



République Algérien Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj -Bouira-
Faculté des Sciences de la Nature de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences Biologiques

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté par :

FOUDI Hanine& BELKADI Salim

Thème

**Analyse comparative de la composition nutritionnelle des laits
infantiles commercialisés en Algérie et du lait maternel : impact sur la
santé du nourrisson et du jeune enfant**

Déposé le : 26 /06/ 2022

Devant le jury composé de :

Nom et prénom :

Grade :

Mme. AIMEUR Nacira

MCB

Univ. de Bouira

Président

Mr. CHERGUI Achouf

MCB

Univ. de Bouira

Promoteur

Mr. LIBDIRI Farid

MAA

Univ. de Bouira

Examineur

Année universitaire: 2021 /2022

Remerciements

A notre encadreur de projet de fin d'étude,

Nous tenons à vous remercier Monsieur CHERGUI, pour la confiance que vous nous avez accordé en acceptant d'encadrer ce travail et pour vos multiples conseils. Merci pour votre disponibilité.

Aux membres de jury,

La présidente Madame AIMEUR. Nacira et l'examineur Monsieur LIBDIRI Farid

Nous tenons aussi à présenter nos vifs remerciements et notre respect au jury Pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de juger ce mémoire

Dédicace

Je dédie ce travail à toute ma famille
aux étudiants qui m'ont aidé durant ces deux dernières années
ainsi les enseignants pour leurs conseils et leur disponibilité.
Je vous remercie tous et je vous souhaite que de réussite pour l'avenir.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes parents,

Pour m'avoir permis de réaliser ce travail et pour votre présence et votre soutien Indéfectibles tout au long de celles-ci. Merci pour l'éducation que j'ai reçue et qui a contribué à faire de moi celle que je suis aujourd'hui. Merci pour votre amour et pour avoir toujours cru en moi.

A mes frères et sœurs

Merci pour tous les bons moments passés ensemble et les autres à venir. Merci d'être là, tout simplement.

A ma femme,

Merci pour ton soutien et ta patience dans ces derniers mois. Merci pour Toute la tendresse et l'attention que tu me portes. J'espère pouvoir vivre avec toi encore de Nombreuses belles choses.

A mes très chers enfants : Rayane, Sarah et Melissa

Mes petits bouts de choux vous êtes mon soleil, mon inspiration et ma vie.

A mes amis

Sans votre soutien je n'aurai pas réussi à faire ce travail donc j'en profite pour vous dire un grand merci

A mon binôme Foudi Hanine

Un grand merci pour avoir partagé cette expérience avec moi .Je te souhaite beaucoup de réussite.

Enfin je remercie toute la promotion master 2 biochimie appliquée 2021/2022. C'était un plaisir de partagé avec vous de bons et inoubliables moments.

Et a tous les enseignants pour leur dévouement

Résumé

Après un rappel des besoins nutritionnels fondamentaux du nourrisson et du jeune enfant, ce travail s'attache à décrire le lait maternel pour mieux savoir sa fabrication, sa sécrétion ainsi sa composition nutritionnelle. Aussi décrire le lait infantile sur sa fabrication et sa composition nutritionnelle pour savoir comment ces 02 laits répondent- t- ils aux besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune enfant tout en citant les différents laits infantiles commercialisés en Algérie.

Une attention particulière est également consacrée à l'analyse comparative entre le lait maternel et le lait infantile à fin de donner aux lecteurs plus de précisions entre ces deux lait. Cette analyse nous a permis de bien déterminer l'impact de la différence entre ces deux laits sur la santé du nourrisson et du jeune enfant en décrivant les principales pathologies qui peuvent être rencontrées.

Abstract

After a reminder of the basic nutritional needs of infants and young children, this work aims to describe breast milk to better understand its production, its secretion and its nutritional composition. Also describe the infant milk on its manufacture and its nutritional composition to know how these 02 milks meet the nutritional needs of infants and young children while citing the different infant milks marketed in Algeria. Particular attention is also devoted to the comparative analysis between breast milk and infant milk in order to give readers more details between these two milks. This analysis allowed us to clearly determine the impact of the difference between these two milks on the health of infants and young children by describing the main pathologies that can be encountered.

ملخص

بعد التذكير بالاحتياجات الأساسية للرضيع والطفل الصغير هذا العمل يركز على الحليب الأم لمعرفة كيفية صنعه ومكوناته وكل ما يخص حليب الرضع من كيفية صنعه ومكوناته وذكر أنواع الحليب الموجود في السوق الجزائرية ثم قمنا بالمقارنة بين حليب الأم وحليب الرضع وهذا الشيء الذي سمح لنا بذكر تابعيته الصحية على الرضيع و الطفل الصغير حسب الحليب المتناول.

Tables des matières

| | |
|-------------------------------|----|
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction | 01 |

Chapitre I : Besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune enfant

| | |
|---|----|
| 1.1.Les besoins en énergie..... | 03 |
| 1.2.Les besoins en protéines..... | 04 |
| 1.3.Les besoins lipidiques..... | 05 |
| 1.4.Les besoins glucidiques..... | 06 |
| 1.5.Les besoins en eau..... | 06 |
| 1.6.Les besoins en micronutriments..... | 07 |
| 1.6.1.Les besoins en sels minéraux..... | 07 |
| 1.6.2.Les besoins en oligoéléments..... | 08 |
| 1.6.3.Les besoins en vitamines..... | 09 |
| 1.6.3.1.Vitamines hydrosolubles..... | 09 |
| 1.6.3.2.Vitamines liposolubles..... | 10 |

Chapitre II : Lait maternel

| | |
|--|----|
| 2.1. Définition..... | 13 |
| 2.2. Structure du lait maternel..... | 13 |
| 2.3. Lactation..... | 13 |
| 2.3.1.Anatomie de la glande mammaire..... | 13 |
| 2.3.2.Sécrétion lactée..... | 14 |
| 2.4.Composition du lait maternel..... | 17 |
| 2.4.1.Composition du lait maternel en protéines et substances azotées..... | 18 |
| 2.4.2.Composition du lait maternel en lipides..... | 19 |
| 2.4.3.Composition du lait maternel en glucides..... | 20 |
| 2.4.4.Composition du lait maternel en vitamines..... | 20 |
| 2.4.5.Composition du lait maternel en oligoéléments..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.4.6.Composition du lait maternel en eau..... | 21 |
| 2.5.Variabilité de la composition du lait maternel..... | 21 |
| 2.5.1.Au cours de la lactation..... | 21 |
| 2.5.1.1.Le colostrum..... | 21 |
| 2.5.1.2.Le lait de transition..... | 22 |
| 2.5.1.3.Lait mature..... | 22 |
| 2.5.2.Au cours de la tétée..... | 22 |

Chapitre III : Lait infantile

| | |
|--|----|
| 3.1.Définition..... | 24 |
| 3.2.Fabrication..... | 24 |
| 3.2.1. Les modifications apportées au lait de vache..... | 24 |
| 3.3.Préparation pour nourrisson..... | 27 |
| 3.4.Préparation de suite..... | 27 |
| 3.5.Lait de croissance..... | 28 |
| 3.6.Les laits spéciaux..... | 28 |
| 3.6.1. Laits anti-régurgitations..... | 28 |
| 3.6.2. Les préparations de suite à base de protéines de soja..... | 28 |
| 3.6.3. Les préparations hypoallergéniques..... | 29 |
| 3.6.3.1. Les hydrolysats poussés de caséine et/ou de protéines du lactosérum... .. | 29 |
| 3.6.3.2. Les préparations à base d'acides aminés libres..... | 29 |
| 3.6.3.3.Les préparations à base de riz..... | 29 |
| 3.6.4.Laits acidifiés ou fermentés..... | 29 |
| 3.7. Composition selon la réglementation..... | 30 |
| 3.8. Les différents laits infantiles disponibles en Algérie..... | 31 |

Chapitre VI : Analyse comparative entre le lait maternel et le lait infantile

| | |
|---|----|
| 4.1. Différence par rapport à la composition..... | 35 |
| 4.1.1. Les protéines..... | 35 |
| 4.1.1.1. Analyse quantitative..... | 35 |
| 4.1.1.2. Analyse qualitative..... | 35 |
| 4.1.2. Les lipides..... | 36 |
| 4.1.2.1. Analyse quantitative..... | 36 |
| 4.1.2.2. Analyse qualitative..... | 36 |
| 4.1.3. Les glucides..... | 37 |
| 4.2. Microbiote..... | 38 |
| 4.3. Utilisation..... | 38 |
| 4.4. Avantages socioéconomiques..... | 38 |

Chapitre V : Impact sur la santé du nourrisson et du jeune enfant

| | |
|---------------------------|-----------|
| 5.1. Les Protéines..... | 40 |
| 5.2. Les Lipides..... | 40 |
| 5.3. Les Glucides..... | 42 |
| 5.4. Autres composés..... | 42 |
| Conclusion..... | 43 |

Liste des tableaux

| Tableaux | Titres | Pages |
|----------|---|-------|
| I | Apports conseillés en énergie selon l'âge du nourrisson | 4 |
| II | Besoins en protéines selon l'âge du nourrisson | 4 |
| III | Besoins et fonctions des sels minéraux chez le nourrisson âgé de moins d'un an | 7 |
| VI | Besoins en oligoéléments inférieurs au milligramme et leurs fonctions pour un nourrisson âgé de moins d'un an | 8 |
| V | Besoins en oligoéléments supérieur au milligramme et leurs fonctions pour un nourrisson âgé de moins d'un an | 8 |
| VI | Besoins et fonctions des vitamines hydrosolubles chez le nourrisson âgé de moins d'un an | 9 |
| VII | Besoins et fonctions des vitamines liposolubles chez le nourrisson âgé de moins d'un an. | 10 |
| VIII | Les modifications apportées au lait de vache | 25 |
| IX | Lois et recommandations des préparations de suite | 30 |
| X | les fabricants de marques existantes en Algérie | 32 |
| XI | Les laits infantiles disponibles en Algérie. | 33 |

Liste des figures

| Figures | Titres | Pages |
|---------|--|-------|
| 1 | Représentation semi-développée de l'acide linoléique | 5 |
| 2 | Représentation semi-développée de l'acide linoléique | 5 |
| 3 | Représentation semi-développée de l'acide Arachidonique | 6 |
| 4 | Représentation semi-développée de l'acide docosahexaénoïque | 6 |
| 5 | Anatomie de la glande mammaire | 14 |
| 6 | Acinus ou alvéole, unité sécrétrice du lait | 15 |
| 7 | Régulation hormonale et entretien de la lactation | 17 |
| 8 | Diagramme de fabrication des préparations pour nourrissons. | 26 |
| 9 | structure natif de globule gras du lait femme et dans le lait homogénéisé. | 37 |

Liste des abréviations

| Abréviations | Significations |
|--------------|---|
| AA | AcideArachidonique |
| AET | ApportEnergétiqueTotale |
| AGE | Acide Gras Essentiel. |
| AGI | Acide Gras Insaturé. |
| AGPI-LC | Acide Gras Polyinsaturé à Longue Chaine |
| ANC | ApportNutritionnelConseillé |
| APLV | Allergie aux Protéines Du Lait De Vache |
| AR | Anti-Régurgitation |
| DHA | AcideDocosahexaénoïque |
| EGF | <i>epidermalgrowth factor</i> |
| FOS | Fructo-Oligosaccharide |
| GOS | Gluco-Oligosaccharide |
| Ig | Immunoglobuline |
| IGF | Insulin- likegrowth factor |
| IL | Interleukine |
| LM | Lait Maternel |
| LI | Lait Infantile |
| LV | Lait de Vache |

| | |
|-----|---|
| NK | Natural Killer |
| OMS | Organisation Mondiale de la Santé |
| PPN | Préparation Pour Nourisson |
| PPS | Préparation à base de Protéines de Soja |
| RGO | Reflux Gastro-Oesophagien |
| SNC | Système Nerveux Central |
| TGF | Transforming Growth Factor |

Introduction

Le nourrisson pendant sa première année de vie, requiert, que ce soit pour son développement physique, mais également pour sa maturation cérébrale à court et moyen terme, des besoins précis et particuliers (**Pubert, 2013**). Ces besoins décrits dans ce travail sont naturellement couverts par le lait de femme. Cette adaptation que l'on retrouve chez tous les mammifères soulève diverses questions sur sa synthèse, sa composition, ses spécificités et sa sécrétion (**Pubert, 2013**).

Les alternatives à l'allaitement maternel sont les formules lactées infantiles au lait de vache. De nombreuses formules infantiles sont présentes sur le Marché Algérien, quelles en sont les points communs et différences? Des réponses à ces questions feront l'objet de ce travail.

La première partie a pour objectif de rappeler les besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune enfant pour faciliter aux lecteurs la compréhension des chapitres suivants.

La deuxième partie présentera le lait maternel en détail pour connaître sa fabrication, sa sécrétion et surtout sa composition nutritionnelle pour montrer sa place aux besoins du nourrisson et du jeune enfant.

La troisième partie permettra de donner des informations sur le lait infantile en mettant en avant sa fabrication et sa composition nutritionnelle, en citant les différents laits infantiles disponibles dans le marché Algérien.

La quatrième partie a pour vocation de donner des éléments utiles pour bien différencier les deux laits en questions sur le plan valeur nutritionnelle.

Pour terminer, nous aborderons l'impact de la différence entre le lait maternel et le lait infantile sur la santé du nourrisson et du jeune enfant.

Chapitre I :
Besoins nutritionnels du nourrisson et du jeune
enfant

Le besoin nutritionnel est la quantité d'énergie nécessaire qui permet de maintenir les fonctions physiologiques, une croissance et un état de santé normal. Il varie selon les individus (âge, sexe, génétique, vitesse de croissance...) et il est influencé par les conditions environnementales et le type d'aliments consommés (**Lescure, 2014**).

La phase de croissance la plus importante chez l'homme est présentée par les trois premières années de sa vie où on a : une multiplication de poids par 4, et de taille par 2 et une augmentation de 50 % du périmètre crânien. Le cerveau grossit de 300 à 1000 g entre 0 et 03 ans, il arrive à maturation à l'âge de 3 ans, d'où l'importance des apports nutritionnels lors de cette phase de développement psychomoteur, métabolique et physique de l'enfant(**Tessier, 2011**).

Les besoins nutritionnels sont exprimés par kg de poids corporel et par jour et permettent de proposer des apports nutritionnels conseillés. Ces ANC (Apport nutritionnel conseillé) définissent les apports nécessaires pour un âge et un sexe donné de telle sorte que les besoins de 97,5% de la population concernée soient couverts(**Pubert, 2013**).

1.1. Besoins énergétiques

Deux méthodes peuvent être utilisées pour estimer les besoins énergétiques. Soit par l'analyse des ingesta spontanés d'une population de sujets en bonne santé, ou par l'analyse des différentes composantes de la dépense énergétique (**DU, 2006**).

Les besoins énergétiques du nourrisson sont estimés grâce à la décomposition des dépenses énergétiques. En premier lieu, la dépense énergétique liée au métabolisme de repos (50 à 70 kcal/kg/jour). Puis les besoins induits par la croissance très rapide de la naissance à 6 mois sont estimés à 5 kcal/g de poids gagné. Ceci représente une dépense de 150 kcal/jour jusqu'à 2 mois puis 100 kcal/jour jusqu'à 6 mois(**Lescure, 2014**). Ensuite la thermorégulation, la dépense énergétique est de 0 à 20 kcal/kg/jour. De même, jusqu'à 6 mois la dépense énergétique liée à l'activité physique est de 10 à 20 kcal/kg/jour et elle augmentera ensuite(**Lescure, 2014**).

La première année, les besoins énergétiques sont stable grâce à l'équilibre entre les besoins de la croissance qui diminuent et ceux de l'activité physique qui augmentent, les apports énergétiques conseillés de 0 à 6 mois sont environ 100 à 120 kcal/kg/jour puis ils iront

en diminuant(Lescure, 2014).Au-delà de 2 ans, il est de 80 kcal/kg/j(LEKE and Mullie, 2004).

Tableau I : Apports conseillés en énergie selon l'âge du nourrisson (Pubert, 2013).

| Age | Kilocalorie par Kg et par jour |
|-----------|--------------------------------|
| 0-2 mois | 97 |
| 3-5 mois | 91 |
| 6-8 mois | 90 |
| 9-11 mois | 96 |

1.2. Besoins en protéines

L'apport protéique représente 10% de AET et ne doit pas dépasser 2,5g pour 100kcalet il est la source principale d'azote de l'organisme. Il doit subvenir aux besoins en azote et en acides aminés nécessaires à une bonne croissance sans cependant dépasser les capacités d'élimination rénale et hépatique. Le tableau ci-contre présente l'évolution du besoin en protéines selon l'âge du nourrisson (Pubert, 2013).

Tableau II : Besoins en protéines selon l'âge du nourrisson (Pubert, 2013).

| Age | Besoin en protéine en g/Kg/j |
|----------|------------------------------|
| 0-2 mois | 2.2 |
| 2-6 mois | 2 |
| 12 mois | 1.2 |

Du point de vue quantitatif, l'apport en protéines doit être de 2 g/kg/jour avant 3 mois puis diminué à 1,5 g/kg/jour jusqu'à 6 mois. ces besoins en protéines sont de l'ordre de 10 g/jour pendant les 2 premières années de vie. Après 3 ans, l'apport conseillé en protides est de 0,8 g/kg/jour comme chez l'adulte(Lescure, 2014).

Du point de vue qualitative, l'apport protéique est régit par certains paramètres tels que : l'apport énergétique total (AET) qui modifie les besoins azotés, la valeur nutritionnelle des protéines de l'alimentation, le coefficient d'utilisation digestive, la teneur en acides aminés des protéines, l'apport spécifique en acides aminés, en particulier en acides aminés

indispensables. Les protéines alimentaires constituant la base de l'alimentation de l'enfant permettent, en effet, de couvrir tous les besoins en acides aminés. Ces acides aminés sont au nombre de 9 chez l'enfant : leucine, thréonine, lysine, tryptophane, phénylalanine, valine, méthionine, isoleucine, histidine (DU, 2006).

De plus, il faut tenir compte du phénomène de « facteur limitant » : une carence en un acide aminé indispensable peut perturber l'assimilation des autres. Une diversification des sources protéiques peut être une solution pour limiter les carences (Pubert, 2013).

1.2. Besoins lipidiques

Chez le nourrisson, en plus de l'apport énergétique les lipides servent au développement très rapide des structures cellulaires et particulièrement des structures cérébrales. Les apports recommandés pour un nourrisson sont de : 45 à 50% de la ration énergétique. A partir de 3 ans, ils sont réduits à 35-40% de l'apport énergétique (Lescure, 2014).

La qualité des lipides revêt un très grand intérêt. L'apport en acides gras insaturés doit avoisiner les 40 à 50% des lipides. Parmi eux, deux acides gras sont indispensables car non synthétisables par l'organisme et participent dans la composition des membranes, en particulier du tissu cérébral. Il s'agit de l'acide linoléique C18 : 2, chef de file de la famille n-6 (ou ω6) et de l'acide linoléique C18 : 3 chef de file de la famille n-3 (ou ω3). Ils doivent respectivement être apportés à hauteur de 3,5 à 5% et 0,5 à 1,5% des AET (Pubert, 2013).

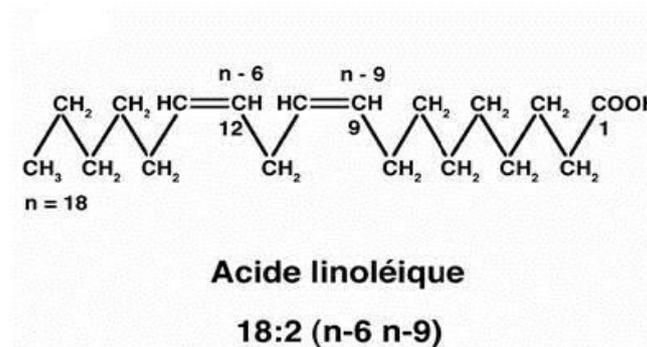
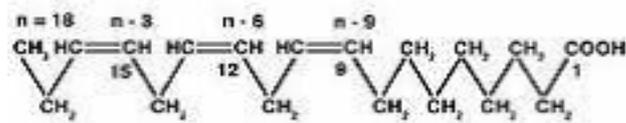


Figure 1 : Représentation semi-développée de l'acide linoléique



Acide linoléique
18:3 (n-3 n-6 n-9)

Figure 2 : Représentation semi-développée de l'acide linoléique.

Suite à l'incapacité de l'enfant à allonger les chaînes des acides gras essentiels (AGE) précurseurs. Les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC) : acide arachidonique ou AA (C20 : 4 n-6) et acide docosahexaénoïque ou DHA (C22 : 6 n-3) doivent être apportés dans la limite de 1 % de l'AET pour chacun d'entre eux et en respectant un rapport moyen AA/DHA de 1,3. L'intérêt de cet apport a été montré chez les enfants prématurés et/ou de petit poids de naissance (**LEKE and Mullie, 2004**).

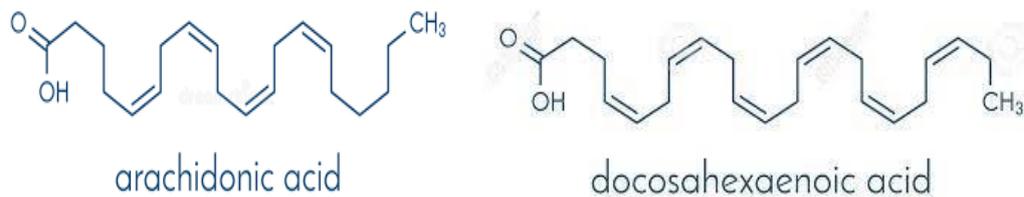


Figure 3 : Représentation semi-développée de l'acide arachidonique **Figure 4** : Représentation semi-développée de l'acide docosahexaénoïque

1.3. Besoins glucidiques

Les glucides ont un rôle essentiellement énergétique et participent également à des processus de synthèse (glycoprotéine) et d'épuration (glycurono conjugaison hépatique). Les besoins en glucides sont de 10 à 15g/kg de la naissance à 1 an et représentent 50% à 58% de l'apport énergétique total à partir de 3 ans (**Arsan et al., 2011**).

Le lactose est le principal sucre présent dans l'alimentation du nourrisson, c'est un disaccharide composé de glucose et de galactose. Il est associé à des polymères complexes de glucose ou polysaccharides (**Pubert, 2013**).

1.3. Besoins en eau

Au cours des premières semaines de vie l'eau représente 75 % du poids du corps. Puis elle diminue à 60 % à un an. Du fait de la plus grande surface cutanée relative, de l'immaturité des fonctions de concentration urinaire et de la prédisposition à développer des troubles digestifs (vomissements, diarrhées) le nourrisson est très dépendant d'apports hydriques réguliers (**LEKE and Mullie, 2004**).

Les besoins sont de 200 à 150 ml/kg chez le nouveau-né, 125 ml/kg de 1 à 6 mois, de 100 ml/kg de 6 à 18 mois. Chez l'enfant plus grand les besoins sont de 1l/24h. Ces besoins augmentent devant des situations de pertes exagérées (diarrhées, vomissements, transpiration) (**Arsan et al., 2011**).

Cet apport a comme rôle de compenser les excréctions hydriques (urines, fèces, d'autant plus que le nourrisson est souvent sujet aux vomissements, diarrhées), les pertes insensibles en eau (transpiration, perspiration) et apporter l'eau nécessaire à la dynamique d'absorption et d'échanges. Ces besoins estimés sont comme suit : 150 ml/kg jusqu'à 3 mois, 125 ml/kg jusqu'à 6 mois puis 100 ml/kg jusqu'à 1 an (**Lescure, 2014**).

1.5. Besoins en micronutriments

1.5.1. Les besoins en sels minéraux

Le tableau 4 permet de résumer les apports nécessaires en sels minéraux ainsi que leur fonction pour le nourrisson de la naissance à 1 an (**Pubert, 2013**).

Tableau III: Besoins et fonctions des sels minéraux chez le nourrisson âgé de moins d'un an (**Pubert, 2013**).

| | Fonction | Apport |
|-----------|---|----------------|
| Sodium | Participe à l'équilibre électrolytique (pompe Na ⁺ K ⁺ ATPase) | 1 à 2 mEq/Kg/j |
| Potassium | Maintien de l'équilibre osmotique, facilite la transmission de l'influx nerveux et la contraction neuromusculaire | 400-700mg |
| | Constituant du squelette, contraction musculaire, excitabilité neuromusculaire, coagulation, messagerie | 500 mg/j |

| | | |
|-----------|---|---------|
| Calcium | cellulaire... | |
| Magnésium | Cofacteur enzymatique, transmission de l'influx nerveux, régulation du rythme cardiaque, excitabilité neuromusculaire | 50 mg/j |

Les apports recommandés en calcium sont ceux qui permettent de satisfaire : les besoins selon la période de croissance et la minéralisation optimale du squelette. Ces derniers doivent tenir compte de ces paramètres : le coefficient d'absorption intestinal, la biodisponibilité du calcium des aliments, l'apport en autre nutriment comme le phosphore et la vitamine D, et des capacités d'absorption de l'intestin (DU, 2006).

1.5.2. Les besoins en oligoéléments

Les besoins en oligoéléments peuvent être différenciés en deux catégories : ceux dont les besoins sont supérieurs au milligramme et ceux dont les besoins sont inférieurs au milligramme. Ces besoins ainsi que le rôle de chaque oligoélément sont décrits dans les tableaux ci-dessous pour les nourrissons de moins d'un an.

Tableau IV: Besoins en oligoéléments supérieur au milligramme et leurs fonctions pour un nourrisson âgé de moins d'un an (Pubert, 2013).

| | Fonction | Apport > mg |
|------|--|-------------|
| Fer | Constituant de l'hémoglobine et d'enzymes (peroxydases, catalase...) | 8-10 mg/j |
| Zinc | Participe à la synthèse d'hormones (insuline, thymuline, hormone de croissance), participe à la cicatrisation et la différenciation cellulaire | > 5 mg/j |

Tableau V: Besoins en oligoéléments inférieurs au milligramme et leurs fonctions pour un nourrisson âgé de moins d'un an (Pubert, 2013).

| | Fonction | Apport < mg |
|--|----------|-------------|
| | | |

| | | |
|----------|---|---------------|
| Cuivre | Respiration et protection cellulaire (cytochrome c oxydase et superoxydedismutase, régulation des neurotransmetteurs, métabolisme du fer et immunité) | 40-80 µg/kg/j |
| Fluor | Métabolisme des os et des dents, Action anti-carie | 250 µg/j |
| Iode | Production d'hormones thyroïdiennes, régulateur de la thermogénèse et de la croissance tissulaire | 50 µg/j |
| Sélénium | Antioxydant et constituant des séléno-protéines (enzymes de détoxification) | 20 µg/j |

L'une des carences les plus répandues chez le nourrisson est celle du fer, sur la quantité globale de fer ingérée (fer hémique + fer non-hémique), la quantité de fer absorbée au niveau digestif ne dépasse pas 10 à 15 % chez un sujet normal. Les besoins du nourrisson étant évalués à 1 à 2 mg/j, de ce fait pour le couvrir il faut un apport de 10 à 15 mg/j. Malgré le taux de fer faible dans le lait maternel, sa biodisponibilité qui s'approche des 50% protège le nourrisson de la carence jusqu'à l'âge de 6 mois environ. L'un des avantages des préparations de suite est un enrichissement en fer adapté en fonction de l'âge qui permet une meilleure couverture des besoins (**LEKE and Mullie, 2004**).

1.5.3. Les besoins en vitamines

Tout aussi indispensables au fonctionnement cellulaire, les vitamines doivent aussi être apportées par l'alimentation en juste quantité. D'un point de vue qualitatif, il y a lieu de différencier deux classes de vitamines :

1.5.3.1. Vitamines Hydrosolubles

Tableau VI : Besoins et fonctions des vitamines hydrosolubles chez le nourrisson âgé de moins d'un an (**Pubert, 2013**).

| Vitamines du groupe B | Fonction | Apport |
|------------------------|--|----------------|
| Vitamine B1 (thiamine) | Production d'énergie (participe à la transformation d'acide pyruvique en acétylCoA) et fonctionnement du système nerveux (favorise la transmission synaptique) | 0,3 à 0,5 mg/j |
| Vitamine B2 | Coenzymes d'oxydoréduction, production d'énergie | 0,5 mg/j |

| | | |
|-------------------------------|--|----------------|
| (riboflavine) | | |
| Vitamine B3 ou PP | Cofacteur d'enzyme d'oxydoréduction, Production d'énergie | 6 mg/j |
| Vitamine B6 | Coenzyme de réactions de trans-amination et de décarboxylation | 0,3 à 0,6 mg/j |
| Vitamine B9 (acidefolique) | Coenzyme lors de la synthèse ADN et ARN, indispensable lors de la division cellulaire et de l'hématopoïèse, synthèse de sérotonine | 70 µg/j |
| Vitamine B12 (cobalamine) | Division cellulaire | 0,5µg/j |
| Vitamine du groupe C | | |
| Vitamine C | Synthèse du collagène, hypocholestérolémiant, anti-oxydante, antiradicalaire | 50 mg/j |

1.5.3.2. Vitamines liposolubles

Tableau VII: Besoins et fonctions des vitamines liposolubles chez le nourrisson âgé de moins d'un an.

| | Fonction | Apport |
|------------|---|-----------------|
| Vitamine A | Vision nocturne, différenciation et croissance cellulaire, antioxydant, cicatrisant | 350 µg/j |
| Vitamine D | Métabolisme phosphocalcique, différenciation et prolifération cellulaire, immunité | 800 à 1000 UI/j |
| Vitamine E | Antioxydant, antiagrégant plaquettaire, anti-inflammatoire | 4 mg/j |
| Vitamine K | Synthèse de facteurs de coagulation | 5 à 10 µg/j |

- Vitamine D

Importante dans l'absorption du calcium. Les besoins en vitamine D, sont importants au cours des deux premières années de la vie, période où la croissance staturale est la plus rapide. Les réserves en vitamine D du nouveau-né dépendent étroitement de celles de leur mère, et sont donc le plus souvent basses. Le lait maternel contenant (25-70 UI/L) de vitamine D, une supplémentation de 400 à 1 000 UI/j reste recommandée entre la naissance et 2 ans (**DU, 2006**).

- Vitamine K

Les ANC chez le nourrisson sont de 10µg/j. A la naissance on administre de la vitamine K par voie intramusculaire ou per os chez tous les bébés et les nourrissons nourris au lait maternel à raison d'une ampoule de 5 mg de vitamine K par semaine jusqu'à l'introduction d'une alimentation variée (**Lescure, 2014**).

Ces besoins nutritionnels sont assurés essentiellement par le lait maternel, si elle a une alimentation de qualité, ou par les préparations pour nourrisson jusqu'à l'âge d'un an (**Pubert, 2013**).

Chapitre II :

Le lait maternel

2.1. Définition

Le lait se définit biologiquement comme la sécrétion produite par les glandes mammaires. Il est aussi une forme de communication, il est le produit d'une relation et d'un échange entre celles qui allaitent et ceux qui sont allaités (**Cohen, 2021**).

Le lait maternel a des fonctions nutritives et des fonctions non-nutritives. C'est un liquide vivant qui s'adapte en permanence aux besoins métaboliques, nutritionnels et immunologiques de l'enfant par des signaux multiples, encore mal identifiés (**Vidailhet, 2003**).

2.2. Structure du lait maternel

Les constituants du lait maternel sont répartis en différents compartiments :

- la phase aqueuse, le lactosérum, qui contient l'eau, les protéines solubles, le lactose et d'autres éléments hydrosolubles ;
- des micelles de caséine de petit diamètre dont la digestibilité est facile ;
- des émulsions de globules graisseux contenant les lipides et les vitamines liposolubles ;
- des membranes de globules gras issues de la membrane des cellules alvéolaires mammaires, riches en phospholipides et cholestérol, qui empêchent l'agglutination des globules graisseux en trop grosses gouttelettes ;
- des cellules vivantes (**Cohen, 2021**).

2.3.Lactation

2.3.1.Anatomie de la glande mammaire

L'alvéole est l'unité fondamentale de la glande mammaire, il est défini comme un petit sac d'une centaine de lactocytes qui synthétisent le lait. Des groupes de 10 à 100 alvéoles forment des lobules qui se regroupent en lobes. La taille de certains lobes peut varier de 20 à 30 fois, ce qui peut avoir un impact sur la production de lait en cas d'obstruction ou de mastite. Les petits canaux présents à l'intérieur d'un lobe fusionnent en canaux plus larges qui se réunissent pour former un canal lobaire unique de 2 mm de diamètre en moyenne s'abouchant à la surface du mamelon par un pore de 0,4 à 0,7 mm de diamètre. Quarante-vingt-dix pour cent des mamelons ont de 5 à 9 orifices situés majoritairement dans la région centrale (**Gremmo-Féger, 2015**).

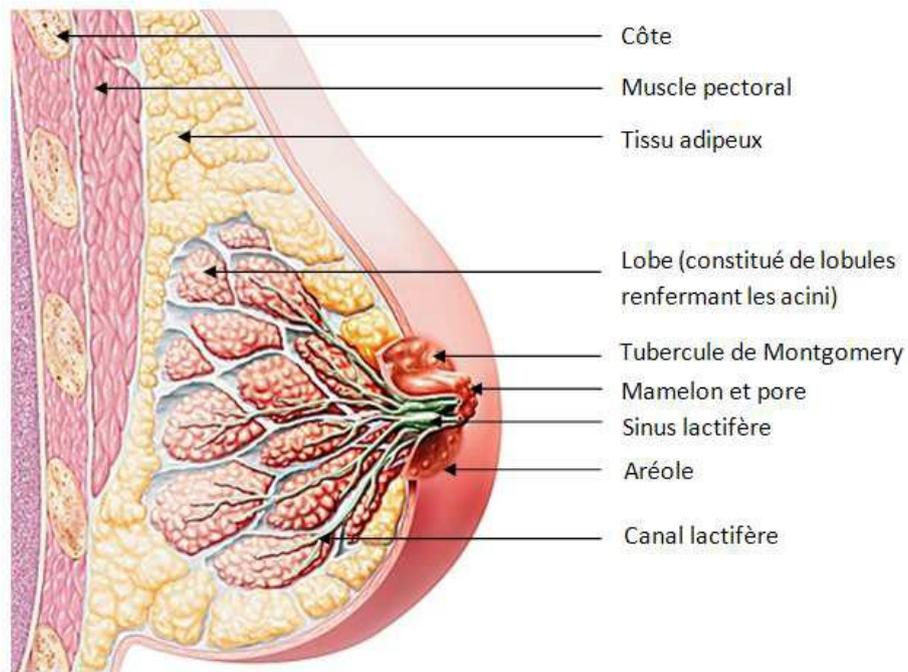


Figure 5 : Anatomie de la glande mammaire(Lescure, 2014).

2.3.2.Sécrétion lactée

Les cellules épithéliales acquièrent les caractéristiques d'une cellule sécrétoire en fin de grossesse. La production de lait se prépare par la mise en place de tous les éléments nécessaires mais la lactation n'a pas encore eu lieu à ce stade, donc n'est pas cliniquement initiée, c'est la lactogénèse infraclinique. Les produits de sécrétion s'accumulent dans la lumière des acini qu'ils dilatent. Les cellules épithéliales s'aplatissent et les cellules myoépithéliales étirées sont alors à peine visibles (Rotten, 1991).

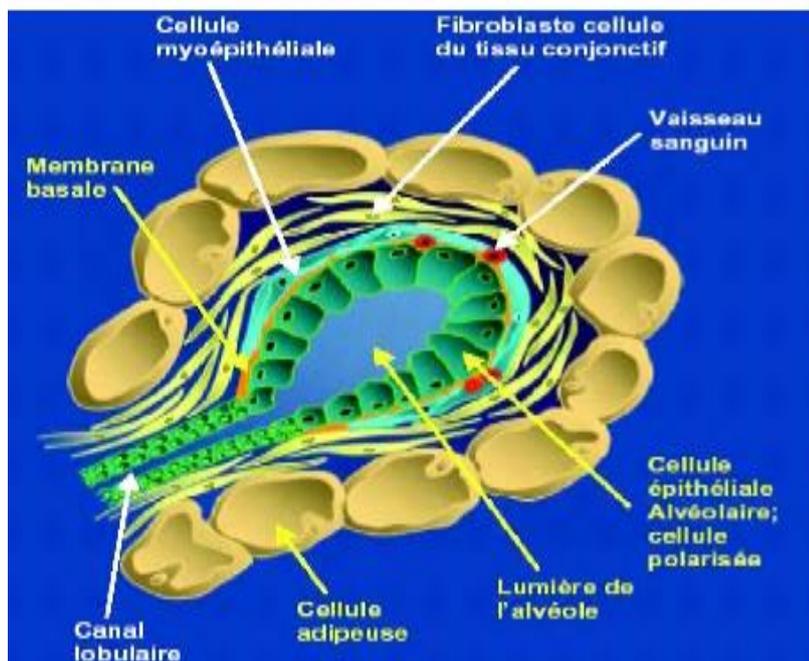


Figure 6: Acinus ou alvéole, unité sécrétrice du lait(Lescure, 2014).

Durant cette période, il existe cependant deux particularités :

- Les protéines sont excrétées vers la lumière, mais les graisses restent intracellulaires. Ceci explique la richesse en protéines du colostrum ;
- Toutes les voies métaboliques de synthèse ne sont pas fonctionnelles. Il en est ainsi de la synthèse de l'alpha-lactalbumine qui ne se fait pas à ce stade (Rotten, 1991).

Lactogénèse de stade I

La lactogénèse de stade I débute pendant la grossesse et se termine 2 ou 3 jours après la naissance au moment de la montée laiteuse. Elle est également appelée phase colostrale.

Pendant la grossesse, la sécrétion de lait est freinée principalement par le rôle inhibiteur de la progestérone et secondairement par l'œstrogène. La progestérone freine la sécrétion de la prolactine au niveau hypophysaire et empêche l'action de la prolactine sur la production de certaines protéines. La progestérone agit sur la perméabilité des jonctions serrées. C'est le moment où les jonctions cellulaires sont ouvertes et où le colostrum fabriqué est réabsorbé

dans la circulation maternelle. Le lactose est ainsi retrouvé dans le sang et les urines maternels (**Rotten, 1991**).

La production de lait augmente progressivement pendant les deux premiers jours de l'allaitement (1^{er} jour : 56 ± 65 ml, 2^{ème} jour : 185 ± 103 ml) suivie par une augmentation abrupte pendant 48 à 96 heures (pente moyenne de 200 ml/jour) et d'une augmentation plus lente depuis une moyenne de 550 ml/jour le 5^{ème} jour, à 750 ml/jour à 1 mois, puis 850 ml/jour à 5 mois. Les variations interindividuelles de la production quotidienne de lait sont importantes : de 800 ml/jour, pendant la 2^{ème} semaine à 400 ml/jour vers 2 mois (**Pons and Rey, 1994**).

Lactogenèse de stade II

La lactogenèse de stade II a lieu juste après la lactogenèse de stade I, elle est également appelée phase lactée. La chute du taux des hormones placentaires déclenche la lactogenèse de stade II : essentiellement la progestérone, observée immédiatement après l'accouchement. Elle va entraîner une fermeture des jonctions intercellulaires, une modification de la sécrétion lactée et une augmentation du volume de lait produit et ce d'autant plus que l'extraction de lait intervient rapidement. La production de lait va augmenter pour s'adapter aux besoins de l'enfant, comme suit (**Rotten, 1991**):

- 30 à 50 ml à J2,
- 100 à 150 ml à J3,
- 600 ml vers 2 semaines.

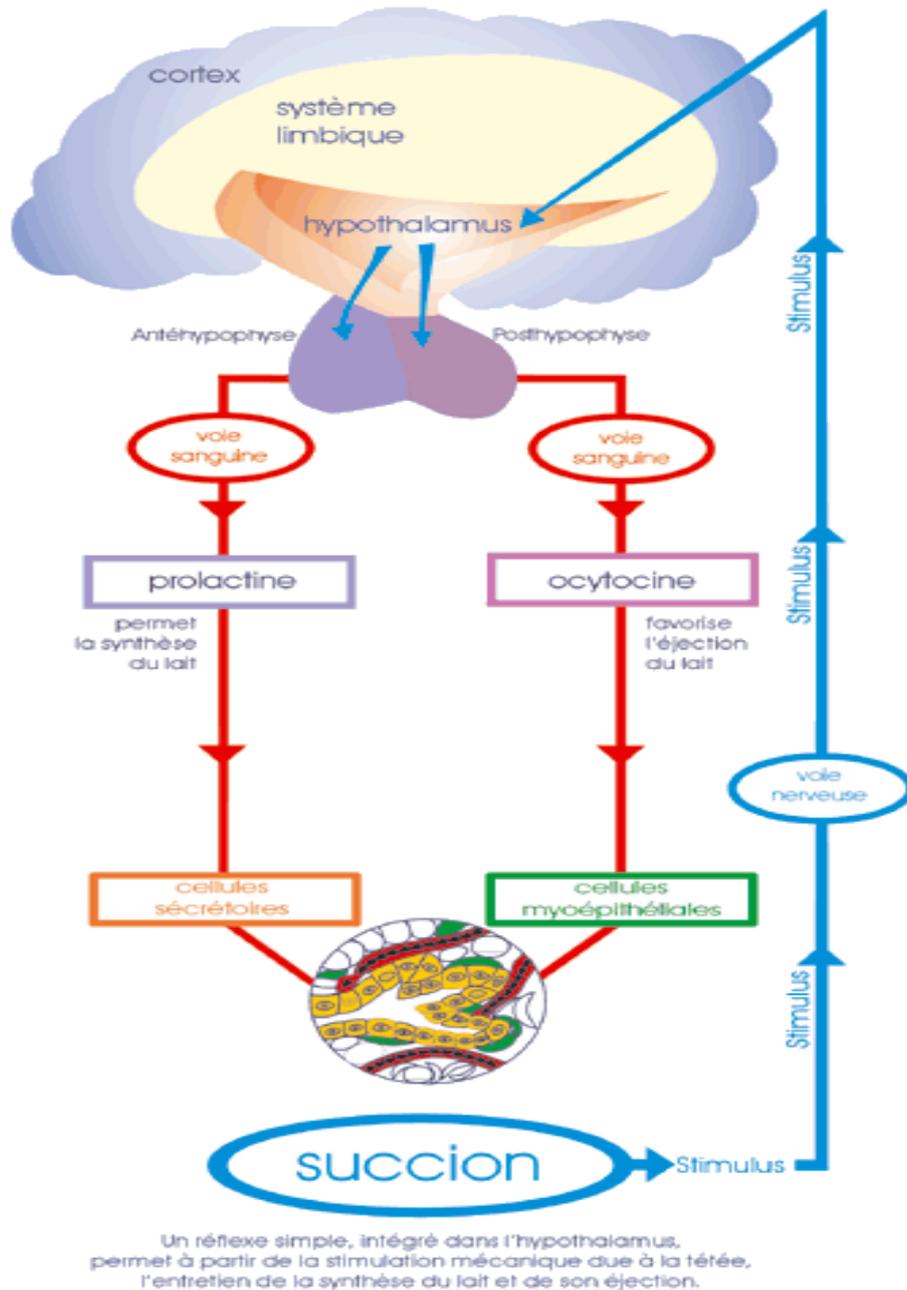


Figure 7: Régulation hormonale et entretien de la lactation(Lescure, 2014).

2.4.Composition du lait maternel

La composition du lait maternel, comme celui de tous les mammifères, est spécifique de l'espèce et adaptée aux besoins particuliers du petit humain. Il contient des macronutriments (protéines, lipides et glucides), des micronutriments (minéraux et vitamines) et de très nombreux facteurs biologiquement actifs. Ensemble, ils assurent la nutrition du nouveau-né mais aussi des mécanismes anti-infectieux, anti-inflammatoires, antioxydants,

d'immunomodulation, trophiques et de protection de la muqueuse intestinale (**Tackoen, 2012**).

2.4.1. Composition du lait maternel en protéines et substances azotées

Le lait maternel se compose de plusieurs substances azotées qui comprennent les protéines, les acides aminés libres et les substances azotées non protéiques. La teneur en protéines du lait maternel (8-10 g/L soit environ 0,9% de sa composition) est nettement la plus faible de toutes celles des autres espèces de mammifères (35 g/L dans le lait de vache soit 3,4%). Ceci explique une excellente absorption et une parfaite adéquation de la constitution en acides aminés avec les besoins du bébé et avec son immaturité digestive et rénale(**Lescure, 2014**).

Les protéines du lait maternel sont aussi très spécifiques ; les caséines, qui ne représentent que 40 % des protéines du lait maternel (contre 80 % dans le lait de vache) sont différentes. Les caséines du lait maternel forment des micelles plus petites que celles du lait de vache. Un pourcentage élevé (60 %) des protéines du lait maternel ne précipite pas avec les caséines ; elles sont dénommées protéines solubles(**Turck et al., 2013**). Ce pourcentage élevé de protéines sériques et les micelles de caséine de petite taille expliquent la coagulation plus fine du lait maternel dans l'estomac du nourrisson, contribuant à sa vidange rapide (**Turck et al., 2013**). Les protéines (caséines et protéines du lactosérum) représentent 80% de l'apport azoté du lait maternel(**Lescure, 2014**).

Certaines protéines du lactosérum ont un rôle essentiel comme les immunoglobulines, en particulier les IgAS de type sécrétoire (50 à 100 mg/ 100 ml) [12], la lactoferrine, des enzymes (lysozyme), des facteurs de croissance comme l'*insulin-like growth factor* (IGF- 1), le *transforming growth factor* (TGF), les facteurs de croissance leucocytaire (G- CSF) et surtout l'*epidermal growth factor* (EGF), qui a une action trophique sur les muqueuses gastrique et intestinale(**Turck et al., 2013**). On y trouve aussi de la leptine, de la ghréline et de l'adiponectine, des protéines de liaison des vitamines B9, B12 et D, de la thyroxine, des corticostéroïdes et différentes cytokines, pro- inflammatoires (TNF- α , IL- 1 β , IL- 6, IL- 8, IL- 12) ou anti- inflammatoires (IL- 10 ; TGF- β 2)(**Turck et al., 2013**). À côté des protéines, un ensemble de peptides, acides aminés libres (dont la taurine), urée, acide urique, sucres et alcools aminés, polyamines, nucléotides et carnitine, représente 20 % à 25 % de l'azote total du lait maternel, alors qu'il n'en représente que 3 % à 5 % dans le lait de vache. Le lait de

femme est 5 à 10 fois plus riche en acides aminés libres que les préparations pour nourrissons, notamment en glutamate/glutamine, auxquels on attribue un rôle trophique sur l'intestin (Turck et al., 2013).

2.4.2. Composition du lait maternel en lipides

La teneur en lipides dans le lait maternel est de 35 g/l en moyenne qui est proche de celle du lait de vache. La digestibilité et le coefficient d'absorption des graisses du lait de femme sont très supérieurs (80 % versus 60 % dans les premiers jours et atteignant rapidement 95% alors qu'il reste à 80 % à 3 mois pour le lait de vache). La digestibilité des graisses du lait de femme se fait par une lipase présente en son sein qui dépend des acides biliaires qui compense au niveau duodéal le défaut de lipase pancréatique. Soixante-dix pour cent de l'acide palmitique (25 % des acides gras totaux) étant en position 2 sur le glycérol, ils sont bien absorbés sous forme de monoglycéride, ce qui n'est pas le cas pour le lait de vache. Ce n'est pas non plus le cas des lipides d'origine végétale qui remplacent aujourd'hui, en tout ou en partie, les graisses lactiques dans les formules pour nourrissons (Vidailhet, 2003).

Ce remplacement des graisses lactiques par un mélange de graisses végétales dans les laits pour nourrissons est effectué pour assurer les apports indispensables en acides gras essentiels, acide linoléique (chef de file de la série "n-6") et acide α linoléique (chef de file de la série "n-3") dans un rapport satisfaisant (entre 5 et 15). Le lait de femme est riche en cholestérol (2,6 à 3,9 mmole/l) alors que le lait de vache en apporte peu (0,3 à 0,85 mmole/l).

Les CLA (Acide linoléique conjugué) sont présents dans le lait de vache (3,4 à 6,4 mg/g de graisse) ; ils résultent de la biohydrogénation partielle de l'acide linoléique dans le rumen. Ils sont également présents dans le lait de femme, en plus faible concentration ($3,8 \pm 0,3$ mg/g de graisse), au prorata de la consommation de produits laitiers, mais sont totalement absents des laits adaptés à 100 % de lipides végétaux, comme l'autorise la réglementation (Vidailhet, 2003).

Beaucoup plus importante est la présence dans le lait de femme des acides gras poly-insaturés (AGPI), acides gras essentiels mais aussi leurs homologues supérieurs, en particulier l'acide arachidonique (AA : 0,46 g/ 100 g d'acides gras) dans la série linoléique et l'acide docosa-hexaénoïque (DHA : 0,25 g/100 g d'acides gras) dans la série α linoléique en raison de leurs fonctions aux niveaux cérébral et rétinien. Ils sont totalement absents des formules pour nourrissons, à l'exception de l'une d'entre elles. Leur rôle démontré dans les processus de maturation cérébrale et rétinienne, l'immaturation des processus d'élongation et surtout de désaturation qui permettent leur synthèse à partir des deux acides gras essentiels ont conduit à

un consensus sur la nécessité d'une supplémentation spécifique et équilibrée en AA et en DHA des formules pour prématurés. Bien que certains travaux plaident dans ce sens, la nécessité de supplémenter de la même façon les laits de premier âge n'est pas prouvée ; cette supplémentation entraînerait sans aucun doute une augmentation du coût de ces laits (Vidailhet, 2003).

2.4.3. Composition du lait maternel en glucides

Le lactose fournit 40% des calories du lait maternel. Il est la deuxième source d'énergie du lait maternel et spécifique de la première année (Tackoen, 2012).

Le lait maternel contient un nombre extraordinaire d'oligosaccharides (environ 130 différents) (Tackoen, 2012), cinq sucres élémentaires (glucose, galactose, N-acétylglucosamine, fucose, acide sialique), de structure ramifiée, ces oligosaccharides représentent une originalité majeure du lait maternel et constituent de véritables prébiotiques, non digestibles au niveau du grêle (Turck et al., 2013). Ces oligosaccharides ne sont pratiquement pas absorbés au niveau intestinal et arrivent intacts dans le colon où ils facilitent la croissance des bifidobactéries. La fermentation des oligosaccharides par les bactéries coliques produit des acides gras à courte chaîne, source d'énergie pour l'organisme (Tackoen, 2012).

2.4.4. Composition du lait maternel en vitamines

Le lait maternel couvre parfaitement les besoins du nourrisson en vitamines hydrosolubles (C et B). Chez les mamans allaitantes végétariennes depuis plus de 3 ans, qui ne prennent pas de suppléments, on note une nette carence en vitamine B12 chez les bébés à l'âge de 4-6 mois, car cette vitamine se trouve exclusivement dans les tissus animaux (Lescure, 2014).

L'allaitement permet de couvrir sans problème les besoins en vitamine A nécessaire à la vision et à l'intégrité musculaire et en vitamine E permettant la résistance des globules rouges à l'hémolyse (Lescure, 2014).

Le lait maternel contient peu de vitamine D, seulement 50 à 90 UI/L. Cette vitamine est indispensable au métabolisme phosphocalcique, à la différenciation cellulaire et joue un rôle non négligeable dans l'immunité (Pubert, 2013). Comme le lait maternel est déficitaire en vitamine D et il est déconseillé d'exposer au soleil les enfants avant l'âge de 6 mois, une

supplémentation chez tous les bébés allaités est nécessaire afin d'éviter la survenue d'un rachitisme. On recommande donc chez tous les enfants de moins d'un an un apport de 400 à 600 UI/j en vitamine D (jusqu'à 800 UI/j chez les enfants à peau très pigmentée ou qui sont très peu exposés au soleil) (**Lescure, 2014**).

Le lait maternel (LM) est totalement dépourvu de vitamine K qui est indispensable à la synthèse des facteurs de coagulation. Pour prévenir un éventuel accident hémorragique, une supplémentation de 2mg de vitamine K par semaine est systématiquement prescrite dès la naissance et ce pendant toute la durée de l'allaitement maternel (**Pubert, 2013**).

2.4.5. Composition du lait maternel en oligoéléments

La teneur en minéraux du lait de femme (210 mg/100 ml) est plus de 3 fois inférieure à celle du lait de vache (LV). Cette faible teneur est expliquée par la faible teneur en azote, limite la charge osmolaire rénale (93 mOsm/l pour le LF contre 308 mOsm/l pour le LV). Il en résulte une moindre déperdition hydrique par les reins immatures des jeunes nourrissons, peu aptes pendant les premiers mois de vie à concentrer les urines. Dans le lait maternel le fer et le zinc présentent une excellente biodisponibilité à cause des ligands auxquels ils sont liés, qui facilitent leur absorption intestinale (**Turck et al., 2013**).

2.4.6. Composition du lait maternel en eau

Le lait maternel comprend 87% d'eau assurant une hydratation parfaite du nourrisson, car cette eau est liée à d'autres molécules, ce qui évite sa fuite urinaire; le nourrisson n'a pas besoin d'apport d'eau supplémentaire même s'il fait très chaud ou s'il a de la fièvre il peut téter aussi souvent qu'il le demande (**Laurent and Dr.I.B.C.L.C, 2002**).

2.5. Variabilité de la composition du lait maternel

La composition du lait maternel évolue au cours de la lactation :

2.5.1. Au cours de la lactation

2.5.1.1. Colostrum

Le colostrum est produit durant les 3 à 5 premiers jours de lactation. Il est moins riche en lipides et en lactose que le lait mature, il a une plus faible valeur calorique mais il contient deux fois plus de protéines, surtout des immunoglobulines A (IgA), des facteurs de croissance et des cytokines. Il est également riche en cellules immunitaires et en oligosaccharides (**Tackoen, 2012**).

2.5.1.2.Lait de transition

Le lait de transition est produit au cours des 15 jours suivants. La teneur en lipides et en lactose augmente progressivement, celle en protéines diminue. Cette composition permet au lait de transition d'évoluer vers la composition du lait mature (**Tackoen, 2012**).

2.5.1.3.Lait mature

Le lait mature est produit environ trois semaines à un mois après le démarrage de l'allaitement. Cette évolution est adaptée aux besoins progressifs de l'enfant en croissance, en particulier à la maturation des défenses immunitaires et au développement du SNC (**Tackoen, 2012**).

2.5.2.Au cours de la tétée

Le lait maternel en début de tétée est plus riche en eau et en glucides puis il s'enrichit progressivement en lipides et en micelles de caséines en fin de tétée . Les études montrent que plus le bébé prend des grandes quantités de lait plus ce dernier s'enrichit en matières grasses entre le début et la fin de la tétée. Le taux de lipides peut passer de 10 g/L en début de tétée à 50 g/L à la fin. Cette augmentation de la teneur en lipides en fin de tétée est responsable de la sensation de satiété du bébé, ce qui coïncide avec l'épuisement du contenu mammaire. Le lait humain est également plus riche en lipides l'après-midi et le soir que pendant la nuit (**Lescure, 2014**).

Chapitre III :

Lait infantile

3.1. Définition

on entend un substitut du lait maternel spécialement fabriqué pour satisfaire à lui seul les besoins nutritionnels des nourrissons pendant les premiers mois de leur vie, jusqu'à l'introduction d'une alimentation complémentaire appropriée(CODEX ALIMENTARIUS).

Selon l'évolution de la maturation des fonctions physiologiques et métaboliques de l'enfant, il existe trois catégories de préparations infantiles : les préparations pour nourrisson (1er âge), les préparations de suite (2ème âge) et les laits de croissance (**Lescure, 2014**).

On distingue deux sortes de laits infantiles :

*Les laits à protéine de vache adaptés à prédominance de protéines du lactosérum qui contiennent 60% de protéines sériques et 40 % de caséines.

* Les laits à protéine de vache adaptés à prédominance de caséine (80% caséine / 20% protéines sériques) (**Simard, 2001**).

3.2. Fabrication

La plupart des laits infantiles sont fabriqués à partir de lait écrémé avec ajout de lactosérum et/ou de lactose + protéines solubles. La matière grasse est apportée par des huiles végétales et parfois par de la crème en supplément. Les vitamines, minéraux, amidon et autres ingrédients facultatifs sont toujours ajoutés en supplément (**Follain, 2015**).

3.2.1 Les modifications apportées au lait de vache

En pratique, la fabrication du lait infantile se traduit par l'utilisation de composants d'origine lactique et de composants d'origine non lactique. Les composants lactiques sont : le lait de vache, la crème et le lactosérum déminéralisé. Les composants non lactiques sont : les matières grasses végétales, les sels minéraux, les vitamines et les glucides : lactose, saccharose et maltodextrine. Les corrections des différents éléments composant le lait de vache pour s'approcher de la composition du lait maternel sont citées dans le tableau suivant. (**Pubert, 2013**).

Tableau VIII : Les modifications apportées au lait de vache (**Pubert, 2013**).

| Elément du lait de vache (LV) | Modification apporté |
|-------------------------------|--|
| Les lipides | <ul style="list-style-type: none">-Composition similaire au lait maternel.-Ajout de matière grasse végétale entre autre l'huile de Mais et tournesol (acide gras n-6) |
| Les protéines | <ul style="list-style-type: none">-La quantité (30 à 35 g/L dans le lait de vache contre 8 à 10 g/L dans le lait maternel)-Pour compenser le taux élevé de caséine on rajoute des protéines solubles par ajout de lactosérum ou protéines solubles extraites du lait de vache par ultrafiltration.- la caséine du lait de vache floccule en gros caillots ce qui rend la digestion plus difficile et l'ajout d'acide lactique ou microorganismes pallieà ce problème |
| Les glucides | <ul style="list-style-type: none">-Le taux de glucides plus faible dans le LV que dans le LM (4,7 g/100ml contre 6 à 7 g/100ml pour le LM)- ajout d'hydrates de carbone : comme le saccharose (glucose + fructose) ou des maltodextrines. |
| Les minéraux | <p>Comme nous l'avons vu précédemment, le L V est 3 à 4 fois plus riche en sels minéraux que le LM.</p> <ul style="list-style-type: none">-enrichir le lait de vache en composants n'apportant pas ou peu de sels minéraux ou procéder à une déminéralisation par électrodialyse et nanofiltration sur membrane. |
| Les vitamines | <ul style="list-style-type: none">-L'apport vitaminique du lait de vache est quelque peu différent de celui du lait maternel.-un complément sous forme de vitamines de synthèse est apporté pour parvenir à des formulations satisfaisantes d'un point de vue vitaminique. |

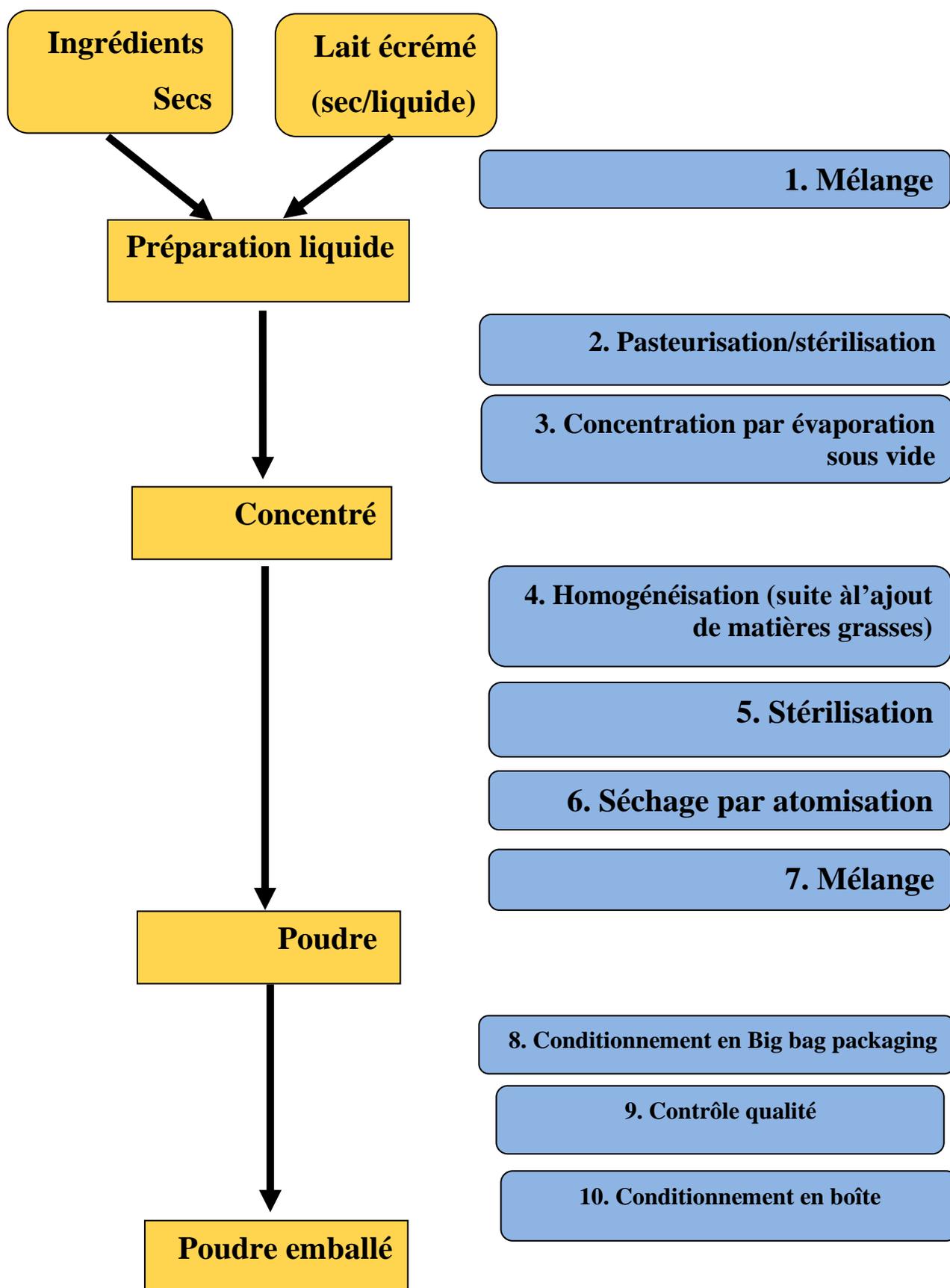


Figure 8: Diagramme de fabrication des préparations pour nourrissons (Lemaire, 2018).

Les ingrédients secs (par exemple les protéines du lactosérum) sont d'abord dissous dans l'eau (« premix»), puis mélangés avec du lait écrémé pour former une préparation liquide (Follain, 2015).. Le but de cette opération est d'avoir un ratio caséines/protéines sériques de 40/60. Cette préparation liquide est ensuite pasteurisée puis concentrée par évaporation sous vide. Après ajout de la matière grasse (généralement mélange d'huiles végétales) et homogénéisation, la préparation concentrée est séchée dans une tour de séchage. La poudre est d'abord conditionnée en big-bag en attendant le résultat du contrôle qualité. Si la qualité de la poudre est conforme, la poudre est conditionnée en boîtes métalliques pour être commercialisée.(Deglaire et al, 2018)

3.3. Préparation pour nourrisson

Définitions :

On entend par « **préparation destinée aux nourrissons** » un substitut du lait maternel spécialement fabriqué pour satisfaire à lui seul les besoins nutritionnels des nourrissons pendant les premiers mois de leur vie, jusqu'à l'introduction d'une alimentation complémentaire. Au sens des dispositions du présent règlement technique, on entend par « **Nourrissons** » les enfants âgés de moins de douze (12) mois (CODEX ALIMENTARIUS) **CXS 72–2007**.

Ces préparations pour nourrissons peuvent être fabriquées à partir de lait de vache, de chèvre, de protéines de soja. Les préparations issues de lait de soja ne sont pas incluses dans la dénomination lait pour nourrisson, les limites inférieures et supérieures de la composition en nutriments ainsi que les additifs sont définis par la législation (Lescure, 2014).

3.4. Préparation de suite

Ces préparations sont utilisées avec une alimentation complémentaire appropriée et constitue le principal élément liquide de l'alimentation progressivement diversifiée. Il constitue le principal liquide de l'alimentation, on les dénomme « les laits deuxième âge »(Follain, 2015).

Ces préparations sont particulièrement recommandées pour l'alimentation de l'enfant jusqu'à l'âge de douze mois, car lors de la diversification les nouveaux aliments ne remplissent qu'une partie des besoins nutritionnels des bébés. Consommés à raison de 500ml par jour, ils contribuent à :

- Ajustement protéique de la ration,

- Fournir des acides gras essentiels au développement cérébral,
- Enrichir en fer, zinc et iode pour maintenir les réserves du bébé, et en vitamines en

particulier A, D, E (Simard, 2001).

3.5. Lait de croissance

Si l'allaitement maternel est interrompu après l'âge de 1 an, les apports indispensables en particulier en calcium sont apportés par du lait de vache, ou une préparation lactée réservée aux enfants de bas âges (1-3 ans) appelé « lait de croissance ou troisième âge »(Ghisolfi et al 2011). Il n'y a aucun texte qui réglemente cette catégorie, il n'y a que des recommandations (Agostoni et al 2010)

3.6. Les laits spéciaux

Ils sont tous classés comme Aliment Diététique Destiné à des Fins Médicales Spéciales DADFMS (Follain, 2015).

3.6.1. Laits Anti-Régurgitations (AR)

Pour la prise en charge diététique des reflux gastro-œsophagiens (RGO) du nourrisson, des laits pré-épaissis dits « AR » ceux épaissis par la farine de caroube (vrais AR) et ceux épaissis par l'amidon de maïs ou de riz qualifiés de « Confort »(Simard, 2001).

Ces préparations AR sont caractérisées par :

- *Moins de 2g de protéines dont 70 à 85 % de caséine / 100ml de lait reconstitué selon l'âge,
- *Une faible teneur en lipides pour faciliter la vidange gastrique.
- *Une teneur en glucides élevée pour palier l'effet ralentisseur de la vidange gastrique,
- * 65 à 80% de lactose et au moins 30% d'amidon(Salle et al 2009).

3.6.2- Les préparations de suite à base de protéines de soja (PPS)

Ces préparations sont pour la réalimentation des diarrhées aiguës ; les maladies enzymatiques du métabolisme du lactose et peut être dans le traitement des coliques du nourrisson à titre temporaire. Ces formules ne sont pas préconisées pour la prévention de l'allergie car les protéines de soja sont aussi antigéniques que les protéines du lait de vache (Bocquet et al 2001).

3.6.3-Les préparations hypoallergéniques

Ces préparations ont été élaborées pour palier à l'allergie aux protéines du lait de vache (APLV). Elles diffèrent de celles standards par leurs protéines car ces dernières ont été partiellement hydrolysées (traitement enzymatique et parfois thermique) afin de réduire leur caractère allergisant (Chouraqui et al, 2008).

3.6.3.1 Les hydrolysats poussés de caséine et/ou de protéines du lactosérum

Les protéines de ces laits subissent une hydrolyse poussée jusqu'à obtenir des peptides permettant une allergénicité très réduite, il en résulte un goût très amer qui peut être mal accepté par le nourrisson (Léké et Mullié, 2004).

Ces laits sont tolérés par 90 % des enfants, ce qui sous-entend que 10 % des enfants restent allergiques à ces hydrolysats. Dans ce cas, le choix est orienté vers un hydrolysat d'acides aminés (Rouelle et al, 2017).

3.6.3.2 Les préparations à base d'acides aminés libres

Ces préparations ont comme spécificité l'absence totale de peptides et ne contiennent que des acides aminés libres, ce qui supprime absolument tout pouvoir allergénique. Ces préparations à base d'acides aminés sont utilisées qu'après échec des préparations à base d'hydrolysat poussé (Lescure, 2014).

3.6.3.3 Les préparations à base de riz

Ces préparations sont faites à base de riz donc d'origine végétale. La fraction protéique de ces préparations est constituée d'un hydrolysat partiel de protéines de riz (Rouelle et al, 2017).

3.6.4 Laits acidifiés ou fermentés

Principalement indiqués en cas de coliques des nourrissons. Ces formules sont enrichies en ferments lactiques qui augmentent l'acidité et améliorent ainsi la digestibilité des sucres et des protéines par la facilitation de la floculation des protéines et l'hydrolyse du lactose. Ces ferments utilisent le glucose pour fabriquer de l'acide lactique, responsable du goût légèrement acide donné au lait (Clere, 2015). Deux souches de ferments les plus utilisés sont (*Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* ou *Lactococcus helveticus*) (Pubert, 2013).

3.7 Composition selon la réglementation

Les préparations destinées aux nourrissons peuvent être présentées sous forme liquide ou en poudre et doivent être composées de : protéines, glucides, lipides, vitamines, sels minéraux, oligo-éléments et additifs alimentaires autorisés par la réglementation en vigueur (**J.O 49 / 2012 Arrêté interministériel 23 février 2012**).

Tableau IX: recommandations des préparations pour nourrisson et de suite (**Directive 2006/141/CE**).

| | Préparations pour Nourrissons | Préparations de suite |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| <u>Energie(kcal)</u> | 60 - 70 | 60 - 70 |
| <u>Protéines (g)</u> | | |
| -De lait de vache (LV) | 1,08 – 2,10 | 1,08 – 2,45 |
| -d'isolat de soja | 1,35 – 2,10 | 1,35 – 2,45 |
| -de LV hydrolysé | 1,08 – 2,10 | 1,35 – 2,45 |
| <u>Glucides (g)</u> | 5,42 – 9,80 | 5,42 – 9,80 |
| -lactose | > 2,7 | > 2,7 |
| -amidon | < 2 | < 2 |
| <u>Lipides (g)</u> | 2,65 – 4,20 | 2,4 – 4,20 |
| -acidelinoléique (mg) | 180 – 840 | 180 – 840 |
| -acidea-linolénique (mg) | > 30 | > 30 |
| -acilinoléique/a-linolénique | 5/1–15/1 | 5/1–15/1 |
| -ARA | <1% des lipides | <1% des lipides |
| <u>Fibres (g)</u> | < 0,8 | < 0,8 |
| - GOS | 90% | 90% |
| - FOS | 10% | 10% |
| <u>Minéraux</u> | | |
| -Sodium (mg) | 12 – 42 | 12 – 42 |
| -Potassium (mg) | 36–112 | 36–112 |
| -Chlore (mg) | 30–112 | 30–112 |
| -Calcium (mg) | 30 – 98 | 30 – 98 |
| -Phosphore (mg) | 15 – 63* | 15 – 63* |
| -Calcium/Phosphore | 1 – 2 | 1 – 2 |
| -Magnésium (mg) | 3 – 10,5 | 3 – 10,5 |

| | | |
|---------------------------|--------------|-------------|
| -Fer (mg) | 0,18 – 0,91* | 0,36 – 1,4* |
| -Zinc (mg) | 0,3 – 1,05 | 0,3 – 1,05 |
| -Iode (µg) | 6 – 35 | 6 – 35 |
| -Cuivre (µg) | 21 – 70 | 21 – 70 |
| -Manganèse (µg) | 0,6 – 70 | 0,6 – 70 |
| -Sélénium (µg) | 0,6 – 6,30 | 0,6 – 6,30 |
| -Fluor (µg) | < 70 | < 70 |
| <u>-Vitamine</u> | | |
| -Vitamine A (µg) | 36 – 126 | 36 – 126 |
| -Vitamine B1 (µg) | 36 – 210 | 36 – 210 |
| -Vitamine B2 (µg) | 48 – 280 | 48 – 280 |
| -Vitamine B6 (µg) | 21 – 122,5 | 21 – 122,5 |
| -Vitamine B12 (µg) | 0,06 – 0,35 | 0,06 – 0,35 |
| -Vitamine C (mg) | 6 – 21 | 6 – 21 |
| -Vitamine D3 (µg) | 0,6 – 1,75 | 0,6 – 2,1 |
| -Vitamine E (mg) | 0,3 – 3,5 | 0,3 – 3,5 |
| -Vitamine K1 (µg) | 2,4 – 17,50 | 2,4 – 17,50 |
| -Niacine (mg) | 180 – 1050 | 180 – 1050 |
| -Acide pantothénique (mg) | 240 – 1400 | 240 – 1400 |
| -Acidefolique (µg) | 6 – 35 | 6 – 35 |
| -Biotine (µg) | 0,9 – 5,25 | 0,9 – 5,25 |
| <u>Autres</u> | | |
| -Choline (mg) | 4,2 – 35 | ----- |
| -Inositol (mg) | 2,4 – 28 | ----- |
| -Taurine (mg) | < 8,4 | < 8,4 |
| -L-carnithine (mg) | > 0,72 | ----- |
| -Nucléotides (mg) | < 3,50 | < 3,50 |

Le lait maternel étant un fluide dynamique, très difficile à imiter, la majorité des améliorations des formules Infantiles ont consisté à ajouter des constituants bioactifs identifiés dans le lait maternel, comme les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC), la lactoferrine, des nucléotides, des oligosaccharides, des prébiotiques ou probiotiques (Bourlieu et al, 2018).

En 2001, le Comité d'experts de l'organisation mondiale de la santé (OMS) a défini les probiotiques comme :des microorganismes vivants, administrés en quantités adéquates, afin d'exercer une action bénéfique sur la santé de l'hôte(**Castan et al, 2016**). Quant à la dénomination prébiotique elle concerne les ingrédients alimentaires (oligosaccharides) résistants à la digestion. Ils sont le substrat des probiotiques, ce qui change la composition et/ou l'activité du microbiote intestinal et ont un effet bénéfique sur la santé de l'hôte.L'association des probiotiques et de prébiotiques est appelée symbiotique(**Guamer et al, 2011**).

3.7. Les différents laits infantiles disponibles en Algérie

Emballage : Les laits infantiles sont conditionnés dans des boites métalliques cylindriques fermées hermétiquement par un opercule en aluminium et un couvercle en plastique. Ayant une cuillère à mesure.

Poids disponible:Les laits infantiles sont conditionnés dans des boites sous forme de poudre, ces boites peuvent avoir une contenance pour la petite boite de 400g, la moyenne boite 900g et la grande boite 1.5kg, sous forme liquide de 250 à 1500 ml. En Algérie sauf la forme poudre existe et les contenances de 400g et 900g.

Prix : allant de 550 DA à 1200 DA pour les boites de 400g et de 1100 da à 1500 DA pour les boites de 900g.

La France exporte plus de 124 000 tonnes de lait infantile, ses principaux acheteurs sontl'Algérie, la Chine et l'Italie (**Follain, 2015**).

Tableau X : les fabricants de marques existantes en Algérie.

| Fabricant | Marque |
|-----------------------------|-------------------|
| HOCHDORF SWISS NUTRITION AG | Primalac |
| DANONE | Nursie et Aptamil |
| NESTLE | Guigoz et NAN |
| NOVALAC | Novalac |
| FRANCE Lait | FRANCE LAIT |
| SODILAC | Modilac |

| | |
|----------|--------|
| LACTALIS | Celia |
| FASSKA | Biomil |

En Algérie les laits infantiles disponibles dans les pharmacies ; les grossistes du paramédicale et l'alimentation générales sont cités dans le tableau suivant

Tableau XI : Les laits infantiles disponibles en Algérie.

| Marque | 1 | 2 | 3 | AC 1 | AC 2 | pré | AR 1 | AR 2 | LF | AR dige st | Confort 1 | Confor t 2 | soy | Autre |
|-----------------|---|---|---|---------|---------|-----|---------|---------|----|------------------|--------------|---------------|-----|---|
| Nursie | * | * | * | | | * | * | * | * | | * | * | | Exper tise |
| FRANCE IAIT | * | * | * | | | * | * | * | * | | * | * | | |
| Novalac | * | * | * | * | * | | * | * | | * | | | | Transit +1 AD 600g Allaer nova HA |
| BIOMIL | * | * | * | | | * | * | * | * | | * | | * | Gastr o-fix Plus 1et 2 |
| Aptamil | * | * | * | | | | | | | | | | | PeptiJ unior LF |
| Celia devlop | * | * | * | | | | * | | | | | | | digest 2 |
| Celia expert | * | * | * | | | | | | | | | | | |
| Primalac | * | * | * | * | * | | * | * | * | | | | | |
| Guigoz | * | * | * | | | | | | | | | | | |
| NAN optipro | * | * | * | | | | | | | | | | | |

1 : premier âge ; 2 : deuxième âge ; 3 : troisième âge ; AC1 : première âge ; AC2 : anti-colique deuxième âge ; Pré : prématuré ; AR1 : anti régurgitations premier âge ; AR2 : anti régurgitations deuxième âge ; LF : sans lactose ; AR digest : anti régurgitations digest

Chapitre VI :

Analyse comparative entre le lait
Maternel et le lait infantile

La différence entre le lait maternel et le lait infantile se situe dans ces critères.

4.1. Différence par rapport à la composition

4.11 Les protéines

4.1.1.1 Analyse quantitative

Le lait maternel contient de 8 à 12g/L de protéines (**Pons et Rey, 1994**), tandis que le lait infantile contient entre 10 et 21g/L de protéines (**Directive 2006/141/CE**). LM est constitué de 40% de caséines et 60% de protéines du lactosérum (en majorité de l' α -lactalbumine et de la lactoferrine), des formules infantiles présentant un ratio caséines/protéines sériques (40/60) ; mais la nature des protéines reste d'origine bovine dont la protéine majoritaire est la α – lactoglobuline alors que celle-ci est absente du lait maternel (**Deglaire et al, 2018**).

Les immunoglobulines sont présentes dans le LM mais elles sont absentes dans le lait infantile vraisemblablement dénaturées par les effets de la chaleur du traitement de pasteurisation ; le taux de lactoferrine est plus bas dans les préparations infantiles (**Su, M. Yet al, 2017**). On remarque aussi la présence de lysozyme du lait maternel alors que celle-ci est absente dans le lait infantile (**Simard, 2001**). Le lait maternel renferme des composés dits « mineurs » de par leur concentration mais qui sont susceptibles d'avoir un rôle essentiel sur la santé de l'enfant : immunoglobulines, facteurs de croissance, micro-ARN, acides nucléiques (**Deglaire 2018**).

4.1.1.2 Analyse qualitative

Dans le lait infantile les caséines sont associées sous forme de micelle de caséines, une structure supramoléculaire sphérique (**Doudies, 2019**).

Les traitements thermiques appliqués lors du procès de fabrication, entraînent une agrégation des protéines sériques entre elles, et elles peuvent se lier par des liaisons covalentes à la surface de la micelle de caséines engendrant, une augmentation du diamètre de celle-ci (**Deglaire et al, 2018**). Un procédé technologique innovant, sans traitement thermique, basé sur la microfiltration membranaire a permis la production de préparation pour nourrisson (PPN) native, avec un très faible taux de protéines dénaturées (**Carter et al, 2021**). Alors que dans le lait humain, la micelle de caséines est une particule sphérique de 64 nm de diamètre moyen en majorité constituée de caséines β et K (**Menard et al, 2014**).

Le pourcentage élevé de protéines solubles et les micelles de caséine de petite taille expliquent la coagulation plus fine du lait de femme dans l'estomac du nourrisson, contribuant à sa vidange plus rapide (**Vidailhet, 2003**).

4.1.2. Lipides

4.1.2.1 Analyse quantitative

La teneur en lipides du lait maternel est de 35g/L, présents très majoritairement sous la forme de triglycérides (> 98 %)(**Guesnet et al 2013**). Or que celle des laits infantiles varie entre 26g/L et 42g/L (**Directive 2006/141/CE**).

4.1.2.2 Analyse qualitative

les lipides du LM, sont présents sous forme de globules gras dit natifs d'environ 4 µm de diamètre, constitué d'un cœur de triglycérides entouré par une tri-couche de phospholipides dans laquelle sont ancrées des centaines de protéines et de lipides polaires (glycérophospholipides, sphingolipides et glycosphingolipides comme des gangliosides, ...) (**Lopez et al. 2010**). Les membranes de globules gras issues de la membrane des cellules alvéolaires mammaires, riches en phospholipides et cholestérol, qui empêchent l'agglutination des globules gras en trop grosses gouttelettes. (**Tackoen, 2012**).

Les préparations pour nourrissons diffèrent du lait maternel notamment par la structure des graisses (taille des gouttelettes, composition et architecture)(**Lopez et al. 2015**). Les traitements d'homogénéisation appliqués en industrie lors de la fabrication des LI détruisent la membrane du globule gras, réduisent la taille des gouttelettes et modifient la nature de leur interface (**Menard et al, 2014**). Les lipides apparaissent alors sous forme de petites gouttelettes (0,2—0.8 µm) stabilisées par les protéines du lait (**Bourlieu et al, 2018**).

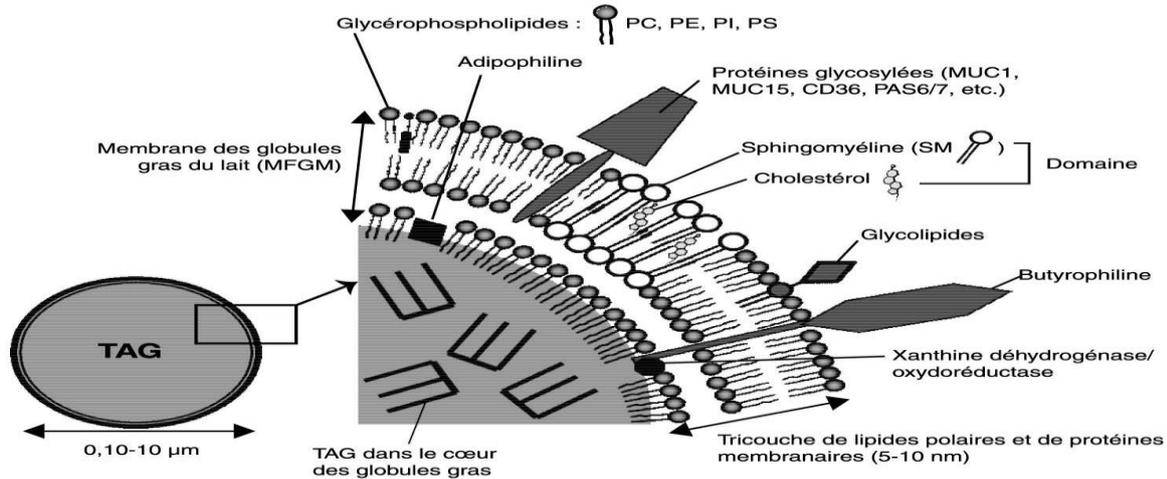
Une augmentation de la surface spécifique disponible pour la lipase gastrique, accélère la lipolyse(**De Oliveira et al, 2017**). Tandis que les traitements thermiques tendent à augmenter la résistance des caséines à la digestion (**Deglaire 2018**). Le traitement thermique du lait provoque des interactions entre les protéines et les autres constituants de la matrice (lipides, sucres) entraînant l'apparition d'agrégats thermoinduits, de composés de Maillard(**Hoarau et al , 2008**).

La structure des triglycérides dans le LM est différente de celle des autres laits. En effet, une majorité de l'acide palmitique (70%) est en position 2 sur le glycérol (soit 25% des acides gras totaux), permettant une bonne absorption digestive sous forme de monoglycérides. le LI contenant une majorité de lipides d'origine végétale composés de triglycérides formés avec de

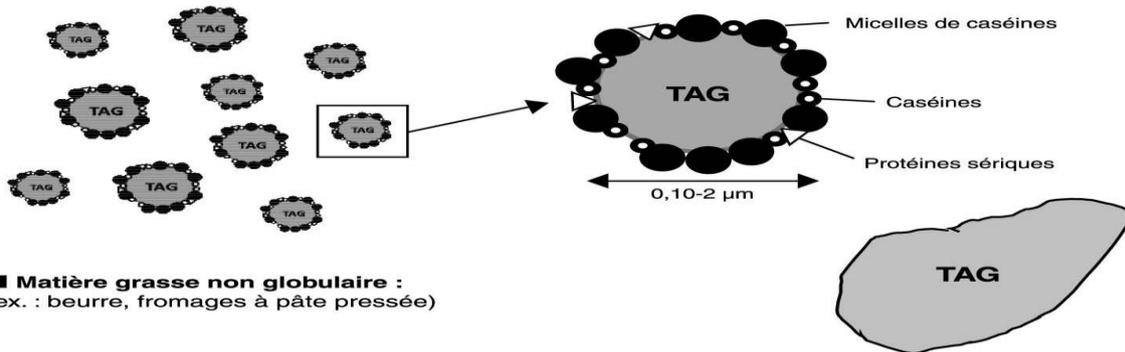
l'acide palmitique en position 1 ou 3 sur le glycérol dans plus de 80% des cas, ce qui diminue l'absorption digestive et contribue à la formation de savons calciques (Ouzad, 2008).

(B) Organisation des lipides du lait

■ **Lait natif** : globules gras avec un cœur de TAG recouvert d'une membrane biologique



■ **Lait homogénéisé** : globules gras recouverts de protéines (ex. : laits de consommation)



■ **Matière grasse non globulaire** : (ex. : beurre, fromages à pâte pressée)

Figure 9: structure natif de globule gras du lait femelle et dans le lait homogénéisé (Armand et al, 2013).

4.1. 3 Glucides

Le lait maternel contient de 70 à 75 g/L de glucides (Lescure, 2014) dont 63 g de lactose et 12g d'oligosaccharides. Ces oligosaccharides sont au nombre de plus de 130 et représentent de véritables prébiotiques essentiels pour le microbiote du nourrisson (Vidailhet, 2003) alors que le lait infantile contient 54g/L à 98g/L (Directive 2006/141/CE). Des oligosaccharides sont rajoutés au lait infantile tel le Fructo-oligosaccharides (FOS) et Gluco-oligosaccharides (GOS)(Follain, 2015).

4.2. Microbiote :

Le lait humain diffère sur de nombreux autres points des formules infantiles. Il est maintenant avéré qu'il renferme un écosystème microbien spécifique qui doit certainement jouer un rôle primordial dans la mise en place du microbiote intestinal du nouveau-né **(Deglaire 2018)**.

4.3. Utilisation :

Le lait maternel se forme dans les glandes mammaires et stocké dans le même organe attendant la succion de bébé pour sortir à une température idéale pour le bébé. La quantité de lait produit s'adapte avec l'évolution du bébé **(Gremmo-Féger, 2015)**. Par contre pour le lait infantile la chose n'est pas aussi facile car sa préparation demande plusieurs ingrédients comme : le lait infantile, de l'eau, un biberon et on doit respecter les doses inscrites sur l'étiquetage des laits infantiles et faire attention à la température du lait pour ne pas causer des brûlures au bébé et le lait doit être changé à chaque fois que le bébé grandit ce qui engendre un coût élevé pour les familles **(Pubert, 2013)**.

4.4. Avantages socioéconomique :

Un allaitement maternel plutôt qu'un allaitement artificiel entraîne un bénéfice économique à l'échelle familiale mais aussi nationale. Pour un allaitement de 0 à 6 mois, le coût d'une alimentation artificielle à 108 euros/ mois en moyenne (lait de substitution, biberons, tétines, matériel de stérilisation) contre 22 euros par mois pour un allaitement maternel (bouts de seins, tire lait, soutien-gorge adapté). Les laits artificiels engendrent un surcoût important. Par exemple il faut 40 kilos de préparations pendant la première année. **(Triaa, 2009)**. (Soit environ 45 boîtes environ 49500da à 67500da).

Chapitre V :
Impact sur la santé du nourrisson
Et du jeune enfant

Les bébés nourris avec du lait maternel ont un développement cognitif plus avancé que les bébés nourris au lait infantile (**Deoni et al 2013**). Le risque de développer une infection urinaire est multiplié de 02 à 03 quand le bébé prend du lait infantile (**Marild et al 2007**), et un risque de diarrhées aiguës de 03 à 04 dans les 03 premiers mois de la vie contrairement à ceux nourris avec du lait maternel qui sont mieux protégés contre ces diarrhées (**Macias-carillo et al 2005**).

5.1. Protéines

Le lait de femme est 5 à 10 fois plus riche en acides aminés libres que les préparations pour nourrissons, notamment en glutamate/glutamine, auxquels on attribue un rôle trophique sur l'intestin (**Turck et al., 2013**).

La teneur en protéines du LF est inférieure de 03 fois à celle du lait de vache. Cette teneur est remarquablement faible, entre 0,8 et 1,0 g/100 ml, ce qui témoigne d'une excellente absorption et d'une parfaite adéquation du profil des acides aminés constitutifs avec les besoins du nourrisson (**Turck et al., 2013**).

Le lait maternel contient 2/3 de protéines du lactosérum, soit un rapport caséines/Protéines sérique de 40%/60%, adaptées à l'immaturité hépatique et rénale du nourrisson car plus faciles à assimiler (**Laurent, 2002**), telles que la lactoferrine qui a un rôle dans l'assimilation du fer et la lutte contre les infections par modulation de la protection immunitaires (**Boquien, 2018**), des transporteurs de vitamines et d'hormones, des enzymes (tels que des lipases activées par les sels biliaires de l'enfant...), des immunoglobulines (surtout IgA...) et beaucoup d'autres protéines apportant une protection immunitaire ou stimulant l'immunité de l'enfant (**Laurent, 2002**). Le pourcentage élevé de protéines sérique qui est de 60% et les micelles de caséine de petite taille expliquent la coagulation plus fine du lait de femme dans l'estomac du nourrisson, contribuant à sa vidange rapide (**Turck et al., 2013**).

Le lait maternel ne contient pas de bêta-lactoglobuline ou des traces selon l'alimentation de la mère, donc allergie possible pour le nouveau-né recevant une fois du lait infantile quand sa muqueuse intestinale est très perméable (**Laurent, 2002**).

5.2. Lipides

La meilleure digestibilité des graisses est due à la présence dans le LF d'une lipase dépendante des acides biliaires du nouveau-né qui compense, au niveau duodéal, l'insuffisance des lipases pancréatiques ; il s'y ajoute la structure différente des triglycérides :

70 % de l'acide palmitique (soit environ 25 % des acides gras totaux) est en position 2 sur le glycérol, ce qui lui permet une excellente absorption intestinale sous forme de 2-monoglycéride, ce qui n'est pas le cas avec le LV (**Turck et al., 2013**). Le LF est riche en cholestérol (20 à 30 mg/100 ml), alors que le LV en contient beaucoup moins (5 à 10 mg/100 ml) (**Turck et al., 2013**). Par rapport au lait de vache, le lait maternel contient également plus de cholestérol qui est un précurseur d'hormones et intervient également dans le développement cérébral (**Boquien, 2018**). Cet apport élevé de cholestérol en période néonatale pourrait être bénéfique, en réprimant l'HMG-coA réductase (enzyme clé de la synthèse de cholestérol), ce qui induirait à l'âge adulte une réduction du risque d'hypercholestérolémie (**Turck et al., 2013**).

Beaucoup plus importante est la présence dans le lait de femme des acides gras poly-insaturés (AGPI), acides gras essentiels mais aussi leurs homologues supérieurs, en particulier l'acide arachidonique (AA : 0,46 g/ 100 g d'acides gras) dans la série linoléique et l'acide docosa-hexaénoïque (DHA : 0,25 g/100 g d'acides gras) dans la série α linoléique en raison de leurs fonctions aux niveaux cérébral et rétinien (**Vidailhet, 2003**). Ils sont totalement absents des formules pour nourrissons, à l'exception de l'une d'entre elles (**Vidailhet, 2003**). Leur rôle démontré dans les processus de maturation cérébrale et rétinienne, l'immaturation des processus d'élongation et surtout de désaturation qui permettent leur synthèse à partir des deux acides gras essentiels ont conduit à un consensus sur la nécessité d'une supplémentation spécifique et équilibrée en AA et en DHA des formules pour prématurés (**Vidailhet, 2003**).

L'enfant allaité reçoit, par le lait maternel, des nutriments, qui, une fois hydrolysés ou non, passent la barrière intestinale et se retrouvent dans le sang. Il est donc normal que le métabolome ou le lipidome sanguin soit différent entre un enfant allaité et un non allaité. Ainsi, à 3 mois, le lipidome sanguin d'un enfant allaité exclusivement pendant 3 mois est très différent de celui ayant reçu une formule infantile, avec des différences pour les phosphatidylcholines, les sphingomyélines et les triglycérides. Ce résultat n'est pas forcément lié à la différence de composition en triglycérides entre le lait maternel et la formule infantile mais il se peut aussi que la nutrition néonatale ait eu des effets supplémentaires sur le métabolisme des lipides, modifiant de façon substantielle le lipidome de l'enfant à 3 mois (**Boquien, 2018**).

5.3. Glucides

Les oligosaccharides du lait de femme sont présents en forte concentration (**Boquien, 2018**). Le rôle de ces oligosaccharides dans la protection vis-à-vis des infections digestives, mais aussi extra-digestives, est aujourd'hui démontré (**Turck et al., 2013**). Ils jouent aussi un rôle important dans la trophicité de la muqueuse colique, par l'intermédiaire des acides gras à courte chaîne, en particulier de l'acide butyrique, libérés par leur métabolisme bactérien. Aucune préparation pour nourrissons ne contient d'oligosaccharides naturels du lait humain, les seuls ajoutés sont des oligosaccharides d'origine végétale, fructo- et galacto-oligosaccharides (FOS/GOS) (**Turck et al., 2013**).

Les oligosaccharides ont de nombreuses fonctions :

- ils sont résistants à la digestion enzymatique dans l'intestin grêle, agissent comme des facteurs qui favorisent la colonisation du colon par une ou plusieurs souches de bactéries intestinales et en particulier les Bifidobactéries, aux nombreux bénéfices fonctionnels pour le nourrisson (**Betoko, 2013**). Ces constituants contribuent à la maturation des systèmes immunitaire, métabolique et microfloral du nourrisson, tout en lui conférant de multiples moyens de protection contre les agents pathogènes pendant la période d'allaitement maternel. Ceci explique que la morbidité et la mortalité dues aux diarrhées aiguës d'origine bactérienne et virale soient plus faibles chez les enfants nourris au lait maternel que les autres (**Betoko, 2013**).
- ils participent à l'inhibition des bactéries, des virus, voire de parasites : par la similitude de leur structure avec les récepteurs présents sur la muqueuse intestinale (**Boquien, 2018**).
- ils moduleraient certaines réactions immunitaires car, in vitro, certains oligosaccharides humains interfèrent dans les interactions cellule—cellule médiées par les sélectines (**Boquien, 2018**).
- ils sont riches en acide sialique que l'on retrouve dans les gangliosides du cerveau
- ils protègent le nouveau-né prématuré contre l'entérocolite ulcéro-nécrosante (**Boquien, 2018**)

5.4. Autres composants

La teneur en minéraux du LF (210 mg/100 ml) est plus de 3 fois inférieure à celle du LV. Cette faible teneur, associée à la faible teneur en azote, limite la charge osmolaire rénale (93 mOsm/l pour le LF contre 308 mOsm/l pour le LV). Il en résulte une moindre déperdition hydrique par les reins immatures des jeunes nourrissons, peu aptes pendant les premiers mois de vie à concentrer les urines. Le fer et le zinc contenus dans le LF ont une excellente

biodisponibilité en raison des ligands auxquels ils sont liés, qui facilitent leur absorption intestinale (**Turck et al., 2013**).

La richesse du lait maternel en miARN est également une de ses particularités. Les miARN sont des ARN non-codants qui régulent l'expression des gènes et contrôlent la synthèse protéique au niveau post-transcriptionnel. Ils jouent des rôles dans la régulation de nombreux processus biologiques et développementaux et seraient importants dans le développement du système immunitaire de l'enfant (**Boquien, 2018**).

Conclusion

Les premières années de la vie du nourrisson constitue une période essentielle ou l'alimentation contribue de manière importante à son développement et lui assure une croissance rapide.

Le lait maternel constitue un aliment idéal pour le nourrisson car il a l'avantage d'être évolutif, il s'adapte aux besoins spécifiques du nourrisson au cours de son développement et à son immaturité enzymatique et lui fournit les nutriments nécessaires.

Le lait infantile étant une alternatif au lait maternel en cas d'impossibilité à l'allaitement maternel. Les avancés de la technologie agroalimentaire notamment celle de l'industrie du lait infantile ont permis d'effectuer plusieurs opérations de mimer le lait maternel. Ces dernières ont commencé par changer la ration caséines /protéines sériques, introduire des acide gras végétale afin d'apporter les acide gras essentiels et empêcher l'agrégation des protéines sérique.

Malgré toutes ses similitudes entre ces deux laits, les différences persistent et comme le rappellent bien ces industriels sur leurs boites de lait infantile « le lait maternel est l'aliment idéal du nourrisson ».

Références bibliographiques

- Agostoni, C., Buonocore, G., Carnielli, V. P., De Curtis, M., Darmaun, D., Decsi, T., & ESPGHAN Committee on Nutrition. (2010). Enteral nutrient supply for preterm infants: commentary from the European Society of Paediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition Committee on Nutrition. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 50(1), 85-91.
- Armand, Martine, Isabelle Crenon, and Christelle Lopez. "Devenir digestif des lipides des matrices laitières." (2013): 185-197.
- Arsan, A., Mosser, F., Dartois, A. M., & du Fraysses, M. (2011). *Alimentation de l'enfant de la naissance à 3 ans*. Doin.
- Betoko, A. (2013). L'alimentation précoce: ses déterminants, son influence sur la croissance postnatale et les consommations alimentaires à 3 ans (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).
- Bocquet, A., Bresson, J. L., Briend, A., Chouraqui, J. P., Darmaun, D., Dupont, C., & Vidailhet, M. (2001). Préparations pour nourrissons et préparations de suite à base de protéines de soja: données actuelles. *Archives de pédiatrie*, 8(11), 1226-233
- Boquien, C. Y. (2018). Human milk: An ideal food for nutrition of preterm newborn. *Frontiers in pediatrics*, 6, 295.
- Bourlieu, C., Deglaire, A., de Oliveira, S. C., Ménard, O., Le Gouar, Y., Carrière, F., & Dupont, D. (2018). Vers des formules infantiles biomimétiques de la structure du lait maternel et de son comportement digestif?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 53(4), 218-231.
- Carter, B. G., Cheng, N., Kapoor, R., Meletharayil, G. H., & Drake, M. A. (2021). Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 2465-2479.
- Castan, L., Colas, L., Bouchaud, G., Bodinier, M., Barbarot, S., & Magnan, A. (2016). Hypothèse hygiéniste: où en est-on? Compte rendu de l'atelier «Allergies» du DHU 2020 «Médecine personnalisées des maladies chroniques». *Revue française d'allergologie*, 56(4), 364-371.
- Chouraqui, J. P., Dupont, C., Bocquet, A., Bresson, J. L., Briend, A., Darmaun, D., ... & Vidailhet, M. (2008). Alimentation des premiers mois de vie et prévention de l'allergie. *Archives de pédiatrie*, 15(4), 431-442.

- Clere, N. (2015). Comment choisir un substitut au lait maternel. *Actualités Pharmaceutiques*, 54(549), 43-46.
- Cohen, M. (2021). Le lait humain est-il un aliment comme un autre?. *Que manger*.
- De Oliveira, S., Ménard, O., Bellanger, A., Pladys, P., Le Gouar, Y., Henry, G., ... & Deglaire, A. (2017). Impact de l'homogénéisation du lait maternel pasteurisé sur les cinétiques de digestion gastrique chez le nouveau-né prématuré. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 31(3), 239.
- Deglaire, A., Ménard, O., & Dupont, D. (2018). Impact des procédés de transformation sur la digestion du lait maternel et des formules infantiles par le nouveau-né. *Innovations Agronomiques*, 65, 29-40.
- Deoni, S. C. L., Dean, D. C., Piryatinsky, I., O'Muircheartaigh, J., Waskiewicz, N., Lehman, K., ... Dirks, H. (2013). Breastfeeding and early white matter development: A cross-sectional study. *NeuroImage*, 82, 77–86.
- Directive 2006/141/CE de la Commission concernant les préparations pour nourrissons et les préparations de suite et modifiant la directive 1999/21/CE Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE.
- Doudies, F. (2019). Filtration de dispersions de micelles de caséine: propriétés physiques, rhéologiques et cohésives des couches accumulées à la surface de la membrane (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes).
- DU, B. N. (2006). Alimentation et besoins nutritionnels du nourrisson et de l'enfant. *La Revue du praticien*, 56, 315.
- Follain, C. (2015). Les laits infantiles: analyse comparatives et rôle du pharmacien. Thèse doctorat en pharmacie, université Rouen 127 p.
- Ghisolfi, J., Vidailhet, M., Fantino, M., cquet, A., Bresson, J. L., Briend, A., ... & Comité de nutrition de la Société française de pédiatrie. (2011). Lait de vache ou lait de croissance: quel lait recommander pour les enfants en bas âge (1–3 ans)?. *Archives de pédiatrie*, 18(4), 355-358.

- Gremmo-Féger, G. (2015). Anatomie et physiologie de la lactation humaine. *Anatomy and physiology of human lactation. Dossier l'allaitement. La Lettre du gynécologue*, 399.
- Guarner, F., Khan, A. G., Garisch, J., Eliakim, R., Gangl, A., Thomson, A., ... & LE, M. (2011). Probiotiques et prébiotiques. *World Gastroenterology Organisation Global Guidelines*.
- Guesnet, P., Ailhaud, G., Delplanque, B., & Alessandri, J. M. (2013). Place des lipides dans l'alimentation du nourrisson. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 48(4), 175-183.
- Hoarau, B., Boutrou, R., Jardin, J., Mollé, D., Tanguy-Sai, G., Gaucheron, F., ... & Dupont, D. (2008, November). Impact des procédés de fabrication des formules infantiles sur la digestion in vitro des caséines. In *Nutrition Clinique et Métabolisme* (Vol. 22, No. novembre 2008 P. 18-S152, p.).
- J.O 49 / 2012 Arrêté interministériel 23 février 2012 portant adoption du règlement technique algérien fixant les spécifications, les conditions et les modalités de présentation des préparations destinées aux nourrissons.
- Laurent, C., & Dr, I. B. C. L. C. (2002, May). Le lait maternel, aspects pratiques. In *d'après une conférence donnée auprès du personnel de PMI le* (Vol. 27).
- LÉKÉ, A. L., & Mullie, C. (2004). Nutrition du nourrisson et diversification alimentaire. *Cah. Nutr. Diét.*, 39(5), 349.
- Lemaire, M. (2018). L'incorporation de matière grasse laitière et de *L. fermentum* dans des préparations pour nourrissons programme le microbiote et la physiologie intestinale de l'adulte: étude dans un modèle miniporc (Doctoral dissertation, Rennes 1).
- Lescure, C. (2014). L'alimentation lactée du nourrisson (0 à 6 mois): l'accompagnement des mamans par le pharmacien d'officine. *Pharmacie*, Vol. (Doctoral dissertation). Univ. Limoges, France.
- Lopez, C., Cauty, C., & Guyomarc'h, F. (2015). Organization of lipids in milks, infant milk formulas and various dairy products: role of technological processes and potential impacts. *Dairy science & technology*, 95(6), 863-893.
- Lopez, C., Madec, M. N., & Jimenez-Flores, R. (2010). Lipid rafts in the bovine milk fat globule membrane revealed by the lateral segregation of phospholipids and heterogeneous distribution of glycoproteins. *Food Chemistry*, 120(1), 22-33

- Macías-Carrillo, C., Franco-Marina, F., Long-Dunlap, K., Hernández-Gaytán, S. I., Martínez-López, Y., & López-Cervantes, M. (2005). Breast feeding and the incidence of acute diarrhea during the first three months of life. *salud pública de méxico*, 47(1), 49-57.
- Mårild, S., Hansson, S., Jodal, U., Oden, A., & Svedberg, K. (2004). Protective effect of breastfeeding against urinary tract infection. *Acta Paediatrica*, 93(2), 164-167.
- Menard, O., Chever, S., Deglaire, A., Bourlieu, C., Bonhomme, C., Le Ruyet, P., ... & Dupont, D. (2014). Formules infantiles et lait maternel: leur digestion est-elle identique? *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 49(2), 67-73.
- Norme pour les préparations destinées aux nourrissons et les préparations données a des fins médicales spéciales aux nourrissons. **CXS 72–2007** dernière révision en 2007.
- Pons, G., & Rey, E. (1994). Passage des antibiotiques dans le lait maternel. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 24, 1088-1106.
- Pubert, C. (2013). Le lait de vache dans l'alimentation du nourrisson, avantages et inconvénients. Thèse doctorat en pharmacie, université d'Angers 114 p.
- Rotten D. *Physiologie de la grossesse*. 2ème éd. Paris : Masson ; 1991.
- Rouelle, C., Arion, A., & Prevost, V. (2017, May). Prise en charge et prévention de l'allergie au lait de vache: contribution du pharmacien d'officine. In *Annales Pharmaceutiques Françaises* (Vol. 75, No. 3, pp. 236-244).
- Salle, B., Bourre, M. S., Durand, S., Dupont, M. M. C., & Lapillonne, A. (2009). Alimentation du nouveau-né et du nourrisson. *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, 193(2), 431-446.
- Simard, K. (2001). *Conseils sur le choix et l'utilisation des substituts du lait maternel* (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- Su, M. Y., Broadhurst, M., Liu, C. P., Gathercole, J., Cheng, W. L., Qi, X. Y., ... & Haigh, B. (2017). Comparative analysis of human milk and infant formula derived peptides following in vitro digestion. *Food chemistry*, 221, 1895-1903.
- Tackoen M, (2012). Le lait maternel : composition nutritionnelle et propriétés fonctionnelles *Breastmilk : its nutritional composition and functional Properties*. Centre Néonatal, C.H.U. Saint-Pierre, Rev Med Brux.
- Tessier, M. J. (2011). Marqueurs précoces des problèmes sensoriels chez le jeune enfant présentant des problèmes d'alimentation.

- Triaa, I. (2009). Les déterminants du choix du mode d'allaitement; Étude prospective auprès de 111 femmes À la maternité de Max Fourestier de Nanterre (Doctoral dissertation, Thèse pour le doctorat en médecine).
- Turck, D., Vidailhet, M., Bocquet, A., Bresson, J. L., Briend, A., Chouraqui, J. P., ... & Comité de nutrition de la Société française de pédiatrie. (2013). Allaitementmaternel: les bénéfices pour la santé de l'enfant et de sa mère. *Archives de pediatrie*, 20, S29-S48.
- Vidailhet, M. (2003). Le lait maternel: composition nutritionnelle et propriétés fonctionnelles: L'allaitement maternel. *La Lettre du gynécologue*, (285), 12-16.