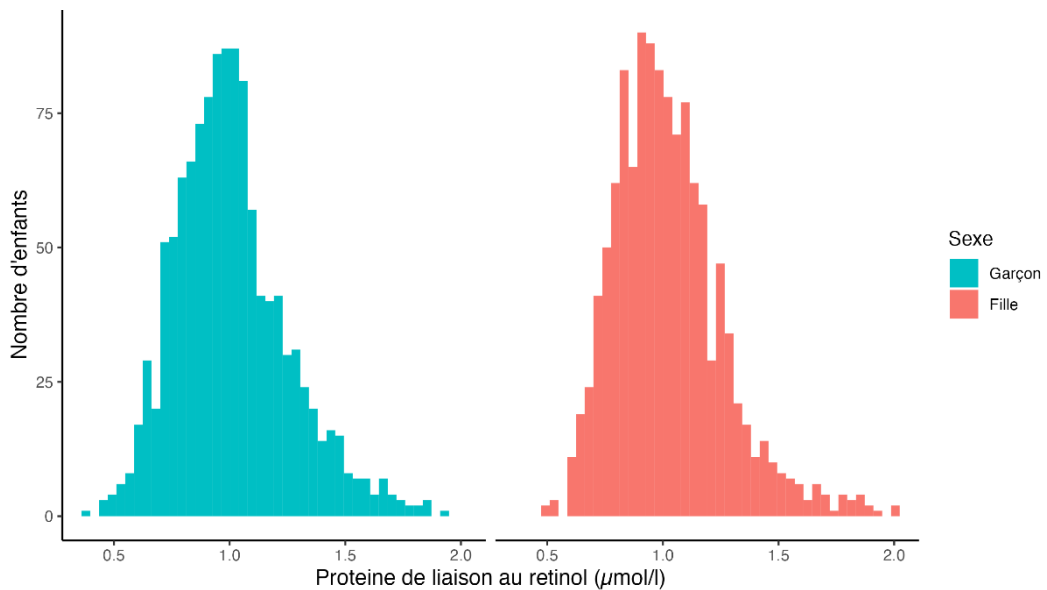


Figure 5. Distribution de la vitamine A chez les enfants selon le sexe.

4.2 Facteurs associés aux carences nutritionnelles

Nous présentons dans cette section, l'étude des divers facteurs associés aux différentes carences nutritionnelles selon trois modèles de régression logistique pour chaque carence nutritionnelle.

4.2.1 Facteurs associés à la carence en fer

Nous avons examiné l'association entre la carence en fer et les variables explicatives dépendantes de l'enfant dans le tableau XI.

Tableau XI. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer chez les enfants scolarisés de 8-11 ans et leurs caractéristiques démographiques, anthropométriques, alimentaires et le niveau de connaissance en nutrition.

Variable	Carence en fer chez l'enfant						
	N ¹	% ²	Brut		Ajusté		
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴	
Age			p = 0,53		p=0,54		
	8-10 ans	779	21,4	-	-	-	-
	10-11 ans	1625	22,9	1,1	[0,82- 1,44]	1,1	[0,82- 1,46]
Sexe			p= 0,0051		p= 0,0050		
	Garçon	1194	19,5	-	-	-	-
	Fille	1210	25,3	1,4	[1,11- 1,75]	1,4	[1,11- 1,76]
Surpoids			p= 0,99		p= 0,79		
	Non	1519	22,4	-	-	-	-
	Oui	885	22,42	1,0	[0,83- 1,20]	1,0	[0,85- 1,23]
Carence en vitamine A			p= 0,07		p=0,042		
	Non	2246	22,01	-	-	-	-
	Oui	158	28,05	1,4	[0,97- 1,96]	1,5	[1,02- 2,11]
Niveau de connaissance en nutrition			p= 0,25		p= 0,37		
	Score élevé	269	25,6	-	-	-	-
	Score moyen	131	22,8	0,8	[0,60- 1,20]	0,9	[0,62- 1,23]
	Score bas	825	20,8	0,8	[0,53- 1,08]	0,8	[0,55- 1,13]
Cinq groupes d'aliments recommandés (All-5)			p= 0,22		p= 0,33		
	Oui	807	24,6	-	-	-	-
	Non	1597	21,6	0,9	[0,70- 1,08]	0,9	[0,71- 1,12]
Consommation d'aliments riche en fer			p= 0,19		p= 0,29		
	Oui	2297	22,7	-	-	-	-
	Non	107	17,3	0,7	[0,43- 1,18]	0,7	[0,43- 1,25]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Que ce soit l'analyse univariée ou multivariée, la carence en fer était significativement associée avec le sexe et la carence en vitamine A.

Le tableau XII présente les résultats de l'étude des associations avec les variables dépendantes de l'environnement des enfants.

L'analyse univariée a montré que le gouvernorat de l'Ariana, le niveau d'éducation secondaire de la mère et le score économique du ménage moyen étaient associés à la carence en fer. Après ajustement sur les variables région et type de l'école, alimentaires, le niveau d'éducation, la profession, le score économique, le niveau de connaissance en nutrition et le score de la faim du ménage les mêmes variables restent significativement associés à la carence en fer.

Tableau XII. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer et les variables dépendantes de l'environnement des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	N ¹	% ²	Carence en fer chez l'enfant			
			Brut		Ajusté	
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴
Gouvernorat			p=0,001		p=0,014	
<i>Tunis</i>	904	24,0	-	-	-	-
<i>Ariana</i>	430	17,3	0,7	[0,51- 0,85]	0,7	[0,49- 0,90]
<i>Ben Arous</i>	678	24,6	1,0	[0,82- 1,30]	1,0	[0,75- 1,32]
<i>Manouba</i>	392	19,0	0,7	[0,51- 1,07]	0,8	[0,57- 1,05]
Type d'école			p=0,35		P=0,81	
<i>Etatique</i>	1725	22,0	-	-	-	-
<i>Privée</i>	679	24,0	1,1	[0,88- 1,43]	1,0	[0,79- 1,34]
Niveau d'éducation de la mère			p=0,01		P=0,05	
<i>Universitaire</i>	700	27,5	-	-	-	-
<i>Secondaire</i>	1432	20,4	0,7	[0,52- 0,87]	0,6	[0,43- 0,92]
<i>Primaire/Non scolarisée</i>	86	21,5	0,7	[0,45- 1,16]	0,7	[0,36- 1,36]
Niveau d'éducation du père			p=0,21		P=0,58	
<i>Universitaire</i>	844	24,7	-	-	-	-
<i>Secondaire</i>	1270	21,3	0,8	[0,65- 1,03]	1,1	[0,77- 0,92]
<i>Primaire/Non scolarisée</i>	102	22,3	0,9	[0,53- 1,45]	1,4	[0,73- 2,81]
Activité professionnelle de la mère			p=0,24		P=0,72	
<i>Cadres supérieurs et moyens</i>	711	24,9	-	-	-	-
<i>Ouvrières, employées</i>	504	20,7	0,8	[0,57- 1,09]	0,9	[0,58-1,35]
<i>Sans activité</i>	812	21,6	0,8	[0,63- 1,09]	1,0	[0,70-1,49]
Activité professionnelle du père			p=0,76		P=0,42	
<i>Cadres supérieurs et moyens</i>	1078	23,2	-	-	-	-
<i>Ouvriers, employés</i>	1118	22,0	1,0	[0,74- 1,17]	1,2	[0,90- 1,70]
<i>Sans activité</i>	39	25,2	1,1	[0,48- 2,60]	1,3	[0,56- 3,16]
Connaissance en nutrition humaine des parents			p=0,94		P=0,81	
<i>Adéquate</i>	662	23,6	-	-	-	-
<i>Passable</i>	891	22,5	1,0	[0,73- 1,26]	0,7	[0,72- 1,30]
<i>Insuffisante</i>	757	22,2	0,94	[0,68- 1,30]	0,6	[0,75- 1,50]
Score économique du ménage			p=0,004		P=0,01	
<i>Elevé</i>	738	26,7	-	-	-	-
<i>Moyen</i>	757	19,4	0,7	[0,59- 0,98]	0,6	[0,46- 0,86]
<i>Bas</i>	765	21,7	0,8	[0,52- 0,84]	0,7	[0,48- 1,00]
Echelle de la faim au niveau du ménage			p=0,50		P=0,60	
<i>Sécurité alimentaire</i>	1156	22,0	-	-	-	-
<i>Insécurité modérée</i>	1065	22,7	1,0	[0,85- 1,27]	1,1	[0,88- 1,35]
<i>Insécurité sévère</i>	35	29,3	1,5	[0,76- 2,80]	1,4	[0,63- 3,09]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Le tableau XIII présente les résultats de l'étude des associations entre la carence en fer avec les variables dépendantes propres aux enfants et ceux de l'environnement où vivent les enfants. Selon l'analyse univariée et après ajustement sur les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés, des associations significatives entre la carence en fer et le sexe, la zone de l'école, le niveau d'éducation secondaire de la mère et le niveau économique persistent. Etre fille est un facteur de risque de carence en fer. D'autre part, fréquenter les écoles du gouvernorat de l'Ariana, avoir une mère ayant un niveau secondaire et vivre dans un ménage de niveau économique moyen sont des facteurs de protection contre la carence en fer.

Tableau XIII. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer et les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	N ¹	% ²	Carence en fer chez l'enfant				
			Brut		Ajusté		
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴	
Age			p = 0,53		p= 0,63		
	8-10	779	21,4	-	-	-	
	10-11	1625	22,9	1,1	[0,82- 1,44]	1,1 [0,80- 1,43]	
Sexe				p= 0,0051		p= 0,002	
	Garçon	1194	19,5	-	-	-	
	Fille	1210	25,3	1,4	[1,11- 1,75]	1,5 [1,17- 1,94]	
Surpoids				p= 0,99		p= 0,81	
	Non	1519	22,4	-	-	-	
	Oui	885	22,42	1,0	[0,83- 1,20]	1,0 [0,76- 1,22]	
Carence en vitamine A				p= 0,07		p= 0,08	
	Non	2246	22,01	-	-	-	
	Oui	158	28,05	1,4	[0,97- 1,96]	1,5 [0,96- 2,25]	
Niveau de connaissance en nutrition				p= 0,25		p= 0,45	
	Elevé	269	25,6	-	-	-	
	Score moyen	131	22,8	0,8	[0,60- 1,20]	0,9 [0,64- 1,36]	
	Score bas	825	20,8	0,8	[0,53- 1,08]	0,8 [0,54- 1,23]	
Cinq groupes d'aliments recommandés (All-5)				p= 0,22		p= 0,26	
	Oui	807	24,6	-	-	-	
	Non	1597	21,6	0,9	[0,70- 1,08]	0,9 [0,72- 1,09]	
Consommation d'aliments riche en fer				p= 0,19		p= 0,13	
	Oui	2297	22,7	-	-	-	
	Non	107	17,3	0,7	[0,43- 1,18]	0,7 [0,42- 1,12]	
Gouvernorat				p=0,001		p= 0,02	
	Tunis	904	24,0	-	-	-	
	Ariana	430	17,3	0,7	[0,51- 0,85]	0,7 [0,50- 0,92]	
	Ben Arous	678	24,6	1,0	[0,82- 1,30]	1,0 [0,76- 1,33]	
	Manouba	392	19,0	0,7	[0,51- 1,07]	0,8 [0,57- 1,05]	
Type d'école				P=0,35		P=0,75	
	Etatique	1725	22,0	-	-	-	
	Privée	679	24,0	1,1	[0,88- 1,43]	1,0 [0,80- 1,36]	
Niveau d'éducation de la mère				p=0,01		p= 0,05	
	Niveau universitaire	700	27,5	-	-	-	
	Niveau secondaire	1432	20,4	0,7	[0,52- 0,87]	0,6 [0,42- 0,92]	
	Non scolarisé/primaire	86	21,5	0,7	[0,45- 1,16]	0,7 [0,36- 1,39]	
Niveau d'éducation du père				p=0,21		p= 0,57	
	Niveau universitaire	844	24,7	-	-	-	
	Niveau secondaire	1270	21,3	0,8	[0,65- 1,03]	1,1 [0,78- 1,63]	
	Non scolarisé/primaire	102	22,3	0,9	[0,53- 1,45]	1,4 [0,72- 2,81]	
Activité professionnel mère				p=0,24		p= 0,8	
	Cadres supérieurs et moyen	711	24,9	-	-	-	
	Ouvriers, employés	504	20,7	0,8	[0,57- 1,09]	0,9 [0,60- 1,41]	
	Sans activité	812	21,6	0,8	[0,63- 1,09]	1,0 [0,70- 1,50]	
Activité professionnel père				p=0,76		p= 0,4	
	Cadres supérieurs et moyen	1078	23,2	-	-	-	
	Ouvriers, employés	1118	22,0	1,0	[0,74- 1,17]	1,2 [0,88- 1,70]	
	Sans activité	39	25,2	1,1	[0,48- 2,60]	1,4 [0,62- 3,27]	
Connaissance en nutrition humaine des parents				p=0,94		p= 0,6	
	Adéquat	662	23,6	-	-	-	
	Passable	891	22,5	1,0	[0,73- 1,26]	0,9 [0,71- 1,28]	
	Insuffisant	757	22,2	0,94	[0,68- 1,30]	1,0 [0,77- 1,52]	
Niveau économique du ménage				p=0,004		p= 0,02	
	Elevé	738	26,7	-	-	-	
	Moyen	757	19,4	0,7	[0,59- 0,98]	0,6 [0,46- 0,86]	
	Bas	765	21,7	0,8	[0,52- 0,84]	0,7 [0,49- 1,04]	
Echelle de la faim au niveau du ménage				p=0,50		p= 0,6	
	Sécurité alimentaire	1156	22,0	-	-	-	
	Insécurité modérée	1065	22,7	1,0	[0,85- 1,27]	1,1 [0,88- 1,36]	
	Insécurité sévère	35	29,3	1,5	[0,76- 2,80]	1,4 [0,64- 3,00]	

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata.

³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

4.2.2 Facteurs associés à l'anémie

Les résultats de l'étude de l'association entre l'anémie et les variables démographiques, anthropométriques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendantes des enfants scolarisés sont présentés dans le tableau XIV. L'analyse univariée a montré que la carence en fer et la carence en vitamine A étaient des facteurs de risque de l'anémie. Après ajustement sur toutes les variables du modèle, l'association reste significative entre les variables individuelles des enfants et la carence en fer. L'âge, le sexe, le surpoids, les connaissances des enfants en nutrition et alimentation et la diversité du régime alimentaire n'étaient pas associées au risque d'anémie.

Tableau XIV. Associations brutes et ajustées entre l'anémie chez les enfants scolarisés de 8-11 ans et leurs caractéristiques démographiques, anthropométriques, alimentaires et le niveau de connaissance en nutrition et alimentation.

Variable	N ¹	% ²	Anémie chez l'enfant				
			Brut		Ajusté		
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴	
Age			p= 0,55		p= 0,79		
	8-10	783	6,3	-	-	-	
	10-11	1637	5,7	0,9	[0,61-1,31]	0,9 [0,64-1,40]	
Sexe				p= 0,86		p= 0,79	
	Garçon	1203	6,0	-	-	-	
	Fille	1217	5,8	1,0	[0,67- 1,40]	1,0 [0,66-1,37]	
Surpoids				p=0,28		p= 0,53	
	Non	1530	6,3	-	-	-	
	Oui	890	5,2	0,8	[0,55- 1,20]	0,9 [0,60-1,32]	
Carence en vitamine A				p= 0,014		p= 0,036	
	Non	2246	5,5	-	-	-	
	Oui	158	10,6	2,0	[1,16- 3,60]	2,0 [1,04-3,52]	
Carence en fer				p= 0,0008		p= 0,0008	
	Non	1872	5,0	-	-	-	
	Oui	532	8,5	1,7	[1,27- 2,38]	1,7 [1,27-2,35]	
Niveau de connaissance en nutrition				p= 0,77		p= 0,61	
	Elevé	274	5,1	-	-	-	
	Moyen	1319	5,7	1,1	[0,55- 2,32]	1,2 [0,58-2,57]	
	Bas	827	6,3	1,3	[0,65- 2,41]	1,4 [0,72-2,56]	
Score de diversité alimentaire				p=0,60		p=0,65	
	Elevé	388	4,5	-	-	-	
	Moyen	1063	6,0	1,3	[0,73- 2,66]	1,4 [0,70-2,62]	
	Bas	969	6,0	1,3	[0,70- 2,59]	1,3 [0,69-2,55]	

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Les résultats de l'exploration des facteurs associés aux variables démographiques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendantes de l'environnement des enfants sont présentés dans tableau XV. En analyse univariée, seules des connaissances passables en nutrition et alimentation des parents étaient associées positivement avec l'anémie, soit (OR=1,7 IC 95 [1,12- 2,51], p=0,04). Après ajustement sur

toutes les variables de l’environnement où vivent les enfants, ces associations disparaissent. Aucune relation entre le risque d’anémie et le lieu et le type de l’école, le niveau et la profession des parents, leur niveau économique et leurs connaissances en nutrition et alimentation.

Tableau XV. Associations brutes et ajustées entre l’anémie et les variables dépendantes de l’environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	N ¹	% ²	Anémie chez l’enfant			
			Brut		Ajusté	
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴
Gouvernorat			p=0,24		P=0,78	
<i>Tunis</i>	909	7,3	-	-	-	-
<i>Ariana</i>	434	6,2	0,8	[0,44- 1,57]	0,9	[0,45- 1,67]
<i>Ben Arous</i>	681	4,6	0,6	[0,33- 1,12]	0,8	[0,40- 1,47]
<i>Manouba</i>	396	4,3	0,6	[0,28- 1,15]	0,7	[0,39- 1,62]
Type d’école			p=0,88		P=0,85	
<i>Etatique</i>	1736	5,8	-	-	-	-
<i>Privée</i>	684	6,0	1,0	[0,62- 1,74]	1,1	[0,60- 1,82]
Niveau d’éducation de la mère			p=0,70		P=0,99	
<i>Niveau universitaire</i>	706	5,4	-	-	-	-
<i>Niveau secondaire</i>	1440	6,0	1,1	[0,71- 1,71]	1,0	[0,65- 1,65]
<i>Non scolarisé/primaire</i>	87	7,7	1,4	[0,59- 3,54]	1,0	[0,31- 3,52]
Niveau d’éducation du père			p=0,75		P=0,96	
<i>Niveau universitaire</i>	851	5,6	-	-	-	-
<i>Niveau secondaire</i>	1276	6,1	1,1	[0,74- 1,61]	0,9	[0,50- 1,69]
<i>Non scolarisé/primaire</i>	104	7,2	1,3	[0,60- 2,87]	0,9	[0,29- 2,65]
Activité professionnelle de la mère			p=0,71		P=0,74	
<i>Cadres supérieurs et moyen</i>	715	5,2	-	-	1,3	[0,64- 2,80]
<i>Ouvriers, employés</i>	505	6,6	1,3	[0,71- 2,29]	1,1	[0,63- 2,10]
<i>Sans activité</i>	819	5,5	1,0	[0,63- 1,75]	-	-
Activité professionnelle du père			p=0,44		P=0,77	
<i>Cadres supérieurs et moyen</i>	1086	5,4	-	-	-	-
<i>Ouvriers, employés</i>	1125	6,2	1,2	[0,84- 1,66]	1,1	[0,70- 1,66]
<i>Sans activité</i>	39	10,0	2,0	[0,54- 7,25]	1,7	[0,36- 7,66]
Connaissance en nutrition humaine des parents			p=0,04		P=0,37	
<i>Adéquat</i>	669	4,5	-	-	-	-
<i>Passable</i>	896	7,4	1,7	[1,12- 2,51]	1,3	[0,86- 2,23]
<i>Insuffisant</i>	761	5,4	1,2	[0,73- 2,01]	1,0	[0,59- 1,83]
Niveau économique du ménage			P=0,92		P=0,53	
<i>Elevé</i>	769	5,9	-	-	-	-
<i>Moyen</i>	763	5,5	0,9	[0,53- 1,70]	0,8	[0,45- 1,29]
<i>Bas</i>	743	6,1	0,9	[0,51- 1,56]	0,8	[0,49- 1,31]
Echelle de la faim au niveau du ménage			P=0,87		P=0,92	
<i>Sécurité alimentaire</i>	1164	5,7	-	-	-	-
<i>Insécurité modérée</i>	1072	6,0	1,1	[0,60- 1,83]	1,1	[0,56- 2,09]
<i>Insécurité sévère</i>	35	7,8	1,4	[0,39- 5,00]	1,4	[0,28- 7,23]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Les résultats de l’étude de l’association entre l’anémie et les variables dépendantes de l’environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés sont présentés dans le tableau XVI.

Tableau XVI. Associations brutes et ajustées entre l’anémie et les variables dépendants de l’environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	N ¹	% ²	Anémie chez l’enfant			
			Brut		Ajusté	
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴
Age			p= 0,55		p= 0,60	
	8-10	783	6,3	-	-	-
	10-11	1637	5,7	0,9	[0,61- 1,31]	1,1 [0,74- 1,66]
Sexe				p= 0,86		p= 0,52
	Garçon	1203	6,0	-	-	-
	Fille	1217	5,8	1,0	[0,67- 1,40]	0,9 [0,52- 1,39]
Surpoids				p=0,28		p= 0,25
	Non	1530	6,3	-	-	-
	Oui	890	5,2	0,8	[0,55- 1,20]	0,7 [0,46- 1,23]
Carence en vitamine A				p= 0,014		p= 0,03
	Non	2246	5,5	-	-	-
	Oui	158	10,6	2,0	[1,16- 3,60]	2,1 [1,10- 4,00]
Carence en fer				p= 0,0008		p= 0,009
	Non	1872	5,0	-	-	-
	Oui	532	8,5	1,7	[1,27- 2,38]	1,7 [1,14- 2,50]
Niveau de connaissance en nutrition				p= 0,77		p= 0,73
	Elevé	274	5,1	-	-	-
	Moyen	1319	5,7	1,1	[0,55- 2,32]	1,3 [0,63- 2,90]
	Bas	827	6,3	1,3	[0,65- 2,41]	1,2 [0,60- 2,58]
Score de diversité alimentaire				p=0,60		p= 0,67
	Elevé	388	4,5	-	-	-
	Moyen	1063	6,0	1,3	[0,73- 2,66]	1,3 [0,60- 2,73]
	Bas	969	6,0	1,3	[0,70- 2,59]	1,4 [0,69- 2,66]
Gouvernorat				P=0,24		p= 0,88
	Tunis	909	7,3	-	-	-
	Ariana	434	6,2	0,8	[0,44- 1,57]	1,0 [0,49- 1,92]
	Ben Arous	681	4,6	0,6	[0,33- 1,12]	0,8 [0,41- 1,55]
	Manouba	396	4,3	0,6	[0,28- 1,15]	0,8 [0,34- 1,74]
Type d’école				P=0,88		p= 0,84
	Etatique	1736	5,8	-	-	-
	Privée	684	6,0	1,0	[0,62- 1,74]	1,1 [0,59- 1,89]
Niveau d’éducation de la mère				P=0,70		p= 0,82
	Niveau universitaire	706	5,4	-	-	-
	Niveau secondaire	1440	6,0	1,1	[0,71- 1,71]	1,1 [0,69- 2,03]
	Non scolarisé/primaire	87	7,7	1,4	[0,59- 3,54]	1,2 [0,32- 4,35]
Niveau d’éducation du père				P=0,75		p= 0,92
	Niveau universitaire	851	5,6	-	-	-
	Niveau secondaire	1276	6,1	1,1	[0,74- 1,61]	0,8 [0,47- 1,74]
	Non scolarisé/primaire	104	7,2	1,3	[0,60- 2,87]	0,9 [0,25- 2,50]
Activité professionnelle de la mère				P=0,71		p= 0,69
	Cadres supérieurs et moyen	715	5,2	-	-	-
	Ouvriers, employés	505	6,6	1,3	[0,71- 2,29]	1,3 [0,64- 2,81]
	Sans activité	819	5,5	1,0	[0,63- 1,75]	1,1 [0,57- 1,92]
Activité professionnelle du père				P=0,44		p= 0,80
	Cadres supérieurs et moyen	1086	5,4	-	-	-
	Ouvriers, employés	1125	6,2	1,2	[0,84- 1,66]	1,1 [0,69- 1,69]
	Sans activité	39	10,0	2,0	[0,54- 7,25]	1,6 [0,34- 7,41]
Connaissance en nutrition humaine des parents				P=0,04		p= 0,52
	Adéquat	669	4,5	-	-	-
	Passable	896	7,4	1,7	[1,12- 2,51]	1,3 [0,80- 2,18]
	Insuffisant	761	5,4	1,2	[0,73- 2,01]	1,0 [0,58- 1,79]
Niveau économique du ménage				P=0,92		p= 0,38
	Elevé	769	5,9	-	-	-
	Moyen	763	5,5	0,9	[0,53- 1,70]	0,7 [0,43- 1,18]
	Bas	743	6,1	0,9	[0,51- 1,56]	0,8 [0,48- 1,29]
Echelle de la faim au niveau du ménage				P=0,87		p= 0,93
	Sécurité alimentaire	1164	5,7	-	-	-
	Insécurité modérée	1072	6,0	1,1	[0,60- 1,83]	1,1 [0,55- 2,24]
	Insécurité sévère	35	7,8	1,4	[0,39- 5,00]	1,3 [0,25- 7,26]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Après ajustement sur les variables dépendantes de l’environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés, seulement l’association entre la carence en A, carence en fer reste statistiquement significative. L’analyse montre que la carence en l’anémie était deux prévalent chez les enfants en carence en vitamine A (OR=2 IC 95 [1,10-4,00], p=0,03) et 1,7 chez les enfants souffrants d’une carence en fer (OR=1,7 IC 95 [1,14- 2,50], p=0,009).

4.2.3 Facteurs associés à la carence en vitamine A

Les résultats de l’analyse de l’association entre la carence en vitamine A et les variables démographiques, anthropométriques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendantes des enfants scolarisés sont présentés dans le tableau XVII. Les analyses de régression logique ont relèvé que le surpoids (OR=0,3 IC 95 [0,20- 0,56], p=0,0001), le fait d’être fille (OR=0,7 IC 95 [0,48- 0,90], p=0,03), être âgé entre 10-11 ans (OR=0,7 IC 95 [0,45- 0,95], p=0,026) étaient des facteurs de protection contre la carence en vitamine A, alors qu’être carencé en fer (OR=1,7=5 IC 95 [1,04- 2,10], p=0,035) était un facteur de risque de la carence en fer.

Tableau XVII. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables démographiques, anthropométriques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendantes des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	Carence en vitamine A chez l’enfant						
	N ¹	% ²	Brut		Ajusté		
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁵	
Age			p=0,030		p=0,026		
	8-10	779	8,5	-	-	-	
	10-11	1625	6,0	0,7	[0,47- 0,96]	0,7 [0,45- 0,95]	
Sexe				p=0,035		p=0,030	
	Garçon	1194	7,8	-	-	-	
	Fille	1210	5,6	0,7	[0,50- 0,97]	0,7 [0,48- 0,96]	
Surpoids				p=0,0001		p=0,0001	
	Non	1519	8,7	-	-	-	
	Oui	885	3,2	0,3	[0,20- 0,57]	0,3 [0,20- 0,56]	
Carence en fer				p=0,07		p=0,035	
	Non	1872	6,2	-	-	-	
	Oui	532	8,4	1,4	[0,97- 1,96]	1,5 [1,02- 2,10]	
Niveau de connaissance en nutrition				P=0,72		p=0,42	
	Elevé	269	6,4	-	-	-	
	Moyen	1310	6,4	1,0	[0,55- 1,81]	0,9 [0,50- 1,57]	
	Bas	825	7,4	1,2	[0,70- 1,94]	1,0 [0,58- 1,64]	
Consommation des cinq groupes d’aliments recommandés (All-5)				p=0,57		p=0,41	
	Oui	807	6,2	-	-	-	
	Non	1597	6,9	1,1	[0,74- 1,72]	1,2 [0,77- 1,87]	
Consommation d’aliments d’origine végétale riche en vitamine A				p=0,035		p=0,034	
	Oui	1653	7,5	-	-	-	
	Non	751	5,1	0,7	[0,45- 0,97]	0,7 [0,45- 0,97]	
Consommation d’aliments d’origine animale riche en vitamine A				p=0,88		p=0,71	
	Oui	2270	6,7	-	-	-	
	Non	134	6,4	0,9	[0,51- 2,15]	1,1 [0,54- 2,42]	

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Quant au niveau de connaissances en nutrition et alimentation, la consommation des cinq groupes d'aliments recommandés (AII-5) ou la consommation d'aliments d'origine animale riches en vitamine A, il n'y avait pas d'association significative avec la carence en fer. Cependant, la consommation d'aliments d'origine végétale riches en vitamine A était significativement associée à la survenue de la carence en vitamine A (OR=0,7 IC 95 [1,45- 0,97], p=0,034).

Les résultats de l'exploration des facteurs associés à la carence en vitamine A avec les variables démographiques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition et alimentation dépendant de l'environnement des enfants sont présentés dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables démographiques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendant de l'environnement des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.

Variable	N ¹	% ²	Carence en vitamine A chez l'enfant			
			Brut		Ajusté	
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴
Gouvernorat			p=0,26		p=0,11	
<i>Tunis</i>	904	7,0	-	-	-	-
<i>Ariana</i>	430	5,0	0,7	[0,38- 1,30]	0,6	[0,36- 1,14]
<i>Ben Arous</i>	678	6,5	0,9	[0,51- 1,67]	0,95	[0,53- 1,73]
<i>Manouba</i>	392	9,4	1,4	[0,80- 2,38]	1,5	[0,82- 2,80]
Type d'école			p=0,0029		p=0,023	
<i>Etatique</i>	1725	7,7	-	-	-	-
<i>Privée</i>	679	3,2	0,4	[0,22- 0,72]	0,5	[0,29- 0,91]
Niveau d'éducation de la mère			p=0,28		p= 0,48	
<i>Niveau universitaire</i>	700	5,5	-	-	-	-
<i>Niveau secondaire</i>	1432	7,4	1,4	[0,91- 2,10]	1,4	[0,82- 2,26]
<i>Non scolarisé/primaire</i>	86	8,5	1,6	[0,78- 3,26]	1,3	[0,47- 3,81]
Niveau d'éducation du père			p=0,11		p=0,94	
<i>Niveau universitaire</i>	844	6,4	-	-	-	-
<i>Niveau secondaire</i>	1270	6,8	1,1	[0,67- 1,72]	0,9	[0,55- 1,64]
<i>Non scolarisé/primaire</i>	102	11,9	2,0	[1,04- 3,76]	1,1	[0,41- 3,02]
Activité professionnelle de la mère			p= 0,35		p= 0,23	
<i>Cadres supérieurs et moyen</i>	711	6,8	-	-	-	-
<i>Ouvriers, employés</i>	504	4,9	0,7	[0,39- 1,28]	0,6	[0,34- 1,08]
<i>Sans activité</i>	812	7,6	1,1	[0,73- 1,74]	0,9	[0,48- 1,51]
Activité professionnelle du père			p= 0,41		p= 0,88	
<i>Cadres supérieures et moyen</i>	1078	6,0	-	-	-	-
<i>Ouvriers, employés</i>	1118	7,5	1,3	[0,89-1,84]	1,1	[0,75- 1,63]
<i>Sans activité</i>	39	7,0	1,2	[0,22- 6,12]	0,9	[0,15- 5,78]
Connaissance en nutrition humaine des parents			p= 0,60		p= 0,73	
<i>Adéquat</i>	662	6,8	-	-	-	-
<i>Passable</i>	891	7,4	1,1	[0,71- 1,69]	1,1	[0,75- 1,71]
<i>Insuffisant</i>	757	6,0	0,9	[0,52- 1,49]	1,0	[0,55- 1,73]
Niveau économique du ménage			p= 0,62		p= 0,47	
<i>Elevé</i>	738	5,9	-	-	-	-
<i>Moyen</i>	757	7,3	1,3	[0,74- 2,13]	1,0	[0,57- 1,62]
<i>Bas</i>	765	7,1	1,2	[0,76- 2,00]	0,7	[0,39- 1,26]
Echelle de la faim au niveau du ménage			p= 0,76		p= 0,22	
<i>Sécurité alimentaire</i>	1156	5,5	-	-	-	-
<i>Insécurité modérée</i>	1065	8,1	1,5	[1,00- 2,25]	1,3	[0,85- 1,99]
<i>Insécurité sévère</i>	35	10,7	2,0	[0,76- 5,50]	2,3	[0,77- 6,89]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

Les résultats de l'analyse univariée et celle multivariée ont montré une association positive avec le type d'école fréquenté par les enfants (OR=1,7 IC95% [1,12- 2,51], p=0,04). Par contre pour les autres variables socioéconomique et le niveau de connaissance en nutrition et alimentation des parents, aucun lien significatif n'a été identifié.

Les résultats de l'étude de l'association entre la carence en vitamine A et les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés sont présentés dans le tableau XIX.

Après ajustement sur les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés, les mêmes associations ont été observées, à savoir le surpoids (OR=0,3 IC 95 [0,20- 0,56], p=0,0001), le fait d'être fille (OR=0,7 IC 95 [0,48- 0,90], p=0,03), l'appartenant à la tranche d'âge 10-11 ans (OR=0,7 IC 95 [0,45- 0,95], p=0,026). Toutefois, l'association avec la carence en fer (OR=1,4 IC 95 [0,98- 2,20], p=0,62) et la consommation d'aliments d'origine végétale riches en vitamine A (OR=0,8 IC 95 [0,54- 1,19], p=0,26) n'étaient pas significatives.

Tableau XIX. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables dépendantes de l’environnement et celles propres aux enfants scolarisés de 8-11 ans du Grand Tunis.

Variable	Carence en vitamine A chez l’enfant					
	N ¹	% ²	Brut		Ajusté	
			OR ³	IC ⁴ à 95%	OR ⁵	IC à 95 % ⁴
Age				p= 0,030		p= 0,019
	8-10	779	8,5	-	-	-
	10-11	1625	6,0	0,7	[0,47- 0,96]	0,6 [0,34- 0,90]
Sexe				p= 0,035		p= 0,027
	Garçon	1194	7,8	-	-	-
	Fille	1210	5,6	0,7	[0,50- 0,97]	0,7 [0,44- 0,95]
Surpoids				p= 0,0001		p= 0,0008
	Non	1519	8,7	-	-	-
	Oui	885	3,2	0,3	[0,20- 0,57]	0,4 [0,23- 0,66]
Carence en fer				p= 0,07		p= 0,62
	Non	1872	6,2	-	-	-
	Oui	532	8,4	1,4	[0,97- 1,96]	1,4 [0,98- 2,20]
Niveau de connaissance en nutrition				p=0,72		p= 0,84
	Elevé	269	6,4	-	-	-
	Moyen	1310	6,4	1,0	[0,55- 1,81]	0,9 [0,46- 1,58]
	Bas	825	7,4	1,2	[0,70- 1,94]	1,0 [0,54- 1,80]
Consommation des 5 groupes d’aliments recommandés (All-5)				p= 0,75		p= 0,23
	Oui	807	6,2	-	-	-
	Non	1597	6,9	1,1	[0,74- 1,72]	1,3 [0,82- 2,20]
Consommation d’aliments d’origine végétale riche en vitamine A				p= 0,035		p= 0,26
	Oui	1653	7,5	-	-	-
	Non	751	5,1	0,7	[0,45- 0,97]	0,8 [0,54- 1,19]
Consommation d’aliments d’origine animale riche en vitamine A				p=0,88		p= 0,47
	Oui	2270	6,7	-	-	-
	Non	134	6,4	0,9	[0,51- 2,15]	1,4 [0,56- 3,38]
Gouvernorat				p= 0,26		p= 0,17
	Tunis	904	7,0	-	-	-
	Ariana	430	5,0	0,7	[0,38- 1,30]	0,6 [0,36- 1,14]
	Ben Arous	678	6,5	0,9	[0,51- 1,67]	1,0 [0,54- 1,83]
	Manouba	392	9,4	1,4	[0,80- 2,38]	1,4 [0,77- 2,69]
Type d’école				p= 0,0029		p= 0,028
	Etatique	1725	7,7	-	-	-
	Privée	679	3,2	0,4	[0,22- 0,72]	0,5 [0,27- 0,92]
Niveau d’éducation de la mère				p= 0,28		p= 0,26
	Niveau universitaire	700	5,5	-	-	-
	Niveau secondaire	1432	7,4	1,4	[0,91- 2,10]	1,6 [0,91- 2,73]
	Non scolarisé/primaire	86	8,5	1,6	[0,78- 3,26]	1,5 [0,47- 4,60]
Niveau d’éducation du père				p= 0,11		p= 0,88
	Niveau universitaire	844	6,4	-	-	-
	Niveau secondaire	1270	6,8	1,1	[0,67- 1,72]	0,9 [0,48- 1,55]
	Non scolarisé/primaire	102	11,9	2,0	[1,04- 3,76]	1,0 [0,32- 3,23]
Activité professionnelle de la mère				p= 0,35		p= 0,19
	Cadres supérieurs et moyens	711	6,8	-	-	-
	Ouvriers, employés	504	4,9	0,7	[0,39- 1,28]	0,6 [0,33- 1,03]
	Sans activité	812	7,6	1,1	[0,73- 1,74]	0,8 [0,49- 1,46]
Activité professionnelle du père				p= 0,41		p= 0,93
	Cadres supérieurs et moyens	1078	6,0	-	-	-
	Ouvriers, employés	1118	7,5	1,3	[0,89- 1,84]	1,1 [0,71- 1,60]
	Sans activité	39	7,0	1,2	[0,22- 6,12]	0,9 [0,14- 5,98]
Connaissance en nutrition humaine des parents				p= 0,60		p= 0,60
	Adéquat	662	6,8	-	-	-
	Passable	891	7,4	1,1	[0,71- 1,69]	1,1 [0,77- 1,73]
	Insuffisant	757	6,0	0,9	[0,52- 1,49]	0,9 [0,51- 1,64]
Niveau économique du ménage				p= 0,62		p= 0,30
	Elevé	738	5,9	-	-	-
	Moyen	757	7,3	1,3	[0,74- 2,13]	0,9 [0,57- 1,51]
	Bas	765	7,1	1,2	[0,76- 2,00]	0,7 [0,37- 1,13]
Echelle de la faim au niveau du ménage				p= 0,76		p= 0,12
	Sécurité alimentaire	1156	5,5	-	-	-
	Insécurité modérée	1065	8,1	1,5	[1,00- 2,25]	1,4 [0,88- 2,08]
	Insécurité sévère	35	10,7	2,0	[0,76- 5,50]	2,6 [0,93- 7,33]

¹ : effectif. ² : prévalence pondérée en tenant compte du plan de sondage avec la commande svy de stata. ³ : Odds Ratio brut. ⁴ : intervalle de confiance à 95 %. ⁵ : Odds Ratio ajusté sur toutes les variables du modèle.

5 DISCUSSION

Au cours des deux dernières décennies, d'importants changements ont été observés dans les habitudes alimentaires et le mode de vie des pays de la région MENA, où la prévalence du surpoids et de l'obésité chez les enfants est estimée avoir doublé au cours de cette période. Des preuves probantes indiquent que ces habitudes alimentaires inadéquates peuvent avoir des répercussions sur la croissance et le développement des enfants et les adolescents, et d'augmenter le risque, entre autres, de carences en micronutriments.

En Tunisie, l'obésité et les MNT associées sont en augmentation, alors que les problèmes de carences en micronutriments persistent encore. Le système de santé tunisien, comme celui de nombreux autres pays de la région MENA, est peu préparé à faire face à ces évolutions, qui ont d'énormes répercussions sur le plan de la santé et de l'économie. Par conséquent, il est essentiel de mener des études adaptées au contexte de chaque pays afin d'identifier les populations les plus vulnérables. Ces études fournissent les preuves nécessaires à la mise en place d'interventions ciblées et à l'orientation des politiques alimentaires. Le projet SCALE, dont notre étude faisait partie d'un des objectifs spécifiques, a été conçu dans le but de favoriser le développement d'environnements encourageant des choix alimentaires sains chez les enfants et leurs familles.

Notre objectif principal était d'analyser l'ampleur et la gravité de la carence en vitamine A et en fer chez les enfants scolarisés de la région du Grand Tunis. Cette période de l'enfance est particulièrement cruciale en raison de la croissance rapide et du développement physique et cognitif, ce qui entraîne une augmentation des besoins en fer et en vitamine A. En outre, nous avons cherché à déterminer les facteurs démographiques et socio-économiques sous-jacents à ces deux types de carences en micronutriments.

- **Caractéristiques anthropométriques**

La prévalence de la *maigreur* chez les enfants scolarisés résidant dans la région du Grand Tunis était de 5,3 % [4,33-6,37], comparable entre les filles et les garçons. Cette prévalence est légèrement plus élevée que celle d'une population en bonne santé avec une prévalence de 3 à 5%. Elle est considérée comme faible selon les experts OMS. Cependant, elle constitue un signal d'alerte et incite à la mise en place d'un système de surveillance nutritionnelle d'après les recommandations [84]. En comparant ces résultats avec l'enquête nationale menée en 1996/97, où la prévalence de la maigreur dans la région du Grand Tunis chez les enfants de 6 à 9 ans était de 3,6 % et de 10 à 18 ans était de 19,4 % chez les garçons et 9,4 % chez les filles [74], il y a une légère aggravation de la situation par rapport aux enfants mais une nette amélioration par rapport aux adolescents. Nous n'avons pas trouvé de données internationales chez les enfants d'âge scolaire pour positionner la Tunisie avec les autres pays. Ce sont surtout les données chez les enfants de moins de 5 ans qui constituent un groupe d'âge spécifique et vulnérable par rapport aux problèmes nutritionnels.

La prévalence du **retard de croissance** parmi les enfants scolarisés dans le Grand Tunis était de 0,7 % [0,37-1,22], ce qui indique un phénomène rare en tenant compte de la marge d'erreur dans la population. Cette prévalence est considérée comme très faible selon les seuils de gravité établis par l'OMS [111]. Il est important de noter que la Tunisie a fait d'énormes progrès au cours des dernières décennies en ce qui concerne la prévalence du retard de croissance. En comparant ces résultats avec l'enquête nationale menée en 1996/97, où la prévalence du retard de croissance dans la région du Grand Tunis chez les enfants de 6 à 9 ans était de 3,4 % et de 10 à 18 ans était de 16,3 % chez les garçons et 11,4 % chez les filles [74], la croissance actuelle des enfants scolarisés est meilleur par rapport à la situation dans les années 2000. La situation est aussi meilleure par rapport au résultat d'une étude au Kenitra, une des villes les plus développées du Maroc, qui avait trouvé 6,3 chez les enfants scolarisés (6-12 ans) [112]. Le recul significatif du retard de croissance en Tunisie est similaire à celui de nombreux autres pays qui sont en bonne voie pour atteindre l'objectif mondial visant à réduire de 40 % la prévalence du retard de croissance d'ici 2025. Cela est également observé dans d'autres pays de la région, tels que l'Égypte [113], le Liban et les Émirats arabes unis [114].

La prévalence de la **surcharge pondérale** (surpoids et obésité) était élevée chez les enfants scolarisés : 36,7 % [34,46-38,98] des enfants étaient en surpoids et 17,5 % étaient obèses [15,67-19,41]. Le surpoids était également réparti entre les garçons et les filles alors que l'obésité touchaient particulièrement les filles. En comparant ces résultats avec l'enquête nationale menée en 1996/97, où la prévalence de la surcharge pondérale à l'échelle nationale chez les enfants de 6 à 9 ans était de 1,5 % et chez les enfants de 10 à 18 ans, elle était de 5,8 % chez les garçons et 12,1% chez les filles et seulement respectivement 1 et 2 % étaient obèse [74], nos résultats montre une problème croissance de surcharge pondérale chez les enfants et les adolescents en Tunisie. Ce problème a été documenté aussi chez les enfants de moins de 5 ans dans l'enquête MICS de 2018 où 17,2 % des enfants de moins de 5 ans étaient en surpoids et 6,5 % obèses à l'échelle nationale et 19,6 % et 7,7 % respectivement dans le Grand Tunis [115]. Ces données soulignent la nécessité de renforcer les programmes de lutte contre la surcharge pondérale en Tunisie.

- **Carence en micronutriments et les facteurs sous-jacents associés**

- **Carence en fer**

La prévalence de la carence en fer était de 22,4 % [20,59-24,36], ce qui est considéré comme un problème modéré de santé publique [55]. Ce résultat est comparable à des études antérieures menées dans la région du Grand Tunis, où la prévalence était estimée à 20,5 % [77] chez les enfants d'âges scolaires et 20 % chez les enfants d'âges préscolaires [78]. Cela démontre que la carence en fer demeure un problème majeur de santé publique en Tunisie.

La carence en fer est la cause la plus fréquente de l'anémie, aussi bien dans les pays développés que dans les pays à revenu faible et intermédiaire (PRFI) et constitue un problème majeur de santé publique. À un stade plus avancé de la carence en fer, et selon les seuils fixés

par l'OMS, survient une anémie ferriprive. Nos données révèlent une prévalence de l'anémie par carence en fer de seulement 1,9 % [1,42-2,53]. En comparant ces résultats avec l'enquête nationale menée en 1996/97, où la prévalence de l'anémie par carence en fer dans la région du Grand Tunis chez les enfants de 6 à 9 ans était de 2,9 % et de 10 à 18 ans était de 2,6 % [74], il y a une nette amélioration par rapport au fil du temps. De façon globale, la prévalence de l'anémie par carence en fer de notre étude est considérée faible par rapport à la tendance mondiale [116,117,114,118].

L'analyse des facteurs sous-jacents associés à la carence en fer a révélé que les filles sont 1,4 fois plus exposées que les garçons (IC 95 [1,11-1,76], $p=0,005$). Cette constatation est en accord avec une étude récente menée en Corée, où la prévalence de la carence en fer était également plus élevée chez les filles que chez les garçons [119]. De même, en Europe, le pourcentage des personnes en déficit de fer est beaucoup plus élevé chez les adolescentes (21,0 %) que chez les adolescents (13,8 %) [120].

Bien que l'âge des enfants ne soit pas statistiquement significatif, la prévalence était nettement plus élevée chez les jeunes adolescents (10-11 ans) (22,9 %) [18,01-25,23] que chez les enfants (8-9 ans) (21,4 %) [20,46-25,52]. Cette relation entre l'âge et les taux de fer dans l'organisme a déjà été observée par d'autres auteurs [72]. Les besoins en fer et son absorption augmentent pendant l'enfance et atteignent un pic lors de la poussée de croissance à l'adolescence en raison de la croissance corporelle, du gain de poids et de l'expansion de la masse des globules rouges [121]. De plus, l'augmentation des réserves en fer est nécessaire pour les fonctions cognitives, le processus d'apprentissage, la réponse immunitaire, le métabolisme énergétique et la capacité d'exercice physique [122]. La corrélation positive entre l'âge et les niveaux de la ferritine circulante est particulièrement observée chez les garçons et chez les filles qui n'ont pas encore eu leurs règles [123].

Dans notre étude, la prévalence de la carence en fer était répartie de manière équilibrée entre les enfants en surpoids et les enfants non en surpoids (OR=1, IC (0,83-1,20), $p=0,79$). Alors que le surpoids et l'obésité sont généralement considérés comme des facteurs de risque de carence en fer, deux études précédentes menées au Moyen-Orient ont produit des résultats contradictoires en évaluant la relation entre l'IMC et les taux de ferritine sérique. En effet, Shattnawi et al. ont rapporté une association positive entre l'IMC et la ferritine sérique chez les adolescents jordaniens [124]. En revanche, Eftekhari et al. ont signalé une association inverse entre l'IMC et la ferritine sérique chez les adolescentes iraniennes [125].

Le niveau d'éducation des mères était associé à la survenue de la carence en fer, les enfants avec des mères de niveau secondaire semblaient être moins à risque que ceux avec les mères de niveau universitaire (OR=0,6 ; IC [0,42-0,92] ; $p=0,05$). Le niveau économique du ménage était inversement associé à une prévalence élevée, avec une signification statistique marquée pour les ménages au niveau élevé par rapport au niveau moyen (OR=0,7 ; IC [0,46-0,86] ; $p=0,02$). Cette observation peut s'expliquer par la transition nutritionnelle en cours en Tunisie,

marquée par l'adoption de régimes alimentaires généralement riches en calories mais pauvres en micronutriments, en particulier au sein des familles à revenu élevé. Ces résultats contrastent avec ceux d'une étude menée au Liban [72] où la prévalence de la carence en fer diminuait à mesure que le niveau économique du ménage augmentait (respectivement 11,6 % ; 11,9 %, et 16,8 % dans niveau élevé, moyen, bas ; $p = 0,09$).

- **Anémie**

La prévalence de l'anémie chez les enfants d'âge scolaire était de 5,9 %. Ceci suppose que l'anémie chez les enfants âgés de 8 à 11 ans est un problème de santé publique de faible ampleur dans la région du Grand Tunis [55]. Ce résultat montre une nette amélioration de la situation chez les enfants d'âge scolaire. En effet, selon les résultats de l'enquête nationale de nutrition menée par l'INNTA en 1996/97, 7,4 % des enfants de 6 à 9 ans habitant le Grand Tunis étaient anémiques alors que 10,0 % des adolescents âgés de 10 à 18 ans de la même région l'étaient [75].

En général, ce sont les femmes en âge de procréer et les enfants de moins de cinq ans qui sont les plus susceptibles d'être touchés par cette pathologie, comme l'a montré la dernière enquête nationale sur la prévalence de l'anémie chez les Tunisiens âgés de 15 ans et plus, avec un taux de 25,8 % (17,0 % chez les hommes et 34,3 % chez les femmes) [24].

Nos résultats montrent une prévalence de l'anémie chez les enfants d'âge scolaire qui est très proche de celle d'une étude menée en Chine auprès de la même tranche d'âge (6-11 ans), qui avait trouvé une prévalence de 4,4 % [46]. Notre prévalence est également inférieure à celle rapportée en Égypte, où 26 % des enfants de 6 à 11 ans étaient touchés par l'anémie [126].

Ces résultats s'écartent de la tendance mondiale, où peu de progrès ont été réalisés en ce qui concerne la prévalence de l'anémie chez les enfants d'âge scolaire dans les pays en développement. Par exemple, au Mexique, la prévalence de l'anémie chez les enfants de 5 à 14 ans était de 12,0 % [50], alors qu'en Inde, elle atteignait 68,9 % chez les enfants de 6 à 12 ans [68]. En Éthiopie, l'anémie chez les 5 – 15 ans était de 27,1 % dans la région Est et de 37,6 % dans la région Sud-Ouest [82]. Ces variations de prévalence de l'anémie sont influencées par divers facteurs, notamment l'alimentation, l'écologie, le climat, la géographie, les facteurs sociaux et économiques tels que le revenu familial, le niveau d'éducation des parents, ainsi que des facteurs biologiques [127].

Dans notre étude, nous avons analysé divers facteurs liés à l'enfant, tels que l'âge, le sexe, l'état nutritionnel, le score de diversité alimentaire, ainsi que des facteurs liés au ménage dans lequel vit l'enfant. Aucun lien significatif entre l'anémie et le sexe n'a été observé. Cependant, le risque de développer une anémie était multiplié par 2 en cas de carence en vitamine A (OR=2 IC95% [1,04- 3,52], $p=0,036$) et de 1,7 en cas de carence en fer (OR=1,7 IC95% [1,27- 2,35], $p=0,0008$). Par contre, nous n'avons pas trouvé de lien significatif entre l'anémie et le

niveau de connaissance en nutrition et alimentation, le score de diversité alimentaire, que ce soit dans les analyses univariées ou dans l'analyse multivariée.

En ce qui concerne le niveau économique, l'éducation et la profession des parents, nos résultats n'ont pas montré de relation statistiquement significative avec l'anémie. Cependant, de nombreuses études antérieures ont trouvé des associations entre ces facteurs et la prévalence de l'anémie [82,72]. En général, avec l'amélioration du statut social et économique, l'accès à une alimentation abondante, en particulier la viande, ainsi qu'à de meilleures conditions de vie, à un approvisionnement en eau plus sûr et à une meilleure hygiène devient plus facile. Dans certaines études, un niveau d'éducation plus élevé des parents a été identifié comme un facteur protecteur contre l'anémie [118]. Les parents ayant un niveau d'éducation plus élevé ont tendance à avoir un revenu plus élevé et des connaissances en nutrition et en santé plus développées, ce qui peut influencer l'apport nutritionnel des enfants et réduire le risque d'anémie.

- **Carence en vitamine A**

La prévalence de la carence en vitamine A, basée sur une rétinolémie $\leq 0,70 \mu\text{mol/l}$, était de 6,7 % [5,46-8,19] parmi l'ensemble des enfants scolarisés. Aucun cas d'hypovitaminose A clinique ($< 0,35 \mu\text{mol/l}$) n'a été détecté chez les enfants. Cette prévalence est classée comme faible selon les normes de l'OMS [66]. Cependant, cette prévalence est légèrement plus élevée que celle observée dans l'enquête sur le statut en vitamine A, menée en 2008 chez les enfants scolarisés âgés de 6 ans et habitant Kasserine, un gouvernorat majoritairement rural et considéré comme étant le plus défavorisé du pays, à savoir, 2,3 % [21]. Il est important de noter que notre étude a porté sur les enfants du Grand Tunis, la zone la plus urbanisée et favorisée du pays.

Nos résultats se rapprochent de ceux observés dans d'autres pays de la région MENA [128], tels que Oman (9,5 %), l'Égypte (9,3 %), le Maroc (8,8 %), le Koweït (6,4 % chez les garçons et 9,3 % chez les filles), ainsi que 18,3 % des enfants en Jordanie. En comparaison avec d'autres études menées dans des pays d'autres régions et portant sur des enfants du même groupe d'âge, nos prévalence de carence en vitamine A sont plus élevées, par exemple, seulement 0,9 % en Angleterre [129] et beaucoup plus faibles, par exemple, 38,8 % au Brésil [130]. Partant de l'hypothèse que la carence en vitamine A peut dépendre aussi bien des facteurs liés à l'enfant lui-même que du cadre de vie et des conditions environnantes dans lesquels il grandit, nous avons analysé les différents facteurs et leur relation avec la carence en vitamine A. En comparant le rapport de cote de prévalence des adolescents aux enfants (OR=0,7, IC [0,45-0,95] ; $p=0,0026$), il est apparu que les enfants étaient plus susceptibles d'avoir des concentrations sériques insuffisantes en rétinol. Ces résultats sont cohérents avec des études antérieures qui ont montré une plus grande vulnérabilité des enfants [130,131]. Cette tendance peut être attribuée à des différences de croissance physique, aux effets indésirables des infections virales et bactériennes, aux infections parasitaires auxquelles les enfants sont

plus susceptibles, ou même à une plus grande diversification alimentaire choisie par les adolescents [132].

Nos résultats revêtent une grande importance car la population infantile est considérée comme un segment de population important et à haut risque de carence en vitamine A. Par conséquent, des programmes de prévention et de correction de la carence en vitamine A doivent cibler cette période de la vie.

Dans notre étude, nous avons également observé une corrélation positive entre les concentrations sériques de rétinol et le surpoids (OR=0,4 ; IC [0,23- 0,66] ; p=0,008). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans des études antérieures [131,133]. Cependant, nos résultats diffèrent de certaines études qui ont trouvé une association entre de faibles concentrations sériques de rétinol et un IMC élevé. Ces variations d'associations peuvent s'expliquer par le fait que ces études ont ciblé des populations présentant un IMC plus élevé, telles que des patients obèses morbides ou des enfants présentant une forte adiposité. Dans ces populations, la biologie des tissus adipeux anormalement en excès peut entraîner une diminution des taux de micronutriments sériques [134].

Des études expérimentales sur des animaux ont également montré qu'un statut en vitamine A plus faible se produit chez les sujets obèses, car l'absorption intestinale de cette vitamine est réduite en raison de l'augmentation de la synthèse des acides gras libres et des triglycérides, ainsi que de l'inhibition de la thermogénèse adaptative [135]. Ces mécanismes biologiques complexes peuvent expliquer les associations observées entre la vitamine A et le surpoids dans différentes études.

Les résultats de notre étude indiquent que les enfants de sexe masculin étaient plus exposés au risque de développer une carence en vitamine A, ce qui est en accord avec des études antérieures menées en Chine [131] et en Inde [68]. Cependant, une étude menée en Turquie a rapporté des résultats différents [133]. Cette disparité peut être liée aux besoins légèrement plus élevés en vitamine A des enfants de sexe masculin [136]. Néanmoins, la relation entre le sexe de l'enfant et le risque de carence en vitamine A nécessite des recherches plus approfondies pour être pleinement comprise.

L'analyse de l'association entre la carence en vitamine A et les variables explicatives liées à l'enfant a révélé une association entre la carence en fer (OR=1,5 ; IC [1,02- 2,10] ; p=0,035) et la carence en vitamine A, bien que cette association ait disparu dans le modèle de régression multivarié global (p=0,62). De plus, nos résultats montrent l'existence d'une multi-carence en micronutriments (fer et vitamine A) chez 1,9 % [1,35- 2,60] des enfants scolarisés. Bien que cela ne soit pas statistiquement significatif, la prévalence de la carence en vitamine A augmentait avec le degré de sévérité de l'insécurité alimentaire des ménages des enfants (respectivement 5,5 % ; 8,1 % ; 10,7 %), ce qui est en accord avec une étude menée au Bénin [137].

- **Points forts et limites de l'étude**

La présente étude a actualisé les données nationales sur l'ampleur de la carence en vitamine A, fer et anémie par carence en fer et les facteurs socio-économiques sous-jacents associées chez les enfants scolarisés du Grand Tunis, une tranche où peu d'études ont été réalisées au cours des dernières années. Elle se distingue par plusieurs points forts qui renforcent la validité et la fiabilité de ses conclusions.

Tout d'abord, l'échantillon a été soigneusement conçu et tiré par sondage aléatoire par l'Institut National de la Statistique, ce qui garantit sa représentativité et permet une extrapolation pertinente à l'ensemble de la population scolarisée. De plus, l'étude a été menée dans la région la plus urbanisée et développée de la Tunisie, ce qui en fait un exemple pertinent d'une "transition nutritionnelle avancée". Les résultats obtenus dans cette zone urbaine peuvent probablement être généralisés aux contextes similaires dans d'autres pays de la région MENA.

La collecte de données a été réalisée par des enquêteurs spécifiquement formés, ce qui a contribué à la rigueur et à la précision des informations recueillies. De plus, l'analyse des marqueurs biologiques des micronutriments, accompagnée de la prise en compte des marqueurs de l'inflammation, a été effectuée par un laboratoire allemand réputé pour son expertise en la matière. L'utilisation de prélèvements sanguins au bout du doigt chez les enfants, avec une approche non invasive, représente également une approche innovante et respectueuse des participants.

Cependant, il est important de noter que cette étude présente certaines limites inhérentes à sa conception. Étant donné qu'il s'agit d'une étude transversale, elle permet uniquement d'établir des associations entre les variables étudiées, sans permettre de démontrer des relations de cause à effet. De plus, la méthode de rappel de 24 heures utilisée uniquement pour investiguer l'aspect qualitatif de la consommation alimentaire n'a pas permis de mieux explorer les carences en micronutriments et le profil alimentaire des enfants.

Malgré ces limitations, les résultats de cette étude fournissent des informations cruciales sur la situation nutritionnelle des enfants scolarisés dans le Grand Tunis. Ces données peuvent servir de base pour orienter les politiques de santé publique visant à lutter contre les carences en micronutriments et à promouvoir la nutrition optimale chez cette population. Des recherches futures devraient continuer à explorer ces questions pour élaborer des interventions plus ciblées et efficaces.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Notre étude, réalisée dans le cadre du projet SCALE (Impact de l'environnement communautaire, scolaire et familial sur l'alimentation des enfants dans les villes : identification des leviers d'intervention), avait pour objectif spécifique d'évaluer la

prévalence, la gravité et les facteurs démographiques et socio-économiques associés à la carence en vitamine A et en fer chez les enfants scolarisés du Grand Tunis.

Les conclusions principales de cette étude peuvent être résumées comme suit :

- le retard de croissance chez les enfants d'âge scolaire a montré une nette amélioration au fil des années, mais il est essentiel de continuer à surveiller son évolution en raison des conséquences graves et irréversibles à court et à long terme, et aussi en relation avec la situation vulnérable actuelle du pays ;
- la maigreur de ces enfants semble être un problème de faible ampleur, mais reste à surveiller ;
- en revanche, la prévalence de la carence en fer a légèrement augmenté comparée aux années quatre-vingt-dix et continue d'affecter environ un enfant sur cinq en Tunisie, constituant un problème de santé publique majeur. Les facteurs de risque identifiés incluent le sexe féminin et l'âge adolescent ;
- la carence en vitamine A était relativement faible en 2008, mais elle a montré une tendance à la hausse, touchant environ un enfant sur quinze. Les enfants plus jeunes sont plus vulnérables à cette carence. De plus, une tendance à la multi-carence en micronutriments a été observée chez les enfants présentant à la fois des carences en fer et en vitamine A ;
- plusieurs facteurs de risque ont été identifiés, notamment le genre, l'âge, le niveau économique des ménages et le niveau d'éducation de la mère. De plus, la carence en fer a été associée à la carence en vitamine A.

Pour lutter contre la carence en micronutriments chez les enfants scolarisés en Tunisie, plusieurs leviers d'interventions peuvent être envisagés :

- **supplémentation en micronutriments**- Mettre en place un programme de supplémentation en fer et en vitamine A, en particulier pour les groupes à risque, tels que les adolescentes et les jeunes enfants, à l'instar des programmes destinés aux femmes enceintes et allaitantes (supplémentation en fer) et aux nourrissons de 0 à 6 mois (supplémentation en vitamine A) ;
- **fortification en micronutriments**- fortification des céréales en fer, le lait et huile en vitamine A et s'inspirer des expériences réussies dans les autres pays;
- **diversification alimentaire**- Promouvoir la diversification de l'alimentation en mettant l'accent sur les aliments riches en fer et en vitamine A, tels que les viandes rouges, les abats, les fruits, les légumes, les légumineuses et les produits à base de céréales enrichies ;
- **éducation nutritionnelle**- Mettre en place des programmes d'éducation nutritionnelle dans les écoles pour sensibiliser les enfants et leurs familles à l'importance d'une alimentation saine, équilibrée, diversifiée, variée et de suffisante ;

- **surveillance nutritionnelle**- Renforcer/mettre en place la surveillance nutritionnelle afin de suivre les tendances au fil du temps et d'adapter les programmes d'intervention en conséquence ;

En conclusion, cette étude met en lumière les défis persistants liés à la nutrition et aux problèmes nutritionnels des enfants habitant le Grand Tunis, tout en soulignant les avancées significatives et les préoccupations croissantes concernant la carence en fer et en vitamine A. Ces résultats sont essentiels pour orienter les politiques de santé publique visant à améliorer la nutrition des enfants. Des actions ciblées et des programmes de sensibilisation sont nécessaires pour relever ces défis et améliorer la santé nutritionnelle des enfants scolarisés en Tunisie.

7 BIBLIOGRAPHIE

1. WHO, FAO. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. World Health Organization; 2004.
2. Ball GF. Vitamins: their role in the human body. John Wiley & Sons; 2008.
3. Chandra RK. Nutrition and the immune system from birth to old age. *European journal of clinical nutrition*. 2002;56(3):S73-6.
4. Black RE. Global Distribution and Disease Burden Related to Micronutrient Deficiencies. *International Nutrition: Achieving Millennium Goals and Beyond*. 2014;78:21-8.
5. McCauley ME, van den Broek N, Dou L, Othman M. Vitamin A supplementation during pregnancy for maternal and newborn outcomes. *Cochrane Database Syst Rev*. 27 oct 2015;2015(10):CD008666.
6. Mogire RM, Mutua A, Kimita W, Kamau A, Bejon P, Pettifor JM, et al. Prevalence of vitamin D deficiency in Africa: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Global Health*. 1 janv 2020;8(1):e134-42.
7. Gretchen S, Ty B, Mduduzi N N M, Hanqi L, Lynnette M N. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys. *The Lancet Global health [Internet]*. nov 2022 [cité 12 mars 2023];10(11). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36240826/>
8. Muthayya S, Rah JH, Sugimoto JD, Roos FF, Kraemer K, Black RE. The Global Hidden Hunger Indices and Maps: An Advocacy Tool for Action. *PLOS ONE*. 12 juin 2013;8(6):e67860.
9. Beal T, Ortenzi F, Fanzo J. Estimated micronutrient shortfalls of the EAT–Lancet planetary health diet. *The Lancet Planetary Health*. 1 mars 2023;7(3):e233-7.
10. Cui A, Ma Y, Xie M, Wang S, Shen J, Yang L, et al. Challenges in estimating the prevalence of vitamin D deficiency in Africa. *The Lancet Global Health*. 1 avr 2022;10(4):e473.
11. Harika R, Faber M, Samuel F, Mulugeta A, Kimiywe J, Eilander A. Are Low Intakes and Deficiencies in Iron, Vitamin A, Zinc, and Iodine of Public Health Concern in Ethiopian, Kenyan, Nigerian, and South African Children and Adolescents? *Food Nutr Bull*. 1 sept 2017;38(3):405-27.
12. Keats EC, Das JK, Salam RA, Lassi ZS, Imdad A, Black RE, et al. Effective interventions to address maternal and child malnutrition: an update of the evidence. *Lancet Child Adolesc Health*. mai 2021;5(5):367-84.
13. Black RE, Victora CG, Walker SP, Bhutta ZA, Christian P, Onis M de, et al. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *The Lancet*. 3 août 2013;382(9890):427-51.
14. Darnton-Hill I. Global burden and significance of multiple micronutrient deficiencies in pregnancy. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*. 2012;70:49-60.
15. Zhao T, Liu S, Zhang R, Zhao Z, Yu H, Pu L, et al. Global Burden of Vitamin A Deficiency in 204 Countries and Territories from 1990–2019. *Nutrients*. janv 2022;14(5):950.
16. Bahreynian M, Qorbani M, Naderimagham S, Nejatnamini S, Ataie-Jafari A, Sharifi F, et al. Burden of disease attributable to vitamin A deficiency in Iranian population aged less

- than five years: findings from the global burden of disease study 2010. *J Diabetes Metab Disord.* 2017;16:32.
17. Hassen HY, Ali JH, Gebreyesus SH, Endris BS, Temesgen AM. National incidence, prevalence and disability-adjusted life years (DALYs) of common micronutrient deficiencies in Ethiopia from 1990 to 2017: estimates from the global burden of diseases study. *Glob Health Action.* 31 déc 2020;13(1):1776507.
 18. James W, Norum K, Smitasiri S, Swaminathan M, Tagwireyi J, Uauy R. Ending Malnutrition by 2020: an Agenda for Change in the Millennium: Final Report to the ACC/SCN by the Commission on the Nutrition Challenges of the 21st Century. Supplement to the Food and Nutrition Bulletin. 2000 September. *Food Nutr Bull P.* 2000;21.
 19. OMS O. Cibles mondiales de nutrition 2025: note d'orientation sur l'anémie. Organisation mondiale de la Santé; 2017.
 20. Unies Nations. Objectifs de développement durable. New York: Nations Unies. 2020;
 21. Fares S, Chahed MK, Feki M, Beji C, Traissac P, Ati JE, et al. Status of vitamins A and E in schoolchildren in the centre west of Tunisia: a population-based study. *Public Health Nutrition.* févr 2011;14(2):255-60.
 22. INNTA. Enquête nationale sur la carence en iode 2013-2014. Tunisie; 2015.
 23. Doggui R, El Ati-Hellal M, Traissac P, Lahmar L, El Ati J. Adequacy assessment of a universal salt iodization program two decades after its implementation: a national cross-sectional study of iodine status among school-age children in Tunisia. *Nutrients.* 2016;9(1):6.
 24. INSP, MS, OMS. Tunisian Health Examination Survey. 2016.
 25. Nasreddine L, Naja F, Chamieh MC, Adra N, Sibai AM, Hwalla N. Trends in overweight and obesity in Lebanon: evidence from two national cross-sectional surveys (1997 and 2009). *BMC Public Health.* 17 sept 2012;12:798.
 26. Ng M, 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.* 30 août 2014;384(9945):766-81.
 27. Lytle LA, Seifert S, Greenstein J, McGovern P. How do children's eating patterns and food choices change over time? Results from a cohort study. *Am J Health Promot.* 2000;14(4):222-8.
 28. Freedman DS, Khan LK, Dietz WH, Srinivasan SR, Berenson GS. Relationship of childhood obesity to coronary heart disease risk factors in adulthood: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics.* sept 2001;108(3):712-8.
 29. Obermeyer CM, Bott S, Sassine AJ. Arab adolescents: health, gender, and social context. *Journal of Adolescent Health.* 2015;57(3):252-62.
 30. Reddy GB, Shalini T, Ghosh S, Pullakhandam R, Kumar BN, Kulkarni B, et al. Prevalence of vitamin A deficiency and dietary inadequacy in Indian school-age children and adolescents. *Eur J Nutr.* févr 2022;61(1):197-209.
 31. Freedman DS, Dietz WH, Srinivasan SR, Berenson GS. The relation of overweight to cardiovascular risk factors among children and adolescents: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics.* juin 1999;103(6 Pt 1):1175-82.

32. Mayne ST, Playdon MC, Rock CL. Diet, nutrition, and cancer: past, present and future. *Nat Rev Clin Oncol*. août 2016;13(8):504-15.
33. Avery A, Anderson C, McCullough F. Associations between children's diet quality and watching television during meal or snack consumption: A systematic review. *Maternal & Child Nutrition*. 2017;13(4):e12428.
34. Hawkes C, Fox E, Downs SM, Fanzo J, Neve K. Child-centered food systems: Reorienting food systems towards healthy diets for children. *Global Food Security*. 1 déc 2020;27:100414.
35. Swinburn BA, Sacks G, Hall KD, McPherson K, Finegood DT, Moodie ML, et al. The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. *Lancet*. 27 août 2011;378(9793):804-14.
36. Stok FM, Hoffmann S, Volkert D, Boeing H, Ensenaer R, Stelmach-Mardas M, et al. The DONE framework: Creation, evaluation, and updating of an interdisciplinary, dynamic framework 2.0 of determinants of nutrition and eating. *PLoS One*. 2017;12(2):e0171077.
37. Ricour C, Ghisolfi J, Putet G, Goulet O. *Traité de nutrition pédiatrique*. Maloine; 1993.
38. Maret W. Zinc biochemistry: from a single zinc enzyme to a key element of life. *Advances in nutrition*. 2013;4(1):82-91.
39. Pinto JT, Zemleni J. Riboflavin. *Advances in nutrition*. 2016;7(5):973-5.
40. Bird AJ, McCall K, Kramer M, Blankman E, Winge DR, Eide DJ. Zinc fingers can act as Zn²⁺ sensors to regulate transcriptional activation domain function. *The EMBO journal*. 2003;22(19):5137-46.
41. Evans P, Halliwell B. Micronutrients: oxidant/antioxidant status. *British journal of nutrition*. 2001;85(S2):S67-74.
42. Fukai T, Ushio-Fukai M. Superoxide dismutases: role in redox signaling, vascular function, and diseases. *Antioxidants & redox signaling*. 2011;15(6):1583-606.
43. Olives JP. [Causes of iron deficiency in children]. *Arch Pediatr*. mai 2017;24(5S):5S2-5.
44. McCann S, Perapoch Amadó M, Moore SE. The Role of Iron in Brain Development: A Systematic Review. *Nutrients*. 5 juill 2020;12(7):2001.
45. Pasricha SR, Tye-Din J, Muckenthaler MU, Swinkels DW. Iron deficiency. *Lancet*. 16 janv 2021;397(10270):233-48.
46. Yang J, Li Q, Feng Y, Zeng Y. Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia: Potential Risk Factors in Bone Loss. *Int J Mol Sci*. 7 avr 2023;24(8):6891.
47. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc* [Internet]. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001 [cité 9 sept 2023]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/>
48. Aggett PJ, Bresson J, Haschke F, Hernell O, Koletzko B, Lafeber HN, et al. Recommended dietary allowances (RDAs), recommended dietary intakes (RDIs), recommended nutrient intakes (RNIs), and population reference intakes (PRIs) are not "recommended intakes". *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 1997;25(2):236-41.
49. Stevens GA, Finucane MM, De-Regil LM, Paciorek CJ, Flaxman SR, Branca F, et al. Global, regional, and national trends in haemoglobin concentration and prevalence of total and

- severe anaemia in children and pregnant and non-pregnant women for 1995–2011: a systematic analysis of population-representative data. *The Lancet Global Health*. 1 juill 2013;1(1):e16-25.
50. Lopez A, Cacoub P, Macdougall IC, Peyrin-Biroulet L. Iron deficiency anaemia. *Lancet*. 27 févr 2016;387(10021):907-16.
 51. Falkingham M, Abdelhamid A, Curtis P, Fairweather-Tait S, Dye L, Hooper L. The effects of oral iron supplementation on cognition in older children and adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutr J*. 25 janv 2010;9:4.
 52. McWilliams S, Singh I, Leung W, Stockler S, Ipsiroglu OS. Iron deficiency and common neurodevelopmental disorders-A scoping review. *PLoS One*. 2022;17(9):e0273819.
 53. Cook JD, Flowers CH, Skikne BS. The quantitative assessment of body iron. *Blood*. 1 mai 2003;101(9):3359-64.
 54. Engle-Stone R, Nankap M, Ndjebayi AO, Erhardt JG, Brown KH. Plasma ferritin and soluble transferrin receptor concentrations and body iron stores identify similar risk factors for iron deficiency but result in different estimates of the national prevalence of iron deficiency and iron-deficiency anemia among women and children in Cameroon. *J Nutr*. mars 2013;143(3):369-77.
 55. WHO. WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in populations. World Health Organization; 2020.
 56. Sahile Z, Yilma D, Tezera R, Bezu T, Haileselassie W, Seifu B, et al. Prevalence of Vitamin A Deficiency among Preschool Children in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BioMed Research International*. 4 mars 2020;2020:e8032894.
 57. Kennedy G, Ballard T, Dop MC. Guidelines for measuring household and individual dietary diversity. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2011.
 58. Ross AC, Gardner EM. The function of vitamin A in cellular growth and differentiation, and its roles during pregnancy and lactation. *Adv Exp Med Biol*. 1994;352:187-200.
 59. Middha P, Weinstein SJ, Männistö S, Albanes D, Mondul AM. β -Carotene Supplementation and Lung Cancer Incidence in the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study: The Role of Tar and Nicotine. *Nicotine Tob Res*. 17 juill 2019;21(8):1045-50.
 60. Kordiak J, Bielec F, Jabłoński S, Pastuszek-Lewandoska D. Role of Beta-Carotene in Lung Cancer Primary Chemoprevention: A Systematic Review with Meta-Analysis and Meta-Regression. *Nutrients*. 24 mars 2022;14(7):1361.
 61. OMS. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. 2009 [cité 26 mars 2023]; Disponible sur: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44110/9789241598019_eng.pdf?sequence=1
 62. Chiu M, Dillon A, Watson S. Vitamin A deficiency and xerophthalmia in children of a developed country. *J Paediatr Child Health*. juill 2016;52(7):699-703.
 63. Tanumihardjo SA. Vitamin A: biomarkers of nutrition for development. *Am J Clin Nutr*. août 2011;94(2):658S-65S.
 64. Larson LM, Namaste SM, Williams AM, Engle-Stone R, Addo OY, Suchdev PS, et al. Adjusting retinol-binding protein concentrations for inflammation: Biomarkers

- Reflecting Inflammation and Nutritional Determinants of Anemia (BRINDA) project. *Am J Clin Nutr.* juill 2017;106(Suppl 1):390S-401S.
65. Engle-Stone R, Haskell MJ, Ndjebayi AO, Nankap M, Erhardt JG, Gimou MM, et al. Plasma retinol-binding protein predicts plasma retinol concentration in both infected and uninfected Cameroonian women and children. *J Nutr.* déc 2011;141(12):2233-41.
 66. OMS. Concentrations sériques en rétinol pour déterminer la prévalence de la carence en vitamine A dans la populations. *Système d'information nutritionnelle sur les vitamines et les minéraux.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2011 (WHO/NMH/NHD/MNM/11.3) [Internet]. Genève; 2011 [cité 30 juin 2023]. Disponible sur: http://www.who.int/vmnis/indicators/retinol_fr.pdf,
 67. 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. *The Lancet Global Health.* 1 sept 2015;3(9):e528-36.
 68. Venkatesh U, Sharma A, Ananthan VA, Subbiah P, Durga R, Team CSR training. Micronutrient's deficiency in India: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutritional Science.* ed 2021;10:e110.
 69. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet.* 17 oct 2020;396(10258):1223-49.
 70. Tawfik AA, Hanna ET, Abdel-Maksoud AM. Anemia and iron deficiency anemia in Egypt. *IOSR J Pharm.* 2015;5(4):30-4.
 71. Shattnawi KK, Alomari MA, Al-Sheyab N, Bani Salameh A. The relationship between plasma ferritin levels and body mass index among adolescents. *Sci Rep.* 17 oct 2018;8(1):15307.
 72. El Khoury R, Sleilaty G, Gannagé-Yared MH. Prevalence of Iron deficiency in Lebanese schoolchildren. *Eur J Clin Nutr.* août 2020;74(8):1157-63.
 73. Nagati et al. Anémie en Tunisie. *Tunisie Médicale.* 1975;
 74. INNTA. Evaluation de l'état nutritionnel de la population tunisienne. *Enquête Nationale de Nutrition 1996-1997.* Tunisie; 2000.
 75. INNTA. Etude sur les anémies en Tunisie : causes et mesures d'intervention en 2000 [Internet]. 2002. Disponible sur: <http://www.institutdenutrition.rns.tn/?p=412>
 76. Gartner A, El Ati J, Traissac P, Bour A, Berger J, Landais E, et al. A double burden of overall or central adiposity and anemia or iron deficiency is prevalent but with little socioeconomic patterning among Moroccan and Tunisian urban women. *J Nutr.* janv 2014;144(1):87-97.
 77. El Ati J, Gartner A, Traissac P, Aounallah-Skhiri H, Ben Rayana C, Beji C, et al. Low prevalence of intra-individual double burden of malnutrition in urban Tunisian children. In: *ANNALS OF NUTRITION AND METABOLISM.* KARGER ALLSCHWILERSTRASSE 10, CH-4009 BASEL, SWITZERLAND; 2013. p. 994-5.
 78. Sassi S, Abassi MM, Traissac P, Ben Gharbia H, Gartner A, Delpeuch F, et al. Intra-household double burden of malnutrition in a North African nutrition transition context: magnitude and associated factors of child anaemia with mother excess adiposity. *Public Health Nutr.* janv 2019;22(1):44-54.

79. Moineddin R, Matheson FI, Glazier RH. A simulation study of sample size for multilevel logistic regression models. *BMC Med Res Methodol.* 16 juill 2007;7:34.
80. Saelens BE, Sallis JF, Frank LD, Couch SC, Zhou C, Colburn T, et al. Obesogenic neighborhood environments, child and parent obesity: the Neighborhood Impact on Kids study. *Am J Prev Med.* mai 2012;42(5):e57-64.
81. Townsend N. Shorter lunch breaks lead secondary-school students to make less healthy dietary choices: multilevel analysis of cross-sectional national survey data. *Public Health Nutr.* juin 2015;18(9):1626-34.
82. Tariku EZ, Abebe GA, Melketsedik ZA, Gutema BT, Megersa ND, Sorrie MB, et al. Anemia and its associated factors among school-age children living in different climatic zones of Arba Minch Zuria District, Southern Ethiopia. *BMC Hematol.* 23 avr 2019;19:6.
83. Das JK, Padhani ZA. Alleviating hidden hunger: an infallible bridge to improved health and nutrition. *The Lancet Global Health.* 1 nov 2022;10(11):e1539-40.
84. OMS OM. Utilisation et interprétation de l'anthropométrie, Rapport d'un comité OMS d'experts. Genève. Rapports Techniques. 1995;(854).
85. De Onis M, Garza C, Onyango AW, Borghi E. Comparison of the WHO child growth standards and the CDC 2000 growth charts. *J Nutr.* janv 2007;137(1):144-8.
86. Kennedy G, Ballard T, Dop MC. Guide pour mesurer la diversité alimentaire au niveau du ménage et de l'individu. Rome: FAO. 2013;
87. Hatløy A, Hallund J, Diarra MM, Oshaug A. Food variety, socioeconomic status and nutritional status in urban and rural areas in Koutiala (Mali). *Public health nutrition.* 2000;3(1):57-65.
88. Steyn NP, Nel JH, Nantel G, Kennedy G, Labadarios D. Food variety and dietary diversity scores in children: are they good indicators of dietary adequacy? *Public health nutrition.* 2006;9(5):644-50.
89. Kennedy GL, Pedro MR, Seghieri C, Nantel G, Brouwer I. Dietary diversity score is a useful indicator of micronutrient intake in non-breast-feeding Filipino children. *The Journal of nutrition.* 2007;137(2):472-7.
90. Mirmiran P, Azadbakht L, Esmailzadeh A, Azizi F. Dietary diversity score in adolescents- a good indicator of the nutritional adequacy of diets: Tehran lipid and glucose study. *Asia Pacific journal of clinical nutrition.* 2004;13(1):56-60.
91. Kennedy G, Nantel G. Basic guidelines for validation of a simple dietary diversity score as an indicator of dietary nutrient adequacy for non-breastfeeding children 2–6 years. FAO, Rome; 2006.
92. Beal T, Herforth A, Kennedy G, Manners R, Adewopo J, Manguene C, et al. Measuring what the world eats: Insights from a new approach. 2022;
93. Verger EO, Savy M, Martin-Préve Y, Coates J, Frongillo E, Neufeld L, et al. Healthy diet metrics: a suitability assessment of indicators for global and national monitoring purposes. 2023;
94. Hinnouho GM, Barffour MA, Wessells KR, Brown KH, Kounnavong S, Chanhthavong B, et al. Comparison of haemoglobin assessments by HemoCue and two automated haematology analysers in young Laotian children. *J Clin Pathol.* juin 2018;71(6):532-8.
95. OMS. Concentrations en hémoglobine permettant de diagnostiquer l'anémie et d'évaluer la sévérité. Système d'informations nutritionnelles sur les vitamines et les

- minéraux. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2011 (WHO/NMH/NHD/MNM/11.1) [Internet]. Genève; 2011 [cité 25 juill 2023]. Disponible sur: (http://www.who.int/vmnis/indicators/haemoglobin_fr.pdf)
96. Erhardt JG, Estes JE, Pfeiffer CM, Biesalski HK, Craft NE. Combined measurement of ferritin, soluble transferrin receptor, retinol binding protein, and C-reactive protein by an inexpensive, sensitive, and simple sandwich enzyme-linked immunosorbent assay technique. *J Nutr.* nov 2004;134(11):3127-32.
 97. Galobardes B, Shaw M, Lawlor DA, Lynch JW, Davey Smith G. Indicators of socioeconomic position (part 2). *J Epidemiol Community Health.* févr 2006;60(2):95-101.
 98. Traissac P, Martin-Prevel Y. Alternatives to principal components analysis to derive asset-based indices to measure socio-economic position in low- and middle-income countries: the case for multiple correspondence analysis. *Int J Epidemiol.* août 2012;41(4):1207-8; author reply 1209-1210.
 99. Aounallah-Skhiri H, Traissac P, El Ati J, Eymard-Duvernay S, Landais E, Achour N, et al. Nutrition transition among adolescents of a south-Mediterranean country: dietary patterns, association with socio-economic factors, overweight and blood pressure. A cross-sectional study in Tunisia. *Nutr J.* 24 avr 2011;10:38.
 100. Abassi MM, Sassi S, El Ati J, Ben Gharbia H, Delpuech F, Traissac P. Gender inequalities in diet quality and their socioeconomic patterning in a nutrition transition context in the Middle East and North Africa: a cross-sectional study in Tunisia. *Nutr J.* 21 mars 2019;18(1):18.
 101. Sahyoun NR, Nord M, Sassine AJ, Seyfert K, Hwalla N, Ghattas H. Development and validation of an Arab family food security scale. *J Nutr.* mai 2014;144(5):751-7.
 102. Anderson AS, Bell A, Adamson A, Moynihan P. A questionnaire assessment of nutrition knowledge--validity and reliability issues. *Public Health Nutr.* juin 2002;5(3):497-503.
 103. Parmenter K, Wardle J. Development of a general nutrition knowledge questionnaire for adults. *Eur J Clin Nutr.* avr 1999;53(4):298-308.
 104. Alsaffar AA. Validation of a general nutrition knowledge questionnaire in a Turkish student sample. *Public Health Nutr.* nov 2012;15(11):2074-85.
 105. Grosso G, Mistretta A, Turconi G, Cena H, Roggi C, Galvano F. Nutrition knowledge and other determinants of food intake and lifestyle habits in children and young adolescents living in a rural area of Sicily, South Italy. *Public Health Nutr.* oct 2013;16(10):1827-36.
 106. Peters J, Dollman J, Petkov J, Parletta N. Associations between parenting styles and nutrition knowledge and 2-5-year-old children's fruit, vegetable and non-core food consumption. *Public Health Nutr.* nov 2013;16(11):1979-87.
 107. Asakura K, Todoriki H, Sasaki S. Relationship between nutrition knowledge and dietary intake among primary school children in Japan: Combined effect of children's and their guardians' knowledge. *J Epidemiol.* oct 2017;27(10):483-91.
 108. OMS. Santé et développement de l'adolescent: pour une programmation efficace: rapport d'un Groupe d'étude OMS/FNUAP/UNICEF sur la programmation relative à la santé des adolescents. 1999;

109. 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*. 20 déc 2003;362(9401):2052-8.
110. Thurnham DI, McCabe LD, Haldar S, Wieringa FT, Northrop-Clewes CA, McCabe GP. Adjusting plasma ferritin concentrations to remove the effects of subclinical inflammation in the assessment of iron deficiency: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*. sept 2010;92(3):546-55.
111. De Onis M, Borghi E, Arimond M, Webb P, Croft T, Saha K, et al. Prevalence thresholds for wasting, overweight and stunting in children under 5 years. *Public Health Nutr*. janv 2019;22(1):175-9.
112. Achouri I, Aboussaleh Y, Sbaibi R, Ahami A. Anthropometry, food consumption and iron deficiency anemia, among primary school children (6-15 years) in Kenitra city (North-Western Morocco). *Pan Afr Med J*. 15 avr 2021;38:374.
113. Hamed A, Hegab A, Roshdy E. Prevalence and factors associated with stunting among school children in Egypt. *East Mediterr Health J*. 23 juill 2020;26(7):787-93.
114. Al-Shameri EA, Al-Shahethi AH, Wafa SW. Nutritional status and its determinants in the Eastern Mediterranean region. A review. *Saudi Med J*. avr 2022;43(4):423-7.
115. Institut National de la Statistique, UNICEF. Enquête par grappes à indicateurs multiples (MICS), 2018 Rapport Final. Tunisie: le Ministère du Développement de l'investissement et de la Coopération Internationale (MIDiCi). Tunisie; 2019.
116. Muwakkit S, Nuwayhid I, Nabulsi M, al Hajj R, Khoury R, Mikati M, et al. Iron deficiency in young Lebanese children: association with elevated blood lead levels. *J Pediatr Hematol Oncol*. mai 2008;30(5):382-6.
117. Wegmüller R, Bentil H, Wirth JP, Petry N, Tanumihardjo SA, Allen L, et al. Anemia, micronutrient deficiencies, malaria, hemoglobinopathies and malnutrition in young children and non-pregnant women in Ghana: Findings from a national survey. *PLoS One*. 2020;15(1):e0228258.
118. Kundu S, Alam SS, Mia MAT, Hossan T, Hider P, Khalil MI, et al. Prevalence of Anemia among Children and Adolescents of Bangladesh: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 18 janv 2023;20(3):1786.
119. Oh HL, Lee JA, Kim DH, Lim JS. Reference values for serum ferritin and percentage of transferrin saturation in Korean children and adolescents. *Blood Res*. 27 mars 2018;53(1):18-24.
120. Ferrari M, Mistura L, Patterson E, Sjöström M, Díaz LE, Stehle P, et al. Evaluation of iron status in European adolescents through biochemical iron indicators: the HELENA Study. *Eur J Clin Nutr*. mars 2011;65(3):340-9.
121. Milman N, Backer V, Laursen EM, Graudal N, Ibsen KK, Jordal R. Serum ferritin in children and adolescents. Results from population surveys in 1979 and 1986 comprising 1312 individuals. *European Journal of Haematology*. 1994;53(1):16-20.
122. Beard JL, Connor JR. Iron Status and Neural Functioning. *Annual Review of Nutrition*. 2003;23(1):41-58.
123. Sekhar DL, Murray-Kolb LE, Kunselman AR, Weisman CS, Paul IM. Association between menarche and iron deficiency in non-anemic young women. *PLOS ONE*. 9 mai 2017;12(5):e0177183.

124. Shattnawi KK, Alomari MA, Al-Sheyab N, Bani Salameh A. The relationship between plasma ferritin levels and body mass index among adolescents. *Sci Rep.* 17 oct 2018;8(1):15307.
125. Eftekhari MH, Mozaffari-Khosravi H, Shidfar F. The relationship between BMI and iron status in iron-deficient adolescent Iranian girls. *Public Health Nutrition.* déc 2009;12(12):2377-81.
126. El-Shafie AM, Kasemy ZA, Omar ZA, Alkalash SH, Salama AA, Mahrous KS, et al. Prevalence of short stature and malnutrition among Egyptian primary school children and their coexistence with Anemia. *Ital J Pediatr.* 29 juin 2020;46(1):91.
127. Mattiello V, Sizonenko S, Baleyrier F, Bernard F, Diezi M, Renella R. [Iron deficiency with and without anemia in children: a brief update for caregivers]. *Rev Med Suisse.* 13 févr 2019;15(638):376-81.
128. Al-Jawaldeh A, Taktouk M, Doggui R, Abdollahi Z, Achakzai B, Aguenou H, et al. Are Countries of the Eastern Mediterranean Region on Track towards Meeting the World Health Assembly Target for Anemia? A Review of Evidence. *Int J Environ Res Public Health.* 2 mars 2021;18(5):2449.
129. Thane CW, Bates CJ, Prentice A. Zinc and vitamin A intake and status in a national sample of British young people aged 4-18 y. *Eur J Clin Nutr.* févr 2004;58(2):363-75.
130. Ribeiro-Silva R de C, Nunes IL, Assis AMO. Prevalence and factors associated with vitamin A deficiency in children and adolescents. *J Pediatr (Rio J).* 2014;90(5):486-92.
131. Yang C, Chen J, Liu Z, Yun C, Li Y, Piao J, et al. Association of Vitamin A Status with Overnutrition in Children and Adolescents. *Int J Environ Res Public Health.* 7 déc 2015;12(12):15531-9.
132. Ygberg S, Nilsson A. The developing immune system - from foetus to toddler. *Acta Paediatr.* févr 2012;101(2):120-7.
133. Vuralli D, Tumer L, Hasanoglu A, Biberoglu G, Pasaoglu H. Vitamin A status and factors associated in healthy school-age children. *Clin Nutr.* juin 2014;33(3):509-12.
134. Landrier JF, Marcotorchino J, Tourniaire F. Lipophilic micronutrients and adipose tissue biology. *Nutrients.* 6 nov 2012;4(11):1622-49.
135. Bonet ML, Ribot J, Felipe F, Palou A. Vitamin A and the regulation of fat reserves. *Cell Mol Life Sci.* juill 2003;60(7):1311-21.
136. Breidenassel C, Valtueña J, González-Gross M, Benser J, Spinneker A, Moreno LA, et al. Antioxidant vitamin status (A, E, C, and beta-carotene) in European adolescents - the HELENA Study. *Int J Vitam Nutr Res.* juill 2011;81(4):245-55.
137. Alaofè H, Burney J, Naylor R, Taren D. Prevalence of anaemia, deficiencies of iron and vitamin A and their determinants in rural women and young children: a cross-sectional study in Kalalé district of northern Benin. *Public Health Nutr.* mai 2017;20(7):1203-13.

8 LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Carte de la Tunisie. Région du Grand Tunis	15
Figure 2. Répartition de la strate des écoles dans chaque gouvernorat	17
Figure 3. Modèle conceptuel du statut en micronutriments chez les enfants.....	18
Figure 4. Distribution de la Ferritinémie chez les enfants selon le sexe.....	32
Figure 5. Distribution de la vitamine A chez les enfants selon le sexe.	32

9 LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Apport nutritionnelle de référence pour le fer en fonction de l'étape de la vie [47,1,2].	7
Tableau II. Valeurs seuils recommandées pour définir la carence en fer chez les individus apparemment en bonne santé par groupe d'âge [55].....	9
Tableau III. Apport nutritionnelle de référence, vitamine A en fonction de l'étape de la vie [47].	11
Tableau IV. Classification des oculaires de la carence en vitamine A [61].	12
Tableau V. Données collectées chez les enfants et leurs parents.....	18
Tableau VI. Classification de la corpulence selon le z-score de l'IMC-pour l'âge et le sexe chez les enfants de 8 et 11 ans [85].	20
Tableau VII. Micronutriments d'intérêt et groupes d'aliments correspondants [86].....	21
Tableau VIII. Procédure d'ajustement de la ferritine et du RBP en cas d'inflammation.	27
Tableau IX. Caractéristiques anthropométriques des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis, selon le sexe.....	30
Tableau X. Caractéristiques biologiques des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis, selon le sexe.	31
Tableau XI. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer chez les enfants scolarisés de 8-11 ans et leurs caractéristiques démographiques, anthropométriques, alimentaires et le niveau de connaissance en nutrition.	33
Tableau XII. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer et les variables dépendantes de l'environnement des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.....	34
Tableau XIII. Associations brutes et ajustées entre la carence en fer et les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.....	35
Tableau XIV. Associations brutes et ajustées entre l'anémie chez les enfants scolarisés de 8-11 ans et leurs caractéristiques démographiques, anthropométriques, alimentaires et le niveau de connaissance en nutrition et alimentation.	36
Tableau XV. Associations brutes et ajustées entre l'anémie et les variables dépendantes de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.	37
Tableau XVI. Associations brutes et ajustées entre l'anémie et les variables dépendants de l'environnement et les caractéristiques propres des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis.	38

Tableau XVII. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables démographiques, anthropométriques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendantes des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis. 39

Tableau XVIII. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables démographiques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine dépendant de l’environnement des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis. 40

Tableau XIX. Associations brutes et ajustées entre la carence en vitamine A et les variables dépendantes de l’environnement et celles propres aux enfants scolarisés de 8-11 ans du Grand Tunis. 42

10 ANNEXES

10.1 Annexe 1. Questionnaire enfants

10.2 Annexe 2. Questionnaire ménages

10.3 Annexe 3. Programmes Stata (fichier .do)

```

*****
//Nom DU PROGRAMME : ana_All.DatasetTunis +profparent+biologie_Final.dta
//TYPE DU PROGRAME : Stata
// DATE    : 20/05/2023
// AUTEUR   : Modibo Salia DRAME - Stagiare INNTA - modibo.drame.2021@etu-usenghor.org
// LIEU     : Bureau Houda INNTA, Tunis
// BUT      : Analyse des données
//  DONNEES EN ENTREE : use "C:\Users\HP\Desktop\Analyse Modibo\Fichier
Final\All.DatasetTunis +profparent+biologie_Final.dta"
//  EN SORTIE : Tableau et Graphique
// REMARQUE : 1: Garçon 2: Fille
//Tableau I
// Caractéristiques environnementales et démographiques des enfants
svy: tabulate governorates_id , obs col ci percent
svy: tabulate type_school , obs col ci percent
svy: tabulate sex, obs col ci percent
svy: tabulate age_c2 , obs col ci percent
//Tableau II : Caractéristiques socio-économiques des parents
svy: tabulate f_edu_c3 , obs col ci percent
svy: tabulate m_edu_c3 , obs col ci percent
svy: tabulate actp_c3 , obs col ci percent
svy: tabulate actm_c3 , obs col ci percent
svy: tabulate niv_socio_RMP , obs col ci percent
svy: tabulate affss_cat1 , obs col ci percent
//Tableau III : Caractéristiques anthropométriques des enfants scolarisés
// Poids
svy : mean weight
// Moyenne F vs M
svy : mean weight, over (sex)
// regress, ref Fille: 2 pour avoir le p value
svy: regress weight ib2.sex
// Taille
svy : mean height
svy : mean height, over (sex)
svy: regress height ib2.sex
//Tableau IV : Caractéristiques biologiques des enfants scolarisés
// Paramètres biologiques sanguine
//Hémoglobine

```

```

svy : mean hemog
svy : mean hemog, over (sex)
svy: regress hemog ib2.sex
//AGP
svy : mean agp
svy : mean agp, over (sex)
svy : regress agp ib2.sex
//CRP
svy : mean crp
svy : mean crp, over (sex)
svy : regress crp ib2.sex
//Ferritinine
svy : mean feritin_cb
svy : mean feritin_cb, over (sex)
svy : regress feritin_cb ib2.sex
//Protéine de liaison au rétinol (RBP)
svy : mean vita_c
svy : mean vita_c, over (sex)
svy : regress vita_c ib2.sex
//*****
*****

// Pathologie nutritionnelles et inflammatoires
//Stade inflammation
svy : tab infla_stad, obs col ci percent
svy : tab infla_stad sex, obs col ci percent
//Anemie
svy : tab anemie_c2, obs col ci percent
svy : tab anemie_c2 sex, obs col ci percent
// Carence en fer
svy : tab carencefer_c2, obs col ci percent
svy : tab carencefer_c2 sex, obs col ci percent
svy : tab carencefer_c2 age_c2, obs col ci percent
// Anemie ferriprive
svy : tab anemfer_c2, obs col ci percent
svy : tab anemfer_c2 sex, obs col ci percent
// Carence en vitamine A
svy : tab carencevita_c2, obs col ci percent
// Tableau VI : Niveau de connaissance en nutrition et alimentation humaine
svy, subpop (if sex==1): tabulate ter_cknow_score_LMH, obs col percent ci
svy, subpop (if sex==2): tabulate ter_cknow_score_LMH, obs col percent ci

```



```
svy: tabulate PG_knowledge_3cat , obs col ci percent
*****
// Carence en fer in school children to 8-12 age
//association avec les variables dépendantes de l'enfants
// association univarié
// Odds-Ratio brute
// Tableau VII : Associations brutes et ajustées entre la carence en fer et les variables
démographies,
// Anthropométriques, alimentaires et niveau de connaissance en nutrition humaine
dépendant des enfants scolarisés de 8 à 11 ans du Grand Tunis
// Age avec la classe 1: référence
svy: logistic carencefer_c2 ib1.age_c2
// Sexe avec la reference Garçon : 1
svy: logistic carencefer_c2 ib1.sex
//Surpoids
svy: logistic carencefer_c2 ib0.totsurpoi
// Obésité
svy: logistic carencefer_c2 ib0.obesity
// Carence en vitamine A
svy: logistic carencefer_c2 ib0.carencevita_c2
// Niveau de connaissance en nutrition humaine
svy: tabulate carencefer_c2 conais_nut, obs col row percent
svy: logistic carencefer_c2 ib3.conais_nut
// SDA: score de diversité alimentaire chez les enfants
svy: tabulate carencefer_c2 sda_c3 , obs col row percent
svy: logistic carencefer_c2 ib3.sda_c3
```