

Université de POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

2021

Thèse n°

**THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**
(arrêté du 17 juillet 1987)

présentée et soutenue publiquement
le 18 mai 2021 à POITIERS
par Mademoiselle NOËL Elodie
née le 19/06/1997

Alimentation du nourrisson dans le cadre d'un régime végétarien

Composition du jury :

Président : Madame le Professeur RABOUAN Sylvie

Membres : Madame BARRIER Laurence, Maître de conférences
Madame VANDIER Marie-Dominique, Docteur en pharmacie

Directeur de thèse : Madame BARRIER Laurence, Maître de conférences

Résumé : les régimes végétarien et végétalien connaissent un véritable engouement ces dernières années. Ils consistent à limiter, voire à exclure de l'alimentation les produits d'origine animale. Cependant, ces régimes alimentaires restrictifs peuvent potentiellement conduire à des carences nutritionnelles, notamment en protéines, calcium, fer et zinc, ainsi qu'en vitamine B12.

L'objectif de cette thèse est de déterminer si la pratique de ces régimes végétarien ou végétalien est compatible avec le bon développement du nourrisson. Pour cela, un rappel des besoins nutritionnels du jeune enfant sera réalisé. Puis nous nous intéresserons à la composition du lait maternel des femmes végétariennes ainsi qu'à celle des préparations infantiles utilisables comme alternative à l'allaitement dans le cadre d'un régime végétarien. Enfin, la dernière partie sera consacrée à la diversification alimentaire du jeune enfant et à l'équilibre des apports nutritionnels dans ce type de régime.

Mots clés : alimentation, nourrisson, végétarien, végétalien, vegan, carences, allaitement, apports nutritionnels recommandés, supplémentation, nutrition

Université de POITIERS
Faculté de Médecine et de Pharmacie

2021

Thèse n°

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE
(arrêté du 17 juillet 1987)

présentée et soutenue publiquement
le 18 mai 2021 à POITIERS
par Mademoiselle NOËL Elodie
née le 19/06/1997

| |
|---|
| Alimentation du nourrisson dans le cadre d'un régime végétarien |
|---|

Composition du jury :

Président : Madame le Professeur RABOUAN Sylvie

Membres : Madame BARRIER Laurence, Maître de conférences
Madame VANDIER Marie-Dominique, Docteur en pharmacie

Directeur de thèse : Madame BARRIER Laurence, Maître de conférences

PHARMACIE

Professeurs

- CARATO Pascal, PU, Chimie Thérapeutique
- COUET William, PU-PH, Pharmacie Clinique
- DUPUIS Antoine, PU-PH, Pharmacie Clinique
- FAUCONNEAU Bernard, PU, Toxicologie
- GUILLARD Jérôme, PU, Pharmaco chimie
- IMBERT Christine, PU, Parasitologie
- MARCHAND Sandrine, PU-PH, Pharmacocinétique
- OLIVIER Jean Christophe, PU, Galénique
- PAGE Gylène, PU, Biologie Cellulaire
- RABOUAN Sylvie, PU, Chimie Physique, Chimie Analytique
- RAGOT Stéphanie, PU-PH, Santé Publique
- SARROUILHE Denis, PU, Physiologie
- SEGUIN François, PU, Biophysique, Biomathématiques

Maîtres de Conférences

- BARRA Anne, MCU-PH, Immunologie-Hématologie
- BARRIER Laurence, MCU, Biochimie
- BODET Charles, MCU, Bactériologie (HDR)
- BON Delphine, MCU, Biophysique
- BRILLAULT Julien, MCU, Pharmacocinétique, Biopharmacie
- BUYCK Julien, MCU, Microbiologie
- CHARVET Caroline, MCU, Physiologie
- CHAUZY Alexia, MCU, Pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGE Marie, MCU, Sciences Physico-Chimiques
- DELAGE Jacques, MCU, Biomathématiques, Biophysique

- FAVOT-LAFORGE Laure, MCU, Biologie Cellulaire et Moléculaire (HDR)
- GIRARDOT Marion, MCU, Biologie Végétale, Pharmacognosie
- GREGOIRE Nicolas, MCU, Pharmacologie (HDR)
- HUSSAIN Didja, MCU, Pharmacie Galénique (HDR)
- INGRAND Sabrina, MCU, Toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile, MCU, Pharmaco chimie
- PAIN Stéphanie, MCU, Toxicologie (HDR)
- RIOUX BILAN Agnès, MCU, Biochimie
- TEWES Frédéric, MCU, Chimie et Pharmaco chimie
- THEVENOT Sarah, MCU-PH, Hygiène et Santé publique
- THOREAU Vincent, MCU, Biologie Cellulaire
- WAHL Anne, MCU, Chimie analytique

Maîtres de Conférences Associés - officine

- DELOFFRE Clément, Pharmacien
- ELIOT Guillaume, Pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, Pharmacien

A.T.E.R (attaché temporaire

d'enseignement et de recherche)

- MIANTEZILA BASILUA Joe, Épidémiologie et Santé publique

Enseignants d'anglais

- DEBAIL Didier

Remerciements

À Mme Sylvie Rabouan,

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ma thèse.

À Mme Laurence Barrier,

Merci de m'avoir accordé votre confiance en acceptant d'encadrer ma thèse, et de m'avoir accompagné tout au long de ce travail.

À Mme Marie-Dominique Vandier,

Merci de m'avoir accueilli dans votre pharmacie pour mon tout premier stage de découverte du monde officinal en 4^e, puis à différentes occasions pour d'autres stages, et pour des remplacements pendant les vacances. Merci d'avoir accepté d'être membre de mon jury.

À ma famille,

Merci pour votre soutien et l'intérêt que vous avez portés à mes études y compris cette thèse durant ces dernières années. Remerciement spécifique à ma maman pour la relecture de cet ouvrage.

À tous mes amis,

Merci d'avoir toujours été présents pour moi. Votre soutien à toute épreuve et vos encouragements m'ont été d'une grande aide.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Index des abréviations..... | 8 |
| Index des tableaux et des annexes..... | 9 |
| Introduction..... | 10 |
| I. Généralités..... | 11 |
| I.1. Les différents types de régimes végétariens..... | 11 |
| I.2. Historique du régime végétarien et végétalien..... | 12 |
| I.3. Données épidémiologiques concernant les alimentations végétariennes..... | 13 |
| II. Les besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune enfant..... | 14 |
| II.1. Les besoins caloriques..... | 14 |
| II.2. Les glucides..... | 14 |
| II.3. Les lipides..... | 15 |
| II.4. Les protéines..... | 16 |
| II.5. Les vitamines..... | 17 |
| II.5.1. La vitamine A..... | 18 |
| II.5.2. La vitamine B1..... | 19 |
| II.5.3. La vitamine B2..... | 20 |
| II.5.4. La vitamine B3..... | 20 |
| II.5.5. La vitamine B5..... | 21 |
| II.5.6. La vitamine B6..... | 21 |
| II.5.7. La vitamine B8..... | 22 |
| II.5.8. La vitamine B9..... | 23 |
| II.5.9. La vitamine B12..... | 24 |
| II.5.10. La vitamine C..... | 24 |
| II.5.11. La vitamine D..... | 26 |
| II.5.12. La vitamine E..... | 27 |
| II.5.13. La vitamine K..... | 28 |
| II.6. Les minéraux..... | 29 |
| II.6.1. Le calcium..... | 29 |
| II.6.2. Le phosphore..... | 30 |
| II.6.3. Le magnésium..... | 30 |
| II.6.4. Le potassium..... | 31 |
| II.6.5. Le sodium..... | 32 |
| II.7. Les oligo-éléments..... | 32 |
| II.7.1. Le fer..... | 32 |
| II.7.2. Le cuivre..... | 33 |
| II.7.3. L'iode..... | 34 |
| II.7.4. Le zinc..... | 34 |
| II.8. Conclusion..... | 35 |
| III. Le lait maternel : composition et variabilité liées au régime alimentaire de la mère..... | 35 |
| III.1. Composition protéique..... | 35 |
| III.2. Les composés azotés non protéiques..... | 36 |

| | |
|---|----|
| III.3. Les lipides..... | 36 |
| III.4. Composition en glucides..... | 38 |
| III.4.1. Le lactose..... | 38 |
| III.4.2. Les oligosaccharides..... | 38 |
| III.5. Teneurs vitaminiques du lait maternel..... | 38 |
| III.5.1. La vitamine A..... | 39 |
| III.5.2. Les vitamines du groupe B..... | 39 |
| III.5.3. La vitamine C..... | 40 |
| III.5.4. La vitamine D..... | 40 |
| III.5.5. La vitamine E..... | 41 |
| III.5.6. La vitamine K..... | 41 |
| III.6. Les minéraux et oligo-éléments..... | 41 |
| III.7. Les composants protecteurs..... | 42 |
| III.7.1. Les facteurs bio-actifs anti-infectieux et les composants immunomodulateurs. . | 43 |
| III.7.2. Les probiotiques et prébiotiques..... | 44 |
| III.7.3. Les substances anti-inflammatoires..... | 45 |
| III.7.4. Les enzymes digestives..... | 45 |
| III.7.5. Les acteurs trophiques au niveau de la muqueuse intestinale et les facteurs de croissance..... | 45 |
| IV. Les préparations pour nourrissons et préparations de suite..... | 46 |
| IV.1. Les laits infantiles à base de protéines de riz..... | 46 |
| IV.2. Les laits infantiles à base d'isolats de protéines de soja..... | 48 |
| IV.2.1. Composition des préparations pour nourrissons..... | 48 |
| IV.2.2. Composition des préparations de suite..... | 49 |
| IV.2.3. Les effets de l'exposition à des laits infantiles à base de soja..... | 50 |
| IV.3. Les jus végétaux et les dangers de leur utilisation chez le nourrisson..... | 51 |
| IV.3.1. Composition nutritionnelle des boissons végétales..... | 51 |
| IV.3.2. Conséquences de l'utilisation inadaptée de jus végétaux : à propos de deux cas | 55 |
| V. La diversification alimentaire dans le cadre d'un régime restrictif en produits d'origine animale..... | 56 |
| V.1. Le lait et les produits laitiers..... | 56 |
| V.2. Les fruits et légumes..... | 58 |
| V.3. Les viandes, charcuteries, produits de la pêche, et les œufs..... | 58 |
| V.4. Les féculents et les légumineuses..... | 60 |
| V.5. Les matières grasses..... | 61 |
| V.6. Le sucre et les produits sucrés..... | 61 |
| V.7. Les boissons..... | 62 |
| Conclusion..... | 63 |
| Annexes..... | 64 |
| Bibliographie..... | 71 |
| Serment de Galien..... | 78 |

Index des abréviations

AGMI : Acide Gras MonoInsaturé
AGPI : Acide Gras PolyInsaturé
AGS : Acide Gras Saturé
AGT : Acide Gras *Trans*
ALA: Acide Alpha-Linolénique
ARA : Acide Arachidonique
BDNF : Brain-Derived Neurotrophic Factor
Cellule NK : cellule « Natural Killer »
DHA : Acide DocosaHexaénoïque
EGF : Epidermal Growth Factor
EPA : Acide EicosaPentaénoïque
G-CSF : Granulocyte-Colony Stimulating Factor
GDNF : Glial cell-line Derived Neurotrophic Factor
IFN : interferon
Ig : immunoglobuline
IGF : Insulin-like Growth Factor
IL : interleukine
LA : Acide Linoléique
TGF : Transforming Growth Factor
TNF : Tumor Necrosis Factor
UI : Unité Internationale
VEGF : Vascular Endothelial Growth Factor

Index des tableaux et des annexes

Index des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Récapitulatif des différents régimes alimentaires restrictifs..... | 11 |
| Tableau 2: Spécialités pouvant être prescrites en prévention du déficit en vitamine D chez l'enfant..... | 27 |
| Tableau 3: Composition de boissons végétales, table Ciqual ANSES ⁽⁶⁰⁾ | 54 |

Index des annexes

| | |
|--|----|
| Annexe 1: Récapitulatif des besoins de l'enfant en fonction de son âge, EFSA..... | 64 |
| Annexe 2: Récapitulatif des différents macronutriments, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée..... | 65 |
| Annexe 3: Récapitulatif des différentes vitamines, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée..... | 66 |
| Annexe 4: Récapitulatif des principaux minéraux et oligo-éléments, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée..... | 67 |
| Annexe 5: Teneurs indicatives en énergie, protéines, lipides, carbohydrates, vitamines et minéraux du lait maternel ⁽³³⁾ | 68 |
| Annexe 6: Récapitulatif des différentes fonctions des facteurs bioactifs du lait maternel..... | 69 |
| Annexe 7: Les étapes de la diversification alimentaire, Programme National Nutrition Santé (PNNS), INPES ⁽⁷⁸⁾ | 70 |

Introduction

Les régimes végétariens et végétaliens sont de plus en plus pratiqués en France, pouvant concerner les enfants dès leur plus jeune âge. Ils consistent à limiter, voir supprimer de l'alimentation les produits d'origine animale. Cependant, ces régimes alimentaires restrictifs peuvent présenter des risques pour la santé et pour le développement de l'enfant. Il convient donc de faire un point sur les besoins nutritionnels du nourrisson et de voir s'ils sont assurés dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien.

Dans ce travail, nous définirons tout d'abord ce que sont le végétarisme et le végétalisme, ainsi que l'historique de leur pratique en France et dans le monde.

Ensuite, seront abordés les effets d'un régime restrictif en produits d'origine animale sur la qualité du lait maternel, aliment exclusif et le mieux adapté pendant les premiers mois de la vie. Nous nous intéresserons également aux laits infantiles à base de protéines de riz et de soja qui constituent une alternative au lait de femme dans le cadre des régimes végétariens.

Enfin, la dernière partie sera consacrée à la diversification alimentaire et à l'équilibre des apports nutritionnels dans ce type de régime.

I. Généralités

I.1. Les différents types de régimes végétariens

L'alimentation végétarienne est un terme générique qui regroupe en réalité plusieurs entités avec plus ou moins de restrictions⁽¹⁾ :

- Le régime pesco-végétarien : comme tous les régimes végétariens, la viande est exclue. Cependant, les individus peuvent consommer des œufs, du poisson, des produits laitiers et, bien évidemment, des aliments d'origine végétale.
- Le régime lacto-ovo-végétarien : en plus de la viande, le poisson est aussi banni des assiettes. Les œufs, les produits laitiers et les produits d'origine végétale restent acceptés.
- Le régime lacto-végétarien : les œufs sont exclus de ce type d'alimentation. Seuls restent les produits laitiers et les produits d'origine végétale.
- Le régime ovo-végétarien : les produits laitiers sont cette fois bannis de l'alimentation. La consommation d'œufs et de produits d'origine végétale est autorisée.
- Le régime végétalien : tous les produits d'origine animale sont écartés que ce soit la viande, le poisson, les œufs, les produits laitiers mais aussi le miel.
- Le véganisme : il s'agit d'un terme d'origine anglo-saxonne ; dans le cadre de cette pratique, l'individu adopte une alimentation végétalienne mais aussi un mode de vie excluant l'utilisation de produits issus des animaux (laine, cuir, cire d'abeille...) refusant ainsi l'exploitation animale.

Les particularités de ces différents régimes restrictifs en produits d'origine animale sont synthétisées ci-dessous :

| Type de régime alimentaire | Aliments consommés | Aliments exclus |
|----------------------------|---|---|
| Pesco-végétarien | Produits d'origine végétale ; produits laitiers ; œufs ; poissons | Viandes |
| Lacto-ovo-végétarien | Produits d'origine végétale ; produits laitiers ; œufs | Viandes ; poissons |
| Lacto-végétarien | Produits d'origine végétale ; produits laitiers | Viandes ; poissons ; œufs |
| Ovo-végétarien | Produits d'origine végétale ; œufs | Viandes ; poissons ; produits laitiers |
| Végétalien/végan | Produits d'origine végétale | Viandes ; poissons ; œufs ; produits laitiers |

Tableau 1: Récapitulatif des différents régimes alimentaires restrictifs

I.2. Historique du régime végétarien et végétalien

Si les régimes végétariens et végans connaissent un engouement ces dernières années, leur origine remonte en fait à plusieurs siècles⁽²⁻⁵⁾.

Les prémices du végétarisme datent du VIII^e siècle avant Jésus-Christ. Les motivations sont religieuses. Aujourd'hui encore, de nombreux indiens pratiquent la religion hindoue et suivent un régime végétarien.

Dès le VI^e siècle avant J-C, Pythagore refuse de manger de la viande, du poisson, des œufs et s'interdit de porter des vêtements en laine. Il accorde un profond respect à l'animal, car il pense notamment que les âmes des hommes défunts peuvent se réincarner en animaux.

Au V^e siècle avant J-C, Platon décrit une ville idéale dans laquelle la population serait végétarienne. Selon lui, la consommation de viande entraînerait des guerres et des maladies.

Au I^e siècle avant J-C, Plutarque, dans la lignée de Pythagore, évoque le bien-être animal pour justifier le végétarisme.

Avec le Moyen-Âge, il n'est plus question de restrictions alimentaires. C'est la période des banquets, des repas opulents et variés. La consommation de produits d'origine animale est incontournable. Il faut attendre la Renaissance pour que le végétarisme refasse surface. En effet, des concepts philosophiques d'éthique animale émergent et sont soutenus par Léonard de Vinci, Thomas Tryon, Jean-Jacques Rousseau, Voltaire ou encore Isaac Newton.

L'apogée du végétarisme se concrétise au XIX^e siècle en Angleterre par la création de la « Vegetarian Society », en 1847. C'est à ce moment-là que naît le terme « vegetarian ». A cette époque, il s'agit plutôt d'un régime végétalien que végétarien, même si la distinction ne se fera que plusieurs dizaines d'années plus tard.

Au XX^e siècle, l'alimentation végétarienne devient étroitement liée au mouvement de défense de la cause animale. Magnus Schwantje introduit ce concept, lui qui a vécu en Suisse, pays dans lequel le végétarisme est particulièrement développé. En effet, c'est là que s'est tenu le premier congrès végétarien mondial. En 1944 est fondée la « Vegan Society » associée à la création du mot « vegan » par Donald Watson. Cette institution marque définitivement une distinction entre les régimes alimentaires végétarien et végétalien.

I.3. Données épidémiologiques concernant les alimentations végétariennes

Il existe quelques études indiquant la proportion de personnes ayant adoptées un régime alimentaire restrictif en produits d'origine animale. Cependant, le nombre de sujets végétariens et végétaliens est assez difficile à estimer car certains individus mangent quand même occasionnellement de la viande et ne peuvent donc pas être vraiment considérés comme végétariens ou végétaliens.

La proportion de végétariens ou végans dans le monde⁽⁶⁾ est estimée à 5 % de la population. Cependant, il existe de grandes disparités géographiques que ce soit pour des raisons économiques, écologiques, culturelles ou encore religieuses.

En France⁽⁷⁾, selon une étude de 2018, le nombre de végétariens est évalué à 2,5 % de la population, le nombre de végétaliens à 0,5 %. Ces valeurs sont amenées à augmenter dans les années à venir car 10 % des français déclarent envisager de devenir végétariens.

En Italie⁽⁸⁾, la tendance est à la hausse. En effet, le nombre de sujets végans entre 2017 et 2018 a triplé, passant de 1 % à 3 %. On peut ajouter 5 % de végétariens en Italie.

Aux États-Unis⁽⁹⁾, 3,5% des habitants ne consomment pas de produits d'origine animale. Environ 1,5% de la population est végane.

L'Inde⁽⁶⁾ est le pays ayant le plus grand nombre de foyers végétariens (42 %). Cela s'explique par les pratiques religieuses, culturelles mais aussi par la faiblesse des revenus.

Pour des raisons culturelles, les populations sud-américaines pratiquent peu le végétarisme. En effet, cette partie du monde est traditionnellement dévolue à l'élevage et donc la consommation d'aliments d'origine animale y est habituelle.

Globalement, le nombre de végétariens et végétaliens est en augmentation nette depuis une quinzaine d'années. Cependant, il s'agit d'une alimentation restrictive qui nécessite d'être suivie, en particulier chez les enfants en bas âge.

II. Les besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune enfant

Les données chiffrées concernant les besoins nutritionnels varient d'une base de données à l'autre. La référence choisie pour toute cette thèse est celle de l'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)⁽¹⁰⁾. Leurs valeurs sont répertoriées dans l'annexe 1.

II.1. Les besoins caloriques

Les besoins énergétiques d'un individu dépendent de son âge et de son sexe. Chez l'enfant, ils augmentent avec l'âge et sont plus importants pour le sexe masculin. Entre 0 et 6 mois, les besoins sont compris entre 335 et 574 kcal par jour. Entre 7 et 11 mois, ils sont compris entre 550 et 740 kcal par jour. Enfin, entre 1 et 3 ans, les apports caloriques journaliers doivent se situer entre 717 et 1170 kcal par jour.

Ces calories sont apportés par les macronutriments que sont les glucides, les lipides, et les protéines de l'alimentation (annexe 2).

II.2. Les glucides

Les glucides ou hydrates de carbones sont séparés en deux classes : les glucides digestibles et glucides non digestibles ou fibres alimentaires^(11,12).

Les glucides digestibles constituent une source énergétique importante pour les hématies, le cerveau, les muscles ainsi que tous les autres organes. Ils sont abondants dans les fruits, les aliments au goût sucré ainsi que les féculents et les céréales. Les produits laitiers en contiennent également, par l'intermédiaire du lactose.

Une sous-consommation prolongée de glucides oblige l'organisme à mobiliser ses réserves, et en dernier lieu, à en synthétiser à partir de lipides et d'acides aminés. On observe alors une diminution de la masse musculaire de l'individu.

Une consommation excessive de glucides apporte une charge calorique importante et peut entraîner une prise de poids et un risque à long terme de maladies métaboliques.

Les fibres, contrairement aux glucides digestibles n'apportent pas d'énergie. Elles agissent sur le transit intestinal en le régulant. Elles diminuent également l'index glycémique

des hydrates de carbones digestibles auxquels ils sont associés. Les glucides non digestibles sont retrouvées principalement dans les fruits et légumes ainsi que les céréales et légumineuses.

Les besoins glucidiques augmentent avec l'âge. Entre 0 et 6 mois, ils doivent représenter entre 40 et 45 % de l'apport énergétique total. Entre 7 et 11 mois, ils doivent apporter entre 45 et 55 % des calories journalières. Enfin, entre 1 et 3 ans, l'apport glucidique doit représenter entre 45 et 60 % des apports caloriques. Il est à noter qu'un gramme de glucides apporte 4 kcal.

II.3. Les lipides

Les lipides représentent la principale source d'énergie chez le nourrisson et le jeune enfant⁽¹¹⁻¹³⁾. Ils sont indispensables au développement du tissu nerveux (constituants de la myéline), à la constitution des membranes cellulaires ainsi qu'à la régulation du système immunitaire. Ils sont également essentiels à certaines synthèses métaboliques : les lipides sont précurseurs des hormones stéroïdiennes, de molécules régulant l'inflammation (leucotriènes, prostaglandines) et d'autres impliquées dans la coagulation sanguine (thromboxanes, prostacyclines).

Les lipides sont la principale source de calories chez le très jeune enfant. Ils représentent entre 50 et 55 % des apports énergétiques de 0 à 6 mois. Puis, au fur et à mesure, les apports lipidiques doivent diminuer, pour être remplacés par des glucides et protéines. Entre 7 et 11 mois, les calories lipidiques doivent se situer aux alentours de 40 % de l'apport énergétique total journalier. Enfin, entre 1 et 3 ans, ils doivent représenter seulement 35 % des apports énergétiques journaliers. Les lipides sont les macronutriments avec la plus grande densité énergétique : 1 gramme de lipides fournit 9 kcal.

Les acides gras constitutifs des lipides sont classés selon leur structure chimique. On s'intéresse particulièrement à l'existence ou non d'insaturation (présence ou non de doubles liaisons entre les atomes de carbone), leur nombre et leur configuration isomérique (cis ou trans). La longueur de la chaîne carbonée permet également de les différencier. On distingue ainsi les acides gras saturés (AGS), les acides gras monoinsaturés (AGMI) et les acides gras polyinsaturés (AGPI).

Certains acides gras saturés (AGS), tels que l'acide palmitique largement retrouvé

dans les produits industriels, et consommés de façon excessive, ont un effet néfaste sur le système cardio-vasculaire. D'autres comme l'acide stéarique (C18:0) ou les AGS à chaîne courte ou moyenne n'ont pas cet effet délétère. Quels qu'ils soient, les AGS ne sont pas indispensables au corps humain et doivent être ingérés en quantité modérée.

Les acides gras monoinsaturés (AGMI) sont principalement représentés par l'acide oléique (C18:1 n-9) dans l'alimentation (huile d'olive, noix, avocat). Contrairement à certains AGS, les AGMI ne sont pas néfastes pour la santé. Leurs apports dans l'alimentation du jeune enfant doivent représenter environ 4 % de l'énergie totale.

La famille des acides gras polyinsaturés est assez vaste. Parmi eux, on retrouve des acides gras essentiels, c'est à dire qu'ils doivent obligatoirement être apportés par l'alimentation car une synthèse endogène n'est pas possible. C'est le cas de l'acide linoléique (LA) (C18:2 n-6), précurseur des acides gras oméga 6 et de l'acide α -linoléique (ALA) (C18:3 n-3), précurseur des acides gras oméga 3. Ils proviennent principalement des huiles végétales donc leur apport ne pose a priori pas de problème dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien.

D'autres AGPI sont considérés indispensables au bon fonctionnement de l'organisme : l'acide eicosapentaénoïque (EPA) (C20:5 n-3) et l'acide docohexaénoïque (DHA) (C22:6 n-3). On les retrouve principalement dans les aliments d'origine animale, en particulier les poissons gras. Même s'ils peuvent être synthétisés par l'organisme, ce sont des acides gras à risque de carence dans le cadre d'un régime alimentaire restrictif en produits animaux, d'autant plus que la synthèse de DHA à partir d'ALA est limitée.

II.4. Les protéines

Les protéines alimentaires sont des macronutriments indispensables à la croissance, à l'immunité et au bon fonctionnement tissulaire^(11,12). Elles fournissent également des acides aminés (AA) qui sont indispensables à la synthèse endogène d'autres acides aminés. Cependant, tous les acides aminés ne peuvent pas être fabriqués par l'organisme, certains sont dits essentiels et doivent donc obligatoirement être apportés par l'alimentation : dans un premiers temps chez le nourrisson, les protéines sont apportées par le lait puis avec la diversification alimentaire, les apports sont complétés par l'ingestion de viandes, de poissons, d'œufs, de céréales et de légumineuses. Dans le cadre d'un régime végétalien ou végétalien, il est important de varier les sources protéiques végétales (légumineuses, céréales...) car aucun végétal n'apporte à lui seul tous les acides aminés essentiels.

Les besoins protéiques du nourrisson augmentent avec l'âge : entre 0 et 6 mois, ils sont de 8-9 g/j. Entre 7 et 11 mois, ils sont compris entre 9 et 11 grammes. Enfin, entre 1 et 3 ans, ils s'élèvent à 13 grammes par jour. Tout comme les glucides, 1 g de protéines apporte 4 kcal.

Les âges extrêmes de la vie, donc les jeunes enfants, sont les plus à risque de carence protéique. Elle peut entraîner un retard de croissance, une altération des défenses immunitaires et donc une susceptibilité aux infections augmentée, et enfin une fragilité tissulaire associée à un retard de cicatrisation des plaies.

Inversement, une consommation trop importante de protéines n'est pas non plus bénéfique. En effet, cela pourrait entraîner des troubles métaboliques et par conséquent une obésité.

II.5. Les vitamines

Les vitamines sont des substances d'origine organique, essentielles au bon fonctionnement de l'organisme. Contrairement aux lipides, glucides et protéines, elles n'apportent pas de calories mais sont indispensables dans de nombreuses synthèses et processus enzymatiques. La plupart des vitamines ne peuvent pas être synthétisées de manière endogène, elles sont donc apportées par l'alimentation. De ce fait, un apport inadéquat peut entraîner des carences ou, plus rarement, un excès d'apport peut s'avérer toxique^(12,14). Ces données sont regroupées dans un tableau en annexe 3.

Les vitamines sont classées en deux grands groupes :

- Les vitamines liposolubles sont les vitamines A, D, E et K. Elles sont solubles dans les graisses et donc potentiellement stockables dans l'organisme, ce qui confère à certaines d'entre elles une toxicité potentielle en cas d'apport chronique excessif.
- Les vitamines hydrosolubles, représentées par les vitamines du groupe B et la vitamine C. Elles sont solubles dans l'eau donc plus facilement éliminées dans les urines en cas d'apport excessif. Le caractère hydrosoluble de ces vitamines fait aussi qu'elles sont facilement éliminées lors d'une cuisson à l'eau des aliments les contenant.

II.5.1. La vitamine A

La vitamine A est une vitamine liposoluble^(12,14,15). Elle a un rôle primordial dans la vision, en particulier dans l'adaptation à la vision crépusculaire, mais aussi dans la distinction des formes et des couleurs. Elle intervient également dans la croissance, notamment dans le renouvellement des cellules épithéliales et cutanées. Une autre fonction importante est le maintien des défenses immunitaires et donc la résistance aux infections.

Les besoins journaliers varient avec l'âge. Entre 0 et 11 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine A sont de 350 µg d'équivalent rétinol (ER) par jour. Entre 1 et 3 ans, ils sont de 400 µg d'ER par jour.

La vitamine A existe sous deux formes, le rétinol et les caroténoïdes.

- Le rétinol est la forme de vitamine A retrouvée exclusivement dans les produits d'origine animale. L'aliment le plus riche est le foie. On en retrouve également en quantité importante dans les poissons gras (sardine, maquereau...), et les produits laitiers (fromage, lait entier). L'absorption digestive du rétinol est élevée, de l'ordre de 75 à 90 % de la quantité ingérée.
- Les caroténoïdes sont des « pro-vitamines A ». Ils sont retrouvés dans les végétaux et sont ensuite transformés par l'organisme en vitamine A. La molécule la plus répandue et la plus active est le β-carotène. On considère qu'1 µg de rétinol (1 ER) est équivalent à 6 µg de β-carotène ou 12 µg d'un autre caroténoïde à activité pro-vitaminique A. Les aliments riches en caroténoïdes sont les fruits et légumes de couleur jaune ou orange comme les carottes, la citrouille, l'abricot. On en retrouve également, dans une moindre mesure, dans les légumes verts tels que les épinards ou les brocolis. L'absorption digestive des caroténoïdes est très variable, comprise entre 9 et 60 %. Elle est facilitée par la cuisson de l'aliment ou son association avec un aliment riche en lipides.

En cas d'apports vitaminiques insuffisants, il existe un risque de carence⁽¹⁶⁾ dont la manifestation la plus précoce est l'atteinte oculaire : diminution de la vision nocturne, photophobie (sensibilité des yeux à la lumière) pouvant aller jusqu'à la cécité, mais aussi une sécheresse des muqueuses de l'œil. Un autre signe de déficit en vitamine A est l'immunodépression et donc une sensibilité accrue aux infections. Dans les pays

industrialisés, les carences en vitamines A sont assez rares. En effet, on la retrouve dans de nombreux aliments, autant d'origine animale que végétale. De plus, c'est une vitamine liposoluble pouvant être stockée dans l'organisme. Il n'est donc pas recommandé de supplémenter en vitamine A les enfants recevant une alimentation variée et équilibrée, même dans le cadre d'une alimentation restrictive en produits d'origine animale. En effet, chez les jeunes enfants, des doses de vitamine A supérieures à 450 µg/kg/j peuvent engendrer une hypervitaminose A. Cet excès ne peut être entraîné que par ingestion excessive de rétinol. Un excès de caroténoïdes n'entraînera jamais d'hypervitaminose A. Les principaux signes de toxicité sont des céphalées, des vertiges, des vomissements, de la fièvre et un bombement de la fontanelle chez le nourrisson.

II.5.2. La vitamine B1

La vitamine B1 ou thiamine^(12,14), est une vitamine hydrosoluble, comme toutes les vitamines du groupe B. Elle est indispensable à l'assimilation des glucides, des lipides, des acides aminés apportés par l'alimentation et leur transformation en énergie utilisable par l'organisme. De ce fait, elle contribue au bon fonctionnement du système nerveux, musculaire, et cardiaque.

Les besoins journaliers varient assez peu avec l'âge. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine B1 sont de 0,2 mg par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 0,3 mg par jour puis de 0,5 mg par jour entre 1 et 3 ans.

Les sources alimentaires de vitamine B1 sont très variées. Les aliments les plus riches sont les légumes secs, les céréales complètes et les abats. Elle est en revanche peu présente dans les fruits et légumes. Il convient donc d'avoir une alimentation variée, d'autant plus que la vitamine B1 ne peut pas être synthétisée par l'organisme .

Les formes mineures de carence en vitamine B1 sont caractérisées par une altération de l'état général avec perte d'appétit, amaigrissement mais aussi irritabilité et sensation de jambes lourdes. En cas de carence sévère, ce qui reste rarissime dans les pays industrialisés, on parle de bériberi⁽¹⁶⁾. Il s'agit de l'association d'une atteinte neurologique (polynévrite, troubles mnésiques...) et cardiaque (tachycardie, douleurs thoraciques pouvant aller jusqu'à l'insuffisance cardiaque et le décès).

Les intoxications par excès d'apport en vitamine B1 sont hautement improbables car cette vitamine n'est pas stockée par l'organisme et rapidement éliminée par voie urinaire.

II.5.3. La vitamine B2

La vitamine B2 ou riboflavine^(12,14), est une vitamine hydrosoluble. Tout comme la vitamine B1, elle est indispensable au métabolisme glucidique et protéique pour la production d'énergie utilisable par l'organisme.

Les besoins journaliers augmentent progressivement avec l'âge. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine B2 sont de 0,3 mg/j. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 0,4 mg/j. Enfin, entre 1 et 3 ans, ils sont de 0,8 mg/j.

La vitamine B2 est très répandue dans l'alimentation courante ; on la retrouve autant dans les produits d'origine animale (poissons gras, abats...) que végétale (oléagineux, légumes secs...) et aussi dans les produits laitiers. Ainsi, quel que soit le régime alimentaire de l'individu, les besoins sont en général assurés par l'alimentation, d'autant plus que cette vitamine est résistante à la chaleur et peu soluble dans l'eau. De ce fait, les carences en vitamine B2 sont rares et les symptômes peu spécifiques⁽¹⁶⁾.

II.5.4. La vitamine B3

La vitamine B3, PP ou niacine^(12,14), est une vitamine hydrosoluble, précurseur de deux co-enzymes, le NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) et le NADP (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate), essentiels aux réactions d'oxydo-réduction des métabolismes des glucides, lipides et protéines.

Les besoins journaliers augmentent avec l'âge. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine B3 sont de 2 mg d'équivalent niacine (EN) par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 5 mg d'EN par jour. Enfin, entre 1 et 3 ans, ils sont de 9 mg d'EN par jour.

La vitamine B3 existe sous deux formes : l'acide nicotinique et le nicotinamide. Les aliments les plus riches sont ceux d'origine animale : foies, viandes, poissons. On retrouve également cette vitamine, en moins grande quantité, dans les fruits secs, les graines et les

oléagineux. L'organisme est également capable de synthétiser la vitamines B3 à partir du tryptophane, un acide aminé essentiel apporté par les protéines. Cependant, cette synthèse endogène n'est pas suffisante pour subvenir aux besoins journaliers et doit être complétée par des apports alimentaires.

Une carence sévère en vitamine B3, très rare, se définit par une « pellagre »⁽¹⁶⁾ et associe des troubles digestifs (diarrhées profuses voire sanguinolentes), une dermatite (atteinte cutanée), et enfin, dans les carences profondes, des troubles neuropsychiques (insomnie, hallucinations, démence...). Exceptionnellement, des signes d'intoxication à la vitamine B3 peuvent apparaître pour des apports très importants, de l'ordre de plusieurs grammes par jour. Dans ce cas, on peut noter des bouffées de chaleur accompagnées de rougeurs du visage.

II.5.5. La vitamine B5

La vitamine B5, ou acide pantothénique^(12,14), est une vitamine hydrosoluble. Il s'agit un précurseur du co-enzyme A, intervenant dans les métabolismes énergétiques glucidique, lipidique et protidique. L'acide pantothénique est aussi indispensable à la synthèse de neurotransmetteurs. Cette vitamine joue également un rôle dans la croissance des phanères (ongles, cheveux...) et la cicatrisation.

Entre 0 et 6 mois, les besoins journaliers en vitamine B5 sont de 2 mg par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 3 mg par jour, et de 4 mg par jour jusqu'à 3 ans .

La vitamine B5 est retrouvée de manière ubiquitaire dans l'alimentation, autant dans les produits d'origine animale (abats, œufs...) que végétale (légumes et fruits secs, oléagineux, pain...). Cette vitamine étant retrouvée dans presque tous les aliments, et en quantité notable, le risque de carence est très faible. Les signes cliniques sont peu spécifiques⁽¹⁶⁾ : on peut noter une fatigue, une fragilité des ongles et des cheveux, une faiblesse musculaire ainsi que des troubles neurologiques. Par ailleurs, cette vitamine étant hydrosoluble, elle n'est pas stockée dans l'organisme et le risque d'excès est rare. Les symptômes de surdosage décrits sont des troubles digestifs.

II.5.6. La vitamine B6

La vitamine B6 ou pyridoxine^(12,14), vitamine hydrosoluble, est impliquée dans le

fonctionnement de nombreuses enzymes. Elle est indispensable au métabolisme protéique. Ainsi, plus les apports alimentaires protéiques sont importants, plus l'organisme a besoin de vitamine B6 pour les métaboliser.

Les besoins journaliers augmentent progressivement avec l'âge et sont sensiblement les mêmes que ceux en riboflavine. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine B6 sont de 0,1 mg par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 0,4 mg par jour. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 0,7 mg par jour.

La vitamine B6 existe sous trois formes : la pyridoxine, le pyridoxal et la pyridoxamine. On la retrouve dans de nombreux aliments. Les produits d'origine animale les plus riches sont les abats, et dans une moindre mesure la viande, le poisson et le jaune d'œuf. Les végétaux contenant le plus de vitamine B6 sont l'avocat, la banane, les fruits oléagineux et les légumes secs.

La carence en vitamine B6 est rare, encore plus chez les végétariens et les végétaliens qui consomment en général moins de protéines et qui ont donc moins besoin de pyridoxine pour les métaboliser. Cet état de carence est en général lié à une pathologie sous-jacente. Les symptômes associés sont des troubles cutanés, digestifs, nerveux ainsi qu'une anémie. L'excès d'apport en vitamine B6 (plus de 2 g/j), ce qui est exceptionnel, provoque des troubles neuro-musculaires à type d'engourdissement et perte des réflexes.

II.5.7. La vitamine B8

La vitamine B8 ou biotine^(12,14), est une vitamine hydrosoluble. Comme beaucoup de vitamines du groupe B, elle joue un rôle dans le métabolisme des acides aminés, des glucides et des lipides mais aussi sur la croissance des phanères.

Les besoins journaliers en vitamine B8 sont assez faibles. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels sont de 4 µg par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 6 µg par jour. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 20 µg par jour.

La biotine est retrouvée dans de nombreux aliments. Les abats, les œufs, les champignons, le fromage blanc et les légumes secs sont ceux qui en contiennent le plus. Dans le cadre d'une alimentation variée, que l'on suive un régime riche en produits d'origine

animale, un régime végétarien ou végétalien, le risque d'hypovitaminose B8 est faible. Il est en général associé à une pathologie sous-jacente. Les premiers signes cliniques⁽¹⁶⁾ sont dermatologiques avec une chute des cheveux et une sécheresse cutanée. Si la carence persiste, on peut voir apparaître de troubles neurologiques (sommolence, agressivité) et digestifs.

Concernant l'excès de vitamine B8, il n'a pas été recensé de toxicité chez l'homme. Il n'est cependant pas indiqué d'en consommer davantage que la dose journalière recommandée.

II.5.8. La vitamine B9

La vitamine B9 ou acide folique^(12,14), est une vitamine hydrosoluble. Sa fonction principale et essentielle est la participation à l'érythroïèse. Elle joue également un rôle dans le bon fonctionnement du système nerveux, notamment dans la synthèse d'un neurotransmetteur, la sérotonine.

Les besoins journaliers varient avec l'âge. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en vitamine B9 sont de 65 µg d'équivalents en folates alimentaires (EFA) par jour. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 80 µg d'EFA par jour. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 100 µg d'EFA par jour.

L'acide folique est retrouvé dans de nombreux aliments : haricots secs, foies d'animaux, légumes verts... Cependant, cette vitamine étant fortement dégradée lors de la cuisson, et son absorption variable d'un aliment à l'autre, les apports alimentaires doivent être assez conséquents. Ainsi, les carences en acide folique ne sont pas rares, d'autant plus chez l'enfant dont les besoins sont très élevés pour assurer la croissance des différents tissus et les réserves sont insuffisantes. Dans ce cas, ce n'est pas le type de régime alimentaire qui est en cause dans l'état de carence mais les besoins importants du nouveau-né et de l'enfant. Les conséquences d'une carence en vitamine B9 sont principalement des atteintes hématologiques à type d'anémie macrocytaire et des troubles neuropsychiques, possiblement graves⁽¹⁶⁾. Inversement, un excès d'apport en vitamine B9 est exceptionnel et peu symptomatique, pouvant éventuellement se traduire par des troubles neurologiques⁽¹⁷⁾.

II.5.9. La vitamine B12

La vitamine B12 ou cobalamine^(12,14), est une vitamine hydrosoluble. Sa principale fonction est la maturation des globules rouges. Elle participe également au bon fonctionnement du système nerveux.

Les besoins journaliers en vitamine B12 sont faibles bien que fondamentaux. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels conseillés sont de 0,4 µg/j. Entre 6 mois et 1 an, ils sont de 0,5 µg par jour. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 0,9 µg par jour.

Cette vitamine est retrouvée quasi-exclusivement dans les produits d'origine animale (abats, poissons gras...). Certaines algues en contiennent en proportion infime ce qui exigerait d'en manger des quantités considérables pour atteindre les objectifs des apports recommandés. Il s'agit donc d'une vitamine à fort risque de carence dans le cadre d'un régime restrictif en aliments d'origine animale⁽¹⁸⁾. Cependant, il n'existe aucune recommandation officielle concernant la supplémentation en vitamine B12 chez l'enfant suivant un régime végétarien ou végétalien. Il conviendra donc d'être vigilant et de faire régulièrement des dosages sanguins de vitamine B12, notamment chez l'enfant qui ne possède pas encore de réserves.

Quand ils sont présents, les signes cliniques d'une carence en vitamine B12 sont similaires à ceux d'une carence en vitamine B9⁽¹⁶⁾: hypotonie, retard de croissance voire régression, irritabilité... Dans les cas les plus sévères, on retrouve une anémie macrocytaire, une atrophie cérébrale, une polynévrite (atteinte des nerfs périphériques)⁽¹⁹⁾.

Un excès de vitamine B12 ne présente que peu de risque de toxicité, même avec de fortes doses et de manière prolongée.

II.5.10. La vitamine C

La vitamine C^(12,14,20) également appelée acide ascorbique, est une vitamine hydrosoluble présentant de multiples fonctions essentielles dans l'organisme :

- Une activité anti-oxydante par piégeage des radicaux libres permettant de limiter le stress oxydatif et donc la destruction des cellules.

- Une action au niveau du système immunitaire en renforçant les défenses vis à vis des infections bactériennes et virales.
- Une amélioration du processus de cicatrisation.
- Un effet vasculo-protecteur.
- Une aide à l'assimilation du fer.

Les besoins de l'enfant, de sa naissance jusqu'à 3 ans sont les mêmes, soit 20 mg par jour.

La vitamine C est très répandue dans les aliments, principalement dans ceux d'origine végétale. Les végétaux les plus riches en vitamine C sont les agrumes, le kiwi, les poivrons, entre autres. Les personnes suivant une alimentation végétarienne ou végétalienne n'ont donc pas de difficultés à trouver des sources alimentaires de vitamine C. Cependant, il s'agit d'une vitamine fragile. En effet, elle est hydrosoluble donc une cuisson de l'aliment à l'eau peut lui faire perdre jusqu'à 60 % de sa teneur en vitamine C. De plus, elle est thermolabile c'est-à-dire sensible à la chaleur donc les fruits ou légumes crus sont à privilégier pour un apport optimal de vitamine C. Enfin, cette vitamine est photosensible, c'est à dire qu'elle est détruite par une exposition prolongée à la lumière. Il convient donc de stocker les aliments à l'abri de la lumière.

Les carences sévères en vitamine C entraînent une maladie nommée scorbut⁽¹⁶⁾. Dans les pays industrialisés, cette pathologie est devenue rare mais elle persiste dans les régions du monde plus défavorisées. Cette pathologie est appelée maladie de Barlow chez l'enfant. Elle se manifeste par des hémorragies, au niveau cutané principalement, mais aussi osseuses. La gingivite hémorragique retrouvée chez l'adulte, est inconstante chez l'enfant, et même absente avant l'apparition des dents. Des douleurs articulaires sont également fréquemment observées. En l'absence de supplémentation, ce déficit peut entraîner à terme le décès de l'individu. Une carence plus modérée en vitamine C se traduit par une asthénie, une perte d'appétit entraînant de fait un amaigrissement.

En cas d'apport excessif en vitamine C, il n'existe pas de risque d'intoxication sévère car l'organisme est capable d'éliminer l'excès par voie urinaire. Cependant, quelques symptômes peuvent apparaître tels que des diarrhées, maux d'estomac ou encore des lithiases rénales.

II.5.11. La vitamine D

La vitamine D est une vitamine liposoluble^(12,14). Elle a un rôle central dans le métabolisme phosphocalcique. En effet, elle est indispensable à l'absorption du calcium et du phosphore au niveau de l'intestin. Nous verrons dans la partie II.6.1 l'importance du maintien d'une calcémie suffisante.

Les besoins de l'enfant, de sa naissance jusqu'à 3 ans sont constants. Des apports journaliers de 10 µg par jour sont appropriés (soit 400UI)⁽¹⁰⁾.

Tout comme la vitamine A, la vitamine D existe sous deux formes : l'ergocalciférol ou vitamine D2, d'origine végétale (essentiellement fabriquée industriellement) et le cholécalciférol ou vitamine D3, d'origine animale (poissons gras principalement) ou produite par synthèse cutanée. En effet, les apports en vitamine D peuvent être satisfaits par l'alimentation mais surtout par une synthèse dermique endogène sous l'effet des rayons ultraviolets du soleil. La forme active de la vitamine D est le 1,25-di-hydroxycholecalciférol, qui est produit après métabolisations hépatique et rénale.

Il est important de suivre le statut vitaminique D, par le dosage plasmatique du 25-hydroxycholecalciférol, car des insuffisances en vitamine D sont fréquentes. Puisque la vitamine D influence le métabolisme calcique, on a donc un retentissement principalement au niveau osseux. Chez l'enfant, cette carence en vitamine D se traduit par un rachitisme⁽¹⁶⁾ dans lequel on observe des déformations du squelette, des fractures spontanées, des troubles de la dentition et un arrêt de la croissance dans les cas les plus graves. Comme nous l'avons vu, la vitamine D alimentaire est quasi-exclusivement retrouvée dans les aliments d'origine animale, et surtout les poissons gras. Ainsi, les enfants suivant un régime végétarien ou végétalien sont a priori plus susceptibles d'être carencés. Cependant en France, il est désormais recommandé de supplémenter systématiquement les nouveau-nés et nourrissons en vitamine D⁽²¹⁾.

- Nourrisson allaité : 1 000 à 1 200 UI par jour jusqu'à l'arrêt de l'allaitement.
- Enfant de moins de 18 mois nourri avec un lait infantile enrichi en vitamine D : 600 à 800 UI par jour.
- Enfant de moins de 18 mois nourri avec un lait non enrichi en vitamine D : 1 000 à 1 200 UI par jour, comme dans le cas d'un allaitement maternel.
- Enfant de 18 mois à 5 ans : 2 doses trimestrielles en hiver (novembre et février) de 80 000 à 100 000 UI.

- Enfant de 1 à 5 ans ayant un régime végétalien : supplémentation toute l'année à raison de 100 000 UI par mois.

Les spécialités médicamenteuses disponibles utilisables chez le nouveau-né et le jeune enfant sont indiquées dans le tableau suivant :

| | Vitamine D2 (origine végétale) | Vitamine D3 (origine animale) |
|---|---|---|
| Vitamine D seule | Stérogyl® ⁽¹⁾ : 400 UI/goutte | ZymaD® goutte : 300 UI/goutte ZymaD® ampoule : 50 000, 80 000, 200 000 UI/ampoule Uvedose® : 100 000 UI/ampoule Adrigyl® : 333 UI/goutte Vitamine D3 bon® : 200 000 UI/ampoule injectable |
| Vitamine D + fluor | | Fluostérol® : 800 UI/dose = 0,25 mL Zyma-Duo® : 150 et 300 ⁽²⁾ UI/goutte |
| Vitamine D + autres vitamines | Uvestérol ADEC® ⁽³⁾ : 1 000 UI/dose = 0,3 mL | |
| <p>(1) Contient 14 mg d'alcool par goutte et ne doit donc pas être administrée pure mais diluée dans du lait, de l'eau ou un jus de fruit.</p> <p>(2) Réservée aux enfants nourris par un lait (maternel ou artificiel) non enrichi en vitamine D</p> <p>(3) Réservée au nouveau-né prématuré</p> | | |

Tableau 2: Spécialités pouvant être prescrites en prévention du déficit en vitamine D chez l'enfant

Une intoxication par excès d'apport en vitamine D n'est pas à exclure. Il est donc important de respecter les doses médicamenteuses prescrites en cas de supplémentation. Les signes d'une hypervitaminose D pouvant apparaître sont des nausées, des vomissements, une perte d'appétit entraînant une perte de poids, et une soif intense.

II.5.12. La vitamine E

La vitamine E^(12,14) est une vitamine liposoluble. Elle est facilement stockée par l'organisme, dans le foie. Elle a principalement un rôle anti-oxydant, tout comme la vitamine C. Elle permet aussi de préserver les globules rouges en évitant leur hémolyse.

Les besoins journaliers augmentent avec l'âge passant de 3 mg d'équivalent tocophérol (ET) par jour jusqu'à 6 mois, pour atteindre 6 mg d'ET par jour entre 1 et 3 ans.

La vitamine E existe sous plusieurs formes, la plus fréquente étant l' α -tocophérol. Elle est assez répandue dans l'alimentation, autant dans les produits d'origine végétale (huiles végétales principalement mais aussi asperges, épinards...) et animale (foie de bœuf et de veau, beurre...).

Les carences en vitamine E⁽¹⁶⁾, en l'absence de toute pathologie sous-jacente, sont très rares du fait de l'ubiquité alimentaire et des stocks hépatiques de cette vitamine. En cas de déficit, les signes observés sont principalement neurologiques (diminution des réflexes, de la force musculaire...) et oculaires (cécité). Toutefois, le nouveau-né, notamment le prématuré, est plus à risque et cette carence en vitamine E peut entraîner une anémie hémolytique. La surcharge en vitamine E est exceptionnelle. En effet, l'organisme est capable de réguler de forts apports, sans qu'ils causent des dommages.

II.5.13. La vitamine K

La vitamine K est une vitamine liposoluble^(12,14) intervenant dans la synthèse et la régulation de quatre facteurs de la coagulation sanguine (facteurs II, VII, IX, X). Elle est également essentielle à la synthèse de l'ostéocalcine, une protéine de la matrice osseuse.

Chez l'enfant, les besoins en vitamine K sont de 5 μ g/j jusqu'à l'âge de 6 mois, de 8,5 μ g par jour entre 6 et 12 mois. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 12 μ g par jour.

Il existe aussi pour cette vitamine deux formes : la vitamine K1 (phylloquinone) est retrouvée dans les légumes verts tels que les choux, les épinards, les salades vertes mais aussi le soja. La vitamine K2 (ménaquinone) est apportée par des aliments d'origine animale (foie, œufs), mais en moins grande quantité que la vitamine K1. La vitamine K2 est également synthétisée de façon endogène par les bactéries intestinales. Cependant, l'intestin étant immature à la naissance, cette synthèse est limitée chez le nouveau-né.

Cette vitamine étant retrouvée principalement dans les végétaux, il y a peu de risque de carence en cas de régime végétarien et végétalien. Cependant, du fait de l'immaturité hépatique du nouveau-né, du faible passage placentaire, de l'immaturité intestinale (peu de synthèse endogène) et du faible taux de vitamine K dans le lait maternel, le nourrisson possède peu de stocks. Le principal risque est la maladie hémorragique du nouveau-né qui se caractérise par des hémorragies digestives, cutanéomuqueuses voire des hémorragies

cérébrales⁽¹⁶⁾. Pour prévenir ce risque, une supplémentation systématique est pratiquée⁽²²⁾. Chez le nouveau-né à terme, sans risque particulier, il faut lui administrer par voie orale 2 mg de vitamine K à la naissance, puis entre le 3^e et 4^e jour de vie et enfin 1 mois après la naissance. La spécialité utilisée est VITAMINE K1 CHEPLAPHARM® 2 mg/0,2 ml NOURRISSONS, sous forme de solution buvable et injectable.

Un excès d'apport en vitamine K doit être vraiment très élevé (au moins 50 fois supérieur aux apports journaliers recommandés) pour être significatif. Les conséquences peuvent être la formation de caillots liée à l'hyper-coagulation ou des troubles hépatiques.

II.6. Les minéraux

II.6.1. Le calcium

Le calcium est le minéral le plus présent dans l'organisme^(12,14,23). Il est en grande majorité (99%) contenu dans les os et les dents et a donc une grande importance dans le développement du squelette de l'enfant. Une faible part du calcium, non moins importante, intervient dans la coagulation sanguine, la physiologie musculaire, le métabolisme hormonal.

Les besoins journaliers en calcium augmentent avec l'âge : entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels préconisés sont de 200 mg par jour. Ils doublent entre 6 mois et 1 an, pour atteindre 400 mg par jour. Enfin, jusqu'à 3 ans, ils sont de 600 mg par jour.

Les produits laitiers sont la principale source de calcium. On en retrouve également dans les fruits secs et certains végétaux mais qui ne sont pas forcément beaucoup consommés (persil, cresson...).

Les carences en calcium ne sont pas rares, surtout dans le cadre d'un régime végétalien strict puisque les individus ne consomment pas de produits laitiers⁽²⁴⁾. Ce déficit peut entraîner une hypocalcémie et à terme des troubles neuro-musculaires. En cas de carence prolongée, des troubles osseux peuvent apparaître et conduire au rachitisme chez l'enfant.

Inversement, en cas d'apport calcique excessif et prolongé, cela peut conduire à des calculs urinaires liés à l'hypercalciurie et à des dépôts de calcium dans le parenchyme rénal.

II.6.2. Le phosphore

Après le calcium, le phosphore est l'élément minéral le plus abondant du corps humain^(12,14). Son rôle le plus important est son implication dans le métabolisme énergétique. Il entre également dans la composition de la trame osseuse (avec le calcium) et celle des phospholipides, constituants des membranes cellulaires.

Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats en phosphore sont de 100 mg par jour. Puis, les besoins journaliers augmentent avec l'âge : ils sont de 300 mg/j entre 6 mois et 1 an, et de 460 mg par jour jusqu'à l'âge de 3 ans.

Le phosphore est largement répandu dans l'alimentation. Les aliments les plus riches en phosphates sont le fromage, le jaune d'œuf, la viande, le poisson et les crustacés, les légumes secs. Du fait de son omniprésence dans les aliments, la carence en phosphore est extrêmement rare si l'alimentation est variée et équilibrée et en l'absence de toute pathologie sous-jacente. Cependant, si un individu applique un régime restrictif en protéines en plus d'un régime ovo-végétarien ou végétalien, il faut être vigilant. En effet, la présence de phosphore dans les aliments est étroitement liée à la présence de protéines. Ainsi, en cas de carence protéique chez l'enfant, une carence en phosphore est à rechercher d'autant plus que ce minéral joue un rôle central dans le processus de croissance osseuse.

II.6.3. Le magnésium

Le magnésium est le troisième minéral le plus présent dans l'organisme^(12,14). Il est impliqué dans la contraction musculaire, la régulation de l'influx nerveux, l'activité et le fonctionnement du système immunitaire en participant à la formation des anticorps, mais aussi le fonctionnement de multiples enzymes.

Les besoins journaliers sont d'environ 25 µg/j entre 0 et 6 mois, pour atteindre 80 µg/j à 1 an. Ils augmentent très légèrement à 85 mg par jour jusqu'à 3 ans.

Les aliments contenant le plus de magnésium sont le cacao en poudre, les céréales complètes, les légumes secs, les fruits oléagineux et les mollusques. Il est à noter que l'absorption du magnésium alimentaire par l'intestin est incomplète ; elle est comprise entre 30 et 60 % du magnésium ingéré.

Des carences magnésiennes peuvent être observées en cas de régime restrictif hypocalorique ou dans certaines maladies. Cette carence en magnésium entraîne des troubles musculaires à type de crampes, tétanie, douleurs musculaires mais aussi une fatigue intense, une anxiété et une émotivité exacerbée. Inversement, les intoxications par excès d'apport alimentaire en magnésium sont très rares du fait de son absorption limitée. Elles sont caractérisées notamment par des troubles digestifs (nausées, vomissements) et des troubles cardiaques.

II.6.4. Le potassium

Bien que présent en faible quantité dans l'organisme, le potassium^(12,14) a une fonction essentielle dans la cellule qui vise à maintenir un équilibre entre les milieux intra et extra-cellulaires. Il tient également un rôle dans les métabolismes glucidique et protéique ainsi que l'excitabilité neuro-musculaire.

Les besoins journaliers en potassium sont importants. Entre 0 et 6 mois, les apports nutritionnels adéquats sont de 400 mg par jour. Ils passent à 800 mg par jour jusqu'à 3 ans.

Le potassium est présent dans de nombreux aliments, et parfois en grande quantité. Les sources principales sont le cacao en poudre, les fruits et légumes secs, les oléagineux, les poissons gras. Le potassium étant fréquent dans l'alimentation, les risques de carence sont faibles en l'absence de toute pathologie sous-jacente ou de prise de médicaments hypokaliémisants (le furosémide notamment). En particulier chez le jeune enfant, des diarrhées et vomissements répétés peuvent entraîner des troubles électrolytiques, et notamment potassiques. Une hypokaliémie peut se traduire par des troubles cardiaques, des troubles musculaires et une grande fatigue⁽²⁵⁾.

Un excès de potassium d'origine alimentaire est rare car il faudrait des apports très conséquents pour entraîner des troubles. Néanmoins, des médicaments (spironolactone...) ou des pathologies peuvent accentuer cette intoxication et conduire à des conséquences graves : troubles cardiaques, faiblesse musculaire, paralysie.

II.6.5. Le sodium

Tout comme le potassium, le sodium^(12,14) est un minéral impliqué dans l'équilibre des liquides intra et extracellulaires. Il tient également un rôle central dans l'excitabilité des cellules musculaires.

Les besoins journaliers en sodium sont de 120 mg/j entre 0 et 6 mois, puis de 170 à 370 mg par jour jusqu'à 3 ans. Le sodium est présent en grande quantité dans les produits transformés tels que les viandes et poissons fumés, la charcuterie, les condiments. De plus, il est apporté par le sel de table que l'on rajoute dans les préparations. Habituellement, dans la population générale, les apports alimentaires sodés sont souvent excédentaires. Il faut donc, dès le plus jeune âge, habituer l'enfant à ne pas manger trop salé. En effet, une alimentation trop riche en sodium a des conséquences cardio-vasculaires, et peut causer à terme une hypertension artérielle. On peut également observer des œdèmes en cas de rétention sodée.

Comme nous venons de le dire, le risque de carence d'apport est hautement improbable.

II.7. Les oligo-éléments

II.7.1. Le fer

Le fer est l'oligo-élément le plus abondant du corps humain^(12,14,26). C'est le constituant essentiel de l'hémoglobine, protéine de transport de l'oxygène dans le sang. Le fer est également présent dans la myoglobine, protéine de stockage de l'oxygène dans les muscles. Enfin, ce métal est impliqué dans de nombreux processus d'oxydo-réduction.

Entre 0 et 6 mois, si le nourrisson est allaité, les apports nutritionnels recommandés en fer sont de 0,3 mg par jour ; ils sont un peu plus importants si l'alimentation est réalisée avec un lait artificiel. Ensuite, quel que soit le type d'alimentation de l'enfant, les besoins journaliers jusqu'à 3 ans s'élèvent à 8 mg, car les réserves sont épuisées et les besoins sont très élevés pour assurer le bon développement de l'enfant.

Dans l'alimentation, le fer est retrouvé sous deux formes : le fer héminique, est contenu dans les produits animaux (viandes, poissons) alors que le fer non héminique, moins

bien absorbé par l'organisme, se retrouve dans les végétaux et les produits laitiers. La mauvaise absorption du fer non héminique s'explique par la présence de phytates dans les produits d'origine végétale qui se lient au métal⁽²⁷⁾.

La carence en fer n'est pas rare, surtout chez les végétariens et végétaliens, et encore plus chez les jeunes enfants car leurs réserves sont faibles⁽²⁸⁾. Elle se traduit par une pâleur, une asthénie, un essoufflement, une mauvaise régulation de la température corporelle, et biologiquement par une anémie.

Un excès de fer est rare mais également nocif pour l'organisme. Chez l'enfant, il peut résulter d'une maladie génétique comme l'hémochromatose ou peut être dû à un excès de supplémentation, même si l'absorption digestive du fer est limitée. Un des premiers symptômes est la fatigue. À terme, la surcharge en fer peut avoir des conséquences vasculaires, digestives et neurologiques.

II.7.2. Le cuivre

Bien que présent en infime quantité dans l'organisme, le cuivre est important pour le bon fonctionnement de nombreuses enzymes^(12,14) impliquées dans les processus d'oxydo-réduction. Le cuivre permet également l'absorption du fer, et intervient dans la formation des globules rouges.

Les besoins journaliers sont constants pendant les 3 premières années de vie de 0,3 mg par jour jusqu'à 1 an à 0,4 mg/j entre 1 et 3 ans.

Les aliments contenant le plus de cuivre sont les foies d'animaux, les mollusques et crustacés, le cacao. Il est présent en moindre quantité dans les légumes secs et les oléagineux. Le risque de carence en cuivre du fait de sa présence dans de nombreux aliments, même en petite quantité, est faible. De plus, les besoins journaliers ne sont pas importants et sont normalement largement couverts par l'alimentation. Dans quelques cas exceptionnels (carence protéique sévère pendant l'enfance, diarrhées profuses du nourrisson), les déficits peuvent se traduire par une anémie, une neuropathie, une myélopathie.⁽²⁹⁾ Une surcharge en cuivre, en l'absence de maladie sous-jacente, n'est pas possible. En effet, l'excédent, est éliminé par voie biliaire.

II.7.3. L'iode

L'iode est principalement impliqué dans la synthèse des hormones thyroïdiennes^(12,14,30). Les besoins de l'enfant, de sa naissance jusqu'à 3 ans sont constants. Des apports journaliers de 90 µg par jour sont appropriés.

Les aliments les plus riches en iode sont les fruits de mer et le poisson. On en retrouve aussi dans quelques végétaux comme les haricots verts, les navets ou les radis. Il est également à noter qu'en France, le sel de table est souvent enrichi en iode ce qui constitue une source non négligeable de cet oligo-élément.

Un déficit chronique d'apport en iode, exceptionnel actuellement, entraîne une diminution de la synthèse d'hormones thyroïdiennes et par conséquent l'augmentation du volume de la glande thyroïde, que l'on appelle un goitre. Un retard mental et des troubles psychomoteurs sont d'autres conséquences de cette carence en iode, et sont d'autant plus importants que le déficit est précoce chez l'enfant.

Un excès d'apport en iode de façon prolongée est également toxique pour l'organisme. Les effets se manifestent directement sur le fonctionnement de la thyroïde mais aussi au niveau rénal et cardiaque.

II.7.4. Le zinc

Bien que le zinc soit présent en faible quantité dans l'organisme, il n'en est pas moins indispensable, intervenant notamment dans l'immunité, la cicatrisation, et les processus de défenses anti-oxydantes^(12,14).

Entre 0 et 6 mois, si le nourrisson est allaité, les apports nutritionnels adéquats en zinc sont de 2 mg par jour ; ils sont un peu plus importants si l'enfant est nourri par un lait artificiel. Puis, quelque soit l'alimentation de l'enfant, les besoins journaliers sont de 4 mg, et ce jusqu'à 3 ans.

Les principales sources de zinc sont les aliments d'origine animale tels que les huîtres, les abats et la viande. On en retrouve également dans les légumes secs et autres végétaux mais en moins grande quantité. De plus, comme avec le fer, les végétaux contiennent des phytates

qui se lie au zinc et limitent son absorption digestive^(27,31). Ainsi, il existe un risque plus élevé de carence en zinc chez les végétariens et végétaliens. Les symptômes d'un déficit d'apport sont une baisse des défenses immunitaires, des troubles cutanés liés entre autres à un défaut de cicatrisation, et un retard de croissance chez l'enfant.

L'intoxication par excès de zinc est rare. Quand elle existe, elle peut à long terme affaiblir les défenses immunitaires, entraîner une anémie et diminuer l'absorption du cuivre⁽³²⁾.

Les différents minéraux et oligo-éléments, ainsi que leurs rôles, leurs sources alimentaires et les conséquences d'une consommation inadaptée sont regroupés en annexe 4.

II.8. Conclusion

Les enfants soumis à un régime végétarien et végétalien sont à risque de carence lipidique, surtout les oméga 3. Par ailleurs, la vitamine B12, la vitamine D, le calcium, le fer et le zinc sont des micronutriments susceptibles de subir un déficit d'apport.

III. Le lait maternel : composition et variabilité liées au régime alimentaire de la mère

Selon les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le lait maternel reste l'aliment privilégié jusqu'à l'âge de 6 mois.

Nous allons maintenant nous intéresser aux composés présents dans le lait maternel (annexe 5) et évaluer l'influence d'un régime restrictif en protéines animales sur leur teneur.

III.1. Composition protéique

Le taux de protéines⁽³³⁻³⁵⁾ est maximum dans le colostrum (supérieur à 2g/100mL), lait produit pendant les cinq premiers jours de lactation ; puis ce taux diminue dans le lait de transition c'est-à-dire au cours de la 2^{ème} et 3^{ème} semaine de lactation. La teneur est encore plus faible dans le lait mature : elle est de 1 g pour 100 mL de lait.

Dans les protéines du lait maternel, on différencie les protéines solubles ou protéines du lactosérum, correspondant à 70% des protéines totales, et les protéines insolubles ou caséines représentées pour 30%. La principale protéine soluble est l' α -lactalbumine (0,32

g/100 mL de lait mature). En revanche, il n'y a pas de β -lactoglobuline, protéine abondante dans le lait de vache et incriminée dans les allergies et les coliques. On retrouve également des immunoglobulines, des lactoferrines, des facteurs de croissance dont nous développerons le rôle dans la partie III.8.1. Les caséines du lait maternel sont beaucoup plus digestes que celles du lait de vache. En effet, elles forment des micelles plus petites ce qui facilite leur assimilation.

Enfin, les acides aminés constituant les protéines sont parfaitement adaptés aux besoins du nourrisson. Les acides aminés « bénéfiques » que sont le glutathion et la taurine, de part leur caractère anti-oxydant sont retrouvés en quantité importante alors que ceux qui seraient potentiellement délétères pour le développement cérébral du nouveau-né (phénylalanine, tyrosine, méthionine) en cas d'anomalies de leur métabolisme, sont présents en faible quantité.

Afin que la composition protéique du lait maternel soit optimale, les apports nutritionnels de la femme allaitante doivent être augmentés. Dans les six premiers mois, il faut ajouter 15 à 19 g de protéines par jour à l'alimentation habituelle. Après 6 mois, les besoins quotidiens sont majorés de seulement 10 à 13 g. Il est tout à fait possible d'obtenir un apport optimal avec une alimentation végétarienne. Cependant, il faut varier les sources protéiques (céréales, légumineuses) pour éviter les carences en acides aminés essentiels. En effet, contrairement aux protéines animales, les protéines végétales ne contiennent pas tous les acides aminés essentiels dans un seul aliment.

III.2. Les composés azotés non protéiques

Les composés azotés non protéiques^(33,34) représentent 20% de l'azote du lait maternel, le reste étant apporté par les protéines. Parmi ces substances, on retrouve l'urée, l'acide urique, des alcools aminés, des polyamines et des nucléotides. Ces derniers sont présents en quantité beaucoup plus importante que dans le lait de vache, ce qui confère au lait maternel des propriétés protectrices sur le plan immunitaire. Il y a également des acides aminés libres dont le taux dépend du statut nutritionnel maternel.

III.3. Les lipides

Le taux de lipides⁽³³⁾ augmente au fur et à mesure de la lactation, et est maximal dans

le lait maternel mature : 3,5 g pour 100 mL. Les lipides constituent la principale source d'énergie pour le nourrisson. Son taux est similaire à celui du lait de vache mais la présence d'une lipase dépendante des sels biliaires dans le lait maternel améliore leur digestion. En effet, la présence de cette enzyme digestive permet de compenser l'immaturation de la lipase pancréatique du nourrisson.

Le lait maternel mature est particulièrement riche en acides gras polyinsaturés à longue chaîne tels que l'acide linoléique (LA) (10% des lipides) et l'acide α -linoléique (ALA) (1%) qui sont des acides gras essentiels respectivement de la famille des $\omega 6$ et $\omega 3$. On retrouve également de l'acide arachidonique (0,5%) et de l'acide docosahexaénoïque (DHA) (0,2 à 1,2%). Ce sont des constituants essentiels des cellules neuronales.

Le cholestérol représente 0,5 % des lipides, il a un rôle important dans la constitution des membranes cellulaires ainsi que dans le développement neuronal.

Afin d'avoir des apports nutritionnels optimaux, les lipides doivent représenter environ 35% des apports alimentaires de la mère allaitante dont 0,5% d'ALA, 4% de LA et une majoration de 100 à 200 mg de DHA par rapport à une femme non allaitante.

Les apports alimentaires de la mère sont déterminants. En effet, la synthèse d'EPA et de DHA à partir d'acide α -linoléique est limitée. Il convient donc de les apporter en quantité suffisante dans l'alimentation. Or, l'EPA et le DHA sont majoritairement retrouvés dans des produits d'origine animale, notamment le poisson. Il conviendra donc d'être vigilant si la femme allaitante suit un régime végétarien ou végétalien. En effet, des études⁽³⁶⁾ ont mis en évidence une quantité plus faible de lipides essentiels dans le lait de femmes végétariennes/végétaliennes comparativement aux femmes omnivores : 62% de DHA et 80% d'EPA en moins dans le lait de femmes allaitantes végétaliennes. Ce taux plus faible de DHA dans le lait a des répercussions sur la proportion de DHA présent dans les phospholipides érythrocytaires des nouveau-nés allaités : ils en contiennent 69% de moins par rapport aux enfants nourris avec du lait de mère omnivore.

Pour conclure, les quantités de DHA et EPA dans le lait maternel de mères végétariennes et végétaliennes sont moins importantes que dans celui de mères omnivores. Une supplémentation en oméga 3 est donc nécessaire. Il existe des compléments alimentaires compatibles avec un régime végétalien, contenant des oméga 3 issus d'une algue marine, *Schizochytrium sp.*

III.4. Composition en glucides

III.4.1. Le lactose

Le lactose⁽³³⁾ est le glucide majoritaire (85%) dans le lait maternel. Son taux augmente au fur et à mesure de la lactation, avec un pic dans le lait mature. Les glucides constituent la deuxième source d'énergie pour le nourrisson après les lipides. Ce nutriment favorise l'absorption de minéraux tels que le calcium ou le fer. Il se comporte également comme un prébiotique en facilitant la colonisation de l'intestin par des bactéries telles que *Lactobacillus bifidus*, bactérie probiotique. Nous développerons ce point dans la partie III.7.2.

III.4.2. Les oligosaccharides

Parmi les carbohydrates, en plus du lactose, de nombreux oligosaccharides^(33,34) sont retrouvés dans le lait maternel alors que ceux-ci sont absents du lait de vache. Ils sont synthétisés dans la glande mammaire à partir du lactose. On retrouve notamment le lactotriose et le 2-fucosyllactose.

Leur rôle est essentiel pour l'écosystème bactérien intestinal. En effet, ces oligosaccharides arrivent intacts dans le colon et deviennent des prébiotiques, indispensables à la croissance des bifidobactéries coliques. Par ailleurs, la fermentation de ces sucres dans le colon libèrent des acides gras à chaîne courte qui constituent une source d'énergie potentielle supplémentaire pour le nourrisson.

Les taux de lactose et d'oligosaccharides du lait, comme l'ensemble des glucides est indépendant du régime alimentaire maternel.

III.5. Teneurs vitaminiques du lait maternel

Le lait maternel constituant l'aliment exclusif des 6 premiers mois de vie de l'enfant, contient toutes les vitamines pour couvrir les besoins et assurer la croissance du nourrisson. Cependant, la teneur en certaines vitamines⁽³³⁾ peut varier en fonction des apports alimentaires de la mère⁽³⁷⁾.

III.5.1. La vitamine A

Lors de l'allaitement, les besoins de la mère sont de 1 à 1,3 mg/j. Le taux de vitamine A dans le lait est dépendant des apports nutritionnels de la mère. Comme on la retrouve également dans de nombreux fruits et légumes sous forme de précurseur (caroténoïdes), ceci ne devrait pas poser de problème de carence pour les mères végétariennes et végétaliennes. Il convient tout de même d'être prudent, notamment car les réserves hépatiques de vitamine A du nouveau-né sont encore faibles donc les apports alimentaires sont déterminants.

III.5.2. Les vitamines du groupe B

La teneur du lait de femme en vitamines du groupe B est dépendant du statut nutritionnel maternel. Généralement, les besoins sont largement couverts par l'alimentation mais un régime alimentaire trop restrictif peut entraîner des carences selon les vitamines considérées.

Les besoins de la femme allaitante en vitamine B1 (0,072 à 0,1 mg/j), B3 (1,3 à 1,6 mg/j), B5 (7 mg/j), B8 (45 µg/j) et B9 (380 à 500 µg/j) sont couverts par l'alimentation quelque soit le régime alimentaire suivi ; il n'y a donc a priori peu de risque que le lait maternel soit carencé.

Concernant la vitamine B2, les besoins de la mère sont de 1,7 à 2 mg par jour afin de ne pas risquer un déficit dans le lait. Les aliments d'origine animale sont les plus riches. Il faut donc faire attention lors d'un régime végétarien et encore plus lors d'un régime végétalien.

Les besoins de la femme allaitante en vitamine B6 sont de 1,4 à 1,7 mg par jour. Cette vitamine est retrouvée dans presque tous les aliments, mais en quantité plus importante dans les produits d'origine animale. De plus, l'organisme ne sait pas la fabriquer et ne stocke pas l'excédent d'apport, donc il convient de s'assurer que les apports alimentaires sont convenables.

Enfin, la vitamine B12 est la plus à risque de carence dans le lait maternel lors d'un régime végétarien. Les besoins nutritionnels minimaux de la femme allaitante sont de 5 µg par jour mais du fait de son origine presque exclusivement animale, les risques de carences en vitamine B12 chez la mère végétarienne ou végétalienne sont élevés. On retrouve ainsi un déficit en vitamine B12 dans leur lait ce qui a des conséquences directes sur la santé du nouveau-né allaité. En effet, contrairement à la mère, le nourrisson n'a pas de réserves

vitaminiques. De plus, son développement cérébral nécessite des quantités importantes de vitamines B12, qu'il ne peut trouver que dans son alimentation. Il est donc indispensable d'informer la mère allaitante sur les risques de carence en vitamine B12, pouvant avoir des conséquences dramatiques chez l'enfant. Une supplémentation peut alors être nécessaire.

Pour illustrer ces propos, le cas d'une petite fille de 9 mois⁽¹⁹⁾, exclusivement nourrie au sein, est admise à l'hôpital pour hypotonie et altération de l'état général. Un dosage sanguin de la vitamine B12 est réalisé et montre un taux de 83 pg/mL, soit bien en dessous de la limite inférieure de 200 pg/mL. Ce déficit vitaminique explique les signes neurologiques retrouvés chez le nourrisson. Des explorations sont menées chez la mère, qui suit un régime végétarien strict (elle ne mange aucun produit d'origine animale). Malgré l'absence de symptômes chez cette femme, il existe une carence en vitamine B12 (concentration sanguine <30 pg/mL). Cette carence s'est donc retrouvée dans le lait maternel et, in fine, chez le nouveau né.

Un cas similaire⁽³⁸⁾ a également été rapporté chez une enfant de 9 mois et demi, nourrie avec le lait de sa mère qui suivait un régime presque exclusivement végétalien. Devant des signes d'asthénie, de retard staturo-pondéral, une pâleur intense, des dosages biologiques sont réalisés. Il est mis en évidence un déficit en vitamine B12 avec une concentration plasmatique inférieure à 200 pg/mL. En reprenant le dossier médical de la mère, celle-ci présentait déjà une anémie macrocytaire à la sortie de la maternité, probablement la conséquence d'une carence en vitamine B12. Ce cas illustre bien l'importance du statut vitaminique de la femme allaitante et son influence sur la teneur en vitamine B12 du lait maternel.

III.5.3. La vitamine C

La concentration en vitamine C dans le lait maternel (4 mg/100 mL) n'est pas influencée par le statut nutritionnel maternel.

III.5.4. La vitamine D

Les besoins de la femme allaitante sont de 15 µg par jour. Les apports sont alimentaires, comme pour les autres vitamines mais les taux sont surtout influencés par l'exposition au soleil. Les sources alimentaires sont variées⁽³⁹⁾: la vitamine D2 est végétale alors que la vitamine D3, la plus efficace, est majoritairement d'origine animale. Le risque de carence en vitamine D du lait maternel, déjà présent en cas de régime « omnivore », est donc majoré lorsque l'alimentation est végétarienne ou végétalienne. De plus, dans les premiers mois de vie, le nouveau-né est peu exposé au soleil donc les apports alimentaires sont décisifs.

Une supplémentation du nouveau-né allaité est donc indispensable à raison de 1000 UI par jour jusqu'à la diversification alimentaire.

III.5.5. La vitamine E

Le régime alimentaire maternel n'a pas d'influence sur la composition en vitamine E du lait de la femme allaitante⁽⁴⁰⁾. Ainsi, il y a peu de risque de carence en vitamine E chez le nouveau-né nourri exclusivement avec du lait de mère végétarienne, excepté s'il présente une pathologie sous-jacente tel qu'un syndrome de malabsorption par exemple.

III.5.6. La vitamine K

Lors de l'allaitement, les besoins nutritionnels de la mère sont de 70 µg par jour. Cependant, on retrouve dans le lait maternel seulement 1 à 2 µg de vitamine K1 pour 100 mL, et ce quels que soient les apports alimentaires de la mère. De plus, en début de vie, la synthèse endogène de vitamine K2 par la flore intestinale est limitée et insuffisante pour compenser le manque de vitamine K alimentaire. Il convient donc de supplémenter le nouveau-né⁽²²⁾ comme décrit dans la partie II.5.13.

Pour illustrer le risque de carence vitaminique, voici le cas d'un nourrisson de 10 mois⁽⁴¹⁾, nourri exclusivement avec le lait de sa mère suivant un régime alimentaire excluant tous les produits d'origine animale. Il est à noter que la diversification alimentaire n'a pas encore été débutée. Des examens biologiques sont réalisés devant un tableau clinique inquiétant : asthénie, pâleur, hypotonie, retard psychomoteur, cassure de la courbe staturo-pondérale. Les examens biologiques mettent en évidence de multiples carences vitaminiques : hypovitaminose A (0,62 µmol/L, normale entre 1,63 et 2,70 µmol/L) ; vitamine B12 effondrée (8 µmol/L) et vitamine D diminuée. On remarque également une diminution des taux de facteurs vitamino-K dépendants, traduisant un déficit en vitamine K. Au vu de ces multiples carences vitaminiques, des investigations sont réalisées chez la mère : des carences en vitamines B12 et D ainsi qu'un taux de vitamine A à la limite inférieure de la normale sont retrouvés. Ce cas reflète donc le risque de carence vitaminique chez un nourrisson allaité par une mère elle-même carencée.

III.6. Les minéraux et oligo-éléments

Globalement, la teneur en minéraux du lait maternel n'est pas affectée par le statut

nutritionnel de la mère et donc par son régime alimentaire^(33,35). Toutefois, en cas d'apports alimentaires faibles en calcium chez la femme allaitante, une diminution des taux de calcium dans le lait maternel a pu être constatée. Il est donc nécessaire de maintenir des apports minimaux de l'ordre de 750 à 1000 mg par jour.

Seule la concentration dans le lait maternel de deux oligo-éléments est influencée par le régime alimentaire de la femme allaitante : l'iode^(35,42) et le sélénium⁽³⁵⁾.

Les concentrations d'iode sont maximales dans le colostrum puis diminuent dans le lait mature pour atteindre 11 µg/100 mL. Les apports lactés sont déterminants pour le nouveau-né, car les réserves à la naissance sont limitées. Ainsi, les besoins nutritionnels de la femme allaitante sont au minimum de 200 µg par jour. En général, ils sont en grande partie assurés par l'utilisation d'un sel enrichi en iode, utilisation indispensable pour les mères pratiquant un régime végétalien. En effet, les principales sources d'iode alimentaire sont le poisson et les fruits de mer, non consommés dans le cadre d'un régime alimentaire restrictif en produits d'origine animale.

Concernant le sélénium, il s'agit d'un oligo-élément présent en très faible quantité dans le lait maternel (2 µg/100 mL) mais essentiel. Le sélénium est connu pour son activité anti-oxydante mais aussi pour son rôle dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes. Les besoins de la femme enceinte sont de 85 µg par jour. On en retrouve principalement dans les fruits de mer, les abats et les œufs. Les végétariens et végétaliens peuvent en trouver dans les légumes secs et les céréales mais la teneur y est plus faible que dans les produits d'origine animale. Il convient donc d'être vigilant, d'autant plus que les végétaux sont plus ou moins riches en sélénium selon le sol sur lequel ils poussent.

III.7. Les composants protecteurs

Les facteurs bio-actifs^(33,43,44) présents dans le lait maternel sont indispensables au nouveau-né dont le système immunitaire mais aussi le tube digestif sont immatures. On les retrouve en quantité importante dans le colostrum. Leur quantité et leur qualité ne sont pas influencées par le régime alimentaire de la mère. Leurs fonctions sont résumées dans un tableau en annexe 6.

III.7.1. Les facteurs bio-actifs anti-infectieux et les composants immunomodulateurs

Un certain nombre de protéines présentes dans le lait exercent des effets anti-infectieux et ont une influence sur le système immunitaire :

Les immunoglobulines (Ig) sont des glycoprotéines participant à la protection contre les pathogènes environnementaux. Dans le lait maternel, sont présents des IgD, IgE, IgG, IgM mais surtout des IgA (90% des immunoglobulines). Ces dernières sont produites par les cellules B bronchiques et intestinales de la mère, et migrent dans les glandes mammaires pour être ensuite sécrétées dans le lait.

La lactoferrine est une glycoprotéine de la famille des transferrines transportant le fer. Elle possède des propriétés anti-infectieuses faisant intervenir différents mécanismes d'action :

- Une activité bactériostatique par chélation du fer pour les germes sidérophiliques.
- Une activité bactéricide faisant intervenir son domaine N terminal (lactoferricine).
- Et enfin, une activité antivirale en particulier sur le virus de l'immunodéficience humaine (HIV), le cytomégalovirus (CMV) et le virus herpès simplex (HSV). La lactoferrine agit en empêchant l'adsorption et la pénétration du virus dans les cellules de l'organisme.

Elle possède également une activité immunomodulatrice en activant les cellules NK, cellules de l'immunité innée capables de tuer les cellules tumorales et les cellules infectées. Les cellules NK participent également à l'immunité adaptative en sécrétant des cytokines. Enfin, la lactoferrine active le système du complément qui est un groupe de protéines de l'immunité innée participant à l'élimination des pathogènes.

Le lysozyme est une protéine enzymatique qui réduit l'effet endotoxique des bactéries en se liant aux lipopolysaccharides (LPS) bactériens et en lysant la paroi bactérienne. Il augmente également la production d'IgA, immunoglobuline essentielle du système immunitaire intestinal, et active les macrophages.

La caséine kappa (K-caséine) empêche l'adhésion de germes comme *Helicobacter pylori* à la muqueuse gastrique ainsi que de *Haemophilus influenza* et *Streptococcus pneumoniae* à la muqueuse respiratoire .

Les casomorphines sont des protéines issues de la digestion de la caséine par des protéases. Elles ont une action immunostimulante.

La prolactine est une hormone peptidique ayant de nombreuses actions, notamment

dans le développement du système immunitaire : maturation et induction des fonctions des lymphocytes, activation des cellules T dépendante des macrophages, et rôle dans l'activité des cellules NK.

Les cytokines et chimiokines communiquent avec les cellules pour influencer l'activité immunitaire. Les TGF- β sont les cytokines les plus abondantes. Elles régulent l'inflammation et aident à prévenir les maladies allergiques. Le G-CSF a des bénéfices sur le développement intestinal. Les cytokines IL-10 et IL-7 influencent le développement du thymus. Des cytokines pro-inflammatoires telles que l'IL-6, l'IL-8, le TNF- α , l'IFN- γ sont également retrouvées. Elles sont engagées notamment dans le recrutement des polynucléaires neutrophiles et participent au développement de la barrière intestinale.

En dehors des protéines, d'autres substances de nature glucidique, lipidique ou nucléotidique participent à l'immunomodulation et à l'activité anti-infectieuse :

Les oligosaccharides et glycoconjugués, de part leur structure, miment les récepteurs aux antigènes bactériens et viraux. Ainsi, ils constituent un leurre pour les bactéries et virus qui s'y fixent, empêchant ainsi leur adhérence aux muqueuses.

Les acides gras libres sont issus de l'hydrolyse stomacale des triglycérides. Ces acides gras lysent les enveloppes des bactéries, des virus, et des organismes protozoaires.

Les nucléotides tels que l'adénosine, l'inosine, la guanosine activent la réponse immunitaire grâce à leur rôle de messagers, de co-enzymes et de transporteurs d'énergie.

Enfin, **des cellules** présentes dans le lait participent à l'immunomodulation. Elles sont représentées majoritairement par des polynucléaires et des macrophages (80 à 90%) mais aussi des lymphocytes (10%) et quelques cellules épithéliales. Les macrophages ont un rôle essentiel dans la sécrétion des facteurs solubles (lactoferrine, lysozyme, protéines du complément) ; ils ont également un effet bactéricide en phagocytant des agents pathogènes.

III.7.2. Les probiotiques et prébiotiques

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants tels que les levures ou les bactéries qui ont un effet bénéfique sur la flore commensale intestinale. Le lait maternel contient principalement deux catégories de bactéries, les bifidobactéries et les lactobacilles, qui vont coloniser le tube digestif du nouveau-né. En quantité moins importante, il y a aussi des entérocoques, des streptocoques et des staphylocoques permettant ainsi de compléter la

flore.

Les prébiotiques présents dans le lait maternel sont représentés par les sucres tels que les oligosaccharides qui sont métabolisés par la flore résidente du colon permettant ainsi la libération d'acides gras à chaîne courte. Ces derniers entraînent une diminution du pH intestinal (acidification) et créent un milieu favorable à la croissance des bifidobactéries. Le lactose est un autre sucre qui favorise le développement des bifidobactéries. D'autres composants comme la K-caséine, la lactoferrine, et les nucléotides sont des promoteurs de la croissance et de l'activité des bactéries.

III.7.3. Les substances anti-inflammatoires

Tout d'abord, **les cytokines** ont un rôle majeur dans la régulation de l'inflammation. C'est le cas notamment de l'IL-10, qui réprime l'action des cellules Th1, cellules pro-inflammatoires.

La prostaglandine E est également retrouvée dans le lait maternel. Elle est stimulée lors d'une inflammation, et agit par cytoprotection. Par ailleurs, il existe également des **inhibiteurs de protéases** qui ont un rôle préventif vis-à-vis de l'activité inflammatoire potentielle de la trypsine, de la chymotrypsine et de l'élastase. Enfin, **des facteurs de croissance** tels que l'EGF, le TGF- α et le TGF- β ont une activité anti-inflammatoire.

III.7.4. Les enzymes digestives

Le lait maternel contient une **lipase dépendante des sels biliaires** et de l'amylase. Ces enzymes aident à la digestion du lait maternel. En effet, ces deux enzymes ne sont pas présentes ou immatures chez le nouveau-né. Ainsi, sans elles, la digestion des graisses et des sucres est médiocre.

III.7.5. Les acteurs trophiques au niveau de la muqueuse intestinale et les facteurs de croissance

La lactoferrine améliore le développement intestinal et le renouvellement des cellules intestinales en cas de dommage.

Les acides gras à chaîne courte sont une source énergétique pour la croissance des

cellules coliques. Ils proviennent de la transformation des oligosaccharides du lait maternel.

Les facteurs de croissance exercent une forte influence sur la croissance et la fonction des cellules de la muqueuse intestinale. L'EGF participe à la maturation de la muqueuse intestinale. L'IGF est important pour la croissance des tissus intestinaux, notamment après un stress oxydatif. Le VEGF est un facteur de croissance régulant l'angiogenèse qui permettrait de limiter les rétinopathies chez les nouveau-nés prématurés allaités. Enfin, les facteurs de croissance neuronaux comme le BDNF et le GDNF, qui sont présents dans le lait maternel jusqu'à 3 mois après le début de la lactation, participent au développement du système nerveux entérique, encore immature à la naissance.

L'érythropoïétine est une hormone permettant la croissance des cellules sanguines de la lignée rouge. Elle est aussi impliquée dans le développement intestinal. Par ailleurs, **les hormones régulatrices de croissance** que sont la calcitonine et son précurseur la procalcitonine, ainsi que la somatostatine du lait maternel ont un rôle important, respectivement dans le développement du système nerveux entérique et dans la croissance des cellules épithéliales gastriques même si les mécanismes ne sont pas complètement élucidés. De plus, **les hormones contrôlant le métabolisme**, l'adiponectine et la lectine, jouent un rôle sur le poids du nourrisson et son Indice de Masse Corporel (IMC) en contrôlant l'appétit et la conversion énergétique des nutriments.

IV. Les préparations pour nourrissons et préparations de suite

Les laits infantiles « 1^e âge » et « 2^e âge » sont une alternative à l'allaitement maternel. Pour être compatibles avec un régime végétarien et végétalien, certaines formulations dans lesquelles les protéines animales ont été remplacées par des protéines d'origine végétale sont disponibles et permettent de répondre aux besoins du nourrisson.

IV.1. Les laits infantiles à base de protéines de riz

Les laits infantiles à base de protéines de riz constituent la première alternative à l'allaitement maternel, dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Leur composition suit la réglementation de la directive européenne 2006/141/CE⁽⁴⁵⁾, comme tous les laits infantiles. La part protéique est apportée par le riz, céréale ne contenant pas tous les acides

aminés essentiels. Il convient donc d'enrichir ces préparations en lysine, thréonine et tryptophane pour obtenir un apport optimal, tel qu'il le serait avec le lait maternel⁽⁴⁶⁾.

Ces formules sont aussi bien tolérées que les laits infantiles à base de protéines de lait de vache, aussi bien chez le nourrisson présentant une affection que chez les enfants sains⁽⁴⁷⁾ et peuvent donc être consommées dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Cependant, pour que ces préparations puissent être compatibles avec un régime végétalien, il ne suffit pas d'annoncer l'absence de protéines de lait de vache. Il faut également qu'aucun autre composant soit d'origine animale. Plusieurs éléments sont donc à prendre en considération :

- La provenance des lipides⁽¹³⁾ : les AGS sont souvent apportés par l'huile de palme, huile végétale ce qui ne pose donc pas de problème. Les AGMI sont également apportés par les huiles végétales, ce qui est donc compatible avec un régime végétalien. Les AGPI sont en général produits industriellement : l'ARA à partir d'un champignon microscopique et le DHA à partir d'une algue. Parfois, le DHA est issu des huiles de poissons, donc dans ce cas incompatible avec un régime végétalien.
- La vitamine B12 : dans les laits infantiles classiques à base de protéines de lait de vache, la vitamine B12 est en général issue de produits d'origine animale. Pour les préparations végétaliennes, la vitamine B12 est souvent produite industriellement par des micro-organismes tels que *Propionibacterium freudenreichii*, *Rhodopseudomonas protamicus* ou *Propionibacterium hermannii*.

Il existe actuellement quatre gammes de laits infantiles à base de protéines de riz commercialisées:

- Novalac® riz⁽⁴⁸⁾ : il s'agit d'un lait végétarien commercialisé par le laboratoire Novalac®, à base de protéine de riz hydrolysées. Ce lait infantile est enrichi en vitamines d'origine animale donc on ne peut pas considérer qu'il soit compatible avec un régime végétalien.
- Modilac® expert riz⁽⁴⁹⁾ : le laboratoire Modilac® a récemment remis sur le marché une gamme de lait infantile à base d'hydrolysats partiels de protéines de riz. Ces préparations pour nourrissons sont enrichies en vitamine D issue de la laine de mouton. Elles ne sont donc pas végétaliennes mais simplement végétariennes.
- Gamme BébéM® à base de protéines de riz⁽⁵⁰⁾ : le groupe LA MANDORLE a développé une gamme de laits 1^e âge, 2^e âge et 3^e âge compatible avec un régime

strictement végétalien. En effet, tous les composants sont d'origine végétale ou synthétisés industriellement à partir de végétaux. Par exemple, les acides gras $\omega 3$ à longue chaîne (EPA et DHA) sont issus d'une algue marine ; la vitamine B12 est une vitamine de synthèse. Cette gamme est enrichie en lysine et tryptophane, deux acides aminés essentiels peu retrouvés dans les hydrolysats de protéine de riz.

- Prémiriz^{®(51)}: il s'agit d'une gamme de laits infantiles strictement végétaliens, développés par le laboratoire Prémibio[®]. En effet, aucun composant ne provient de l'animal. En effet, même le DHA, habituellement issu des huiles de poissons, est extrait de l'algue *Schizochytrium sp.* Ces préparations sont également enrichies en lysine et tryptophane, comme cela est recommandé pour les laits infantiles à base de protéines de riz.

IV.2. Les laits infantiles à base d'isolats de protéines de soja

Les laits infantiles à base d'isolats de protéines de soja constituent la seconde alternative à l'allaitement maternel dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Certes, leur mise sur le marché est plus ancienne mais ils sont aujourd'hui beaucoup moins vendus et consommés. Comme les laits infantiles à base de protéines de lait de vache, leur composition est encadrée par la directive 2006/141/CE⁽⁴⁵⁾. Cependant, ces préparations doivent répondre à des normes spécifiques par rapport à celles s'adressant aux préparations à base de lait de vache.

IV.2.1. Composition des préparations pour nourrissons

Tout d'abord, par rapport aux formules classiques à base de lait de vache, la quantité minimale de protéines est supérieure dans les préparations à base d'isolats de protéines de soja pour compenser une moins bonne digestibilité des protéines végétales et donc une biodisponibilité plus faible que les protéines animales⁽⁵²⁾. La teneur minimale en protéines est de 2,25 g pour 100 kcal alors qu'elle est de 1,8 g pour 100 kcal pour les préparations à base de lait de vache. Il faut être vigilant à la teneur en méthionine, un acide aminé essentiel faiblement présent dans le soja. Un enrichissement du lait est parfois nécessaire afin que sa quantité atteigne au minimum 23 mg/100 kcal, comme dans les préparations à base de protéines de lait de vache. Il faut également parfois enrichir ces laits en L-carnitine et en

taurine afin que leurs taux atteignent ceux du lait de femme⁽⁵³⁾.

Concernant la teneur en minéraux et oligo-éléments, deux spécificités sont à noter. La teneur en fer est majorée par rapport aux préparations à base de protéines de lait de vache : elle doit être comprise entre 0,45 et 2 mg pour 100 kcal alors que dans les autres laits infantiles elle doit être entre 0,3 et 1,3 mg pour 100 kcal. En effet, les phytates du soja peuvent interférer avec l'absorption du fer et diminuer sa biodisponibilité. La quantité de phosphore doit également être augmentée : dans les préparations à base de soja, sa teneur doit être entre 30 et 100 mg pour 100 kcal alors que dans les préparations à base de protéines de lait de vache, elle doit être comprise entre 25 et 90 mg pour 100 kcal.

IV.2.2. Composition des préparations de suite

Tout comme les préparations pour nourrissons, la teneur minimale en protéines des préparations de suite est plus élevée, soit 2,25 g pour 100 kcal contre 1,8 g pour 100 kcal dans les préparations à base de protéines de lait de vache. La quantité de méthionine dans les préparations à base de soja doit elle aussi être au moins égale à celle des préparations à base de protéines de lait de vache. L'enrichissement en L-carnitine et en taurine est également valable pour les préparations de suite.

Les quantités de fer doivent aussi être majorées : 0,9 - 2,5 mg pour 100 kcal dans les préparations à base de soja contre 0,6 - 2 mg pour 100 kcal dans les préparations à base de protéines de lait de vache. Il en est de même pour le phosphore : 30 - 100 mg/100 kcal contre 25 - 90 mg/100 kcal.

Une particularité importante des laits infantiles à base de protéines de soja est leur richesse en phyto-œstrogènes. Ce sont des composés naturellement présents dans les végétaux, et plus particulièrement dans les légumineuses dont le soja. Les phyto-œstrogènes principalement contenus dans le soja sont des isoflavones⁽⁵³⁾. Ils ont une structure similaire au 17- β -œstradiol, une hormone féminine, et pourraient donc interagir avec l'activité œstrogénique physiologique^(54,55). Ce sont donc ces composés qui sont au centre des préoccupations du fait de leurs effets perturbateurs endocriniens potentiels que nous allons aborder dans la partie qui suit.

IV.2.3. Les effets de l'exposition à des laits infantiles à base de soja

Un des premiers effets étudiés des laits infantiles de soja a été celui sur le système reproducteur^(54,56). Chez l'animal, il a été observé des conséquences négatives des phyto-œstrogènes sur la reproduction telles que des anomalies de la spermatogenèse et de la maturation des follicules ovariens. Mais, chez l'Homme, aucun de ces effets n'a été retrouvé de façon significative, excepté un léger allongement de la durée des menstruations, ainsi qu'un inconfort plus important pendant cette période. Dix huit pour cent des femmes ayant été alimentées pendant leur enfance avec un lait à base de soja rapportaient des menstruations extrêmement douloureuses contre 11,2 % des femmes nourries avec un lait classique à base de protéines de vache.

Une autre préoccupation liée à l'ingestion de phyto-œstrogènes concerne leur effet potentiel sur le système nerveux central⁽⁵⁴⁾. Plusieurs études ont été menées, que ce soit sur des nourrissons, des enfants ou des adultes ayant été alimentés avec des laits infantiles à base de soja. Aucun effet négatif n'a été rapporté que ce soit sur la valeur du quotient intellectuel, l'apprentissage, le comportement, ou l'état émotionnel des sujets.

Par ailleurs, l'effet des phyto-œstrogènes sur le système immunitaire a également été examiné. Les études les plus récentes⁽⁵⁴⁾ ne montrent pas d'effet significatif sur le statut immunitaire des personnes nourries avec des laits infantiles à base d'isolats de protéines de soja. Les taux sériques d'IgG et d'IgA ne sont pas significativement différents de ceux des personnes ayant été nourries avec un lait infantile à base de protéines de lait de vache.

Enfin, la dernière préoccupation concerne les effets sur la thyroïde⁽⁵⁴⁾. Depuis que les laits infantiles à base de soja sont supplémentés en iode, on n'observe plus de conséquences significatives sur le fonctionnement de la glande thyroïdienne.

En conclusion, il n'existe pas de risque avéré pour la santé à consommer un lait infantile à base de soja par rapport à une préparation à base de protéines de lait de vache. Leur composition qualitative est encadrée afin d'apporter tous les nutriments, les minéraux, les oligo-éléments et les calories nécessaires au bon développement de l'enfant. Ces laits infantiles peuvent donc être consommés dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Cependant, depuis quelques années en France, plus aucun lait infantile à base de soja n'est

commercialisé. À l'étranger, certaines gammes sont encore disponibles : par exemple, le laboratoire SMA nutrition® distribue la gamme SMA® WySoy® au Royaume-Uni⁽⁵⁷⁾; Humana® commercialise une gamme sans lactose à base d'isolats de soja en Allemagne⁽⁵⁸⁾.

IV.3. Les jus végétaux et les dangers de leur utilisation chez le nourrisson

Depuis quelques années, de nombreuses boissons végétales, parfois appelées abusivement « laits végétaux », ont été commercialisées. Leur utilisation non adaptée chez le nouveau-né n'est pas sans risque et a déjà conduit à des issues dramatiques⁽⁵⁹⁾. Il convient donc de faire un point sur leur composition nutritionnelle ainsi que leur place dans l'alimentation du nourrisson et de l'enfant.

IV.3.1. Composition nutritionnelle des boissons végétales

D'un point de vue nutritionnel, il existe 3 catégories de jus végétaux :

Les boissons à base d'oléagineux : il s'agit notamment du lait d'amande (seule boisson avec le lait de coco pouvant réglementairement être appelée « lait »), ainsi que des jus de noix, noisettes, cacahuètes, pistaches et de chanvre.

Les boissons issues de légumineuses et de protéagineux : on retrouve par exemple le jus de soja ou de pois chiches.

Les boissons à base de céréales dans lesquelles sont utilisées notamment l'avoine, l'épeautre, l'orge, le riz, le seigle, le millet, le kamut ou le blé.

Si l'on compare la composition nutritionnelle des boissons végétales à celle des préparations pour nourrissons ou enfants en bas âge, on constate que⁽⁴⁵⁾ :

D'un point de vue énergétique, suivant la boisson végétale, l'énergie apportée varie de 20 kcal à 55 kcal pour 100 g (soit environ 100 mL) c'est à dire en deçà des 60 kcal pour 100 mL exigés pour les préparations pour nourrissons et préparations de suite.

La teneur en protéines des jus végétaux est également très variable. Elle peut être très faible dans le jus de riz (<0,46g/100g soit < 0,86g/100kcal) ou très importante comme par exemple dans le jus de soja (3,31g/100g soit 8,9g/100kcal). Ainsi, la boisson peut être hypo-

protéinée/hypoprotidique, la limite minimum étant de 1,8g/100kcal pour les préparations pour nourrissons, ou trop riche en protéines (la teneur maximale autorisée en protéines est de 3g/100 kcal dans les préparations pour nourrissons).

Comme pour la teneur en protéines, **l'apport glucidique** est variable, allant de 0,7g/100g dans le jus de soja (1,89g/100kcal) à 10,8g/100g dans le jus de riz (20,1g/100kcal). En comparaison, la teneur en glucides d'une préparation pour nourrisson ou d'une préparation de suite doit être comprise entre 9 et 14 g pour 100 kcal.

La teneur en lipides est généralement comprise entre 1 et 2 g/100 g de boisson végétale (soit entre 1,86 et 5,39 g/100kcal). Suivant le jus considéré, il peut être bien en dessous de la teneur en lipides préconisée pour les préparations de suite ou les préparations pour nourrisson qui est de 4 à 6 g/100kcal

Les apports de minéraux et oligo-éléments sont très variables d'une boisson à l'autre et d'un composant à l'autre.

Un élément important à prendre en considération est le rapport calcium sur phosphore (Ca/P) car le calcium est un minéral à risque de carence dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien. Malheureusement, ce rapport est rarement indiqué sur les étiquettes des boissons végétales et la quantité de phosphore n'est pas toujours mentionnée. Si on calcule ce rapport pour le jus de soja, il est de 0,24 et de 0,5 pour le jus de riz, ce qui est bien en dessous de la limite inférieure qui est de 1 pour les préparations pour nourrissons et les préparations de suite. Cela s'explique par une quantité de calcium très faible dans les boissons végétales : le jus de riz par exemple contient seulement 9,3 mg de calcium/100 kcal alors que la teneur minimale pour un lait infantile est de 50 mg/100 kcal.

Les boissons végétales sont souvent trop riches en sodium. C'est le cas par exemple du jus de soja (65,5 mg de sodium/100 kcal). La teneur maximale autorisée en sodium dans les préparations infantiles est de 60 mg/100 kcal.

Par ailleurs, un oligo-élément important à prendre en compte est le zinc. Les quantités sont faibles dans les boissons végétales : 0,44 mg/100 kcal dans le jus d'amande, 0,78 mg/100 kcal dans le jus de soja et 0,09 mg/100 kcal dans le jus de riz. Dans les préparations pour nourrissons et préparations de suite, le taux doit être compris entre 0,5 mg et 1,5 mg/100 kcal. On comprend donc que la consommation exclusive de boissons végétales peut mener à des carences zinciques.

Enfin, les apports en fer sont importants car ils ont une grande influence dans le métabolisme. Ils sont très variables d'une boisson à l'autre, selon le végétal considéré. Ainsi, le jus de soja apporte 1,1 mg de fer pour 100 kcal alors que le jus de riz seulement 0,02 mg/100 kcal. Sachant que les normes européennes pour les préparations infantiles oscillent entre 0,3 mg et 2 mg pour 100 kcal, les besoins du nourrissons peuvent être couverts ou non.

Les apports vitaminiques ne sont malheureusement pas toujours indiqués, en particulier pour les vitamines A, B12, D et E. En effet, la vitamine A n'est mentionnée dans aucune des boissons communément utilisées. Concernant la vitamine B12, la teneur est indiquée seulement pour le jus de soja : il n'en contient pas.

La teneur en vitamine D des boissons végétales est faible : elle est nulle dans le jus d'amande, inférieure à 1,34 µg/100 kcal dans le jus de soja et inférieure à 0,46 µg/100kcal dans le jus de riz. Or, la réglementation impose un minimum de 1µg de vitamine D pour 100 kcal dans les laits infantiles. Une consommation exclusive de boissons végétales chez le nourrisson pourrait donc entraîner un déficit en vitamine D.

Par ailleurs, les quantités de vitamine C sont très faibles par rapport aux normes requises pour les préparations pour nourrissons ou préparations de suite. En effet, la teneur dans les laits infantiles doit être comprise entre 10 et 30 mg/100 kcal. Or, dans le jus de soja, elle est seulement de 2,69 mg/100 kcal et encore plus basse dans le jus de riz (0,93 mg/100 kcal).

La concentration en vitamine E des boissons végétales est également variable mais toujours trop basse par rapport aux apports nécessaires à un nouveau-né. Il en est de même pour la vitamine K même si certains jus végétaux sont plus riches que d'autres : le jus de soja par exemple contient 10,27 mg de vitamine K/100 kcal ce qui est convenable pour couvrir les besoins du nourrisson.

La composition nutritionnelle de 3 boissons végétales parmi les plus consommées en France est rapportée dans le tableau ci-dessous :

| Composition pour 100 g | Jus d'amande | Jus de soja | Jus de riz |
|-------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Énergie (kcal) | 22,5 | 37,1 | 53,7 |
| Eau (g) | 96 | 93 | 87,6 |
| Protéines (g) | 0,6 | 3,31 | < 0,46 |
| Glucides (g) | 1,45 | 0,7 | 10,8 |
| Lipides (g) | 1,5 | 2,07 | 1 |
| Calcium (mg) | 7 | 12 | 5 |
| Sodium (mg) | 0 | 24,3 | 29,5 |
| Chlorure (mg) | / | 7 | 51 |
| Cuivre (mg) | / | 0,1 | <0,01 |
| Fer (mg) | / | 0,41 | 0,01 |
| Iode (µg) | / | <20 | <20 |
| Magnésium (mg) | / | 16 | 3,3 |
| Manganèse (mg) | / | 0,19 | 0,03 |
| Phosphore (mg) | / | 50 | 10 |
| Potassium (mg) | / | 110 | 16 |
| Sélénium (µg) | / | <50 | <20 |
| Zinc (mg) | 0,1 | 0,29 | <0,05 |
| Vitamine B1 (mg) | 0,01 | 0,025 | <0,015 |
| Vitamine B2 (mg) | 0,01 | 0,01 | <0,01 |
| Vitamine B3 (mg) | 0,1 | 0,18 | 0,18 |
| Vitamine B5 (mg) | / | 0,058 | 0,15 |
| Vitamine B6 (mg) | 0 | 0,034 | <0,01 |
| Vitamine B9 (mg) | 1 | 26,1 | <5 |
| Vitamine B12 (µg) | / | 0 | / |
| Vitamine C (mg) | / | 1 | <0,5 |
| Vitamine D (µg) | 0 | <0,5 | <0,25 |
| Vitamine E (mg) | 0,69 | 0,11 | 0,48 |
| Vitamine K1 (µg) | / | 3,81 | <0,8 |

Tableau 3: Composition de boissons végétales, table Ciquel ANSES⁽⁶⁰⁾

En résumé, nous venons de voir que la composition nutritionnelle des boissons végétales n'est pas adaptée aux nouveau-nés et aux enfants en bas-âge. Leur utilisation en complément ou en remplacement d'une préparation pour nourrisson ou d'une préparation de suite peut avoir des conséquences néfastes sur la santé de l'enfant en engendrant des carences nutritionnelles importantes.

IV.3.2. Conséquences de l'utilisation inadaptée de jus végétaux : à propos de deux cas

Le premier cas rapporté dans la littérature⁽⁶¹⁾ fait état d'un enfant de 9 mois ayant été allaité exclusivement pendant les 6 premiers mois de vie. Puis, le relais a été réalisé à l'aide d'une préparation pour nourrisson classique, à base de protéines de lait de vache (PLV). Devant une suspicion d'allergie aux PLV, cette alimentation a été remplacée par une boisson à base de riz, sur conseils d'un naturopathe. Pendant 2 mois, l'enfant a été nourri de façon quasi exclusive avec ce jus végétal ; la diversification alimentaire apportait l'équivalent une dizaine de cuillères à café de fruits et de légumes par jour. On peut donc dire que le régime alimentaire était végétalien strict. Le nourrisson a été hospitalisé pour des œdèmes révélant des troubles hydro-électrolytiques. Il présentait également une ascite, conséquence d'une hypoalbuminémie majeure à 7g/L (valeur normale entre 35 et 45 g/L). Ceci s'explique entre autre par le faible apport protéique de la boisson à base de riz : sa teneur est de 0,1g de protéines pour 100 mL ce qui correspond à un apport journalier d'environ 8 grammes de protéines. On est donc en deçà des apports recommandés qui sont de 9-11 grammes de protéines par jour. Après disparition des œdèmes, le rapport poids/taille, un critère de dénutrition en pédiatrie, a été mesuré : il était de 79,7 % mettant en évidence une dénutrition moyenne (<80%). Cette malnutrition par carence en protéines est caractéristique du syndrome de Kwashiorkor. Parallèlement, une carence en fer a été décelée : le taux de fer sérique était de 3 µmol/L, en deçà de la limite inférieure de 11 µmol/L. Cette carence en fer a des conséquences sur l'hémoglobine dont le fer est un des constituants principaux : l'hémoglobinémie était abaissée à 100 g/L (valeurs normales : 120-135 g/L) traduisant une anémie. Cette malnutrition a entraîné l'hospitalisation de l'enfant pendant 47 jours, et une renutrition progressive et adaptée a permis une normalisation de l'état de santé du nourrisson.

Dans le 2^e cas⁽⁵⁹⁾, il s'agit d'un enfant de 7 mois, alimenté pendant 6 mois avec une boisson végétale à base de riz. Il est hospitalisé notamment pour une hypoalbuminémie importante à 19,8 g/L mise en évidence suite à l'apparition de signes cliniques à type d'œdèmes. Un infléchissement des courbes de poids et de taille est également observé, expliqué par les trop faibles apports caloriques dus à une alimentation de longue durée exclusivement à base de jus végétaux. Une anémie est diagnostiquée par un dosage de l'hémoglobine (8,7 g/dL pour un seuil de 11 g/dL⁽⁶³⁾). Des carences vitaminiques sont également découvertes : l'enfant présente une hypovitaminose A à 110 µg/L pour des valeurs normales entre 400 et 800 µg/L et une hypovitaminose E à 6 mg/L pour des normes entre 8 et

12 mg/L. Le taux de prothrombine est abaissé à 44 % avec également une diminution des co-facteurs dépendants de la vitamine K, évoquant une hypovitaminose K. Enfin, une carence en zinc (zincémie à 3,9 $\mu\text{mol/L}$ alors que la limite inférieure est de 14 $\mu\text{mol/L}$) a conduit à des lésions cutanées sévères au niveau du siège. L'état de santé critique de ce nourrisson a nécessité une re-nutrition par voie parentérale, ce qui a permis une reprise de la croissance et une normalisation des paramètres biologiques.

Comme l'illustrent les 2 cas ci-dessus, les boissons végétales ne sont pas adaptées aux besoins nutritionnels des nouveau-nés et des nourrissons. Il ne faut donc pas se fier aux étiquetages et allégations qui peuvent être trompeurs pour le consommateur montrant des photos de bébés ou indiquant « demander l'avis du médecin pour utiliser ce produit dans l'alimentation du bébé ». Si les parents souhaitent apporter une alimentation végétarienne/végétalienne à leur enfant, ils ne doivent en aucun cas utiliser ces jus végétaux mais utiliser les préparations pour nourrissons à base de protéines de riz ou de soja.

V. La diversification alimentaire dans le cadre d'un régime restrictif en produits d'origine animale

La diversification alimentaire est l'introduction dans l'alimentation d'autres aliments, en plus du lait maternel ou des préparations infantiles. Cette diversification ne doit pas être débutée avant l'âge de 4 mois car le système digestif, les fonctions métaboliques et rénales de l'enfant ne sont pas assez matures⁽⁶⁴⁾. Suivant les comités scientifiques, l'âge du début de la diversification alimentaire varie entre 4 et 6 mois. Selon l'OMS, l'allaitement maternel exclusif est conseillé jusqu'à 6 mois. À partir de cet âge, le lait de femme ne couvre plus suffisamment les besoins de l'enfant, notamment ceux en énergie, protéines, vitamine A et D, fer et zinc⁽⁶⁵⁾. Il faut alors introduire d'autres aliments, suivant un ordre, en quantités croissantes. La texture des repas doit également être adaptée à l'âge : il faut commencer par des préparations finement mixées, puis hachées finement, en petits dés vers 1 an et enfin des morceaux vers 18 mois/2 ans. C'est ce qui va maintenant être détaillé en abordant successivement les différents groupes d'aliments⁽⁶⁶⁾.

V.1. Le lait et les produits laitiers

Le lait doit rester l'aliment exclusif jusqu'à 4 mois au minimum, et ensuite persister dans l'alimentation au moins pendant les deux premières années de vie.

Le lait maternel est à privilégier du fait de son apport optimum en macro et micro-nutriments. Il existe cependant une alternative que sont les laits infantiles. Il en existe 3 catégories, adaptées aux besoins de l'enfant : les préparations pour nourrissons (0-6 mois), les préparations de suite (6-12 mois) et les aliments lactés destinés aux enfants en bas âge, fréquemment dénommés « laits de croissance » (12-36 mois). En aucun cas, le lait de vache ne peut constituer une alternative à l'allaitement maternel. En effet, il apporte en excès des protéines et du sodium, et ne fournit pas assez de fer et vitamine C^(65,67). De même, comme nous l'avons vu précédemment, les jus végétaux ne sont pas adaptés aux besoins du nourrisson et ne doivent pas se substituer au lait maternel ou aux laits infantiles, même dans le cadre d'un régime végétalien. Comme présenté dans la partie IV-1, il existe des laits infantiles compatibles avec un régime alimentaire excluant tout composant d'origine animale.

À partir d'un certain âge, il est possible que l'enfant ne veuille plus boire de lait. Une alternative est la préparation de crème dessert à base de lait infantile. Ces préparations permettent de varier les textures et donc potentiellement d'être mieux acceptées par l'enfant.

Dans le cadre d'un régime végétarien, les autres produits laitiers peuvent être introduits dès 6 mois, en premier lieu les yaourts et fromages blancs naturels. Le fromage peut quant à lui être apporté à partir de 7 mois. Ces aliments apportent en quantité importante des protéines, du calcium du phosphore, ainsi que des vitamines A, B (source importante de vitamine B2) et D⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾. Dans le cadre d'un régime strictement végétalien, ces produits sont exclus de l'alimentation de l'enfant. Le calcium peut être apporté grâce aux légumes verts et aux crucifères (choux, navet, brocolis par exemple) et la vitamine A par les fruits et légumes riches en β -carotène, tels que la carotte, le potiron. Les légumes secs contiennent également des protéines, du phosphore et de la vitamine B2 et sont donc une alternative aux produits laitiers pour l'apport de ces nutriments, à partir de l'âge de 15 mois. Le risque de carence en vitamine D est par contre accentué et il est recommandé une supplémentation vitaminique D toute l'année à partir de 1 an⁽²¹⁾.

Il convient cependant d'éviter la consommation de lait cru ou de fromage à base de lait cru (sauf ceux à pâte pressée cuite) avant l'âge de 3 ans, afin de réduire le risque microbiologique⁽⁷¹⁾.

V.2. Les fruits et légumes

Les fruits et légumes peuvent être introduits dès le début de la diversification alimentaire. La consommation d'aliments de ce groupe est autorisée dans tous les types de régimes végétariens et dans le régime végétalien. Il est préférable de commencer par les légumes car le goût agréablement sucré des fruits pourrait rendre plus difficile l'introduction des légumes postérieurement. Pour une diversification optimale, il faut proposer à l'enfant un seul fruit ou légume par jour, sans ajout de sel ni de sucre. Ces groupes d'aliments constituent une source importante de vitamines (précurseurs de vitamine A, vitamine B9, vitamine C, vitamine E et vitamine K), de divers minéraux tels que le potassium, le magnésium et le fer, mais aussi de fibres, de glucides simples et d'eau⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾.

Les végétaux à feuilles vertes tels que les épinards sont d'excellentes sources de nutriments pour les végétariens et surtout les végétaliens. En effet, ils apportent en quantité pas forcément importante mais intéressante, des protéines, du calcium, et surtout du fer, apportés traditionnellement par des produits d'origine animale⁽⁷²⁾. Par exemple, 100 grammes d'épinards cuits apportent 2,14 mg de fer, soit presque autant que 100 grammes de viande rouge cuite qui en apportent 2,55 mg⁽⁶⁰⁾.

Les crucifères comme le chou-fleur, le brocoli, le chou vert, les choux de Bruxelles sont intéressants en terme d'apport calcique^(72,73), nutriment à risque de carence chez les ovo-végétariens et les végétaliens. Leur teneur en calcium est d'autant plus élevée que ces végétaux sont consommés crus. Par exemple, le chou vert cuit contient en moyenne 69,7 mg de calcium pour 100 grammes alors que le chou vert cru en contient 96,2 mg⁽⁶⁰⁾.

Les fruits et légumes riches en vitamine C (agrumes, tomate, brocoli), en plus d'être intéressants sur le plan nutritionnel, améliorent l'absorption du fer et du zinc d'origine végétale, s'ils sont consommés dans le même repas⁽⁷²⁾. La vitamine C peut par exemple être apportée en ajoutant simplement un jus de citron ou du persil dans un plat.

V.3. Les viandes, charcuteries, produits de la pêche, et les œufs

Cette catégorie regroupe des viandes telles que le bœuf, le veau, le mouton, l'agneau, le porc, les produits tripiers mais aussi les volailles (poulet, dinde, canard...), les gibiers et la

charcuterie (jambon, saucisson, pâté...). On y retrouve également les poissons et produits de la mer tels que les coquillages et crustacés, ainsi que les œufs. Cependant, la consommation de ces aliments est plus ou moins permise selon le degré de restriction alimentaire : la viande est interdite dans tous les régimes végétariens et végétaliens mais le poisson peut être consommé dans le cadre d'un régime pesco-végétarien et les œufs sont exclus de l'alimentation des lacto-végétariens et des végétaliens.

Tous ces aliments peuvent être introduits dès 5-6 mois, exceptés les œufs. Ceux-ci doivent être proposés progressivement à partir de 7 mois. Ils doivent, dans les premiers mois, être consommés durs. En revanche, la viande et le poisson crus, les coquillages et les œufs crus ou peu cuits, ne doivent pas être donnés à l'enfant de moins de 3 ans et dans l'idéal, pas avant 5 ans⁽⁷¹⁾.

Ces aliments constituent la première source de protéines animales. Ils apportent également des quantités importantes de fer héminique, de zinc, mais aussi de vitamine A et des vitamines du groupe B, sauf la vitamine B9. La quantité et la qualité des lipides fournis sont variables d'un aliment à l'autre⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾. La viande de bœuf, par exemple, est principalement composée d'acides gras saturés et mono-insaturés, alors que les poissons gras sont une source majeure d'oméga 3.

Lors d'un régime alimentaire restrictif en produits d'origine animale, ces aliments seront peu voire pas consommés du tout. Il faudra donc trouver d'autres sources alimentaires de protéines, de fer et de vitamines A et B. Il existe des sources alternatives de fer, notamment les légumes à feuilles vertes et les légumineuses, même si l'absorption digestive de leur fer est limitée par la présence de phytates. De même, les protéines sont apportées grâce aux féculents et aux légumineuses. Comme mentionné précédemment, la vitamine A peut être apportée par les fruits et légumes de couleur orange. Concernant la vitamine B12, il n'existe pas de source végétale pouvant couvrir suffisamment, et sur le long terme les besoins. Avec la diversification, l'enfant va consommer de moins en moins de lait infantile enrichi en vitamine B12. Il sera donc nécessaire, sous contrôle médical, de supplémenter en vitamine B12, même si l'enfant consomme des aliments industriels enrichis en vitamine B12 tels que les céréales pour le petit déjeuner par exemple⁽⁷³⁾.

Dans le cadre d'un régime lacto-ovo-végétarien, lacto-végétarien ou végétalien,

l'absence de consommation de poissons gras entraîne un déficit d'apports en AGPI à longue chaîne^(13,74). Cette carence peut être en partie comblée par l'utilisation de préparations de suite et de laits de croissance enrichis en DHA et EPA. Lors de la diversification alimentaire, ces oméga 3 peuvent également être apportés par la consommation de fruits à coque (noix, noisettes...) et des huiles qui en dérivent⁽⁷²⁾. Ces derniers sont intéressants dans le cadre d'un régime restrictif en produits d'origine animale car ils sont également riches en fer et en zinc.

V.4. Les féculents et les légumineuses

Ce groupe est constitué d'aliments très variés. On y retrouve les pommes de terre, les céréales telles que le riz, le blé et ses dérivés (le pain, les pâtes par exemple), et les légumineuses ou légumes secs qui sont notamment représentées par les lentilles, les haricots secs, les pois cassés, les fèves.

Les pommes de terre peuvent être introduites dans l'alimentation du jeune enfant dès l'âge de 5 à 6 mois, sous forme de purée. Les céréales, les pâtes et le riz ne doivent pas être consommés avant 7 mois. Enfin, il faut attendre l'âge de 15 voire 18 mois pour introduire les légumes secs dans l'alimentation du jeune enfant.

Les féculents et légumineuses sont la première source de protéines dans le cadre d'un régime excluant les produits d'origine animale. Cependant, les aliments de ce groupe n'ont pas tous la même composition en acides aminés essentiels et donc pas le même intérêt nutritionnel. Ainsi, les légumes secs sont déficitaires en méthionine alors que les céréales, elles, contiennent peu de lysine. Il convient donc, dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien bien équilibré, de consommer ces deux sources protéiques dans les proportions suivantes : $\frac{2}{3}$ de céréales et $\frac{1}{3}$ de légumineuses. Cependant, les légumes secs pouvant être introduits seulement à partir de 15 mois, l'apport protéique avec les céréales doit être complété avec les protéines du lait infantile.

Par ailleurs, ces aliments apportent des glucides complexes qui constituent une source importante d'énergie, mais aussi des minéraux (majoritairement du magnésium mais également du potassium et du fer), des fibres et des vitamines du groupe B (sauf B12)⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾.

Parmi les légumineuses, le soja mérite une attention particulière^(69,70). En effet, il s'agit d'une plante oléoprotéagineuse riche en protéines, et sans acide aminé limitant. Le soja contient également des acides gras essentiels dont l'acide linoléique, du fer, du zinc et du

calcium⁽⁷²⁾. Il apparaît donc comme une bonne alternative aux produits carnés, dans le cadre d'un régime végétarien. Cependant, du fait de sa richesse en isoflavone, un phyto-œstrogène, sa consommation journalière doit être limitée à 1 mg d'isoflavones par kg de poids et par jour⁽⁷⁵⁾. L'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) recommande en outre d'éviter la consommation de produits à base de soja avant l'âge de 3 ans⁽⁷¹⁾. Les « steaks » de soja, présentés comme des substituts de viande, ne sont donc pas une alternative adaptée pour les jeunes enfants suivant un régime restrictif en produits d'origine animale.

V.5. Les matières grasses

L'utilisation de corps gras doit être limitée et n'est pas indispensable dans les premiers mois. À partir de 7-8 mois, il est possible d'ajouter une cuillère à café d'huile végétale ou une noisette de beurre dans les préparations alimentaires. Le beurre étant une matière grasse d'origine animale, il est interdit dans les régimes ovo-végétarien et végétalien. Ces corps gras apportent principalement des calories mais aussi des vitamines liposolubles⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾.

Les huiles végétales de colza et de noix sont particulièrement intéressantes dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien car elles apportent en quantités importantes de l'acide α -linoléique, acide gras essentiel de la famille des oméga 3⁽⁴¹⁾.

V.6. Le sucre et les produits sucrés

Le sucre et tous les produits sucrés tels que les gâteaux, les confiseries, les jus de fruits, les sodas apportent des glucides simples et surtout des calories⁽⁶⁸⁻⁷⁰⁾. Ils ne sont pas indispensables dans l'alimentation et doivent être introduits le plus tardivement possible et consommés en quantité restreinte, autant dans un régime alimentaire omnivore que dans un régime restrictif en produits d'origine animale⁽⁷¹⁾. Cela permet ainsi d'habituer l'enfant, dès son plus jeune âge, à un régime alimentaire sain et équilibré.

L'utilisation de miel dans l'alimentation du nourrisson de moins d'un an est à proscrire afin de réduire le risque de botulisme infantile, lié à la possible présence de spores bactériens de *Clostridium botulinum*^(71,76).

V.7. Les boissons

Avant 6 mois, la principale boisson du nourrisson est le lait et l'eau entre les tétées. Puis, l'eau pure (eau du robinet, eau de source, eau minérale) remplace le lait, notamment au moment des repas. Dans les premiers mois de vie, les eaux plates faiblement minéralisées type Evian® ou Volvic® sont les plus indiquées.

Il existe des eaux minérales riches en calcium (Courmayeur®, Hépar®) ou en magnésium (Contrex®), qui peuvent permettre de compenser certains apports alimentaires en minéraux insuffisants, notamment dans le cadre des régimes végétaliens. En effet, une étude allemande⁽⁷⁷⁾ a montré que la biodisponibilité du calcium dans les eaux minérales était la même que celle du calcium dans le lait. Par exemple, les eaux calciques contiennent plus de 150 mg de calcium par litre de boisson⁽⁶⁹⁾. Ainsi, pour un enfant de 3 ans suivant un régime végétalien, et ne consommant plus de lait de croissance, l'eau minérale calcique représente une source non négligeable de calcium permettant d'atteindre les 600 mg d'apports journaliers recommandés. Ces eaux fortement minéralisées ne doivent cependant pas être consommées tous les jours ; il faut alterner avec des eaux faiblement minéralisées. De plus, elles ne conviennent pas à l'alimentation du nourrisson, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas être utilisées chez l'enfant de moins de 2 ans.

Les boissons sucrées telles que les jus de fruits, les sodas ou l'eau additionnée de sirop ne sont pas indispensables au développement de l'enfant et devront être consommées le plus tard possible et en quantité limitée.

Les grandes étapes de la diversification alimentaire de l'enfant sont résumées dans l'annexe 7.

Conclusion

Pour le nourrisson et le jeune enfant, les nutriments les plus à risque de carence dans le cadre d'un régime alimentaire restrictif en produits d'origine animale sont les protéines, les acides gras de la famille des oméga 3, le fer, le zinc, le calcium, la vitamine D ainsi que la vitamine B12. En effet, ce sont des nutriments retrouvés en quantité limitée, voire nulle dans les végétaux.

En outre, contrairement aux adultes, les jeunes enfants ont de faibles réserves en glucides, lipides, protéines, vitamines, minéraux et oligo-éléments, éléments indispensables à leur bon développement. Ainsi, une carence alimentaire peut avoir des effets délétères rapides et irréversibles sur l'organisme.

Par ailleurs, que le régime alimentaire restrictif soit introduit pour des raisons économiques, sociétales, écologiques ou religieuses, un suivi par un professionnel de santé est recommandé. En effet, il pourra énoncer des règles à suivre pour mener à bien et sans danger un régime alimentaire végétarien. S'il le juge nécessaire, le médecin prescrira des examens de suivi pour détecter l'apparition d'éventuelles carences. Si ces dernières apparaissent, il pourra alors prescrire des suppléments destinés à combler les déficits d'apports en macro et micronutriments. La pratique d'un régime végétalien est beaucoup plus dangereuse, notamment en raison d'un risque accru de carence en calcium, et surtout en vitamine B12. En effet, cette vitamine indispensable au développement psycho-moteur de l'enfant est retrouvée exclusivement dans les aliments d'origine animale.

Annexes

| Besoins de l'enfant par jour | 0-6 mois | 7-11 mois | 1 à 3 ans |
|--|---------------------------|-----------|--------------|
| Énergie (kcal), fonction du sexe et de l'âge | 335-575 | 550-740 | 717-1170 |
| Lipides totaux (% d'énergie) | 50-55 | 40 | 35-40 |
| ALA (% d'énergie) | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| LA (% d'énergie) | 4 | 4 | 4 |
| DHA (mg) | 100 | 100 | 100 (<2 ans) |
| ARA (mg) | 140 | / | / |
| AGS | Aussi faible que possible | | |
| AGT | Aussi faible que possible | | |
| Protéines (g) | 8-9 | 9-11 | 10-13 |
| Glucides (% d'énergie) | 40-45 | 45-55 | 45-60 |
| Eau (L) | 0,7-1 | 0,8-1 | 1,1-1,3 |
| Calcium (mg) | 200 | 400 | 600 |
| Cuivre (mg) | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Fluor (mg) | 0,08 | 0,4 | 0,6 |
| Iode (µg) | 90 | 90 | 90 |
| Fer (mg) | 0,3 (allaitement) | 8 | 8 |
| Magnésium (mg) | 25 | 80 | 85 |
| Manganèse (mg) | 0,003 | 0,02-0,5 | 0,5 |
| Phosphore (mg) | 100 | 300 | 460 |
| Potassium (mg) | 400 | 800 | 800 |
| Sélénium (µg) | 12,5 | 15 | 20 |
| Zinc (mg) | 2 (allaitement) | 4 | 4 |
| Vitamine A (µg ER) | 350 | 350 | 400 |
| Vitamine B1 = Thiamine (mg) | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| Vitamine B2 = Riboflavine (mg) | 0,3 | 0,4 | 0,8 |
| Vitamine B3 = Niacine (mg EN) | 2 | 5 | 9 |
| Vitamine B5 = Acide pantothénique (mg) | 2 | 3 | 4 |
| Vitamine B6 (mg) | 0,1 | 0,4 | 0,7 |
| Vitamine B8 = Biotine (µg) | 4 | 6 | 20 |
| Vitamine B9 (µg EFA) | 65 | 80 | 100 |
| Vitamine B12 (µg) | 0,4 | 0,5 | 0,9 |
| Vitamine C (mg) | 20 | 20 | 20 |
| Vitamine D (µg) | 10 | 10 | 10 |
| Vitamine E (mg ET) | 3 | 5 | 6 |
| Vitamine K (µg) | 5 | 8,5 | 12 |

Annexe 1: Récapitulatif des besoins de l'enfant en fonction de son âge, EFSA

ET = équivalent tocophérol ; EN : équivalent niacine ; EFA = équivalents en folates alimentaires

| | Principaux rôles dans le fonctionnement du corps humain | Principales sources végétales | Risques d'une sur-consommation | Risques d'une sous-consommation |
|-----------|--|--|--|---|
| Glucides | Source d'énergie ; régulation du transit | Fruits ; légumes ; céréales ; légumineuses | Hyperglycémie ; troubles cardiovasculaires | Faiblesse musculaire |
| Lipides | Source d'énergie ; développement nerveux ; immunité ; métabolismes | Huiles végétales | Troubles cardiovasculaires | Déficit énergétiques ; diminution synthèses hormonales |
| Protéines | Immunité ; croissance | Légumineuses, céréales | Troubles cardiovasculaires et rénaux | Retard de croissance ; altération immunité ; mauvaise cicatrisation |

Annexe 2: Récapitulatif des différents macronutriments, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée

| | Principaux rôles dans le fonctionnement du corps humain | Principales sources végétales | Signes d'une sur-consommation | Signes d'une sous-consommation |
|--------------|--|---|--|--|
| Vitamine A | Vue ; immunité | Fruits et légumes orangés | Céphalées ; fièvre | Atteinte oculaire ; immunodépression |
| Vitamine B1 | Assimilation des macronutriments | Légumes secs ; céréales complètes | Exceptionnelle | Altération de l'état général ; béribéri |
| Vitamine B2 | Assimilation des macronutriments | Légumes secs ; oléagineux | Exceptionnelle | Exceptionnelle |
| Vitamine B3 | Précurseur enzymatique | Fruits secs ; oléagineux | Bouffées de chaleur ; flush facial | Pellagre |
| Vitamine B5 | Précurseur enzymatique ; synthèse de neurotransmetteurs | Légumes et fruits secs ; oléagineux | Troubles digestifs | Signes aspécifiques |
| Vitamine B6 | Processus enzymatiques ; métabolisme protéique | Avocat ; bananes ; fruits oléagineux ; légumes secs | Troubles neuro-musculaires | Troubles cutanés, digestifs, nerveux ; anémie |
| Vitamine B8 | Assimilation des macronutriments ; croissance des phanères | Champignons ; légumes secs | Pas de toxicité | Signes dermatologiques |
| Vitamine B9 | Synthèse des globules rouges | Haricots secs ; légumes verts | Troubles gastro-intestinaux | Atteintes hématologiques et neuropsychiques |
| Vitamine B12 | Maturation des globules rouges | Algues en quantité très faible | Pas de toxicité | Hypotonie ; retard de croissance ; anémie ; atrophie cérébrale |
| Vitamine C | Anti-oxydant ; immunité ; cicatrisation | Agrumes ; kiwi ; poivrons | Diarrhées ; maux d'estomac ; lithiases rénales | Asthénie ; perte d'appétit ; maladie de Barlow |
| Vitamine D | Métabolisme phosphocalcique | Synthèse industrielle ; synthèse endogènes | Nausées, vomissements, perte d'appétit | Rachitisme |
| Vitamine E | Anti-oxydant | Huiles végétales ; asperges ; épinard | Exceptionnelle | Troubles neurologiques et oculaires ; anémie hémolytique |
| Vitamine K | Coagulation sanguine ; synthèse de l'ostéocalcine | Légumes verts ; synthèse endogène | Hyper-coagulation sanguine | Hémorragies |

Annexe 3: Récapitulatif des différentes vitamines, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée

| | Principaux rôles dans le fonctionnement du corps humain | Principales sources végétales | Risques d'une sur-consommation | Risques d'une sous-consommation |
|-----------|--|--|---|---|
| Calcium | Minéralisation osseuse ; coagulation sanguine ; physiologie musculaire | Persil ; cresson | Calculs urinaires ; hypercalciurie | Hypocalcémie ; troubles neuro-musculaires ; rachitisme |
| Phosphore | Métabolisme énergétique | Légumes secs | Exceptionnelle | Troubles de la croissance osseuse |
| Magnésium | Contraction musculaire ; processus enzymatique ; immunité | Céréales complètes ; légumes secs ; cacao ; oléagineux | Troubles digestifs et cardiaques | Troubles musculaires |
| Potassium | Maintien d'un équilibre entre le milieu intra et extra-cellulaire | Cacao ; fruits et légumes secs ; oléagineux | Troubles cardiaques et musculaires | Diarrhées ; vomissements |
| Sodium | Maintien d'un équilibre entre le milieu intra et extra-cellulaire | Sel de table | Troubles cardio-vasculaires | Exceptionnelle |
| Fer | Constituant de l'hémoglobine et de la myoglobine | Algues, cacao, légumes secs, épinards | Fatigue ; troubles cardio-vasculaires, digestifs, neurologiques | Pâleur ; asthénie ; anémie |
| Cuivre | Processus d'oxydo-réduction | Cacao ; légumes secs ; oléagineux | Exceptionnelle | Anémie ; neuropathie ; myélopathie |
| Iode | Synthèse des hormones thyroïdiennes | Haricots verts ; radis ; navets | Effets sur le fonctionnement thyroïdien, rénal, cardiaque | Déficit en hormones thyroïdiennes |
| Zinc | Immunité ; cicatrisation ; processus anti-oxydants | Légumes secs | Anémie | Déficit immunitaire ; troubles cutanés ; retard de croissance |

Annexe 4: Récapitulatif des principaux minéraux et oligo-éléments, leurs rôles, sources alimentaires et conséquences d'une consommation inadaptée

| Pour 100 mL | | Lait maternel mature |
|----------------------------|--|-----------------------------|
| Calories (kcal) | | 67 |
| Protéines | Total (g) | 1 |
| | Caséine (%) | 30 |
| | α -lactalbumine / β -lactoglobuline (g) | 0,32 / 0 |
| | Immunoglobulines (g) | 0,15 |
| Lipides | Total (g) | 3,5 |
| | Triglycérides (%) | 98 |
| | Cholestérol (%) | 0,5 (20 mg/dL) |
| | Phospholipides (%) | 0,7 |
| | Acide linoléique (mg) | 350 (10%) |
| | Acide linoléique (mg) | 37 (1%) |
| | DHA (%) | 0,2 à 1,2 |
| | ARA (%) | 0,5 |
| Carbohydrates | Total (g) | 7,5 |
| | Lactose (%) | 85% (5,7 g/dL) |
| | Dextrine-maltose (%) | 0 |
| | Autres sucres | Oligosaccharides – 1,3 g/dL |
| Vitamines (mg) | A | 67 |
| | B1 | 21 |
| | B2 | 35 |
| | B3 | 0,15 |
| | B5 | 0,18 |
| | B6 | 9,3 |
| | B8 | 0,4 |
| | B9 | 8,5 |
| | B12 | 0,097 |
| | C | 4 |
| | D | 0,055 |
| | E | 0,23 |
| K | 0,2 | |
| Minéraux (mg) | Sodium | 16 |
| | Calcium | 25 à 28 |
| | Phosphore | 13 à 14 |
| | Magnésium | 3,5 |
| | Chlore | 42 |
| | Potassium | 52,5 |
| Oligo-éléments (µg) | Cuivre | 25 |
| | Fer | 30 |
| | Iode | 11 |
| | Zinc | 0,12 |
| | Manganèse | 0,6 |
| | Sélénium | 2 |

Annexe 5: Teneurs indicatives en énergie, protéines, lipides, carbohydrates, vitamines et minéraux du lait maternel⁽³³⁾

| Facteurs bioactifs | Fonctions |
|---------------------------------|--|
| Immunoglobulines | Inhibition des pathogènes |
| Lactoferrine | Activités bactériostatique, bactéricide, antivirale ; active les cellules NK et le système du complément ; améliore le développement intestinal en cas de lésion |
| Lysozyme | Lyse la paroi bactérienne ; augmente la production d'IgA ; active les macrophages |
| K-caséine | Inhibition de l'adhésion des germes sur les muqueuses gastriques et respiratoires |
| Oligosaccharides | Inhibe l'adhésion des micro-organismes par mimétisme |
| Acides gras libres | Lyse de la paroi des micro-organismes |
| Cellules de l'immunité | Sécrétion des facteurs solubles ; activité bactéricide par phagocytose |
| Probiotiques | Stimulent et enrichissent la flore commensale |
| Prébiotiques | Promoteurs de la croissance et de l'activité des bactéries |
| Nucléotides | Stimulent l'activation de la réponse immunitaire |
| Cytokines et chimiokines | Influencent l'activité immunitaire ; certaines ont une activité anti-inflammatoire |
| Casomorphines | Action immunostimulante |
| Prolactine | Stimule le développement immunitaire |
| Lactobacilles | Immunomodulateurs |
| Prostaglandine E | Cytoprotectrice |
| Inhibiteurs de protéase | Rôle préventif de l'activité inflammatoire de la trypsine, chymotrypsine et de l'élastase |
| Facteurs de croissance | Influencent le développement des cellules intestinales, neuronales, sanguines, suivant leur localisation |
| Enzymes digestives | Améliorent la digestion du lait maternel |

Annexe 6: Récapitulatif des différentes fonctions des facteurs bioactifs du lait maternel

Enfants : les grandes phases de la diversification alimentaire

| | 1 ^{er} MOIS | 2 ^e MOIS | 3 ^e MOIS | 4 ^e MOIS | 5 ^e MOIS | 6 ^e MOIS | 7 ^e MOIS | 8 ^e MOIS | 9 ^e MOIS | 10 ^e MOIS | 11 ^e MOIS | 12 ^e MOIS | 2 ^e ANNÉE | 3 ^e ANNÉE | | |
|-------------------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|--|---------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|--|----------------------|------------------------|--|
| Lait | Lait maternel exclusif ou | | | | | | Lait maternel exclusif ou | | | | | | | | | |
| | Lait 1 ^{er} âge exclusif | | | | Lait 1 ^{er} ou 2 ^e âge | | Lait 2 ^e âge ≥ 500ml/J | | | | | | Lait 2 ^e âge ou de croissance | | | |
| Produits laitiers | | | | | | | Yahourt | | ou fromage -> Fromage blanc nature | | | | | | | |
| Fruits | | | | | | | Tous : très murs | | ou cuits, mixés, texture homogène lisse -> crus, écrasés | | | | | | en morceaux, à croquer | |
| Légumes | | | | | | | Tous : purée, lisse | | -----> petits morceaux | | | | | | | |
| Pomme de terre | | | | | | | Purée, | | lisse -----> petits morceaux | | | | | | | |
| Légumes secs | | | | | | | | | | | | | 15-18 mois : en purée | | | |
| Farines infantiles (céréales) | | | | | | | Sans gluten | | | | | | Avec gluten | | | |
| | | | | | | | Pain, pâtes, semoule, riz | | | | | | | | | |
| Pain, produits céréaliers | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Viandes, poissons | | | | | | | Tous | | 10g/j (2cc) | | Hachés : 20g/j (4cc) | | 30g/j (6cc) | | | |
| Oeuf | | | | | | | | | 1/4 (dur) | | 1/3 (dur) | | 1/2 | | | |
| M.G. ajoutées | | | | | | | Huile (olive, colza...) ou beurre (1cc d'huile ou noisette de beurre au repas) | | | | | | | | | |
| Boissons | Eau pure : proposer en cas de fièvre ou de forte chaleur | | | | | | Eau pure | | | | | | | | | |
| Sel | | | | | | | | | | | | | Peu pendant la cuisson, ne pas resaler à table | | | |
| Produits sucrés | | | | | | | | | | | | | Sans urgence, à limiter | | | |

Annexe 7: Les étapes de la diversification alimentaire, Programme National Nutrition Santé (PNNS), INPES⁽⁷⁸⁾

Bibliographie

1. Bieri A, von Siebenthal C, Köhler H. « Alimentation végétarienne et végane chez les enfants et adolescents ». Forum Méd Suisse – Swiss Med Forum. Mai 2018. Disponible sur: <https://doi.emh.ch/fms.2018.03258>
2. « Aux origines du végétarisme ». Disponible sur: <https://www.franceculture.fr/conferences/bibliotheque-publique-dinformation/aux-origines-du-veganisme>
3. « Histoire du végétarisme ». Disponible sur: <https://www.swissveg.ch/histoire?language=fr>
4. « Pythagore, Léonard de Vinci, Yourcenar... sept célébrités végétariennes avant l'heure ». Disponible sur: <https://www.franceculture.fr/societe/de-pythagore-a-yourcenar-sept-vegetariens-avant-l-heure>
5. « Pythagore, végétarien avant la lettre ». AVF. 2017. Disponible sur: <https://www.vegetarisme.fr/pythagore-vegetarien/>
6. « 10 chiffres sur le végétarisme en France et dans le monde » - Neonmag.fr. Disponible sur: <https://photo.neonmag.fr/10-chiffres-sur-le-vegetarisme-en-france-et-dans-le-monde-34552#42-des-menages-indiens-sont-vegetariens-597511>
7. « Le marché végétarien et vegan en nette hausse ». Avise-Info. Disponible sur: <https://www.avise-info.fr/alimentaire/le-marche-vegetarien-et-vegan-en-nette-hausse>
8. « Ca se passe en Europe : le nombre d'enfants véganes a doublé à Milan » | Les Echos. Disponible sur: <https://www.lesechos.fr/monde/europe/ca-se-passe-en-europe-le-nombre-denfants-veganes-a-double-a-milan-140967>
9. « How Many Adults in the U.S. are Vegetarian and Vegan » | The Vegetarian Resource Group (VRG). Disponible sur: https://www.vrg.org/nutshell/Polls/2016_adults_veg.htm
10. « Scientific Opinion on nutrient requirements and dietary intakes of infants and young children in the European Union ». EFSA J. 2013;11(10):3408.
11. Schlienger J-L. Chapitre 1 - Les fondamentaux de la nutrition. *Nutrition clinique pratique: chez l'adulte, l'enfant et la personne âgé*. EDUCA Books; 2018. p. 3-21.
12. Lecerf J-M, Schlienger J-L. Chapitre 1 - Constituants des aliments. *Nutrition préventive et thérapeutique*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2020. p. 3-36.
13. Briend A, Legrand P, Bocquet A, Girardet J-P, Bresson J-L, Chouraqui J-P, et al. « Lipid intake in children under 3years of age in France ». A position paper by the Committee on Nutrition of the French Society of Paediatrics. Arch Pédiatrie. avr 2014;21(4):424-38.
14. Dorosz P, Gounelle de Pontanel H. *Vitamines, sels minéraux, oligo-éléments*. Paris: Maloine; 2004.

15. Vidailhet M, Rieu D, Feillet F, Bocquet A, Chouraqui J-P, Darmaun D, et al. eVitamin A in pediatrics: An update from the Nutrition Committee of the French Society of Pediatrics. *Arch Pédiatrie*. mars 2017;24(3):288-97.
16. Schlienger J-L. Chapitre 16 - Carences vitaminiques. *Nutrition clinique pratique: chez l'adulte, l'enfant et la personne âgé*. EDUCA Books; 2018. p. 169-77.
17. « Vitamine B9 ou acide folique » | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-b9-ou-acide-folique>
18. Agnoli C, Baroni L, Bertini I, Ciappellano S, Fabbri A, Papa M, et al. « Position paper on vegetarian diets from the working group of the Italian Society of Human Nutrition ». *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. déc 2017;27(12):1037-52.
19. Bousselamti A, El Hasbaoui B, Echahdi H, Krouile Y. « Psychomotor regression due to vitamin B12 deficiency. *Pan Afr Med J* ». Juin 2018;30.
20. « Vitamine C ou acide ascorbique » | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-c-ou-acide-ascorbique>
21. Vidailhet M, Mallet E, Bocquet A, Bresson J-L, Briend A, Chouraqui J-P, et al. « Vitamin D: Still a topical matter in children and adolescents. A position paper by the Committee on Nutrition of the French Society of Paediatrics ». *Arch Pédiatrie*. mars 2012;19(3):316-28.
22. Hascoet J-M, Picaud J-C, Lapillonne A, Boithias C, Bolot P, Saliba E, et al. « Vitamine K - Mise à jour des recommandations ». *Schulte R*. déc 2015;2.
23. « Le calcium » | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/le-calcium>
24. Amit M. « Les régimes végétariens chez les enfants et les adolescents ». *Paediatr Child Health*. 2010;15(5):309-14.
25. « Revue générale des troubles de la concentration du K - Troubles endocriniens et métaboliques » - Édition professionnelle du Manuel MSD. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-endocriniens-et-m%C3%A9taboliques/troubles-%C3%A9lectrolytiques/revue-g%C3%A9n%C3%A9rale-des-troubles-de-la-concentration-du-k?query=potassium>
26. « Le fer » | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/le-fer>
27. Gibson RS, Heath A-LM, Szymlek-Gay EA. « Is iron and zinc nutrition a concern for vegetarian infants and young children in industrialized countries? » *Am J Clin Nutr*. juill 2014;100(suppl_1):459S-468S.
28. Pawlak R, Bell K. « Iron Status of Vegetarian Children: A Review of Literature ». *Ann Nutr Metab*. 2017;70(2):88-99.
29. « Cuivre - Troubles nutritionnels » - Édition professionnelle du Manuel MSD.

Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-nutritionnels/carence-en-min%C3%A9raux-et-intoxication-par-les-min%C3%A9raux/cuivre>

30. « Iode » | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/iode>
31. Saunders AV, Craig WJ, Baines SK. « Zinc and vegetarian diets ». Med J Aust. 29 oct 2013;199(4):S17-21.
32. « Zinc - Troubles de la nutrition ». Manuels MSD pour le grand public. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-de-la-nutrition/min%C3%A9raux/zinc>
33. Tackoen M. « Le lait maternel : composition nutritionnelle et propriétés fonctionnelles ». Rev Médicale Brux. juin 2012;33:309-17.
34. Société Française de Pédiatrie. « Allaitement maternel : les bénéfices pour la santé de l'enfant et de sa mère ». 2005 févr p. 72.
35. Dror DK, Allen LH. « Overview of Nutrients in Human Milk ». Adv Nutr. Mai 2018;9(Suppl 1):278S-294S.
36. Burdge GC, Tan S-Y, Henry CJ. « Long-chain n-3 PUFA in vegetarian women: a metabolic perspective ». J Nutr Sci. Nov 2017;6.
37. « Besoins nutritionnels de la femme allaitante » 2019. Disponible sur: <https://www.efsa.europa.eu>
38. Wagnon J, Cagnard B, Bridoux-Henno L, Tourtelier Y, Grall J-Y, Dabadie A. « Allaitement maternel et végétalisme » 9 mars 2008.
39. ElSORI DH, Hammoud MS. « Vitamin D deficiency in mothers, neonates and children ». J Steroid Biochem Mol Biol. 2018;(175):195-9.
40. Lima MSR, Dimenstein R, Ribeiro KDS. « Vitamin E concentration in human milk and associated factors: a literature review ». J Pediatr (Rio J). oct 2014;90(5):440-8.
41. Mariani A, Chalies S, Jeziorski E, Ludwig C, Lalande M, Rodière M. « Conséquences de l'allaitement maternel exclusif chez le nouveau-né de mère végétalienne ». Arch Pédiatrie. 2019;(16):1461-3.
42. Dror DK, Allen LH. « Iodine in Human Milk: A Systematic Review ». Adv Nutr. Mai 2018;9(Suppl 1):347S-357S.
43. Ballard O, Morrow AL. « Human Milk Composition: Nutrients and Bioactive Factors ». Pediatr Clin North Am. Févr 2013;60(1):49-74.
44. Bode L. « Human milk oligosaccharides: Every baby needs a sugar mama ». Glycobiology. sept 2012;22(9):1147-62.
45. « Directive 2006/141/CE de la commission du 22 décembre 2006 concernant les préparations pour nourrissons et les préparations de suite ». 2006. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0141&from=FR>
46. Girardet J-P, Rivero M, Orbegozo J, David T, Boulanger S, Moisson de Vaux A, et al.

- « Efficacité sur la croissance et tolérance d'une préparation pour nourrissons à base de protéines de riz hydrolysée ». Arch Pédiatrie. 2013;20:323-8.
47. Girardet JP, Rivero M, Orbegozo J, David T, Boulanger S, Johnston S, et al. « Tolérance d'une formule infantile de protéines de riz hydrolysées ». Arch Pédiatrie. 2010;17.
 48. Novalac. Disponible sur: <https://www.laboratoires-novalac.fr/>
 49. Laboratoire Modilac, les solutions bébés. Disponible sur: <https://www.modilac.fr/>
 50. Bébé MANDORLE. Disponible sur: <https://www.bebemandorle.com/fr/>
 51. Prémiriz : Lait infantile à base de protéines de riz – Premibio. Disponible sur: <https://www.premibio.fr/premiriz/>
 52. Carlo Agostoni, Irene Axelsson, Olivier Goulet, Berthold Koletzko, Kim Fleischer Michaelsen, John Puntis, Daniel Rieu, Jacques Rigo, Raanan Shamir, Hania Szajewska, Dominique Turck. « Soy Protein Infant Formulae and Follow-On Formulae: A Commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition ». J Pediatr Gastroenterol Nutr. avr 2006;42:352-61.
 53. Bocquet A, Bresson JL, Briend A, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, et al. « Préparations pour nourrissons et préparations de suite à base de protéines de soja : données actuelles ». Arch Pédiatrie. nov 2001;8(11):1226-33.
 54. Testa I, Salvatori C, Di Cara G, Latini A, Frati F, Troiani S, et al. « Soy-Based Infant Formula: Are Phyto-Oestrogens Still in Doubt? » Front Nutr nov 2018;5.
 55. Bhatia J, Greer F. « Use of Soy Protein-Based Formulas in Infant Feeding ». Pediatrics. mai 2008;121(5):1062-8.
 56. Strom BL, Schinnar R, Ziegler EE, Barnhart KT, Sammel MD, Macones GA, et al. « Exposure to Soy-Based Formula in Infancy and Endocrinological and Reproductive Outcomes in Young Adulthood ». JAMA. août 2001;286(7):807-14.
 57. SMA Wysoy Soya Infant | Formula Milk | SMA Baby. Disponible sur: <https://www.smababy.co.uk/formula-milk/wysoy-infant-formula/>
 58. Humana SL sans lactose. Disponible sur: https://www.humana.de/produkte/detailansicht/sl-sine-lacte-ohne-milch/#show_undefined
 59. Mortureux M. « Avis ANSES relatif aux risques liés à l'utilisation de boissons autres que le lait maternel et les substituts du lait maternel dans l'alimentation des nourrissons de la naissance à 1 an ». 2013 févr p. 8. Report No.: 2011-SA-0261.
 60. « Ciqual Table de composition nutritionnelle des aliments ». Disponible sur: <https://ciqual.anses.fr/>
 61. Fourreau D, Peretti N, Hengy B, Gillet Y, Courtil-Teysedre S, Hess L, et al. « Complications carenciales suite à l'utilisation de « laits » végétaux, chez des nourrissons de deux mois et demi à 14 mois (quatre cas) ». Presse Médicale. Févr 2013;42(2):e37-43.

62. Le Louer B, Lemale J, Garcette K, Orzechowski C, Chalvon A, Girardet J-P, et al. « Conséquences nutritionnelles de l'utilisation de boissons végétales inadaptées chez les nourrissons de moins d'un an ». Arch Pédiatrie. 2014;(21):483-8.
63. « ANAES. Lecture critique de l'hémogramme : valeurs seuils à reconnaître comme probablement pathologiques et principales variations non pathologiques ». 1997 sept.
64. Girardet J-P. « Diversification alimentaire ». Arch Pédiatrie. 2010;(17):189-90.
65. Juchet A, Chabbert A, Pontcharraud R, Sabouraud-Leclerc D, Payot F. « Diversification alimentaire chez l'enfant : quoi de neuf ? » Rev Fr Allergol. oct 2014;54(6):462-8.
66. ANSES. « Avis de l'ANSES relatif à l'actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires ». 2016 nov p. 38. Report No.: 2012-SA-0103.
67. « Les spécificités de la nutrition infantile ». J Pédiatrie Puériculture. oct 2008;21(7):320-3.
68. CIV. Livret « Bien dans mon assiette, bien dans mes baskets... » 2011.
69. Lecerf J-M, Schlienger J-L. Chapitre 2 - Les aliments et leurs effets. *Nutrition préventive et thérapeutique*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2020.
70. Schlienger J-L. Chapitre 2 - Les aliments. *Nutrition clinique pratique: chez l'adulte, l'enfant et la personne âgé*. EDUCA Books; 2018. p. 23-46.
71. ANSES. A «vis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'actualisation des repères alimentaires du PNNS pour les enfants de 0 à 3 ans ». 2019 mai p. 1-55. Report No.: 2017-SA-0145.
72. Baroni L, Goggi S, Battaglino R, Berveglieri M, Fasan I, Filippin D, et al. Vegan « Nutrition for Mothers and Children: Practical Tools for Healthcare Providers ». Nutrients. déc 2018;11(1):5.
73. Menal-Puey S, Martínez-Biarge M, Marques-Lopes I. « Developing a Food Exchange System for Meal Planning in Vegan Children and Adolescents. Nutrients ». Déc 2018;11(1).
74. Sanders T a. B, Reddy S. « The influence of a vegetarian diet on the fatty acid composition ». J Pediatr. avr 1992;120(4):71-7.
75. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. « Sécurité et bénéfices des phytoestrogènes apportés par l'alimentation - Recommandations Afssa ». Mars 2005;
76. Regnault J. « Les principaux contaminants du miel ». 2014;4.
77. Greupner T, Schneider I, Hahn A. « Calcium Bioavailability from Mineral Waters with Different Mineralization in Comparison to Milk and a Supplement ». J Am Coll Nutr. Juin 2017;36(5):386-90.
78. « Les étapes de la diversification âge par âge ». Disponible sur: <https://www.mpedia.fr/art-tableau-diversification/>

Résumé : les régimes végétarien et végétalien connaissent un véritable engouement ces dernières années. Ils consistent à limiter, voire à exclure de l'alimentation les produits d'origine animale. Cependant, ces régimes alimentaires restrictifs peuvent potentiellement conduire à des carences nutritionnelles, notamment en protéines, calcium, fer et zinc, ainsi qu'en vitamine B12.

L'objectif de cette thèse est de déterminer si la pratique de ces régimes végétarien ou végétalien est compatible avec le bon développement du nourrisson. Pour cela, un rappel des besoins nutritionnels du jeune enfant sera réalisé. Puis nous nous intéresserons à la composition du lait maternel des femmes végétariennes ainsi qu'à celle des préparations infantiles utilisables comme alternative à l'allaitement dans le cadre d'un régime végétarien. Enfin, la dernière partie sera consacrée à la diversification alimentaire du jeune enfant et à l'équilibre des apports nutritionnels dans ce type de régime.

Mots clés : alimentation, nourrisson, végétarien, végétalien, vegan, carences, allaitement, apports nutritionnels recommandés, supplémentation, nutrition

Serment de Galien

En présence des Maitres de la Faculté, je fais le serment :

D'honorer ceux qui m'ont instruite dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances,

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement,

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité,

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession,

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens,

De coopérer avec les autres professionnels de santé.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.