



Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine

Catalogage avant publication de la Bibliothèque David Lubin FAO, Rome (Italie)

Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine
Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 28

ISBN 92-5-20534-6

Droits d'auteur

La reproduction totale ou partielle, sur support numérique ou sur papier, de cet ouvrage pour usage personnel ou pédagogique est autorisée par la présente, sans frais ou sans qu'il soit nécessaire d'en faire une demande officielle, à condition que ces

reproductions ne soient pas faites ou distribuées pour en tirer un bénéfice ou avantage commercial et que cet avis et la citation complète apparaissent à la première page des dites reproductions. Les droits d'auteur pour les éléments de cet ouvrage qui sont la propriété de personnes physiques ou morales autres que la FAO doivent être respectés. Toute autre forme de reproduction, de republication, d'affichage sur serveurs électroniques et de redistribution à des listes d'abonnés doit faire l'objet d'une permission préalable expresse et/ou du paiement de certains frais.

Adresser les demandes d'autorisation à publier à:

Le rédacteur en chef

FAO, Via delle Terme di Caracalla

00100 Rome, Italy

adresse e-mail: copyright@fao.org

Table des matières

[Préface](#)

[Chapitre 1 Le lait de femme](#)

[Introduction](#)

[Importance nutritionnelle](#)

[Composition](#)

[Variations de la composition](#)

[Chapitre 2 Laites d'animaux laitiers](#)

[Introduction](#)

[Le lait de vache](#)

[Laites d'autres animaux d'élevage](#)

[Chapitre 3 Produits laitiers: consommation, technologie et microbiologie](#)

[Introduction](#)

[Production laitière et consommation des produits laitiers](#)

[Technologie des produits laitiers](#)

[Microflore du lait](#)

[Chapitre 4 Laites de consommation](#)

[Laits liquides](#)

[Laits de conserve](#)

[Valeur nutritive des laits de consommation](#)

[Chapitre 5 Laits fermentés](#)

[Introduction](#)

[Yaourt](#)

[Autres laits fermentés](#)

[Intérêt nutritionnel des laits fermentés](#)

[Chapitre 6 Fromages](#)

[Définition et classification](#)

[Principes généraux de fabrication](#)

[Technologie des principaux types de fromage](#)

[Valeur nutritionnelle des fromages](#)

[Chapitre 7 Lactosérum](#)

[Introduction](#)

[Protéines de lactosérum](#)

[Lactose](#)

[Valeur nutritionnelle du lactosérum](#)

[Chapitre 8 Matière grasse](#)

[Introduction](#)

[Écrémage](#)

[Fabrication du beurre](#)

[Produits déshydratés](#)

[Produits allégés](#)

[Crèmes glacées](#)

[Valeur nutritionnelle du beurre](#)

[Valeur nutritionnelle de la crème](#)

[Valeur nutritionnelle du babeurre](#)

[Chapitre 9 Consommation du lait et des produits laitiers chez le bien-portant et le malade](#)

[Habitudes de consommation chez le sujet sain](#)

[Possibilités de consommation chez le sujet malade](#)

[Problèmes d'intégration des produits laitiers dans l'alimentation habituelle](#)
[Perspectives d'intégration des produits laitiers dans l'alimentation habituelle](#)
[du jeune enfant et de l'adulte](#)

[Bibliographie](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

Préface

[Table des matières](#) - [Suivante](#)

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Rome, 1995

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs

frontières ou limites.

1. Lait 2. Produit laitier 3. Nutrition humaine

1. Titre II. Série

Code FAO: 86 AGRIS: S01

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche documentaire ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur. Toute demande d'autorisation devra être adressée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, et comporter des indications précises relatives à l'objet et à l'étendue de la reproduction.

(c) FAO 1995

Dans les trois premières décennies de son existence, la FAO a publié une série d'études sur la nutrition. L'une d'entre elles, parue en 1972, *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*, s'efforçait de faire le point des connaissances en

matière de composition et de valeur nutritive du lait, des procédés technologiques pour conserver le lait dans les différents pays du monde et des mesures à prendre pour assurer un approvisionnement en lait à ceux qui en ont le plus besoin.

Vingt ans après, il a paru nécessaire de procéder à une refonte de cet ouvrage qui tienne compte de l'évolution de la connaissance scientifique et technique et cherche à répondre au mieux aux attentes de notre lectorat potentiel, maintenant mieux formé.

Sans la pratique de l'allaitement (au sein), l'espèce humaine n'aurait pu survivre et ce n'est que très récemment que l'on a assisté à la baisse de cette pratique. Jusqu'au début du XXe siècle, l'enfant a toujours et partout été allaité pendant plusieurs mois. Comme pour toute espèce animale, le lait humain est l'aliment qui assure au mieux le développement du nourrisson et de chacun de ses organes. C'est ainsi par exemple que, par sa composition, il permet la synthèse de molécules qui composent le cerveau humain et assurent la transmission de l'influx nerveux. Les avantages indéniables de l'allaitement sur l'état de nutrition et de santé du nourrisson, tout comme les risques qu'il encourt quand il est nourri au biberon, ont conduit les Nations Unies à encourager la pratique de l'allaitement. Aussi a-t-il été jugé indispensable de commencer la présente publication par un chapitre entièrement nouveau traitant des propriétés physico-chimiques, de la composition et des qualités nutritionnelles

du lait de femme.

Depuis 10 000 ans environ, la domestication et l'élevage de l'animal ont permis à l'homme d'accéder à d'autres sources de lait. Le chapitre 2 présente les caractéristiques des laits des espèces domestiques, au premier rang desquelles l'espèce bovine, en prenant le lait de femme comme base de référence. Dans toutes les espèces (humaine et animales), la composition du lait est sujette à variation: les deux premiers chapitres présentent les principales sources de cette variabilité.

Les chapitres 3 à 8 présentent les principes de technologie et les modalités de fabrication des différents types de produits laitiers. Les propriétés nutritionnelles des divers types de produits (y compris des produits laitiers fermentés) y sont analysées ainsi que l'évolution de la consommation de certains d'entre eux.

Le dernier chapitre aborde la place du lait et des produits laitiers dans l'alimentation du sujet en bonne santé ou atteint de diverses pathologies, en particulier de l'enfant mal nourri. En dehors de la période infantile, le lait animal constitue un aliment complémentaire particulièrement indiqué pour redresser ou corriger des déficits latents ou avérés, surtout en situations nutritionnelles critiques.

La FAO tient à remercier vivement les professeurs D. Lemonnier, D. Brasseur et F.

Weber, auteurs d'un manuscrit solidement documenté sur les différents laits, leur composition, leur technologie et leur utilisation. La Division des politiques alimentaires et de la nutrition et la Division de la production et de la santé animales dans un effort conjoint ont redimensionné ce manuscrit pour le rendre plus adapté aux besoins et aux attentes du lectorat potentiel.

Cet ouvrage s'adresse plus particulièrement aux cadres des secteurs de l'agriculture et de la santé ayant suivi une formation post-secondaire de trois ou quatre ans. Cela correspond en général au niveau de formation initiale des vulgarisateurs agricoles, des spécialistes de l'économie familiale, des infirmier(e)s, des assistantes sociales, des techniciens en nutrition et en technologie alimentaire. La lecture de cet ouvrage peut également s'avérer intéressante pour un public de cadres supérieurs en agronomie ou en médecine souhaitant s'ouvrir des domaines qui ne sont pas du ressort de leurs spécialités.

John Lupien

Directeur

Division de l'alimentation et de la nutrition

Chapitre 1 Le lait de femme

Introduction

L'allaitement maternel a constitué depuis toujours le mode alimentaire naturel et, jusqu'à récemment, quasi exclusif des nouveau-nés et nourrissons. Avec le XXe siècle, l'alimentation artificielle, basée essentiellement mais non exclusivement sur l'emploi du lait de vache, a pris un réel essor dans les pays industrialisés où ce changement de comportement a répondu à un besoin social (Vis et Hennart, 1978).

Ce bouleversement n'a été possible que grâce à des procédés technologiques nouveaux, assurant mieux l'hygiène et la conservation des laits. En préconisant un usage autre que celui prévu par la nature, les biologistes et médecins ont découvert bien involontairement les avantages et les inconvénients des divers laits animaux en nutrition infantile. Il y a déjà un siècle, Bunge (1898) avait montré qu'il existe une relation entre le temps de doublement du poids de naissance et les teneurs lactées en protéines et en minéraux des mammifères qu'il avait étudiés (tableau 1).

Les conséquences néfastes sur bien des points de l'alimentation artificielle des nourrissons ont suscité un regain d'intérêt pour l'allaitement maternel et stimulé les recherches sur les propriétés spécifiques des laits animaux. Si les différences entre les laits de diverses espèces ne s'expliquent pas toutes, elles trouvent, au sein de chacune d'elles, des compensations qui les annulent ou les atténuent, ainsi que le

montre le cas du fer; peu abondant dans tous les laits. L'enfant nouveau-né vit sur ses réserves hépatiques alors que le porcelet absorbe quasiment dès sa naissance le fer qu'il trouve en fouillant le sol. Ainsi, soit le lait est adapté aux besoins et la croissance du petit, soit les comportements alimentaires innés ou les réserves propres pallient les carences nutritives du lait.

TABLEAU 1

Composition du lait de divers mammifères et vitesse de croissance de la progéniture

Espèces	Nombre de jours pour doubler le poids de naissance	Teneur du lait (g/litre)			
		Lipides	Protéines	Lactose	Cendres
Femme	180	38	9	70	2
Jument	60	19	25	62	5
Vache	47	37	34	48	7
Renne	30	169	115	28	

Chèvre	19	45	29	41	8
Brebis	10	74	55	48	10

Source: Bunge, 1898

Une réflexion analogue peut être faite sur les facteurs immunitaires des laits. La teneur en immunoglobulines du colostrum et du lait de transition varie fortement selon les espèces. Il en va de même pour leur absorption intestinale chez le nouveau-né. Ces facteurs de protection immunitaire contribuent à assurer le développement et l'intégrité de la muqueuse intestinale et donc son pouvoir d'assimilation. Un lait privé de ses facteurs immunitaires ne permet sans doute plus aux capacités digestives de s'exprimer pleinement et n'est plus, au plan nutritif, le même lait.

Le lait représente l'aliment idéal pour le jeune de l'espèce, mais pour un temps limité et dans certaines conditions seulement d'état des réserves initiales, de comportement, de milieu de vie. Son intérêt nutritif se restreint encore s'il est destiné aux membres d'une autre espèce. C'est sur ces lacunes que doit porter l'attention en nutrition humaine, non pas pour déprécier les autres laits, mais pour les utiliser avec discernement. On peut utiliser un lait animal complètement ou en complément et, de ce fait, il demeure dans bien des sociétés humaines une base nutritionnelle irremplaçable.

Importance nutritionnelle

En nutrition infantile, la composition du lait maternel est une sorte d'étalon. Tout composé qui s'y trouve possède a priori une utilité nutritionnelle ou immunitaire. Quand, dans le jeune âge, le lait de femme vient à manquer, le substitut proposé devrait ressembler au lait humain plus en ce qui concerne ses fonctions biologiques qu'en ce qui concerne sa composition chimique. Aucun lait animal ne possède naturellement ses qualités, ce qui est logique s'ils sont eux aussi profilés pour répondre au mieux aux besoins de chaque espèce. C'est donc la composition du lait de femme qu'il importe de bien connaître en nutrition infantile.

Ces données permettent d'établir la quantité des divers éléments nutritifs qui favorisent une croissance harmonieuse. Par comparaison, il est possible d'en déduire la valeur d'un lait animal en nutrition humaine. Cette confrontation reste très théorique (des moyennes sont comparées entre elles) et est, de plus, entachée d'erreurs, car le taux d'un nutriment dans le lait ne présume pas de sa biodisponibilité: certains minéraux sont plus ou moins fortement liés à des protéines porteuses, certains acides aminés ou gras sont piégés dans des substances complexes (protéines, triglycides).

Ces comparaisons permettent surtout de suspecter des insuffisances dans les laits

animaux (acides gras essentiels, vitamines oligo-éléments), et des apports toxiques sont également à craindre lorsque les teneurs s'avèrent franchement excédentaires (azote, calcium et phosphore) pour l'être humain.

Non seulement le lait maternel imprime les caractéristiques de croissance et de développement (que certains jugent idéales), mais encore sa composition subit des variations qui semblent également répondre aux besoins changeants du petit. Cette dynamique existe dans toutes les espèces, mais est spécifique de chaque espèce.

Le nutritionniste s'intéresse moins aux concentrations lactées qu'aux besoins infantiles réels. C'est en termes d'apports journaliers, donc en calculant d'après le débit lacté de 24 heures (variant chez la femme souvent de 600 à 850 ml/jour), que les valeurs des besoins quotidiens sont établies pour les premiers mois. Lorsque l'allaitement n'est plus exclusif, de telles deductions ne sont plus possibles. Il en va de même en situation de malnutrition maternelle sévère (débit lacté parfois inférieur à 300 ml/jour) (OMS, 1987).

Composition

Caractéristiques physico-chimiques

Le lait humain contient environ 87 pour cent d'eau et son osmolarité, voisine de 290 mOsm/litre, est proche de celle du plasma (de 250 à 290 mOsm/litre). La densité spécifique du lait maternel varie de 1,026 à 1,037 et le poids des matières sèches varie de 100 à 175 g/litre (tableau 2). Plus de la moitié de cette masse est constituée de lactose (de 70 à 80 g/litre), un quart environ de lipides (de 35 à 40 g/litre) et une part bien moindre de protéines (10 g/litre environ) et de minéraux (2 g/litre).

Les protéines sont présentes dans le lait en suspension colloïdale (micelles) et c'est leur dispersion avec les sels de calcium qui donne cette opacité caractéristique dite laiteuse. Les glucides (le lactose) s'y trouvent en solution vraie alors que les lipides s'y trouvent sous forme de globules gras répartis (ou émulsionnés) dans la phase aqueuse. La dimension des globules gras varie de 1 à 3 micron(s) dans le colostrum et le lait de transition pour augmenter quelque peu (de 3 à 6 microns) dans le lait mature, ce qui n'est pas sans rapport avec sa digestibilité.

L'essentiel (80 pour cent) des structures membranaires présentes dans le lait humain compose la paroi des globules gras, une faible proportion (20 pour cent) se retrouve dans la phase solide du lactosérum et une infime quantité se trouve dans les cellules somatiques (lymphocytes, macrophages).

Lors de la formation des gouttelettes lipidiques dans les cellules de la glande mammaire, une membrane (dérivée de l'appareil de Golgi) vient entourer le futur globule gras. Ces parois sont faites de (glyco-) protéines, de phospholipides, de triglycérides, de cholestérol et d'enzymes. Elles jouent un rôle d'émulsifiant et empêchent la lipolyse spontanée et l'oxydation trop facile des graisses du lait ce qui lui évite de rancir et lui conserve un goût agréable.

La réalisation de l'émulsion permet la dispersion des lipides au sein de la phase aqueuse; la conservation au froid casse l'émulsion et sépare les deux phases. Une coalescence des globules gras survient aussi après l'addition intempestive ou exagérée d'acides gras à chaîne moyenne, d'huiles végétales, d'amidons ou d'autres produits d'enrichissement. Les parois du globule gras sont stabilisées sous l'action détergente des sels biliaires, ce qui permet aux lipases (linguales, pancréatiques et celles du lait) d'hydrolyser les triglycérides.

L'existence même des globules gras revêt une importance nutritionnelle fondamentale, qui va au-delà du simple transport ou de la digestion des lipides. Ces globules représentent l'apport principal d'énergie et d'acides gras essentiels. Ils contribuent aussi à l'apport de vitamines liposolubles, de (glyco)protéines, phospholipides et de cholestérol. Le cholestérol du lait est incorporé chez le nourrisson dans les tissus de l'organisme en croissance (cerveau notamment). Les

glycoprotéines sont **l'abri de l'hydrolyse digestive** et certaines hormones (ACTH, TSH) traversent intactes la paroi intestinale pour entrer dans la circulation. Les parois membranaires contiennent également des sphingomyélines, de la phosphatidylcholine et des gangliosides qui entrent dans la composition des tissus nerveux.

Valeur énergétique

La teneur énergétique moyenne du lait mesurée en kilocalories est proche de 690/litre, mais les valeurs individuelles varient considérablement (tableau 12).

Protéines et substances azotées

Azote total. L'azote total du lait maternel (l'équivalent des matières azotées en terminologie industrielle) est un paramètre chiffré peu utilisé en pratique médicale. On préfère lui substituer, en le subdivisant, l'azote en protéines (en g/litre) et l'azote non protéique (dénomme d'après les initiales anglo-saxonnes NPN: non protein nitrogen) et rapporté en g/litre ou en g d'azote/litre (g N/litre). Dans le lait maternel, les protéines et l'azote non protéique représentent respectivement environ 75 et 25 pour cent de la composante azotée totale.

TABLEAU 2 Caractéristiques physico-chimiques du lait humain

Constantes	Moyennes	Valeurs extrêmes
Energie (kcal/litre)	690	446 1 192
(MJ/litre)	3 127	1 876-4 989
Densité spécifique	1,031	1,026 1,037
pH 20°C	7,01	6,40- 7,60
Matières sèches (g/litre)	1 29	1 00 - 1 75
Cendres totales (g/litre)	2,02	1,60 2,66
Point de congélation (°C)	-0.530	-0.519 -0.550
Indice de réfraction (nD20)		1,347 1,348
Osmolarité (basée sur point de congélation) (mOsm/kg)	293	290-296
Viscosité à 25°C (centipoises)		1,628 1,693
Tension superficielle à 25°C (dynes/cm)	49	48 - 50
Indice de réfraction des graisses		1,457 1,458

(nD40)		
Point de fusion des graisses (°C)	32	
Diamètre moyen des micelles de caséine (nm)	42	40-45

Source: Lentner, 1981

Protéines. Le taux des protéines totales du lait maternel (tableau 3) est compris entre 12 et 13 g/litre quand il est évalué par la méthode classique de Kjeldahl et entre 8,5 et 9,0 g/litre avec la méthode de l'analyse des acides aminés totaux. Ce taux est proche de 9,6 g/litre quand la méthode de l'azote non dialysable est utilisée.

Ces protéines constituent un ensemble partagé en deux grandes fractions d'après leur précipitation en milieu acide (pH 4,6). La fraction des caséines coagule dans ces conditions tandis que les autres protéines restent solubles (protéines sériques ou protéines du lactosérum). Ces dernières représentent les deux tiers environ des protéines totales du lait humain. Ce partage permet de définir un quotient formé par le rapport entre protéines solubles et caséines. Il est voisin de 65:35, voire 70:30 et même, pour quelques auteurs, de 80:20. Certaines protéines sériques (immunoglobulines) ne relevant pas de l'apport nutritif, le rapport pourrait être en

termes nutritionnels fixés 40:60, les caséines étant presque totalement assimilables.

TABLEAU 3 Composition protéique du lait humain (g/litre)

Protéines	Moyennes	Valeurs extrêmes
Protéines totales	10,60	7,30-20,00
Caséines	3,70	1,40-6,80
Protéines solubles:	6,90	4,00-10,00
α-lactalbumine	3,60	1,40-6,00
Lactoferrine	1,50	1.00 3 20
Lysozyme	0,1 2	0, 04 - 0.21
Albumine sérique	0,50	0,20-0,97
IgA sécrétaires	1,00	0,60- 1,60
IgG	0,01	-
IgM	0,01	-



Caséines. Celles-ci sont des glycoprotéines phosphorylées séparées de l'électrophorèse et identifiées d'après leur pouvoir de migration en caséine alpha, bêta, lambda et kappa. Les caséines se constituent en micelles, ce qui les rend plus accessibles à la digestion carboxypeptidasique dans l'intestin.

Protéines solubles. Le lait crémé débarrassé de la caséine n'est plus qu'un lactosérum qui contient encore les protéines solubles, importantes pour leurs rôles nutritionnel et immunitaire, le lactose et une partie des minéraux.

Cinq constituants majeurs sont identifiés parmi les protéines solubles du lait maternel (tableau 3). L' α -lactalbumine en représente la plus grande quantité et existe dans tous les laits qui contiennent du lactose, étant le coenzyme de la synthétase qui catalyse la formation du lactose dans la glande mammaire.

La lactoferrine (une glycoprotéine) représente un sixième environ des protéines du lactosérum. Elle peut fixer deux atomes de Fe^{3+} et n'est saturée qu'entre 2 et 4 pour cent (Spik et al., 1982). Elle joue probablement un rôle primordial dans l'absorption intestinale du fer chez le nourrisson. Comme cette protéine n'est pas complètement dégradée au cours de la digestion et garde donc la capacité de fixer réversiblement le fer dans l'intestin, les bactéries dépendantes du tube digestif

sont privés d'un nutriment essentiel leur croissance. La lactoterrine possède ainsi un pouvoir bactériostatique puissant.

Le lysozyme (ou muramidase) est une enzyme hydrolysant des liaisons glycosidiques particulières, qui interviennent notamment dans la configuration des parois bactériennes (Reiter, 1984). Le lait humain possède, grâce au lysozyme, un effet bactériolytique puissant de l'ordre de 100 à 10 000 fois plus élevé que chez nombre de mammifères.

Les quantités de lactoferrine (figure 1) et de lysozyme du colostrum sont élevées et diminuent au cours de la lactation. Les taux de lactoferrine diminuent moins vite que ceux des immunoglobulines. Les deux glycoprotéines échappent à la digestion gastrique et pancréatique et se retrouvent en grande partie dans les selles. Toutefois, selon certains auteurs, près d'un quart de ces protéines peut néanmoins être nutritionnellement utilisées (Nichols et al. 1987) ce qui dans l'absolu représente des quantités appréciables.

L'albumine sérique (sanguine) est aussi présente dans le lait à des taux intermédiaires entre la lactoferrine et le lysozyme.

Il existe quatre types d'immunoglobulines dans le lait (IgA, IgG, IgM et IgD). La

principale d'entre elles (IgA) existe sous forme d'anticorps sécrétatoire. Leurs taux diminuent en cours d'allaitement, mais restent substantiels. Les anticorps sont dirigés contre un ensemble de bactéries digestives (comme *Escherichia coli* *Salmonella* et *Shigella*) ou respiratoires (comme *Haemophilus influenzae* et *Klebsiella pneumoniae*) de virus (cytomégalovirus, poliovirus, RSV, rotavirus, etc.), et même de parasites (comme *Giardia lamblia* et *Entamoeba histolyca*) (Hanson, 1988).

Enfin, le lait de femme ne contient pas de α -lactoglobuline, constituant important du lait de vache.

FIGURE 1 Evolution des taux de diverses protéines du lait de femme au cours de la lactation

Azote non protéique. Le lait contient de la créatinine et de la créatine, des nucléotides, des acides nucléiques et des polyamines dont les rôles sont mal connus (tableau 4).

Les acides aminés libres du lait maternel ne représentent que 8 à 20 pour cent de l'azote non protéique et dépendent de la nature de l'alimentation maternelle. Leur rôle est peu connu, mais on attribue à la glutamine (l'acide aminé libre le plus abondant) un rôle trophique sur l'intestin.

TABLEAU 4 Substances azotées non protéiques du lait humain (mg/litre)

Substances azotées	Moyennes	Valeurs extrêmes
Urée	530	350-810
Créatinine	20	12 - 100
Acide urique	9	
Ammoniac	4	
Acides aminés libres	200	65 -300
Taurine	48	12 - 100
Carnitine	60	28 - 80
Choline	9	-
Divers:		
N -acétyl glucosamine	150	-
N-acétyl neuraminique	150	80 -800
Oligo-peptides	-	17 - 60

Nucléotides	3	-
Polyamines	0 2	-
TOTAL	850	440 -1 000

La taurine, une amine soufrée, intervient dans la conjugaison des acides biliaires et joue un rôle fonctionnel au sein des photorécepteurs rétiniens (Wright et Gaull, 1988).

La carnitine (dipeptide: méthionine et lysine) est présente dans le lait à des taux variables (de 35 à 90 micromol/litre) et cette teneur diminue avec le temps. Elle contribue au transport des acides gras à l'intérieur de la mitochondrie où s'effectue leur oxydation.

Enzymes impliquées dans la digestion protéique. Le lait humain contient des protéases à activité trypsine, mais elles semblent peu actives ou naturellement inhibées (notamment par les IgA). Il existe également des antiprotéases (α -1-antitrypsine et α -1-antichymotrypsine) dont le rôle reste hypothétique (effet antiallergique ou antibactérien).

Importance nutritionnelle des protéines. A un stade de la vie où la croissance extra-utérine prend le relais de la croissance intra-utérine, l'apport acides aminés est

fondamental. Les carences quantitatives (malnutrition ou la composante protéique domine) marquent leurs effets irréversibles surtout sur le système nerveux: le développement du cerveau est entravé et les capacités intellectuelles peuvent être atteintes.

Des carences plus qualitatives sont illustrées par certaines maladies congénitales du métabolisme des acides aminés ou par les régimes d'exclusion trop sévères en vue de traiter celles-ci (rôle essentiel et négligé de la tyrosine lors des premiers traitements diététiques de la phénylcétonurie, par exemple) (voir chapitre 9). Ici encore, les repercussions les plus marquées et les plus définitives portent sur le système nerveux.

[Click here to continue](#)

[Table des matières - Suivante](#) ➤

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/">

Glucides

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Le lactose représente l'essentiel de l'apport glucidique du lait de femme (taux moyen 70 valeurs extrêmes 49-95 g/litre) (tableau 5). Ce lait en est particulièrement riche, plus que celui de n'importe quel autre mammifère. Ainsi, 37 pour cent de l'énergie provient du lactose dans le lait de femme (contre 30 pour cent à peine dans le lait de vache). Ce disaccharide contribue pour plus de 60 pour cent au pouvoir osmotique du lait.

Le lactose pourrait être un témoin d'une régulation de la production lactée car, de tous les composants, il est l'un de ceux dont le taux varie le moins au cours de la lactation (70 g/litre avec un coefficient de variation inférieur à 4 pour cent) (figure 2). Le lactose semble favoriser l'absorption de certains minéraux (calcium, magnésium, phosphore) et d'oligo-éléments (zinc notamment). Cet effet n'est peut-être pas direct, mais dû à l'acide lactique, produit dérivé du lactose sous l'effet du métabolisme microbien. ApH acide, les sels calciques sont plus solubles et donc mieux résorbés. Le lactose, par le biais du galactose et du glucose puis de l'acide lactique produit, influence la nature de la flore microbienne intestinale. En milieu acide, la flore basophile protéolytique de putréfaction ne peut se développer. Une flore acidophile domine, apparemment de nature plutôt anaérobie (bifide).

TABLEAU 5 Teneurs en glucides du lait humain (g/litre)

Glucides	Moyennes	Valeurs extrêmes
Lactose	70	49-95
Estimé directement	68	50 - 92
Par différence	1,3	-
Fucose	0,7	0,7-0,8
Glucosamine	0.2	0,0-0,4
Inositol	0,45	0,39-0,56
Acide citrique	0,8	0,35-1,25

Il existe aussi dans le lait humain (comme dans la plupart des laits) de faibles quantités de monosaccharides (fucose 2 g/litre environ) et des quantités parfois importantes d'oligosaccharides (a-glucosides jusqu'à 14 g/litre).

Systèmes enzymatiques impliqués dans la digestion glucidique. Le nouveau ()

terme) possède de une lactase au sein de la muqueuse intestinale. Il n'a pas **de** priori besoin d'autre enzyme hydrolytique pour la digestion des glucides en raison de la **très** faible teneur (environ 1,2 g/litre) de son alimentation lactée naturelle en oligosaccharides.

Ce potentiel enzymatique existe **néanmoins** et rend compte de la **capacité** des **très** jeunes enfants **de** tolérer des quantités substantielles d'amidon: l'amylase salivaire, la glucoamylase de la bordure en brosse intestinale et l'amylase mammaire (active dans des gammes larges de pH 4,5 **à** 7,5) participent toutes pour une part **à** l'hydrolyse des α -glucosides. L'existence en concentration appréciable dans le lait humain de l'amylase mammaire explique pourquoi le **très** jeune enfant allaité **peut** digérer les farines ajoutées bien que l'amylase pancréatique ne devienne souvent active qu'après 3 **à** 6 mois de vie.

FIGURE 2 Evolution du lactose et d'autres composants du lait au cours de la lactation

Importance nutritionnelle des glucides. En raison de son absorption lente, le lactose possède un effet **léger**ment laxatif (accélérateur de transit). Les produits de l'hydrolyse du lactose (glucose et galactose) sont absorbés activement par la muqueuse intestinale, alors que tous les autres hexoses ou pentoses diffusent passivement. Certains estiment que le lactose joue un rôle dans l'absorption

intestinale des acides aminés. A l'inverse du saccharose et plutôt l'instar des amidons, le lactose est un glucide à absorption lente ou retardée. Il s'ensuit pour un apport énergétique déterminé une impression de satiété très différente selon le glucide consommé. Enfin, le lactose ne favorise pas, au contraire du saccharose, la formation de la plaque dentaire et induit donc beaucoup moins de caries.

Les oligosaccharides sont des facteurs de croissance pour les bactéries de type bifide. Ces germes colonisent le tube digestif du nourrisson allaité et assurent la fermentation du lactose et des lactosamines en acides lactique et acétique. Le pH colique tombe à 4,5 rendant la croissance des germes pathogènes difficile. Le risque pour le nourrisson allaité de développer une entérite infectieuse est ainsi considérablement réduit D'où un effet bénéfique sur l'état de santé et de nutrition.

Lipides

Le lait humain a une teneur élevée en lipides (45 g/litre) qui représente de 40 à 50 pour cent des calories totales. La consommation de volumes raisonnables de lait fournit au nourrisson des quantités importantes d'énergie (plus de 100 kcal/kg/jour). Les lipides apportent aussi les acides gras essentiels (linoléique et α -linoléique) qui sont des éléments constitutifs majeurs des membranes cellulaires, du cerveau

notamment, et des acides gras **très longues chaînes (C20, C22, C24) (Jensen, 1989).**

Triglycérides. Dans le lait humain, les graisses sont presque exclusivement des triglycérides (>98 pour cent) (tableau 6). Plus de 150 acides gras y ont **été** identifiés, mais quatre acides gras **chaéne longue** entrent **eux seuls** pour plus des deux tiers dans la composition des triglycérides: il s'agit des acides palmitique (22 pour cent), stéarique (7 pour cent), oléique (36 pour cent) et linoléique (9 pour cent) (tableau 7). Dans l'ensemble des acides gras, les composants saturés et insaturés se répartissent en parts **peu prés égales** alors que, dans le lait de vache, les insaturés dominent. La proportion des acides gras **chaéne moyenne (C12)** est donc faible (de 1 **à** 5 pour cent seulement) **à l'opposé** de ce qu'il en est pour d'autres laits (environ 10 pour cent dans le lait de vache, par exemple).

Dans le colostrum, la matiére grasse est en faible quantité et constituée surtout de triglycérides **chaénes longues polyinsaturés**. Ces acides gras semblent **être** très rapidement incorporés dans les cellules neuronales du cerveau encore en formation et peuvent s'y maintenir pendant des temps longs.

TABLEAU 6 Constituants lipidiques du lait humain et localisation dans les fractions physico-chimiques (9/100 g de matiére grasse)

Constituants lipidiques	Moyennes	Localisation
Triglyc é rides	98	Globule gras
Diglyc é rides	0,7	Globule gras
Monoglyc é rides	Traces	Globule gras
Phospholipides	0,26	Membrane du globule gras et lactos é rum
C é r é dosides	Traces	Membrane du globule gras
St é rols	0,25	Membrane du globule gras
Acides gras libres	0,4	Globule gras et lactos é rum

Source: Renner, 1983.

En dehors de la période colostrale, la composition relative en triglycérides et donc en acides gras est stable par rapport aux fluctuations de la teneur lipidique du lait humain. Le lait est plus gras en début de tétée, le matin et lorsque la lactation

progressive (moins de 40 g/litre avant 2 semaines, plus de 50 g/litre après 4 mois). Par contre, la composition en acides gras des triglycérides subit l'influence du régime alimentaire maternel. La proportion d'acide linoléique peut varier de 1 à 45 pour cent selon que la mère consomme plutôt du beurre ou des huiles (régime végétarien).

Les rares graisses de nature non triglycéridique du lait humain sont des acides gras libres, des mono- et diglycérides, des phospholipides, des sphingolipides et des esters du cholestérol.

Cholestérol. Le taux de cholestérol du lait humain est remarquable (240 mg/ 100 g de graisses). Il est élevé de 250 à 400 mg/litre dans les toutes premières semaines de la vie et diminue par la suite (après 1 mois).

Il existe enfin dans le lait des alkyl-glycérols (liaison éther) à des taux faibles, mais dont les propriétés anti-inflammatoires sont intéressantes (1 mg/g de matières grasses).

TABLEAU 7 Distribution des acides gras au sein des lipides (triglycérides et phospholipides) du lait humain (%)

Acides gras	Nomenclature	Position des doubles liaisons	Moyennes
Saturés			
Caprique	C10:0	-	1,4
Laurique	C12:0	-	6,2
Myristique	C14:0	-	7,8
Palmitique	C16:0	-	22,1
Stéarique	C18:0	-	6,7
Mono-insaturés			
Myristoléique	C14:1	5	0,3
Palmitoléique	C16:1	7	3,1
Ooléique	C18:1	9 (7)	35,5
Gadoléique	C20:4	9	0,9
Polyinsaturés			

Linoléique	C18:3	6	8,0
Arachidonique	C20:4	6	0,7

Source: Jensen. 1989

Systèmes enzymatiques liés à la digestion des graisses. En raison d'une immaturité du système enzymatique digestif, le nouveau-né est peu même de profiter de la totalité des lipides ingérés. Ainsi, les jeunes prématurés et les nourrissons présentent souvent une stéatorrhée (jusqu'à 30 pour cent des graisses ingérées) en dépit de l'existence de systèmes enzymatiques compensatoires (lipase linguale, lipase gastrique, mais surtout lipase du lait maternel, stimulée par les sels biliaires). Le lait fournit donc non seulement les lipides, mais avec eux la machinerie enzymatique qui en assure la digestion (Hamosh, 1979). Cette propriété s'observe chez tous les carnivores et n'est pas spécifique des primates.

Il existe aussi dans le lait humain une lipoprotéine lipase (des taux extrêmement faibles) activée uniquement par des facteurs plasmatiques sanguins (héparinoïdes).

Importance nutritionnelle. Le rôle des lipides n'est pas seulement d'assurer l'organisme une part majeure de ses besoins en énergie. A titre qualitatif, les lipides

fournissent un ensemble d'acides gras essentiels qui soit entrent de plain-pied dans des métabolismes plus fondamentaux (prostaglandines, leucotriènes, etc.), soit participent à la construction de structures tissulaires nobles (cérébrosides, gangliosides). Le tableau clinique des carences en acides gras essentiels est suffisamment caractéristique pour qu'un apport minimal en acide linoléique fasse partie des recommandations de la plupart des sociétés de nutrition.

Vitamines liposolubles

Alors que le lait humain semble répondre très sagement aux besoins en macronutriments du jeune enfant, il n'assure pas toujours un apport adéquat pour d'autres substances: les vitamines et les oligo-éléments. Un risque existe en particulier pour la vitamine K mais, de fait, pour toutes les vitamines liposolubles (tableau 8).

La vitamine K est présente dans le lait humain, mais à des taux faibles en regard des besoins infantiles. La flore digestive du nourrisson peut pallier cette carence relative en produisant des quantités appréciables de vitamine K. Les nouveau-nés restent cependant exposés aux dangers d'une carence aussi longtemps que leur tube digestif n'a pas été colonisé par une flore commensale adéquate et il semble que le lait de femme favorise plutôt le développement bactérien de lactobacilles, mauvais

producteurs de la vitamine K.**TABLEAU 8 Concentrations en vitamines du lait humain (mg/litre)**

Vitamines	Moyennes
Vitamines hydrosolubles	
B ₁ (thiamine)	0,16
B ₂ (riboflavine)	0,43
B ₆ (pyridoxine)	0,1 1
B ₁₂ (cobalamine)	0,0001
Acide nicotinique	1,72
Acide folique	0,0014
Acide pantothique	1,96
Biotine	0,0006
Choline	90

Inositol	390
C (acide ascorbique)	43
Vitamimes liposolubles	
A (rétinol)	0,53
β-carotènes	0,27
D (calciférol)	Traces
E (tocophérol)	5,60
K	0,01 0

Source: Lentner, 1981.

La vitamine A est présente dans le lait de femme essentiellement sous forme de rétinol ou plutôt de rétinyl-esters. Le colostrum et le lait mature en sont relativement riches puisque la teneur oscille entre 1 301) et 2 000 UI/ litre. Ces taux semblent influencés par le régime alimentaire maternel, bien que certains auteurs estiment qu'ils dépendent surtout des réserves hépatiques du nourrisson.

L'activité vitaminique D du lait humain revient à un ensemble composite de substances chimiques organiques (liposolubles et hydrosolubles). La teneur en

vitamine D liposoluble est faible (20 UI ou 0,50 µg/litre). On trouve, par contre, dans le lait de femme, deux substances sulfatées hydrosolubles, le 25hydroxy-ergocalciferol et le 25-hydroxy-cholecalciferol, dans un rapport entre elles de deux tiers/un tiers. Ces deux substances, regroupées sous le terme générique 25-hydroxy-vitamine D (25-OH-D), représentent elles seules de 30 à 70 pour cent de l'activité vitaminique D totale. En raison de ces grandes variations en termes d'activité un apport de sécurité de 300 UI/jour reste recommandé pour l'enfant allaité.

La vitamine E du lait humain est constituée pour plus de 75 pour cent de l'isomère α-tocopherol et s'y trouve des taux de l'ordre de 2,5 mg/litre (équivalent α-tocopherol). Ces quantités suffisent à jouer pleinement le rôle d'antioxydant.

Vitamines hydrosolubles

Apparemment, les apports de la plupart des vitamines hydrosolubles par le lait humain (tableau 8) suffisent à couvrir les besoins des nourrissons. Cependant, les taux lactés varient fortement (de 1 à 10 pour l'acide pantothique, par exemple). Une supplémentation vitaminique maternelle permet de porter la plupart des vitamines (sauf les vitamines B1 et B2) à une valeur plateau dans le lait. Inversement, dans certaines circonstances (malnutrition), les taux lactés de pyridoxine (B6), de folates (B9) et de vitamine C peuvent tomber très bas. Il en va de même pour la vitamine

B12, chez les mères végétariennes strictes. La carence en folates par contre est rare. Comme l'ensemble de ces vitamines jouent un rôle dans la genèse neuronale ou neurologique, leur présence dans le lait est particulièrement cruciale pour le nourrisson au sein.

Minéraux

Dans l'espèce humaine, les concentrations de minéraux varient fortement d'un lait à l'autre. A titre d'exemple, pour les éléments principaux (sodium, calcium, phosphore, chlore, etc.), les valeurs extrêmes fluctuent du simple au quadruple et ne subissent pourtant pas l'influence du régime alimentaire maternel.

Les teneurs moyennes en minéraux du lait de femme (2,0 g/litre) sont en général plus basses que celles des laits animaux (>5,0 g/litre). Cette différence tient à deux raisons: chaque espèce correspond des besoins dictés par une croissance propre; en outre, les concentrations faibles du lait humain sont contrebalancées par une biodisponibilité forte grâce à la présence de substances porteuses (protéines) ou à la forme biochimique du composé.

A titre de comparaison, le rapport des teneurs entre lait maternel et lait de vache est de 1 à 6 pour le phosphore, de 1 à 4 pour le calcium et de 1 à 3 pour le sodium. Cela

se traduit par une charge osmotique rénale basse (définie par la somme des osmoles d'origine protéique et minérale) pour le lait de femme (80 mOsm/litre) et nettement plus élevée pour le lait de vache (230 mOsm/ litre) où intervient aussi un apport protéique élevé.

En dehors de la période colostrale, le lait humain contient peu de sodium (270 mg/litre). Cette teneur est beaucoup plus élevée dans le lait de vache (720 mg/litre). L'existence présumée d'une association entre un apport sodé élevé ou excessif au cours de l'enfance et une hypertension artérielle à l'âge adulte amène à recommander de limiter les apports sodés pendant la première année de vie.

L'homéostasie du calcium est sous l'influence de nombreux autres nutriments (phosphore, magnésium, vitamine D, lactose, lipides, etc.). La concentration calcique est faible (300 mg/litre contre 1 200 mg/litre dans le lait de vache), mais la rétention osseuse calcique du lait humain est forte (65 pour cent contre 25 pour cent pour le lait de vache). Cette bonne rétention est à mettre en relation avec la teneur phosphorée modérée du lait de femme, ce qui peut encore s'exprimer par un rapport calcium/phosphore élevé (de 2,0 à 2,2).

Le lait maternel contient peu de magnésium (40 mg/litre), mais son taux reste très constant au cours de la lactation. Ce magnésium est en grande partie lié aux

protéines du lactosérum (44 pour cent) et seulement en faible proportion (de 1 à 10 pour cent) la caséine. La moitié du magnésium est donc présent sous forme libre ou plutôt associée à des petites molécules, comme le citrate par exemple, ce qui explique sa bonne biodisponibilité.

Importance nutritionnelle. Un apport nutritif minimal (correspondant à peu près à celui fourni par le lait maternel) est nécessaire pour le sodium (>20 mg ou environ 1 mEq/kg/jour) ainsi que pour le potassium (>40 mg ou 1 mEq/kg/j).

Outre leur rôle dans la formation osseuse et dentaire, le calcium et le phosphore jouent un rôle métabolique (catalyseur de très nombreuses réactions biochimiques pour le calcium, constituant de nombreuses protéines ou de lipides pour le phosphore organique). Seuls le lait et les laitages possèdent un rapport calcium/phosphore supérieur à 1 (celui de l'os et de l'œuf). Le calcium et le phosphore du lait sont bien absorbés (>85 pour cent) (tableau 9) alors que, dans le règne végétal, le degré d'assimilation n'atteint qu'environ 50 à 60 pour cent. Dans ces conditions, il ne semble pas possible de couvrir les besoins en calcium et en phosphore sans consommer du lait maternel ou, à défaut, des laitages.

Oligo-éléments

D'autres minéraux (fer, zinc, cuivre, sélénium) n'existent dans le lait qu'en faibles concentrations (oligo-éléments). Il y a peu de fer (tableau 10) dans le lait de femme, comme dans tous les laits mais les quantités varient fortement. Pourtant, les enfants allaités sont relativement rarement carencés, car l'absorption du fer du lait humain est bonne (environ 30 pour cent), de l'ordre de cinq fois plus élevée que celle du lait de vache (environ 6 pour cent). Cette caractéristique semble due à la teneur protéique et phosphorée basse, à la teneur élevée en lactose et en ascorbate et à la présence de protéines porteuses de fer (lacto-(trans-)ferrine). L'introduction de l'alimentation solide réduit les possibilités d'absorption du fer du lait maternel.

La concentration en zinc (tableau 10) varie dans d'assez larges proportions; cette quantité tend à diminuer au fur et à mesure que la lactation avance. Le lait maternel ne contient pas plus (voire moins) de zinc que le lait de vache, mais sa biodisponibilité est bien meilleure (60 contre 45 pour cent). Un ligand ou une substance porteuse pourrait être à l'origine de cette propriété attribuée par certains auteurs à l'acide picolinique et, par d'autres, au citrate.

Les concentrations en cuivre (tableau 10) varient également beaucoup dans les laits et ne semblent pas dépendre de la consommation maternelle. Enfin, les taux de sélénium semblent deux fois plus élevés dans le lait maternel (16 mg/litre) que dans le lait de vache (8 mg/litre).

TABLEAU 9 Teneurs en divers minéraux du lait humain et degrés d'absorption digestive et de rétention métabolique du nourrisson

Minéraux	Lait humain mature (mg/litre)	Absorption (% des apports)	Rétention (% des apports)
Calcium	270-320	80-85	62-64
Phosphore	140-150	90-95	87-90
Magnésium	35-45	90-95	50

Importance nutritionnelle. Le fer est un constituant indispensable de l'hémoglobine (globules rouges) et de la myoglobine (muscle strié). Ce métal joue un rôle majeur de transporteur d'oxygène.

Le zinc et le cuivre sont des constituants essentiels d'un grand nombre d'activités enzymatiques. Un apport en zinc insuffisant est un facteur limitant la croissance. Une telle situation peut survenir si le lait en est déficient. Cette éventualité peut se rencontrer chez des mères (poly-) carencées souffrant de malnutrition.

Le cuivre est véhiculé dans la circulation par la céruloplasmine, enzyme qui exerce une activité ferroxidasique. La carence en cuivre se manifeste de ce fait par une

anémie réfractaire au traitement martial et a d'autres retentissements: défaut de pigmentation, anomalies des cheveux, sécheresse de la peau, déficit partiel de l'immunité. Ces manifestations sont la conséquence de dérèglements de divers cupro-enzymes.

Le sélénium est un constituant essentiel de l'enzyme glutathion-peroxydase (protection contre les radicaux libres) et de l'enzyme de conversion des hormones thyroïdiennes.

L'iode est essentiel pour le fonctionnement de la glande thyroïde (75 µg/ jour).

TABLEAU 10 Teneurs en oligo-éléments du lait humain (µg/litre)

Oligo-éléments	Moyennes
Aluminium	500
Arsenic	50
Baryum	40
Bore	80
Brome	

Cadmium	114
Chrome	40
Cobalt	12
Cuivre	380
Fer	660
Fluor	50
Iode	80
Mangan ^{se}	20
Molybd ^{ne}	2
Nichel	25
Plomb	30
S ^l onium	20
Silicium	700
Strontium	100
Titane	100
Vanadium	7

Zinc	2 430
------	-------

Source: Renner, 1983 et 1989.

Hormones

Le lait humain contient de nombreuses hormones: prolactine, somatostatine, hormone de croissance et hormone somatotrope correspondante, hormones thyroïdiennes, TSH et TRH, stéroïdes, insuline, etc. Leur action est très vraisemblable, mais leur rôle est mal connu. Pour certaines d'entre elles, telles que les hormones thyroïdiennes, on considère que, malgré leur présence dans le lait maternel, la sécrétion endogène reste indispensable.

Enzymes

Outre les enzymes déjà citées aux paragraphes traitant des différents nutriments, il existe dans le lait maternel de nombreuses autres enzymes qui jouent un rôle nutritionnel indirect. Leurs effets essentiellement antimicrobiens permettent à la muqueuse intestinale de maintenir sa surface intacte, et donc de jouer pleinement son rôle nutritif. Les plus importantes sont la lactoferrine, la lactoperoxydase, la xanthine-oxydase et, dans une mesure moindre, le lysozyme.

Casomorphines

Les exorphines (ou opioïdes dérivés des aliments) peuvent être notamment produites au cours de l'hydrolyse de la β -caséine, tant du lait de femme que des laits d'un ensemble de mammifères (bovins, ovins) (Hamosh, Hong et Hamosh, 1989).

Les casomorphines ainsi obtenues lors de la digestion intestinale exercent une activité opioïde et peut-être une action locale de type hormonal. Les propriétés les plus marquées de ces casomorphines se manifestent sur le tube digestif (péristaltisme, flux ionique, régulation de la prise alimentaire) et le système nerveux central (action présynaptique sur les neurones dopaminergiques, effet régulateur possible sur la croissance cérébrale). Ces opioïdes auraient aussi un effet sur le psychisme de la femme enceinte et allaitante, et peut-être enfin sur la régulation respiratoire.

Acides organiques

Le lait de femme contient peu d'acide citrique (de 0,35 à 1,25 g/litre) (voir tableau 5). Celui-ci est synthétisé dans la glande mammaire à partir d'acide pyruvique et participe au système tampon du lait. Il assure, avec les minéraux (calcium et phosphate), la stabilité des complexes calcium caséines.

L'acide N-acétyl neuraminique (ou sialique) se trouve dans le lait humain à des taux élevés (0,15 g/litre) (voir tableau 4). Sa présence est importante pour la formation des membranes neuronales centrales.

Les acides nucléiques et les nucléotides du lait sont nombreux. Parmi ces derniers, les composés UDP sont très présents et auraient un rôle comme facteur de croissance du Bifidus. Certaines études suggèrent que l'absence de nucléotides ne permettrait pas une maturation aussi rapide du système immunitaire et un développement aussi complet de la muqueuse de l'intestin grêle (Uauy, 1989). La flore commensale digestive serait également influencée par la présence de nucléotides alimentaires. Un effet sur le métabolisme lipidique (composition des membranes en cholestérol et en acides gras à très longue chaîne) est aussi évoqué.

Éléments cellulaires

Le lait contient des globules blancs (surtout le colostrum), essentiellement des polynucléaires neutrophiles et des macrophages, possédant un pouvoir phagocytaire, mais ayant une motilité différente de celle de leurs homologues sanguins. Présents dans le tube digestif du nourrisson, ces globules blancs reprennent sans doute une fonction et colonisent les tissus muqueux intestinaux. Le lait contient

aussi des lymphocytes, conservant, parfois un degré moindre, un ensemble de propriétés habituelles des éléments sanguins.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Variations de la composition

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Dans les espèces animales, c'est le débit lacté qui influence le plus la composition du lait, tandis que dans l'espèce humaine, après les variations individuelles, c'est la durée de la gestation qui conditionne le plus la composition. En effet, celle-ci présente des variations interindividuelles qui, pour certaines substances (matières grasses), peuvent aller du simple au quintuple

La composition du lait varie aussi chez un même sujet en fonction d'un ensemble de facteurs: heure de la journée (variations diurnes de l'azote, du zinc et du

magnésium), début ou fin de la tétée (lipides et vitamines liposolubles), stade de lactation (protéines anti-infectieuses) (figure 1) ou saison (vitamine D).

Effet des durées de gestation et de lactation

Durée de gestation (prématurité). Les mères accouchant prématurément donnent moins de lait que celles qui donnent naissance à des nouveau-nés à terme, mais leur lait est plus riche en protéines, en moyenne de 20 pour cent environ (tableau 11). Cela correspond d'ailleurs bien au besoin de ces deux catégories d'enfants.

TABLEAU 11 Variations de la composition du lait en cours de lactation de mères ayant accouché avant terme (PT) ou à terme (T) (moyennes)

Nutriments	Type de lait	Jours de post-partum		
		3	14	28
Lactose (g/litre)	PT	59,6	62,1	69,5
	T	61,6	67,8	72,6
Lipides (g/litre)	PT	16,3	44,0	40,0

Protéines (g/litre)	PT	17,1 32,4	34,8 21,7	40,1 18,1
	T	22,9	15,7	14,2
Energie (kcal/litre)	PT	514	723	701
	T	487	642	697
Sodium (mEq/litre)	PT	266	197	126
	T	223	110	85
Chlore (mEq/litre)	T	269	145	131
Potassium (mEq/litre)	T	185	154	150
Calcium (mg/litre)	T	2 140	2 580	2 490
Phosphore (mg/litre)	T	1 100	1 680	1 580
Magnésium (mg/litre)	T	250	260	250

Source : Gross 1987.

Le taux de lactose est plus bas dans le lait de prématuré. Pour les lipides, les variations interindividuelles sont plus marquées que celles liées à la durée de gestation.

Le lait de prématuré est plus riche en ions sodium et chlore, et cela indépendamment de l'effet de volume (plus le débit est bas, plus les taux ioniques sont élevés). Pour les autres minéraux, les différences sont minimes (potassium) ou inexistantes (calcium, phosphore et magnésium).

En ce qui concerne les éléments immunitaires, on observe peu de variations des immunoglobulines M et G. mais le lait de prématuré contient davantage d'immunoglobuline A. Cela perdure pendant au moins trois mois. On observe le même phénomène pour deux protéines anti-infectieuses, le lysozyme et la lactoferrine.

TABLEAU 12 Teneur énergétique du lait de femme dans différents pays (kcal/litre)

Pays	Mois écoulés depuis l'accouchement		
	1	3	9
Hongrie	609-89	597-104	-

Suède	737	794	833
Guatemala	558	564	582
Philippines	610	606	597
Zaire	586	573	619

Source: OMS 1987.

Durée de lactation. La teneur énergétique du lait de femme reste peu près constante au cours de la lactation (tableau 12).

La composition en protéines des laits est qualitativement très semblable, mais quantitativement très différente au cours des derniers mois de lactation.

Le taux de matières grasses augmente entre le deuxième et le dixième jour de lactation et sans doute légèrement même au-delà (parfois jusqu'au trentième jour).

En examinant les concentrations des acides gras (en particulier des cinq plus importants qui constituent plus de 90 pour cent de la teneur totale), on note que le profil reste peu près constant au cours de la période de lactation. Seul l'acide linoléique passe de 14 pour cent environ un mois après de 20 pour cent deux

mois de lactation.

Les concentrations d'électrolytes comme le sodium et le chlore, qui sont étroitement liés, diminuent lorsque la lactation avance. Le stade de la lactation n'influe pas sur les concentrations des autres minéraux.

Les taux de zinc, de cuivre et de manganèse tendent à diminuer avec le temps. Celui de manganèse tend toutefois à augmenter en cas d'allaitement prolongé (supérieur à 6 mois).

Effet du régime alimentaire de la mère

TABLEAU 13 Variations de la composition de laits de mères en fonction de l'état de nutrition

Communauté	Lipides (g/litre)	Lactose (g/litre)	Protéines (g/litre)	Calcium (mg/litre)
Bien nourries				
Etats Unis	45,0	68,0	11,0	340

Royaume-Uni	45,8	69,5	1 1,6	299
Alexandrie, Egypte (bonne santé)	44,3	66,5	10,9	
Brsil (statut économique élevé)	39,0	68,0	13,0	208
Mal nourries				
Inde	34,2	75, 1	10,6	342
Afrique du Sud (bantoue)	39,0	71,0	1 3,5	287
Brsil (statut économique bas)	42,0	65,0	13,0	257
Ibadan, Nigeria	40,5	76,7	12,2	-
Pakistan	27,3	62,0	8-9	284
Chimbu, Nouvelle-Guinée	23,6	73,4	10,1	-

Source: Goldman et Goldblum

De manière générale, la malnutrition protéo-énergétique affecte plus la production lactée que la qualité du lait. Même en situation de carence protéique extrême (Kwashiorkor maternel), l'essentiel des composants du lait (lactose, matières grasses et azote total) se trouve non modifié (tableau 13). Cela se vérifie

aussi pour les composants anti-infectieux du lait (IgA sécrétatoires, lactoferrine, lysozyme), qui se maintiennent des taux normaux, voire légèrement accrus (lysozyme) en situation nutritionnelle critique.

La consommation de matières grasses se reflète dans le lait de la mère allaitante: on trouve davantage de précurseurs de l'acide arachidonique chez des mères végétariennes. Les taux lactés en oligo-éléments (zinc, cuivre, sélénium, fer et iode) sont en partie tributaires des habitudes de consommation alimentaire maternelle (fibres).

La consommation maternelle en vitamines influence certains taux lactés.

Un apport en vitamine K, par exemple, s'accompagne d'une augmentation immédiate dans le lait. Il n'est par contre pas possible de manipuler les teneurs en vitamine D du lait par l'intermédiaire du régime alimentaire de la mère.

Effet de la prise de médicaments

Au fil des années, la liste des médicaments susceptibles de se retrouver dans le lait humain ne cesse de s'allonger. Certaines médications (cocaïne, cyclosporine, ergotamine, lithium, phéningindione, etc.) sont contre-indiquées en période

d'allaitement, car ces substances sont toxiques pour le nourrisson. Il en va de même pour des drogues (amphétamine, héroïne, phénylcyclidine, etc.) dont l'usage est illicite.

Lors de l'administration de la mère allaitante de radioéléments (gallium 67, iode 131), l'allaitement maternel doit être arrêté pour un temps souvent court. Cette durée est fixée d'après la demi-vie du radioélément impliqué.

Bon nombre de médicaments dont l'usage est habituel doivent être prescrits avec circonspection, car les répercussions lointaines de leur emploi prolongé sur l'enfant, mal connues, peuvent ne pas être négligeables.

Effet de facteurs d'environnement

Le lait maternel est l'ultime maillon d'une chaîne alimentaire. C'est tout au long de cette chaîne que peut se produire une contamination par des toxiques, soit des produits de synthèse chimique. soit des substances naturelles concentrées par l'homme (métaux, sources de rayonnement). Ces produits proviennent de l'activité humaine (rejets industriels et domestiques, insecticides). L'exposition aux substances toxiques peut être chronique (polluants) ou accidentelle (explosion nucléaire, catastrophe écologique).

Un ensemble de substances chimiques a été mis en évidence dans le lait maternel, mais seul un petit nombre d'entre elles s'y retrouvent de manière répétée ou durable. Il s'agit essentiellement des substances lipophiles. Les polluants accumulés dans les tissus adipeux sont d'ordinaire des substances préalablement ingérées en petite dose, mais de façon chronique; leur dégradation par l'organisme est faible ou leur conversion métabolique donne naissance à une autre substance souvent chimiquement proche (transformation du DDT en DDE par le foie). Leur élimination spontanée étant lente, ces polluants très liposolubles finissent par s'accumuler dans le tissu adipeux, d'où ils sont mobilisés avec les lipides (amaigrissement volontaire rapide, utilisation des lipides endogènes pour la lactation). C'est pourquoi leur concentration exprimée en unités par 100 g de matière grasse peut être de 20 à 30 fois supérieure à leur concentration mesurée par 100 ml de lait (Rogan, Bagniewska et Damstra, 1980).

Organohalogènes. On distingue, dans ce groupe de substances, trois classes de polluants majeurs: les pesticides organochlorés, les polychlorobiphényles (PCB) et la famille des dioxines et benzofuranes. Ce dernier groupe ne constitue pas un ensemble de substances de synthèse proprement parler: il s'agit plutôt d'impuretés de synthèse générées involontairement lors de la production des pesticides organochlorés, et très toxiques.

Pesticides organochlorés. Leur nature de pesticide implique un usage dispersif, donc répandu et difficile à maîtriser. Leur présence dans le lait maternel (DDT) a été stigmatisée au cours des années 70 et signalée à l'échelle universelle des taux fort variables. Il en est de même pour le produit de conversion du DDT, le DDE, dont l'organisme ne se débarrasse que lentement, notamment via la sécrétion lipidique du lait maternel. A titre d'exemple, un nourrisson strictement allaité ingèrera pendant 6 mois (avec les 4,5 kg de graisses lactées ainsi consommées) environ 29 mg de DDE en Hongrie, 14 mg au Guatemala, 4 mg au Philippines et en Suède, et 3 mg au Zaïre (OMS, 1987).

La vérité exige qu'on précise que nul ne sait si ces quantités sont vraiment toxiques et nuisibles pour l'enfant. A vrai dire aucun cas d'intoxication infantile imputable au lait de femme ne semble avoir été rapporté avec certitude ce jour. Il n'en faut pas moins sous-estimer les risques: le DDT est en soi un toxique, mais à des doses élevées et en consommation aiguë. Une ingestion de 16 à 282 mg/kg (soit de 1 à 20 g pour un adulte de 70 kg) a donné lieu à des accidents, mais non mortels.

D'autres organochlorés doivent être cités: la dieldrine, l'heptachlorépoxyde ainsi que le lindane et ses dérivés. Leur toxicité est ici bien établie, toute exposition grave pouvant entraîner des convulsions subintrantes et la mort. Chez ceux qui en

reçhappent, des troubles hépatiques fonctionnels sont décrits.

Actuellement, les pesticides organophosphorés sont utilisés en agriculture intensive et l'utilisation des pesticides organochlorés est interdite. La circulation de ces substances dans notre écosystème n'est donc pas interrompue, suite à leur usage passé et massif et à leur dispersion, encore de nos jours, dans un grand nombre de pays en développement. C'est pourquoi la prudence reste de mise et divers organismes (OMS, Food and Drug Administration) ont établi des seuils de sécurité fixant le maximum de la consommation acceptable pour ces produits (tableau 14). Ces valeurs se trouvent entre de 100 à 1 000 fois plus basses que les quantités aiguës jugées toxiques. L'ingestion occasionnelle qui dépasse par exemple de deux ou trois fois ce seuil de sécurité n'est donc pas forcément dangereuse.

Polychlorobiphényles (PCB). Ces produits (isolants) ont été très utilisés dans les pays industrialisés. Leur production est censée être abandonnée, mais leur existence (transformateurs) et leur élimination progressive reste une cause de souci. Leur présence dans le lait humain est le fait d'un nombre limité d'isomères, mais les concentrations mesurées dans le lait des mères belges en 1977, 1982 et 1987 restent étonnamment stables.

Dioxines et furanes. Une polémique sur le degré de toxicité de ces substances (aussi

présentes dans le lait humain) persiste dans la littérature médicale, empêchant d'affirmer nettement l'ampleur du risque lié à leur ingestion et notamment de savoir s'il existe, pour ces substances, un taux admissible. Quoiqu'il en soit, un grand nombre des risques sont associés à l'exposition à ces substances. Il faut citer en premier une incidence accrue de cancers et de malformations foetales, ainsi que l'acnée chloroacétique de Seveso, en Italie, après l'accident survenu en 1976 (Roberts, 1991a et b).

TABLEAU 14 Doses journalières admissibles ou tolérables des différentes substances organohalogénées et métaux établies par différents organismes

Substances (Organismes et années)	µg/kg de poids corporel	Dose journalière
BPC (DGPS)	1*	Tolérable temporaire
DDT (total) (OMS, 1984)	20	Admissible
HCB γ BHC	8	

(OMS, 1989)		
T-HCH (OMS, 1977)	10	Admissible
Oxychlorane t-nonachlore (OMS, 1982)	1	Admissible temporaire
Epoxyde d'hoptachlore (OMS, 1991)	0,1	Admissible
Aldrine et dieldrine (OMS, 1977)	0,1	Admissible
Plomb (OMS, 1993)	25	Tolérable temporaire

Cadmium	7	Tolérable temporaire
---------	---	----------------------

(OMS 1993)

*Ce niveau a été proposé, mais n'a pas été établi.

Métaux lourds. Le méthylmercure (produit de l'action bactérienne convertissant le mercure métallique), le cadmium et le plomb ingérés avec la viande ou le poisson traversent la barrière placentaire durant la grossesse (peu pour le cadmium) et se retrouvent ensuite en partie dans le lait humain. Le taux de plomb du lait est environ 10 fois inférieur au taux sanguin maternel. En pratique, les teneurs mesurées au cours d'études conduites aux Etats-Unis et au Canada restent bien en deçà des normes journalières établies par l'OMS (plomb: 25 µg/kg de poids corporel; cadmium: 7 µg/kg de poids corporel) (décisions du JECFA, 1993).

La femme et le nourrisson se trouvent ainsi tous deux à la fin d'une longue chaîne alimentaire et il est certain que les polluants atteignent le lait de femme davantage que les laits animaux. Rien ne permet pourtant de dire que la présence de ces polluants industriels atténue d'une manière quelconque les avantages de l'allaitement (au sein). En retour, ces allégations rassurantes ne doivent pas non plus faire relâcher les efforts de décontamination et d'assainissement du milieu environnant.

Radioactivité. L'accident de Tchernobyl (26 avril 1986) a constitué une expérience involontaire en ce qui concerne le risque de contamination radioactive de l'environnement par le césium 134 et 137 et l'iode 131. En Autriche, où les retombées semblent avoir été les plus fortes, des enquêtes ont été effectuées afin de mesurer la radioactivité (Lechner et al., 1986; Haschka, et al., 1987).

D'une manière générale, on a constaté une augmentation du taux d'iode 131 dans le lait de femme durant les 2 semaines qui ont suivi l'incendie de l'usine nucléaire, cela en raison de la demi-vie brève de cet élément radioactif. Le taux du lait humain aux périodes les plus critiques n'a cependant pas dépassé le dixième de la valeur du taux détecté dans le lait des vaches qui broutaient directement les herbages contaminés.

Les taux de césium 134 et 137 ont augmenté progressivement dans le lait de vache au cours des 6 à 8 semaines qui ont suivi l'accident. Cette augmentation n'a pas été constatée dans le lait humain.

Effet des traitements

Les méthodes de conservation et surtout les traitements préalables (pasteurisation) auxquels le lait est soumis en vue de sa conservation jouent un rôle souvent

dépendent sur ses constituants protéiques. Les protéines de nature anti-infectieuse sont les plus altérées, notamment lors du traitement par la chaleur (tableau 15). Un lait traité ainsi protège mal l'état de santé du nourrisson, ce qui peut retentir sur son état de nutrition.

Importance nutritionnelle de la flore digestive associée à l'allaitement

TABLEAU 15 Impact du traitement thermique conservateur sur le maintien des protéines du lait humain

Constituants	Pourcentage de perte		
	Traitement par la chaleur		Congélation et conservation
	(62,5 °C, 30 min)	(70-73 °C, 15-30 min)	(-20 °C 3 mois)
IgA	0-33	33-100	0-3
IgG	34	97	0-Significatif
IgM	100		Significatif
Lactoferrine	0-63	94-100	0

Lysozyme	0-23	35-100	0-10
C3		100	7
Lymphocytes	100		85-100
Macrophages	22		57

Source Williams et Baum, 1984

La période infantile est la seule qui permette au régime alimentaire d'influencer la flore intestinale. L'enfant allaité est colonisé en prédominance par des bifidobactéries (90 pour cent), alors que l'enfant nourri au lait en poudre voit les entérobactéries prendre le dessus (figure 3). Les raisons de ces différences ont été évoquées, comme les conditions de pH ou la présence en quantités substantielles de lactoferrine dans le lait maternel, par exemple.

En période néonatale, cette flore intervient largement dans la récupération colique du lactose ayant échappé à l'hydrolyse lactasique. Jusqu'à 10 pour cent du lactose alimentaire peut atteindre, intact, le colon tandis que, chez les sujets lactose déficients, cette proportion est encore plus élevée.

La fermentation colique (selon la flore en présence) permet de récupérer de 60

90 pour cent des disaccharides ayant échappé la digestion intestinale. Ceux-ci sont convertis en acides gras courts volatiles et rapidement absorbés, actifs en termes énergétiques. La part d'énergie que le nourrisson et l'enfant récupèrent de la sorte n'a pas encore été précisée.

[FIGURE 3 Flore féciale chez les enfants allaités \(a\) et nourris au biberon \(b\)](#)

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Chapitre 2 Laites d'animaux laitiers

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Introduction

Seule la production laitière de quelques espèces de mammifères présente un intérêt immédiat en nutrition humaine, même si le lait d'autres espèces animales

possède des qualités nutritives supérieures. Les quantités (rongeurs) ou l'inaccessibilité (porc) en font dans la pratique des aliments négligeables pour l'homme.

L'élevage des animaux laitiers a été orienté vers la production intensive. Les quantités récoltées par tête dépassent souvent de beaucoup les besoins nutritifs des jeunes animaux. Ces laits de ferme conservent en règle générale les caractéristiques principales du produit naturel de l'espèce sauvage. Les animaux en liberté produisent un aliment souvent plus riche: les teneurs en extrait sec et en matière grasse sont d'ordinaire plus élevées.

La vache assure de loin la plus grande part de la production mondiale (90 pour cent) même en pays tropicaux (70 pour cent) (FAO, 1990). Ce lait est de tous le plus connu et les données qui le caractérisent sont sans doute les plus exactes. Il est logiquement aussi le produit laitier le plus consommé et étudié en nutrition humaine.

Les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes et contiennent les mêmes catégories de composants: eau, protéines, lactose, matières grasses (lipides) et minérales. Cependant, les proportions respectives de ces composants varient largement d'une espèce à l'autre

(tableau 16).

En outre, la composition des constituants protéiques, lipidiques et minéraux peut être très différente selon l'espèce considérée (CEPIL, 1987). Ces particularités sont vraisemblablement différenciées au cours de l'évolution et témoignent de l'aptitude de chaque espèce à couvrir les besoins nutritionnels du jeune en phase de croissance.

TABLEAU 16 Constituants principaux des laits de diverses espèces animales (g/litre)

Constituants	Vache	Bufflonne	Chamelle	Jument	Chèvre	Brebis
Extrait sec total	128	166	136	109	134	183
Protéines	34	41	35	25	33	57
Caséine	26	35	28	14	24	46
Lactose	48	49	50	60	48	46
Matières salines	9	8	8	4	7,7	9
Matières grasses	37	68	45	20	41	71

Source: Compilation de diverses sources.

La croissance du nourrisson est plus lente que celle des autres mammifères, ce qui permet de comprendre que les laits de ces derniers soient plus riches en protéines et en minéraux (en calcium notamment). Ces laits ont par ailleurs moins de lactose et des concentrations assez variables en matières grasses. C'est surtout cette dernière teneur qui conditionne leur pouvoir énergétique, qui oscille entre 450 kcal/litre (jument, vache) et 2 500 kcal/ litre (renne). Il existe une relation linéaire entre teneur en caséine et en lactose du lait (voir figure 4). Une relation semblable existe également entre teneur en lactose et en matières grasses (figure 5). Cela peut encore être exprimé comme suit: la somme des teneurs en protéines et en lactose des laits est relativement constante (de 75 à 90 g/litre).

La composition des différents laits d'animaux varie considérablement d'une espèce à l'autre, mais aussi à l'intérieur d'une même espèce, voire à l'intérieur des types ou des races d'espèces identiques. Cette variabilité peut dépendre de la nutrition, du stade de lactation, de l'âge, de l'époque de l'année et du débit lacté. Dans bien des travaux cités dans la littérature, le nombre d'échantillons analysés est limité, ce qui entraîne une certaine marge d'erreur, mais suffit pour affirmer des différences inter-espèces marquées. Enfin, les analyses du lait exigent parfois des techniques complexes, et, d'une méthode à l'autre, les résultats peuvent varier

sensiblement (cas de la mesure des graisses, par exemple). Pour toutes ces raisons, la circonspection doit présider l'examen des données sur la composition des laits animaux.

[FIGURE 4 Répartition entre caséine et lactose du lait pour différents mammifères](#)

Le lait de vache

Le lait proposé la consommation est toujours un mélange, obtenu de la traite de plusieurs animaux. Cette pratique tend réduire fortement l'importance des variations individuelles, mais des fluctuations notables subsistent qui sont sous la dépendance de facteurs d'ordre génétique (race), physiologique (nombre de vêlages, époque de lactation, moment de la traite), et zootechnique (mode de traite, fourrage).

Le type d'aliments fournis la vache, par exemple, influence fortement la composition de son lait.

[FIGURE 5 Relation entre teneur lactée de lactose et graisses dans différentes espèces de mammifères](#)

Les rations **énergétiques** (dépourvues de foin ou de fourrages grossiers) ne permettent pas la production des composés acétyls: la teneur du lait en matières grasses diminue. Les rations peu énergétiques réduisent au contraire le pourcentage d'extrait sec **degrais**. Les saisons, et donc la nature des aliments donnés au cheptel, influencent très nettement la composition du lait, et ce dans des proportions bien plus fortes que dans l'espèce humaine. Certaines caractéristiques sont cependant communes aux laits de l'espèce bovine et même plus largement aux ruminants.

Chez la vache, les aliments subissent une fermentation préalable (digestion microbienne) dans le rumen et atteignent ensuite l'estomac (ou caillette) avant d'être absorbés dans l'intestin. Les bactéries du rumen hydrolysent les protéines ingérées en composés simples et reforment avec les produits de dégradation (dont l'ammoniac) de nouvelles chaînes protéiques. Ces nouveaux polypeptides serviront d'aliments à la digestion gastrique vraie. De ce fait, la valeur biologique des protéines ingérées n'a pas, chez les ruminants, l'importance qu'elle possède chez les omnivores qui puisent directement dans leurs aliments les substances azotées essentielles (acides aminés) (Blanc, 1981).

Les veaux produisent aussi les vitamines B par synthèse dans le rumen et, au contraire de l'homme, ne sont pas tributaires d'un apport alimentaire vitaminique B. Cela se

traduit par une teneur faible en vitamines B des laits de vache.

Chez la vache, la digestion dans le rumen (processus de décomposition de la cellulose et de l'amidon) produit des acides gras volatils, surtout des composés ac tyls, mais aussi propioniques et butyriques. L'hydrogénation des acides gras alimentaires qui sont en règle générale très désaturés dans les rations courantes, et la néosynthèse d'acides gras particuliers (  structure ramifiée ou à nombre impair d'atomes de carbone) est le propre de la biomasse microbienne. Ceux-ci sont les précurseurs directs de matières grasses particulières synthétisées dans la mamelle en proportion notable (+ 10 pour cent): les acides gras à cha nes courtes et moyennes (tableau 17 qui ne sont pas présents dans le lait de femme.

Pourtant, chez le ruminant nouveau-né, le rumen est peu développé et non fonctionnel parfois pendant plusieurs semaines. Dans l'intervalle, le lait doit fournir les nutriments essentiels et le jeune veau se comporte alors comme un animal à estomac simple.

Vu sous l'angle maternel, le lait est essentiellement un produit de synthèse de la glande mammaire. Les constituants principaux, c'est- dire les molécules élaborées, y sont synthétisés: lactose, caséine, lipides. D'autres substances sont cependant directement filtrées du sang (chlorures). Si le lait formé n'est pas

◊vacu◊, les mol◊cules ◊labor◊es subissent une r◊sorption et le lait obtenu (lait de r◊tention) pr◊sente une composition anormale. La mamelle est aussi un ◊monctoire o◊ s'◊liminent les substances sans valeurs nutritives ou nocives (antibiotiques, pesticides).

TABLEAU 17 Proportions des acides gras. dans la ration, le rumen et les lipides du lait de vache

Acides gras	Ration	Rumen	Mati◊re grasse du lait
C4 ◊ C12	-	-	26
C14	2	3	13
C16	21	20	30
C18	6	50	7
C18:1	22	16	20
C18:2	34	7	2
C18:3	14	3	1

*** Pour la nomenclature des acides gras, se référer au tableau 24.**

Caractéristiques physico-chimiques

Le lait présente des caractéristiques liées à sa nature biologique, à savoir: variabilité, complexité, hétérogénéité et altérabilité. Les éléments les plus constants de sa composition méritent d'être signalés en premier et, ensuite, les fluctuations rencontrées seront associées aux facteurs qui les engendrent.

Le lait de vache est un liquide opaque de couleur blanche, plus ou moins jaunâtre selon la teneur en β -carotène de sa matière grasse. Sa saveur est douce et son odeur faible, mais identifiable. Le pH est voisin de la neutralité. Les principales constantes physiques du lait sont reprises au tableau 18.

Le lait constitue un milieu aqueux caractérisé par trois phases: une émulsion de globules gras dans un liquide qui est lui-même une suspension colloïdale de matières protéiques dans un sérum. Ce lactosérum est une solution neutre qui contient principalement du lactose et du sodium. Ces deux derniers éléments avec d'autres minéraux (potassium et chlore) présentent la caractéristique commune d'être osmotiquement actifs. Leur niveau de sécrétion par la mamelle détermine donc la sortie d'eau des cellules vers la lumière des acini sécrétoires, c'est-à-dire le

niveau de production laitière.**TABLEAU 18 Caractéristiques physico-chimiques du lait de vache**

Constantes	Moyennes	Valeurs extrêmes
Energie		
(kcal/litre)	701	587-876
(MJ/litre)	2 930	2 454-3 662
Densité du lait entier 20°C	1,031	1,028-1,033
Densité du lait crémé	-	1,036
Densité de la matière grasse	-	0,94-0,96
pH 20°C	6,6	6,6-6,8
Acidité titrable (Dornic)a	16	15-17
Point de congélation (°C)	-	-0,520-0,550
Chaleur spécifique du lait entier 15°C	0,940	-
Chaleur spécifique du lait crémé 15°C	0,945	-

15°C		
Tension superficielle du lait entier 15°C (dynes/cm)	50	47-53
Tension superficielle du lait crémé 15°C (dynes/cm)	55	52-57
Viscosité du lait entier 20°C (centipoises)	2,2	-
Viscosité du lait entier 25°C (centipoises)	1,8	1,6-2,1
Viscosité du lait crémé 20°C (centipoises)	1,9	-
Conductivité électrique 25°C (siemens) b	45 x 10 ⁻⁴	40 - 50 x 10 ⁻⁴
Point d'ébullition (°C)	-	100,17- 100,15
Potentiel d'oxydoréduction	0,25 V	+0,20-+30
Point de fusion des graisses (°C)	36	26-42

a 15°C D = 0, 1 g d'acide lactique/litre

b Autrefois mhos

Source Alais, 1984.

Valeur énergétique et composition moyenne

La teneur énergétique du lait de vache oscille habituellement entre 650 et 720 kcal/litre, et dépend surtout de la teneur en matières grasses (Blanc, 1981; Lentner, 1981; Renner, 1989). Le lait est composé de:

TABLEAU 19 Composition moyenne des principaux constituants du lait de vache (g/litre)

Constituants	Moyennes
Matières azotées	34
Lactose	48
Matières salines	9
Extrait sec dégraissé	91
Matières grasses	37
Extrait sec total	128
Eau libre (solvant) et liée	902

Lait entier	1 030
-------------	-------

Source: Alais, 1984.

◆ quatre ◆l◆ments majeurs: prot◆ines, lipides, glucides et sels min◆raux;
 . plusieurs ◆l◆ments mineurs: vitamines, oligo-◆l◆ments, gaz dissous,
 l◆cithine, enzymes, nucl◆otides. Certains d'entre eux jouent un r◆le en
 raison de leur activit◆ biologique.

Le tableau 19 donne la composition moyenne des ◆l◆ments majeurs du lait de vache.

Mati◆res azot◆es et prot◆ines

Les mati◆res azot◆es, protides ou prot◆ines du lait constituent un ensemble complexe (Withney et al., 1976) dont la teneur totale avoisine 35 g/litre. Ce taux est ◆lev◆ en comparaison des quantit◆s pr◆sentes dans le lait de femme (environ 12 g/litre).

Les prot◆ines repr◆sentent 95 pour cent environ des mati◆res azot◆es et sont constitu◆es soit d'acides amin◆s seulement (◆-lactoglobuline, alfa lactalbumine), soit d'acides amin◆s et d'acide phosphorique (cas◆ines a et ◆-) avec parfois encore une partie glucidique (cas◆ine K). Une vingtaine d'acides amin◆s interviennent dans la

composition de ces protéines, leur séquence conférant à chaque protéine des propriétés propres. C'est sur la base de la précipitation à pH 4,6 (20°C) qu'on sépare deux constituants: la ou plutôt les caséines (α S, β , γ , et k) et les protéines solubles ou protéines du lactosérum (tableau 20) (Dagleish, 1982).

TABLEAU 20 Composition moyenne et distribution des protéines du lait de vache

Protéines	Moyennes absolues (g/litre)	Moyennes relatives (%)
Protides totaux ou matières azotées totales	34	100
Protéines	32	94
Protéines non solubles ou caséine entière	26	82
caséine a	12,0	46
caséine β	9.0	35
caséine k	3 5	13

caséine γ	15	6
Protéines solubles	6	18
α -lactoglobuline	2,7	45
β -lactalbumine	15	25
Sérum-albumine	0,3	5
Globulines immunes	0,7	12
Protéoses peptones	0,8	13
Substances azotées non protéiques	2	6

Source: Renner. 1983.

En outre, il existe dans le lait une fraction dite protéose-peptone qui présente des caractéristiques intermédiaires. Cette fraction est riche en glucides (11 pour cent de sa composition) et ne précipite pas comme les autres protéines solubles lors du chauffage à 100 °C suivi d'une acidification à pH 4,6. Cependant, cette fraction protéose-peptone fait partie des protéines sériques. Comme le lait humain, le lait de vache contient une fraction azotée non protéique (environ 5 pour cent), mais en valeur absolue elle est plus faible (0,15 g N/litre) (Alais et Blanc, 1975).

Caséines. La caséine entière (groupe protéique qui précipite à pH 4,6 à 20°C) représente environ 80 pour cent des protéines totales du lait de vache (contre 30 pour cent dans le lait humain). Les caséines sont des polypeptides phosphorés associés surtout à des constituants minéraux, en particulier le calcium, mais aussi le phosphate, le magnésium et le citrate, de manière à former des micelles de phosphocaseinate de calcium. En mélange, elles constituent entre elles des complexes qui ne réunissent en l'absence de calcium qu'un petit nombre de molécules. En présence de calcium, le degré d'association est très élevé et les unités formées agrègent plusieurs milliers de molécules, constituant les micelles de caséine native dispersées la phase hydrique du lait (diamètre variant de 100 à 250 micro-m). Cette configuration spatiale permet aux enzymes hydrolytiques (carboxypeptidases) une digestion plus aisée.

Les caséines ont un caractère acide marqué. Sur gel de polyacrylamide, on peut séparer quatre composants principaux au sein des caséines: a (a S0, a S 1, a S2), B, Kety. La composition moyenne des micelles de caséine bovine (constituants protéiques ou minéraux est donnée au tableau 21).

On observe, par ailleurs, des variations génétiques (substitution d'un ou de plusieurs acides aminés) au sein même de l'un ou l'autre sous-groupe des caséines a- Ce polymorphisme génétique a des retentissements tant en physiologie animale et

humaine qu'en technologie fromagère, puisqu'il conditionne par exemple la vitesse d'acidification du lait et la texture du caillé. Il dépend lui-même du polymorphisme de la β -lactoglobuline qui conditionne directement le taux de cette protéine, mais qui influe aussi sur le taux de caséine et de matière azotée. En diététique pédiatrique, on sait l'importance que prend la qualité du caillot (grossier avec le lait de vache, finement floculé avec le lait humain) sur la vitesse de la vidange gastrique et du transit intestinal. De la même manière, la digestion peptidique (hydrolyse) génère des fragments peptidiques dont certains semblent responsables d'activités physiologiques (Coste et Tome, 1991) (voir Chapitre I, page 24). Ainsi, l'ensemble de ces caractéristiques physico-chimiques conditionnent en partie la digestibilité du lait (Adrian, 1973; Bernier, Adrian et Vidon, 1986).

TABLEAU 21 Composition moyenne des micelles* de caséine bovine (g/100 g d'extrait sec)

Constituants	Moyennes
Constituants protéiques	92

Caseine α 1	33
Caseine α 2	11
Caseine	33
Caseine κ	11
Caseine γ	4
Constituants minéraux	8,0
Ca	2,9
Mg	0,1
Ions phosphate	4.3
Ions citrate	0.5

*** Teneur en eau de la micelle: 65 pour cent.**

Source: Schmidt, 1980.

***Protéines solubles ou protéines du lactosérum.* Les protéines solubles représentent environ 20 pour cent des protéines totales du lait de vache (alors que,**

dans le lait maternel, plus de 70 pour cent de l'apport protéique est solubilisé dans cette fraction) (Jenness, 1979). Elles flocculent difficilement en présence d'acide ou de présure. Par contre, à l'exception des protéoseptones, elles sont dénaturées par la chaleur et sont entraînées lors de la coagulation de la caséine sous l'action de la présure. Un chauffage à 80 °C pendant une minute en dénature environ 20 pour cent, mais, lors de la pasteurisation HTST (72 °C pendant 15 à 20 secondes), la dénaturation est négligeable.

Ces protéines ont une valeur nutritionnelle importante qui n'est pas modifiée par le chauffage. Cette fraction protéique est complexe et peut être classifiée comme repris au tableau 20. Son constituant essentiel (50-55 pour cent) est la α -lactoglobuline bovine, totalement absente du lait humain. Son rôle n'est pas connu.

La deuxième protéine soluble (20-25 pour cent) du lait bovin est, par ordre d'importance, l' α -lactalbumine. Elle est présente dans le lait de tous les mammifères qui sécrètent du lactose puisque cette protéine est partie intégrante de l'enzyme de synthèse du lactose.

Parmi les protéines solubles restantes (20-30 pour cent de cette fraction), certaines, comme la sérum albumine, ont une faible valeur nutritionnelle; d'autres comme les immunoglobulines et la lactoferrine n'en ont pas du tout.

Le taux de lactoferrine (ou lactotransferrine) est très bas dans le lait mature de vache (0,2 g/litre), mais élevé dans le colostrum bovin (5 g/litre) et des valeurs comparables à celles du colostrum humain (de 5 à 15 g/litre). La lactoferrine bovine est nettement plus saturée en fer que la lactoferrine humaine (environ 30 pour cent contre 5 pour cent) et ce fer lié est peu biodisponible pour l'absorption digestive tant chez l'enfant que chez l'adulte (Spik et al., 1982).

Les protéines du lactosérum ont une valeur nutritive majeure en nutrition humaine, car elles sont riches en acides aminés essentiels. Les teneurs en protéines des laits de vache et de femme sont sensiblement identiques, mais leur aminogramme est différent. En conséquence, lorsqu'une formule lactée adaptée au lait maternel (laits infantiles dits à prédominance ou enrichis en lactalbumines) est choisie pour alimenter un enfant, les protéines lactosériques induisent dans le plasma du nourrisson un aminogramme tout différent de celui obtenu par l'administration d'un lait de vache non modifié.

Les protéines non nutritionnelles du lactosérum bovin se répartissent en lysozyme et en immunoglobulines sécrétoires A (dont les taux sont 500 fois plus bas que dans le lait humain) ainsi qu'en immunoglobulines G et M (dont les taux sont élevés). Ces deux derniers types d'immunoglobulines sont transmises en grandes quantités au veau durant la phase colostrale de la lactation. Celles-ci, une fois ingérées, sont

passivement absorbées par l'intestin et gagnent la circulation, où elles reprennent leur rôle immunitaire.

Azote non protéique. Le taux d'urée du lait de vache est bas et ceux de taurine et de carniti ne sont faibles (Rassin, Sturman et Gaull, 1978) (tableau 22).

Lipides

Les termes matière grasse et lipides ne sont pas synonymes. En effet, la matière grasse obtenue par des moyens mécaniques (produit de l'écémage obtenu par centrifugation) représente le contenu du globule gras. De ce fait, elle ne contient pas les lipides polaires ou complexes (phospholipides, etc.), mais contient par contre, des composés liposolubles qui ne sont pas des lipides au sens strict et que l'on nomme substance lipotidique. Il s'agit essentiellement d'hydrocarbures (dont le carotène), d'alcools (dont le cholestérols, des tocophérols (vitamine E) et de vitamines liposolubles (A, D, K). Cette fraction lipotidique (encore appelée insaponifiable) regroupe donc des composés variés et nombreux qui, en raison de leur importance et de leur rôle, seront envisagés séparément, même s'ils ne représentent pas même 1 pour cent de la matière grasse totale du lait.

TABLEAU 22 Composition moyenne de l'azote non protéique du lait de vache

Substances azotées	Concentration (g/litre)	Teneur azote non protéique protéique (g N/litre)
Urée	0,18	0,12
Créatine	0,04	0,01
Créatine	0,005	0,0025
Acide urique	0,023	0,0076
Ammoniac	0,007	0,0067
α -amino	0,06	0,05
Taurine	0,05	0,07
Dérivés amino		
Carnitine (forme et acylée)	0,01	0,01
Choline		0,03

Acide orotique	0,067	
Acide neuraminique	0,150	0,02
Dérivés glucidiques	0,26	
Dérivés phospholipidiques	0,07	0,02

Source: Jenness, 1974.

Les lipides (fraction saponifiable) constituent donc l'essentiel de la matière grasse (>98 pour cent). Le tableau 23 détaille la fois la teneur (par 100 g de matière grasse) et la (ou les) localisations) principale(s) des lipides du lait.

TABLEAU 23 Constituants lipidiques du lait de vache et localisation dans les fractions physico-chimiques (g/100 g de matière grasse)

Constituants lipidiques	Proportions	Localisation,
Triglycérides	96-98	Globule gras
Diglycérides	0,3-1,6	Globule gras

Monoglycides	0,0-0,1	Globule gras
Phospholipides	0,2-1,0	Membrane du globule gras et lactosum
Cerobrosides	0,0-0,08	Membrane du globule gras
Sterois	0,2-0,4	Globule gras
		Membrane du globule gras et lactosum
Acides gras libres	0,1 -0,4	Membrane du globule gras et lactosum
Esters du cholestrol	Traces	Membrane du globule gras
Vitamines	0,1-0,2	Globule gras

Source: Renner, 1983.

Les lipides, notamment les acides gras secrets par la mamelle, ont une double origine: ils proviennent pour 60 pour cent en poids des acides gras longs sanguins et, pour le reste, d'une synthèse de novo par les cellules mammaires, partir de

précipitateurs deux ou quatre atomes de carbone.

De tous les composants du lait de vache, les lipides sont ceux qui, quantitativement et qualitativement, varient le plus. Les taux moyens précisés dans la littérature (35 g/litre) peuvent être retenus en pratique industrielle lorsque le lait est un mélange provenant de plusieurs animaux.

Globules gras. Hormis quelques rares phospholipides, stérols et acides gras présents dans le lactosérum, les graisses sont dispersées dans le lait sous forme de globules sphériques au nombre de $1,5 \text{ à } 4,6 \cdot 10^{12}$ par litre; leur diamètre moyen se situe entre 3 et 5 microns. Ces globules sont limités par une membrane formée d'une quinzaine de polypeptides (raison de 40 %), de triglycérides (raison de 35 %) et de lipides complexes (phospholipides, stérols, cérobrosides, raison de 15 % environ). La membrane lipoprotéique confère au globule gras sa stabilité. De fait, elle est fragile et sa rupture (agitation, réfrigérations répétées, acidification) déstabilise l'émulsion avec libération de matière grasse. Celle-ci peut subir alors une lipolyse due à l'action des lipases membranaires ou microbiennes. Par contre, lors de l'homogénéisation du lait, le nombre de globules gras augmente et surtout leur diamètre diminue très sensiblement (moins de 1 micron). De ce fait, la surface de contact augmente encore de 20 fois environ. Cette modification prévient la remontée de la matière grasse (dans les laits de longue conservation) et favorise sa digestion.

Pour certains auteurs, les globules gras, surtout ceux de petit diamètre, peuvent traverser intacts la paroi intestinale et via les lymphatiques atteindre les cellules de l'organisme en court-circuitant le foie. Cependant, si l'émulsion est cassée et les globules détruits, les lipides ne peuvent être digérés sans être au préalable mis en émulsion par les sels biliaires, puis hydrolysés par les lipases et enfin absorbés.

La composition lipidique du lait regroupe deux entités: les lipides simples (les glycérides) et les lipides complexes (phospholipides).

[Click here to continue](#)

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Lipides simples

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Structure. Les lipides simples sont essentiellement constitués de (tri-) glycérides (98

pour cent de la matière grasse) avec, en faibles quantités, des stéroïdes et des cérobrosides ou cérides. Les glycérides (lipides neutres) sont constitués par des triglycérides (plus de 98 pour cent), des diglycérides (de 0,2 à 1,5 pour cent) et des monoglycérides (traces) (tableau 23). Pondéralement, les acides gras glycéridiques représentent près de 90 pour cent de la matière grasse.

Si plus de 400 composés ont été identifiés dans le lait de vache, 15 d'entre eux seulement sont présents en quantités notables dans le lait (> 1 pour cent des lipides totaux).

Les acides gras saturés, à nombre pair de carbone, dominant très largement puisqu'ils représentent à eux seuls près de la moitié des acides gras (tableau 24). De fait, 34 pour cent des triglycérides ne contiennent que des acides gras saturés, 39 pour cent un seul insaturé, 25 pour cent deux insaturés et 2 pour cent seulement trois insaturés.

TABLEAU 24 Distribution des principaux acides gras de la graisse du lait de vache (%)

Acides gras	Nomenclature	Moyennes
Saturés		

Butyrique	C 4:0	3,6
Caproïque	C 6:0	2,3
Caprylique	C 8:0	1,3
Caprique	C10:0	2,7
Laurique	C 12:0	3,3
Myristique	C14:0	10,7
Pentadécanoïque	C15:0	1,2
Palmitique	C16:0	27,6
Stéarique	C 18:0	10,1
Arachidique	C20:0	0,2
Monoinsaturés		
Myristoléique	C14:1	1,4
Palmitoléique	C16:1	2,6
Oléique	C18:1	26,0
Polyinsaturés		

Non conjugués:		
Linoléique	C18:2	2.5
Linoléique	C18:3	1.4
Arachidonique	C20:4	0,3
Conjugués:		
Doléique	C18:2	0,8
Polyènes	C18,20,22: 3 et 4	Traces

Source: Alais 1984

Les acides saturés de faible poids moléculaire (C 4-C 12), notamment les acides gras courts C4 et C6, sont présents en quantités modestes (de 8 à 9 pour cent des acides gras totaux), mais nettement supérieures à celles trouvées dans n'importe quelle autre graisse animale ou végétale.

Les acides gras insaturés sont très variés, le plus important étant l'acide oléique (de 25 à 30 pour cent de l'ensemble des acides gras). Les acides gras polyinsaturés n'existent qu'en proportions faibles comparativement aux autres matières grasses (<8

pour cent).

Il en découle que les acides gras essentiels sont peu représentés dans le lait de vache. L'acide linoléique (C18:2) ne s'y retrouve qu'en raison de 2 pour cent contre 13 pour cent pour le lait humain.

Enfin, il convient de noter chez la vache (comme chez les autres ruminants) non seulement une richesse du lait en acides gras courts, mais aussi en acides gras mineurs (impairs et ramifiés) et, au contraire, une pauvreté extrême en acides gras très longs et polyinsaturés. La présence d'acides cétoniques et hydroxylés est encore une caractéristique de la matière grasse laitière dans l'ensemble des matières grasses alimentaires. Même si cette proportion est faible (>0.1 1 pour cent), leur transformation lors d'un traitement thermique (vers 120 °C) en méthylcétones et en lactones est à l'origine d'un fort pouvoir aromatique.

Digestibilité Les propriétés digestives des lipides, tout comme leur consistance ou leur sensibilité à l'oxydation, sont influencées par la structure glycéridique (position des acides gras sur le glycérol). La position 3 est occupée préférentiellement par les acides gras les plus courts (C4 et C6). Les acides gras les plus présents en position 1 sont l'acide palmitique, l'acide linoléique et l'acide linoléique. La position 2 est occupée dans un tiers des cas par l'acide palmitique.

Cette disposition des acides gras revêt une importance particulière pour la digestion. La lipase pancréatique (qui libère les sites 1 et 3) va engendrer, en agissant sur le lait humain, la formation de 2-monoglycérides riches en C 16; ceux-ci sont aisément absorbés tels quels. La même activité hydrolytique agissant sur le lait de vache va permettre la libération de grandes quantités d'acide palmitique, situés sur les positions 1 et 3. Ce dernier précipite avec le calcium pour former des savons insolubles. Tant la matière grasse que le minéral sont partiellement perdus pour l'absorption digestive. Chez l'animal d'expérience, les acides gras à chaîne courte et moyenne sont oxydés beaucoup plus rapidement que les acides gras longs.

Les acides gras saturés et insaturés de même longueur sont oxydés de manières très comparables; par contre, leur utilisation métabolique pour une longueur donnée de la chaîne est plus longue quand ils sont saturés (par exemple: 27 pour cent pour le stéarique, 14 pour cent pour l'oléique et 18 pour cent pour le linoléique). Il y a tout lieu de penser que l'être humain oxyde ou incorpore les acides gras du lait de cette manière également.

Il existe, au sein des triglycérides du lait, une quarantaine d'acides gras saturés, mono- et polyinsaturés qualifiés de mineurs en raison de leurs taux extrêmement faibles.

Le lait contient aussi de très faibles taux d'acides gras libres (<1 mEq/ litre). Leur présence imprime au lait une saveur rance quand, sous l'effet d'une lipolyse spontanée, leur taux dépasse 2 mEq/litre, surtout s'il s'agit d'acides butyrique, caproïque et caprylique.

Des quantités parfois appréciables de corps cétoniques (de 30 à 50 mg/ litre), dérivés des acides gras, peuvent apparaître dans le lait surtout en période de déficit énergétique pour l'animal, ou pendant les 2 à 3 premiers mois de lactation.

Lipides complexes. Ces lipides sont complexés avec du phosphore et/ou de l'azote. Les plus importants sont les phospholipides, qui ne représentent que 1 pour cent à peine de la matière grasse (de 0,3 à 0,5 g/litre) (tableau 23), mais jouent le rôle de constituant du globule gras et de stabilisant de l'émulsion. Leurs caractéristiques à la fois lipo- et hydrophiles leur permettent de former des ponts entre phases grasse et aqueuse. On en retrouve donc tant dans la crème (environ 60 pour cent) et le beurre que dans le lait écrémé (40 pour cent) ou le babeurre (tableau 25). Les phospholipides forment trois groupes principaux: les lecithines, les céphalines et les sphingomyélines. Environ 85 pour cent des acides gras constituant des phospholipides sont des acides gras à chaîne longue. D'autres lipides complexes sont présents à des taux mineurs: les gangliosides, les glycolipides et les glycosphingolipides.

TABLEAU 25 Teneurs totales en phospholipides du lait de vache et de produits laitiers (g/litre)

Produits laitiers	Phospholipides
Lait entier	0,30-0,50
Lait crémé	0,14-0,23
Petit lait	1.03-1.91
Crème	1,00-5,00
Beurre	1,00-2,50
Fromage	1,00-2,00

Source Renner. 1983.

Stérols. Les stérols (non saponifiables) sont présents à l'état libre (>80 pour cent) ou estérifiés par des acides gras. Ils représentent de 0,3 à 0,4 pour cent de la matière grasse totale du lait (environ 0,1 g/litre). Le cholestérol en est le constituant majeur (70 mg/litre). Son taux n'accuse pas de variation saisonnière. Le lait de femme en contient environ le double (de 150 à 200 mg/litre) (tableau 26). Les stérols entrent surtout dans la composition de la membrane lipoprotéique du globule gras (de 0,3 à 3,5 pour cent des lipides membranaires) et ils contribuent à la stabilité de l'émulsion.

L'apport en cholestérol des produits laitiers est modeste en comparaison des autres matières grasses d'origine animale. Il est bon de rappeler que les végétaux contiennent surtout des phytostérols qui sont métabolisés comme le cholestérol. L'huile de palme et celle de sésame contiennent de très faibles quantités de cholestérol.

Glucides

Le lactose, disaccharide composé de glucose et de galactose, est le seul glucide libre du lait présent en quantités importantes (de 45 à 50 g/litre). Il est synthétisé par la glande mammaire au départ du glucose prélevé dans le sang. Sa faible contribution à l'apport énergétique du lait (30 pour cent), ne fait pas de ce dernier un aliment équilibré en termes de répartition calorique (les recommandations théoriques préconisent un apport de 50 à 60 pour cent de calories glucidiques). Le lactose joue un rôle nutritionnel particulier (voir chapitre I, p. 11) et intervient également comme élément de fermentescibilité. Il peut être hydrolysé par les acides forts, mais surtout par la lactase. De par sa fonction aldéhyde, il peut réagir avec diverses substances azotées.

TABLEAU 26 Teneurs en cholestérol de divers produits laitiers et d'autres aliments (mg/100 g de matière grasse)

Produits laitiers	Teneurs en cholestérol
Lait de vache entier	13
Lait de vache crème	2
Lait de femme	20
Lait de chèvre	10
Lait de brebis	11
Babeurre	2
Lait condensé	30
Crème	90
Fromage	0-100
Beurre	230
Lait crème en poudre	20
Lait entier en poudre	1 00

Viande	70-90
Œuf	500
Poisson	30-70

Source: Renner, 1983.

Cette réaction, avec des résidus de lysine notamment, fait partie des réactions de Maillard (brunissement du lait chauffé à température de stérilisation classique). Le blocage par un résidu réduit la valeur biologique de la protéine. L'impact nutritionnel de cette réaction est mal quantifié.

La saveur sucrée du lactose est faible; lorsqu'on impute au saccharose une valeur arbitraire de 100 pour cent, celle du lactose atteint environ le tiers (de 27 à 39 pour cent).

Le lait contient une cinquantaine d'oligosaccharides bien répertoriés présents à l'état libre, mais en quantités souvent négligeables (0,1 g/litre).

TABLEAU 27 Constituants majeurs des matières salines du lait de vache (g/litre)

--	--

Constituants	Teneurs
Potassium (K ₂ O)	1,50
Sodium (Na ₂ O)	0,50
Calcium (CaO)	1,25
Magnésium (MgO)	0,12
Phosphore (P ₂ O ₅)	0,95
Chlore (NaCl)	1,00
Soufre	0,35
Acide citrique	1,80

Note: Les teneurs indiquées sont exprimées en g de cation ou de l'anion ou de sel ou de l'oxyde le plus fréquent.

Source: Alais, 1984.

Minéraux

Les minéraux (ou matières salines) (tableau 27) sont présents dans le lait (7,3 g/litre environ), soit en solution dans la fraction soluble, soit sous forme liée dans la fraction insoluble (ou colloïdale). Certains minéraux se trouvent exclusivement à l'état dissous sous forme d'ions (sodium, potassium et chlore) et sont particulièrement biodisponibles. Les autres (calcium, phosphore, magnésium et soufre) existent dans les deux fractions. Dans la fraction soluble, ils existent en partie sous forme libre (calcium et magnésium ionisés), en partie sous forme saline (phosphates et citrates) non dissociée (calcium et magnésium), ou encore sous forme complexe (esters phosphoriques et phospholipides). Dans la fraction colloïdale, les minéraux (calcium, phosphore, soufre et magnésium) sont associés ou liés à la caséine au sein des micelles.

Le calcium existe sous forme de phosphate, de phosphocacéinate et de citrate. Environ 65 pour cent du calcium se trouve au sein des micelles de caséines (fraction colloïdale) où cet ion bivalent assure un pontage entre les micelles de caséines, le tiers résiduel étant présent soit sous forme de sel (citate, phosphate: >20 pour cent) ou même à l'état libre (calcium ionisé: >10 pour cent). Pour ce qui est du phosphore, 20 pour cent est lié aux groupements hydroxyles d'acides aminés de la caséine (sérine, thréonine), plus de 60 pour cent est présent sous forme de phosphate inorganique (moitié lié à la caséine, moitié en solution saline) et le reste se partage entre les phospholipides et les esters hydrosolubles (figure 6). Le

magnésium est essentiellement en solution (environ 70 pour cent) et une fraction seulement est liée à la caséine en suspension colloïdale.

En résumé, la fraction saline colloïdale renferme environ les deux tiers du calcium, la moitié du phosphore et le tiers du magnésium, tous ces minéraux étant plus ou moins liés à la caséine, alors que la fraction dissoute renferme quasiment tout le sodium, le chlore et le potassium, un tiers du calcium (libre ou salin), la moitié du phosphore (salin et organique soluble) et les deux tiers du magnésium salin.

Il existe un équilibre entre les formes solubles et colloïdales, d'une part, et entre les formes ionisées et non dissociées d'autre part. Cet état est précaire parce que sensible à divers facteurs, notamment au pH, à la température, et à la concentration ou à l'addition de calcium. Toute altération de ces équilibres modifie la stabilité du lait, notamment les propriétés de la caséine native. Ainsi, sa déstabilisation provoquée par le chauffage ou la pression est accentuée par une teneur calcique élevée et diminuée par une teneur calcique réduite (par des sels complexants, type citrate et phosphate). Le froid entraîne, au sein des micelles, le départ d'une fraction du phosphocaseinate calcique; cela stabilise la solution colloïdale en la rendant moins sensible à l'action de la pression, par exemple.

En raison de la présence concomitante de lactose et de phosphopeptides (produits

d'hydrolyse de la caséine), les minéraux sont de tous les éléments du lait ceux qui sont les mieux adsorbés et retenus. A cet égard, le rapport calcium/phosphore (Ca/P) du lait de vache (voisin de 1,2), bien qu'inférieur à celui du lait maternel (voisin de 2,2), est de loin supérieur à celui des autres denrées alimentaires, faisant du lait une excellente source de calcium et un bon correctif des rations pauvres en calcium.

Chez le nourrisson et l'enfant, une attention particulière doit être portée sur la concentration sodique élevée, voire très élevée du lait de vache. Comparé au lait maternel, celui-ci en contient trois à quatre fois plus, et des apports sodés excessifs semblent impliquer dans la pathogénie de l'hypertension chez l'adulte.

[FIGURE 6 Distribution du calcium et du phosphore dans le lait de vache \(lire de haut en bas pour le phosphore et de bas en haut pour le calcium\)](#)

Oligo-éléments

La présence des oligo-éléments dans le lait a pu être mise en évidence grâce à l'amélioration sensible des techniques analytiques. Leurs teneurs varient fortement mais, au-delà de certaines limites, elles sont l'indice d'une contamination du lait.

Les oligo-éléments présentent, à doses trop élevées (pollution, par exemple), un caractère toxique pour la santé et/ou nuisible en technologie laitière. D'une manière générale, le lait constitue pour l'homme une mauvaise source d'oligo-éléments. Ils s'y trouvent le plus souvent sous forme organique, à des taux relativement modestes, et lorsque les taux semblent plus proches des besoins, ils sont présents sous forme inorganique (de moindre biodisponibilité). C'est le cas notamment du cuivre et du manganèse, très liés aux groupements phosphates de la caséine. Dans une certaine mesure le zinc (et le fer) font exception à cette règle.

Les teneurs en oligo-éléments du lait données dans la littérature (tableau 28) sont seulement indicatives, dans la mesure où elles subissent l'influence de divers facteurs (alimentation, stade de lactation, etc.) et dépendent aussi des méthodes utilisées. Par ordre d'importance (quantitatives au plan nutritionnel, il convient de citer:

- Le fer: le lait de vache est pour l'homme une mauvaise source de fer, moins en raison de sa teneur (comparable à celle du lait humain) qu'en raison de sa biodisponibilité (fer non lié à la lacto-[trans-] ferrine porteuses. Le fer du lait de vache est lié à la caséine et à la fraction de poids moléculaire bas pour 60 pour cent environ.
- Le zinc: le zinc se trouve dans le lait de vache à des taux et sous forme nettement plus favorables pour la nutrition humaine. Il est fortement lié à la caséine (80

pour cent) mais aussi aux immunoglobulines (20 pour cent).

- **Le cuivre:** le cuivre est très peu abondant dans le lait de vache et est lié aux protéines. Sous régime lacté strict, des enfants en état nutritionnel précaire ont présenté des carences cupriques avérées (Cordano, Baerth et Graham, 1964).
- **Le manganèse:** le manganèse est d'ordinaire seulement présent dans le lait à des concentrations faibles.
- **L'iode, le fluor et le brome:** ils ne sont trouvés dans le lait que dans la mesure où l'eau et le sol en sont pourvus. L'iode est surtout lié aux protéines, mais existe aussi sous forme libre. L'iode et le brome sont plus abondants dans les régions côtières puisque ces éléments sont apportés par les embruns et les pluies marines.
- **Le sélénium:** le sélénium consommé par le cheptel provient d'herbes produites sur un sol sélénifère. Les carences se rencontrent chez l'animal comme chez l'homme dans les régions où le sol en est particulièrement dépourvu (Nouvelle-Zélande, Chine, etc.). Le sélénium semble exister sous forme ionique à l'état libre.
- **Le cobalt,** constituant de la vitamine B12.

TABLEAU 28 Teneurs en oligo-éléments du lait de vache (mg/litre)

Oligo- éléments	Teneurs
Aluminium	600-1 000
Arsenic	<50
Bore	150-300
Brome	150
Cadmium	<1
Chrome	1 5-30
Cobalt	0,5
Cuivre	20-40
Etain	100-1 000
Fer	200-500
Fluor	70-200
Iode	10-300
Manganèse	10-30

Mercur	51
Molybd	
Plomb	2- 10
Selenium	1 0-30
Silicium	1 000-6 000
Strontium	350
Zinc	3 000-6 000

Source: Renner, 1983 et 1989.

Toxicité des oligo-éléments contenus dans le lait. Ces nutriments essentiels présentent tous un caractère toxique par effet direct ou indirect. A hautes teneurs, le cuivre, le fer et le manganèse sont des agents catalytiques favorisant l'oxydation des lipides. La corrosion par l'eau ou par des produits de nettoyage de canalisations, cuves et robinets en cuivre ou en alliage de cuivre provoque la contamination du lait lors de contacts.

Les autres oligo-éléments découverts dans le lait doivent plutôt être considérés comme des contaminants dans la mesure où on ne leur connaît pas (encore) de

fonction. Pour certains d'entre eux le mode de contamination relève en grande partie du processus agricole ou industriel. Il en va ainsi pour l'aluminium (cuves, bidons), le bore et le brome (teneur dans les pâturages côtiers) ainsi que le cadmium (aliments et eau du bétail contaminés par des rejets miniers, industriels et des engrais, pollués par des pesticides). La glande mammaire en limite cependant le passage dans le lait, où il se fixe tant sur la caséine (environ 40 pour cent) que sur les protéines solubles (environ 40 pour cent).

L'étain contamine le lait lorsque sont employés, pour son stockage, des bidons ou des cuves en métal étamé (fer et cuivre). Cette contamination peut être évitée avec l'utilisation d'acier inoxydable. L'usage de boîtes en fer étamé pour le conditionnement du lait (concentré) et des produits laitiers (crèmes, desserts) expose également à l'intoxication au plomb, dans la mesure où l'étain en contient souvent.

Le plomb apparaît dans le lait de vache lorsque l'animal en consomme (dépôts de plomb-tétrathyle sur les pâtures situées en bordure de grands axes routiers), bien que la glande mammaire en freine le passage dans le lait. L'eau stagnant dans les conduites en plomb peut contaminer le lait tout comme les récipients (revêtus de peinture au plomb). Le zinc peut, de manière analogue, contaminer fortement le lait mis au contact de matériel galvanisé. Le mercure est normalement absent du lait; sa

présence est accidentelle (pollution industrielle, bris de thermomètre) et grave parce qu'il se lie aux protéines.

L'iode peut apparaître dans le lait à un taux en µg/kg qui excède de deux fois environ la quantité quotidienne ingérée en mg. L'emploi exagéré de suppléments alimentaires, de compléments minéraux et de pierres lèches fortement iodées dans l'alimentation animale contamine le lait. Il en est de même de l'usage de substances bactéricides du type iodophores utilisées pour le trempage des trayons et la désinfection du matériel.

Le fluor s'accumule dans la mamelle (d'une lactation à l'autre) lorsque les eaux de consommation en sont fort chargées. Le risque toxique reste limité grâce au rôle barrière de la mamelle.

De manière globale, on peut retenir l'extrême variabilité du taux des oligoéléments dans le lait de vache. On notera également que les quantités de cobalt, d'aluminium, de molybdène et de manganèse d'origine alimentaire influencent très directement les taux lactés alors que, pour le fer, le nickel, l'arsenic le plomb, la glande mammaire exerce un rôle de filtre régulateur.

Le lait cru d'un animal sauvage est naturellement plutôt pauvre en oligoéléments.

Plus l'animal est complétement, plus les pâturages sont engraisés, voire pollués, plus le lait est traité, plus le risque de contamination souvent sélective augmente au point parfois d'atteindre un degré de toxicité. En cas de doute ou de risque, chaque situation particulière mérite d'être analysée en utilisant les méthodes et les techniques de dosage appropriées.

Vitamines

Toutes les vitamines connues sont présentes dans le lait de vache (tableau 29). Les diverses techniques de traitement du lait peuvent en modifier sensiblement les taux, surtout pour la vitamine C (Gregory, 1975).

Vitamines hydrosolubles. Ces vitamines se trouvent dans le colostrum à des taux transitoirement (environ 14 jours) deux fois plus élevés que dans le lait mature avant d'atteindre des taux stables.

Dans le lait de vache, la thiamine (vitamine B₁) est en partie libre et en partie liée aux protéines ou phosphorylée. Elle est ainsi vulnérable à la chaleur (chauffage prolongé à haute température), mais résiste à des chauffages forts (145-150 °C) et brefs (quelques minutes).

Le lait de vache constitue une source alimentaire importante de riboflavine (vitamine B₂) pour l'homme. Elle s'y trouve à l'état libre ou associée à des protéines et des phosphates à la surface des globules gras. Cette vitamine intervient dans les phénomènes d'oxydoréduction et peut entraîner la destruction de la vitamine C avec apparition de saveurs désagréables. Elle est très photosensible et, après quelques heures d'exposition au soleil, le lait peut avoir perdu entre 50 et 80 pour cent de son activité vitaminique B₂.

[Click here to continue](#)

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

TABLEAU 29 Concentrations en vitamines du lait de vache (mg/litre)

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Vitamines	Moyennes

Vitamines hydrosolubles	
B. (thiamine)	0.42
B2 (riboflavine)	1,72
B6 (pyridoxine)	0,48
B12 (cobalamine)	0,0045
Acide nicotinique	0,92
Acide folique	0,053
Acide pantothenique	3,6
Inositol	1 60
Biotine	0,036
Choline	1 70
C (acide ascorbique)	8
Vitamines liposolubles	
A	0,37
β -carotène	0,21
D (cholecalciferol)	0,0008

E (tocophérol)	1, 1
K	0,03

Source: Renner, 1983 et 1989.

Cependant, elle résiste bien à la chaleur et la stérilisation classique du lait provoque une perte ne dépassant pas même 10 pour cent de l'activité initiale.

La vitamine PP (vitamine antipellagreuse ou niacine) ne se trouve qu'en faibles quantités dans le lait de vache et entièrement à l'état libre. Par contre, on y trouve en abondance du tryptophane, un précurseur de la niacine. Cette vitamine est stable à l'air et à la lumière et peu sensible à la chaleur.

Le lait de vache est riche en acide panthoïque. Cette vitamine s'y trouve presque totalement à l'état libre et est un facteur de croissance pour divers micro-organismes, dont les lactobacilles. Elle est stable à l'air et à la lumière mais, par contre, très sensible à la chaleur et aux modifications du pH.

La teneur en vitamine B6 est de cinq à dix fois plus élevée dans le lait bovin que dans le lait humain; elle s'y trouve essentiellement à l'état libre. La pasteurisation et la stérilisation UHT du lait la laissent intacte, mais la stérilisation classique en

détruit 50 pour cent. Une carence prolongée peut être la cause de convulsions chez le nourrisson.

L'acide folique se trouve dans le lait de vache à des concentrations fort variables (allant de 1 à 25) et est lié aux protéines. Facteur de croissance pour divers micro-organismes, il est sensible à la lumière et à l'oxygène, mais stable à la chaleur et à des pH supérieurs à 4.

La biotine se trouve totalement à l'état libre, mais en faibles quantités dans le lait. Elle est stable à la chaleur et à la lumière, mais sensible à l'air.

Le lait contient peu de vitamine B₁₂, (cyanocobalamine), mais son activité est considérable. Elle est liée au lactosérum (95 pour cent) et est stable à l'air, mais sensible à la lumière et au chauffage, surtout lorsqu'il n'est pas effectué à l'abri de l'air. La pasteurisation HTST n'en détruit que 10 pour cent, mais la stérilisation classique 90 pour cent.

En comparaison des fruits ou légumes qui en fournissent jusqu'à 100 fois plus, le lait ne représente pas une bonne source de vitamine C. Celle-ci existe sous forme libre uniquement; elle est très fragile et sensible à l'air, à la lumière et au chauffage (perte de 50 pour cent au cours de la stérilisation classique, de 10 pour cent

seulement au cours de la pasteurisation). Le stockage et l'agitation du lait en tanks réfrigérés (2 à 4 °C) pendant 36 heures détruit plus de la moitié et jusqu'aux trois quarts de l'acide ascorbique.

Vitamines liposolubles. Les taux de vitamines A, D, E et K du lait dépendent de nombreux facteurs. Comme ces vitamines sont dissoutes dans la matière grasse, elles passent lors de l'écroumage dans la crème et le beurre. Le lait contient beaucoup de vitamine A (et de précurseurs caroténoïdes: 30 pour cent de l'activité vitaminique A totale) lorsque la nourriture des animaux est riche en herbes fraîches (fourrage vert) et en carotène. De ce fait, il contient, en été, de une fois et demie à deux fois plus de carotène et de rétinol qu'en hiver. Le carotène est le colorant de la matière grasse du lait. Certaines races convertissent moins le carotène et l'absorbent intact avant de l'éliminer en partie dans le lait, lui donnant une couleur caractéristique.

Le lait de vache ne contient de la vitamine D (vitamine D3 ou cholecalciférol, essentiellement en tant que sulfate) qu'en faibles quantités (de 1 à 50 ng/litre). La vitamine D existerait aussi sous forme hydrosoluble à des concentrations parfois importantes (de 3 à 4 µg/litre), mais seulement en relation étroite avec les protéines solubles, et ceci avant de gagner la membrane des globules gras. La teneur lactée varie en fonction du temps d'exposition de l'animal à la lumière solaire et aussi de l'alimentation consommée, en d'autres termes selon les régions et les

saisons.

Le lait est parfois artificiellement enrichi en vitamine D et les procédés de stérilisation par ultraviolet empêchent un contrôle précis de l'enrichissement. En cas de surdosage, le lait prend une saveur oxydée.

La vitamine E (de 2 à 5 mg par 100 g de matières grasses) est un antioxydant qui protège les lipides des altérations oxydatives. Plus de 95 pour cent de la vitamine E est de l' α -tocophérol, le composé biologique le plus actif, le reste étant composé de gamma-tocophérol uniquement.

La vitamine K (synthétisée dans le rumen) se trouve toujours dans le lait en quantités faibles, mais suffisantes pour l'homme (de 0,1 à 0,5 mg par 100 g de lipides).

Enzymes

Une soixantaine d'enzymes ont été répertoriées dans le lait, mais leur rôle n'est pas toujours clairement établi. Certaines de ces enzymes n'existent d'ailleurs pas (ou à peine) dans le lait humain, comme la lactoperoxydase, la xanthine oxydase ou la ribonucléase.

Certaines sont des facteurs de dégradation (utiles ou nuisibles), comme les protéases qui facilitent l'hydrolyse de la caséine et les lipases, facteurs de rancissement. D'autres possèdent une activité bactéricide ou bactériostatique. La lactoperoxydase, 1^{re} enzyme la plus abondante du lait de vache, agit contre les bactéries en présence de H₂O₂ et de thiocyanate (SCN⁻) lorsque ces substances sont présentes en concentrations suffisantes. Ce système protège aussi les muqueuses de l'animal contre les radicaux libres. Les taux de thiocyanate du lait de vache semblent sans danger pour la fonction thyroïdienne.

La xanthine oxydase contribue comme la lactoperoxydase, au rancissement du lait. Enfin, la quantité de certaines enzymes du lait (catalase) constitue un indicateur de son niveau d'hygiène. Ce taux, qui dépend du nombre de bactéries (contamination), est élevé dans le colostrum et augmente en cas de mammite.

Hormones

Le lait de vache contient des hormones dont l'activité biologique est connue, mais dont le rôle est beaucoup moins certain. Il semble que la plupart de ces hormones soient détruites dans le tube digestif, du moins chez l'homme.

Les taux des oestrogènes (de 60 à 200 ng/litre) et de la prolactine (environ 50

(g/litre) diminuent au fur et mesure que la lactation progresse. La progestérone (environ 13 g/litre) existe en proportion directe avec le taux de lipides; elle est pratiquement absente du lait crémé (< 2 g/litre) et lorsqu'on l'y trouve en quantité supérieure à 6 g/litre, une nouvelle gestation doit être suspectée. On trouve également des corticostéroïdes dans le lait (de 8 à 18 g/litre) et diverses prostaglandines, ainsi que de la somatotropine, des gonadotropines, de la thyrotropine et des polyamines (Sanguansermisri, Gyorgi et Zilliken, 1974). L'activité biologique sur l'homme des hormones naturelles du lait de vache est considérée comme nulle. Certaines hormones de synthèse, administrées à l'animal pour augmenter la production lactée se retrouvent dans les laits. Cette pratique est donc à proscrire et souvent interdite.

Acides organiques

De nombreux acides organiques ont été détectés dans le lait. Les principaux sont cités ci-après.

Acide citrique. Sa concentration est en moyenne de 1,7 g/litre. Cet acide représente lui seul plus de 90 pour cent des acides organiques du lait. Il se trouve en solution, moins de 10 pour cent étant associé à la caséine et au calcium dans la phase colloïdale. Son rôle est de réduire l'excrétion urinaire du calcium ionisé du

plasma sanguin et d'éviter ainsi une déminéralisation de l'os. L'acide citrique est dans les produits laitiers fermentés le point de départ de substances aromatisantes.

Acide neuraminique. Cet acide se trouve dans le lait à un taux moyen de 150 mg/litre et sous forme acétylée (acide N-acétyl-neuraminique ou acide sialique). Il est pour 80 pour cent environ lié à la caséine (kappa), dont il assure une part de la stabilité.

Acides nucléiques. Les acides ribonucléiques (50 mg/litre), désoxyribonucléiques (12 mg/litre) et les nucléotides (dont 80 pour cent d'acide orotique: 1 00 mg/litre) sont présents dans le lactosérum; ils sont également associés, en faibles quantités, à la caséine. Un avantage de ces quantités modestes est que la formation d'acide urique au cours du catabolisme alimentaire est très faible, à l'opposé de ce qui se produit après consommation de viande.

L'acide orotique s'est vu attribuer des rôles multiples, dont un effet favorable sur la croissance du *Lactobifidus bulgaricus*.

Substances indésirables

La mamelle est un émonctoire et le lait peut contenir des substances ingérées ou inhalées par l'animal, sous la forme soit du constituant original, soit de composés

dérivés métaboliques. Les substances étrangères peuvent provenir des aliments (engrais et produits phytosanitaires), de l'environnement (pesticides), de traitements prescrits à l'animal (produits pharmaceutiques, antibiotiques, hormones) (Mahieu et al., 1977).

Ces contaminations posent des problèmes particuliers, parce qu'il est souvent difficile d'en apprécier les conséquences à long terme sur la santé (Mueller et Schroeder, 1978). Les mesures de prévention restent la pratique la plus logique et la plus efficace, que l'anxiété des médecins ou du public soit justifiée ou non.

Pesticides. Ces produits sont destinés à détruire les insectes qui attaquent le bétail, les cultures et les récoltes. Tous présentent un degré de toxicité pour l'homme; seulement se retrouvent dans le lait quand la vache les a consommés.

Les phosphates (très toxiques) sont ainsi très rapidement métabolisés, les organophosphorés sont très peu permanents et les organochlorés (stables et lipophiles) sont éliminés en concurrence de 30 à 40 pour cent dans le lait. Même le chauffage du lait ne les détruit pas (DDT et son métabolite essentiel, le DDE) (Renterghem, 1976; Renterghem, Moennans et Brack, 1979).

Antibiotiques. Leur usage chez l'animal en fait des constituants sporadiques du lait, et

donc une source de sélection de souches résistantes et d'accidents allergiques pour le consommateur.

***Éléments radioactifs.* Suite de l'incendie d'une usine nucléaire en avril 1986 à Tchernobyl (Ukraine), l'environnement a été contaminé. Des nuages de radioactivité ont sillonné l'Europe dans les 2 à 3 jours suivant l'accident (Bruce et Slorach, 1987). En apparence, l'Autriche a été parmi les pays les plus touchés par les retombées. Le taux d'iode 131 a été élevé pendant 2 à 3 semaines dans le lait de vache. Cette radioactivité s'est estompée au rythme de la demi-vie brève de cet élément.**

Les taux de césium radioactif ont augmenté plus lentement pour culminer 2 mois environ après la contamination. Quatre mois plus tard, ces taux étaient encore nettement plus élevés que ceux mesurés en routine, préalablement à la destruction de l'usine nucléaire. Au cours de l'hiver, la consommation de fourrage (foin ramassé en juin) s'est accompagnée d'une remontée passagère mais notable de la radioactivité du lait.

Une réglementation stricte (tableau 30) et une surveillance des laits de consommation ont suffi à maîtriser le problème. Le lait contaminé (voir normes européennes) a été déclaré impropre à la consommation et retiré des circuits de distribution. En

outre, un contrôle a été exercé sur les laits importés, notamment sur ceux utilisés pour la fabrication des laits en poudre destinés aux nourrissons.

TABLEAU 30 Niveau de contamination radioactive pour un ensemble de radionucléides: seuils ne pas dépasser pour le lait et les aliments pour nourrissons

Radionucléides	Seuils
Am 241 Pu 239	1 Bq/kg
1131 Ae 90	100 Bq/kg
Os 134 Cs 137	1 000 Bq/kg

Note: En cas d'accident nucléaire le règlement Euratom exige de ne plus dépasser 400 Bq/kg pour le césium (134 et 137).

Source: Valeurs proposées par la FAO/OMS et adoptées par la commission du Codex Alimentarius (juillet 1989) et/ou par le règlement Euratom.

Nitrates et nitrosamines. La fabrication de certains produits laitiers s'accompagne d'une addition de nitrate de potassium ou de sodium dans le lait cailler. Ceux-ci

s'accumulent surtout dans le lactosérum. De fait, on peut trouver dans les produits secs, des nitrates en concentrations très élevées.

Les nitrates peuvent former des liaisons avec divers composants du lait. Les nitrites qui découlent de la conversion des nitrates peuvent former des nitrosamines, dont certaines sont cancérigènes.

Métaux. A leur propos, il convient de distinguer entre la découverte d'un antagoniste naturellement présent dans le lait et une contamination par cette même substance en quantités inutiles, voire dangereuses. Par exemple, on accepte dans les crustacés un taux d'arsenic de 50 ppm, mais on s'inquiète d'en trouver plus de 0,05 ppm dans du lait.

Parmi les métaux susceptibles de contaminer le lait des taux inquiétants pour la santé, on peut citer le sélénium, l'arsenic, le plomb, le mercure et le cadmium.

Polychlorodiphényles. Certains produits chimiques, comme les phtalates, les esters de l'acide sébacique et certains polychlorobiphényles (PCB), présentent un degré certain de toxicité pour l'homme, d'autant plus que ces substances sont stables dans l'organisme où elles s'accumulent dans le tissu adipeux (Murata, Zabik et Zabik, 1977; Luquet et al., 1979).

Variations dans la composition

La quantité de lait produit par un animal et sa composition subissent des fluctuations d'origine physiologique (nombre de vêlages, époque de lactation, état de santé, activité de l'animal) et des variations d'origine génétique (espèce, race), zootechnique (mode, moment de la traite), alimentaire (foin, fourrage) et, enfin, climatique.

Les modifications de composition non directement ou indirectement imputables à l'animal, comme les conditions de conservation ou les contaminations postérieures à la traite, sont la conséquence d'altérations du lait.

Sa nature biologique, la complexité de sa structure physique et la grande diversité de ses constituants chimiques en font un produit fragile, très facilement altérable. Les dégradations peuvent être dues à des facteurs intrinsèques du lait (leucocytes, enzymes, micro-organismes) ou à des agents extrinsèques (oxygène de l'air, lumière, poussières, contaminants chimiques et, surtout, micro-organismes). Les modifications contrôlées ou non de composition physico-chimique qui en découlent se répercutent directement en technologie laitière (voir chapitres suivants).

Fluctuations physiologiques intra-individuelles. Peu avant le vêlage et pendant les 6

9 jours suivants, la mamelle produit le colostrum (liquide jaunâtre, visqueux et amer), riche en protéines et en minéraux, mais pauvre en lactose. Il apporte aux jeunes veaux des anticorps indispensables et des éléments purgatifs. Après cette période colostrale, la quantité de lait augmente progressivement (pendant environ 1 mois), se stabilise pendant 2 à 3 mois pour diminuer ensuite jusqu'au tarissement 6 mois plus tard.

La concentration en matière sèche diminue pendant le mois qui suit le vêlage, puis augmente régulièrement en raison de l'accroissement des matières azotées et grasse. L'écart entre la teneur minimale (1 mois) et la teneur maximale (10 mois) en lipides ou en protéines peut atteindre facilement de 5 à 10 g/litre, voire davantage. La courbe de concentration en lactose varie au cours de la lactation; celle-ci après une augmentation rapide au cours du premier mois, reste ensuite constante.

Vers la fin de la lactation, lorsque la teneur azotée s'élève rapidement, un déséquilibre s'installe entre les composants du lait (avec augmentation concomitante en chlorure de sodium) et le rend, comme le colostrum, impropre aux fabrications. On observe également une évolution individuelle normale du début à la fin de la traite (augmentation régulière de la teneur en matière grasse et baisse de la teneur en protéines). Si le lait n'est pas évacué, les molécules de synthèse (lactose, caséine et grasse) subissent une résorption et le lait obtenu (dit de

<<retention>>) est de composition anormale.

Variabilité interindividuelle. L'influence propre de chacun des paramètres de variabilité est difficile à identifier. Ce sont les facteurs raciaux, liés aux effets de la sélection, et les facteurs alimentaires qui ont les conséquences les plus importantes sur le lait au plan nutritionnel, technologique et économique. Ainsi, les laits des vaches frisonnes sont moins riches en matières grasses et en protéines que ceux des vaches anglo-normandes. Les Jersiaises fournissent un lait riche qui rappelle celui des vaches zébus de l'Inde.

De même, la vache au pâturage produit plus d'acides longs (stéarique et oléique) et moins de chaînes moyennes (laurique, myristique et palmitique), tandis que la vache en étable produit plus d'acides gras polyinsaturés, surtout parce que son alimentation en contient.

Variabilité spatio-temporelle. En raison de l'importance de certaines variations saisonnières notamment, tous les laits n'ont pas la même aptitude à être transformés en fromage ou en beurre.

Dans les pays tempérés, la collecte quantitative du lait peut présenter entre l'hiver et l'été des écarts de 1 à 1,5, alors que, dans d'autres pays, ces écarts peuvent

varier de 1 à 8 ou 10. Dans les pays tropicaux, il est courant de voir une production abondante en saison humide totalement arrêtée en saison sèche.

Les courbes de production et de composition du lait peuvent varier dans leurs niveaux (minima, maxima) et leurs pentes. Les fluctuations sont plus importantes pour des laits individuels et s'estompent à mesure que le lait est de plus grand mélange.

D'une façon générale, il est toujours économiquement préférable de réduire le plus possible les variations de composition qualitatives et quantitatives, ce qui justifie un ensemble de pratiques (régularisation des vaches et de l'alimentation, sélection des races, mélange des laits et incitations économiques).

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Laits d'autres animaux d'élevage

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Introduction

L'information statistique (effectifs) et scientifique concernant certaines espèces d'animaux laitiers tels que le lama, le yak et le renne étant rare ou peu sûre, section se limite à l'étude des laits de bufflonne, de brebis, de chèvre, de chamelle et de jument. Ce choix est guidé par l'importance économique et l'intérêt nutritionnel que présente la production de ces laits.

L'élevage du buffle, le deuxième élevage laitier mondial, ne concerne qu'un nombre limité de pays; 8X pour cent de la production de lait de bufflonne est réalisée dans deux pays, l'Inde et le Pakistan (tableau 31). En Inde, la moitié du lait consommé provient de cet animal, et une recherche active porte sur la zootechnie et la génétique de différentes races laitières (FAO, 1977). Ce lait est aussi utilisé, en Inde notamment, pour la fabrication de formules lactées infantiles (Ganguli et Kuchroo, 1979; Dubey et Gupta, 1988).

Les productions de lait de brebis et de chèvre viennent très loin derrière celles du lait de bufflonne. Chacune d'elles n'atteint pas 2 pour cent de la production laitière mondiale. L'élevage de la brebis et celui de la chèvre sont plus disséminés que celui de la bufflonne; on peut toutefois constater une certaine concentration de la production du lait de chèvre dans le sous continent indien (tableau 31). Le lait de

chèvre est bu en particulier dans les régions où il n'est pas concurrencé par le lait de vache, que les populations jugent supérieur. Il est aussi la matière première de yaourts et de fromages, produits dont la fabrication est facilitée par les caractéristiques du lait de chèvre. Les teneurs en protéines et lipides du lait de chèvre sont plus élevées que celles du lait de vache. Le lait de chèvre diffère donc encore plus sensiblement du lait humain que le lait de vache (Muggli, 1982).

TABLEAU 31 Principaux pays producteurs de lait de bufflonne, de brebis et de chèvre

Pays	Production laitière (milliers de tonnes)
Bufflone	
Inde	23 600
Pakistan	10 538
Chine	1 938
Egypte	1 300
Népal	603

Italie	110
Monde	38 580
Brebis	
France	1 080
Turquie	893
Iran	735
Grece	650
Italie	628
Chine	575
Monde	8 470
Chèvre	
Inde	1 500
Somalie	675
Pakistan	620
Turquie	524

France	460
Monde	8 780

Note: La production mondiale de lait de vache est de 475 507 milliers de tonnes

Source: FAO, 1990.

TABLEAU 32 Principaux pays éleveurs de chameaux

Pays	Effectifs (milliers de têtes)
Somalie	6 855
Soudan	2 800
Inde	1 450
Ethiopie	1 080
Pakistan	990
Mauritanie	820

Monde 1 9 450

Source: FAO. 1990.

La production de lait de brebis est concentrée dans les pays où la production de lait de vache est limitée, mais elle concerne également des pays de grande tradition fromagère comme la France (tableau 31). Par ses caractéristiques biochimiques, le lait de brebis présente de grandes similitudes avec le lait de chèvre; il est donc très différent du lait humain.

L'élevage du chameau est limité à l'Afrique et à l'Asie (d'autres espèces de camélidés existent en Amérique du Sud). Le chameau est par excellence un animal adapté aux conditions de sécheresse (tableau 32) et la composition du lait de chamelle reflète les conditions de vie de l'animal. Le lait est consommé frais (le colostrum n'est pas consommé); c'est un liquide blanc, opaque et au goût fort. Il a une place importante dans l'alimentation des populations nomades.

L'intérêt porté au lait de jument tient à la fois à son utilisation comme matière première pour la fabrication de boissons gazeuses, le kéfir et le koumiss (Koroleva, 1988), qui sont des aliments traditionnels en Asie centrale et dans le Caucase, et à son utilisation comme aliment de remplacement en pédiatrie, en raison des

ressemblances de composition existant entre le lait de jument et le lait humain. Les analyses portent essentiellement sur le lait des animaux de trait (Langlois, 1986), même si les races de sports commencent à faire l'objet d'études.

Composition

Caractéristiques physico-chimiques. Les caractéristiques physico-chimiques des différents laits sont regroupées au tableau 33. Certains laits ont été étudiés de manière aussi détaillée que le lait de vache, c'est le cas des laits de bufflonne, de brebis et de chèvre. Par contre, l'information est plus limitée en ce qui concerne celui de chamelle et plus encore celui de jument. Ce tableau fait apparaître qu'une ressemblance existe entre les laits de vache et de bufflonne. La densité du lait de brebis ainsi que celle des races de chèvre à lait gras est plus élevée que celle du lait de vache. De même, la viscosité du lait de brebis est élevée. Le lait de chèvre se caractérise par un pourcentage élevé de micelles de caséine soluble (de 10 à 20 pour cent contre 1 pour cent pour le lait de vache).

Energie. L'apport en énergie d'un litre de lait différencie les espèces animales considérées et est susceptible de larges variations à l'intérieur d'une même espèce (cela étant, bien entendu, lié à la teneur en lipides du lait). L'apport énergétique est en moyenne de 1 000 kcal/litre pour le lait de bufflonne, de 1 100

pour celui de brebis et plus faible pour ceux de chamelle (800), de chèvre (de 600 à 650) et de jument (inférieur à 600).

Protéines. Les teneurs en protéines totales sont voisines dans les laits de vache, de chamelle et de chèvre. Elles sont, en moyenne, plus basses dans le lait de jument, plus élevées dans le lait de bufflonne et encore plus dans celui de brebis (de une fois et demie à deux fois plus élevées que dans le lait de vache) (tableau 34). Les laits des différentes espèces se classent de la même manière en ce qui concerne les caséines.

Lait de bufflonne. Comparé au lait de vache, le lait de bufflonne contient relativement plus de caséines bêta et gamma et moins de caséines alpha et kappa si l'on se réfère aux données moyennes (tableau 34), mais les variations individuelles sont grandes à l'intérieur de l'espèce. La composition en acides aminés des différentes caséines du lait de bufflonne diffère quelque peu de celle de leurs homologues du lait de vache.

TABLEAU 33 Caractéristiques physico-chimiques des laits de diverses espèces animales

Constantes	Vache	Bufflonne	Chamelle	Chèvre	Brebis

Energie (kcal/litre)	705	755-1 425	800	600-750	1 100
Densité du lait entier 20 °C	1,028-1,033	1,029-1,033	1,025-1,038	1,027-1,035	1,034-1,039
Point de congélation (°C)	-0,520-- 0,550	-0,544	-0,580	-0,550-- 0,583	-0,570
pH-20 °C	6,60-6,80	6,66-6,82	6,20-6,82	6.45-6,60	6,50-6,85
Acidité titrable (Dornic)	15-17	14-18	-	14-18	22-25
Tension superficielle du lait entier 15 °C(dynes cm)	50	48,7	-	52	45-49
Conductivité électrique 25 °C (siemens)	45 x 10 ⁻⁴	66,2 x 10 ⁻⁴	-	43-56 x 10 ⁻⁴	38 x 10 ⁻⁴
Indice de réfraction	1,45-1,46	-	-	1,35-1,46	1,33-1,40
Viscosité du lait entier 20 °C (centipoises)	2,0-2,2	-	-	1,8-1,9	2,86-3,93

Note: Le signe - signifie que les données font défaut ou sont sujettes à caution

Source: Compilation de diverses sources.

TABLEAU 34 Composition moyenne en g/litre et distribution des protéines dans le lait de diverses espèces animales

Protéines	Vache	Bufflonne	Jument	Chèvre	Brebis
a-lactalbumine	1,5 (45%)	2.50 (37%)	2.30 (26%)	2,0(25%)	1,3 (10%)
β-lactoglobuline	2,7 (25%)	2,70 (39%)	5,30 (59%)	4.4(55%)	8,4 (67%)
Albumine sérique	0,3 (5%)	0,20 (3%)	0,20 (2%)	0,6(7%)	0,6 (5%)
Immunoglobulines	0.7 (12%)	1.35 (20%)	1.10 (13%)	0.5(6%)	2.3 (18%)
Protéose-peptone	0,8 (1 3%)	- (-)		0,6(7%)	
Total des	6,0 (100%)	6,75	9,00 (100%)	8.10	12,6

protéines solubles(100%)		(100%)		(100%)	(100%)
Caséine α -S	12,0 (46%)	9,30 (26%)			21 .0 (47%)
Caséine β	9,0 (36%)	18.20 (51%)			16,1 (36%)
Caséine κ	3,5 (13%)	- (-)			4,5 (10%)
Caséine γ	1,5 (6%)	8.25 (23%)			3,0 (6%)
Total des caséines (100%)	26,0 (100%)	35.75 (100%)	13,60(100%)	(100%) 26,0	44,6 (100%)
Protides totaux	32,0	42,50	22,60	34,1	57,2

Source: Compilation de diverses sources.

Dans les protéines du lactosérum, les proportions d' α -lactalbumine et de β -lactoglobuline sont très proches dans le lait de bufflonne, alors qu'elles sont presque dans un rapport de 2 β 1 dans le lait de vache (tableau 34). Le lait de bufflonne

contient les mêmes constituants de l'azote non protéique que le lait de vache.

Lait de jument. Dans le lait de jument, plus de 90 pour cent des matières azotées sont sous forme de protéines et la composition en acides aminés des protéines totales de ce lait s'écarte en partie de celles des laits des autres espèces. Dans l'espèce équine, seulement 47 à 68 pourcent de l'azote du lait est sous forme de caséines, alors que ce pourcentage est de l'ordre de 80 pour cent chez la vache, la bufflonne, la chèvre et la brebis. Le lait de jument ne contient que 13 g de caséines par litre contre 25 g pour le lait de vache. Par contre, les teneurs en protéines des laits humain et équin sont très proches.

Lait de chèvre. Le profil en acides aminés totaux du lait de chèvre est proche de celui du lait humain et les acides aminés essentiels s'y trouvent en excès relatif par rapport aux besoins du nourrisson.

Par comparaison avec le lait de vache, les protéines du lait de chèvre contiennent proportionnellement moins de caséines (tableau 34) et davantage d'azote non protéique. La teneur proportionnellement moindre en caséines s'explique en partie par une absence quasi complète de l'a₁₅ caséine (une protéine très présente dans le lait de vache) de sorte que les sujets allergiques uniquement à cette protéine supportent souvent le lait de chèvre.

Comme chez la vache, la **β**-lactoglobuline constitue la protéine majeure du lactosérum du lait de chèvre (tableau 34). Les compositions aminées de la **β**-lactoglobuline et de l' α -lactalbumine du lait de chèvre sont très proches de celles du lait de vache. Des allergies croisées entre laits de ces deux espèces ne sont donc pas rares. Cela réduit l'intérêt du lait de chèvre pour les sujets allergiques.

Enfin, dans le lait de chèvre, la fraction d'azote non protéique (en particulier l'urée) représente, comme dans le lait de femme, une proportion bien plus élevée que chez la vache.

Lait de brebis. Il est plus riche en protéines que les autres laits. En particulier, il contient beaucoup d'a-caséine. La caséine forme des micelles chargées de phosphore et de calcium de caractéristiques physico-chimiques semblables à celles du lait de vache, mais de dimensions légèrement réduites. On trouve davantage de phosphore et de calcium dans la phase colloïdale, autant dans la phase soluble que dans le lait de vache. Ces différences impriment à ces laits des caractéristiques différentes de coagulation: le lait de brebis coagule plus vite et donne un coagulum plus ferme que le lait de vache. C'est pourquoi il est très utilisé en fromagerie (comme le lait de chèvre).

La richesse du lait de brebis en protéines sériques est surtout marquée par une

teneur élevée de la beta-lactoglobuline et des immunoglobulines (tableau 34).

L'azote non protéique (de 6 à 8 pour cent de l'azote total) est distribué un peu différemment de celui du lait de vache: plus d'urée et d'acide urique et moins d'acides aminés libres.

Lipides. Les laits de bufflonne et de brebis sont nettement plus riches en lipides que le lait de vache. Le lait de jument, par contre, contient peu de lipides (la moitié de ce que contient le lait de vache) (tableau 16).

Globules gras. La taille des globules gras est une donnée qui intéresse physiologistes et spécialistes de l'industrie laitière. Les globules gras de dimension réduite sont plus facilement digérés. Dans l'espèce équine, plus de 50 pour cent des globules gras ont une dimension inférieure à 2,5 microns (comme le lait humain). De même, dans les laits de chèvre, de brebis et de chamelle, les globules gras sont de dimension plus réduite que dans le lait de vache, tandis que ceux du lait de bufflonne sont de plus grande dimension. En technologie, il est plus facile d'homogénéiser un lait quand les globules gras qu'il contient sont plus petits.

Distribution des constituants lipidiques. A l'instar de toute matière grasse, celle du lait est distribuée en lipides simples et lipides complexes. Les lipides simples sont

essentiellement des triglycérides (il y a aussi des diglycérides et des monoglycérides) et des acides gras libres; les lipides complexes sont constitués notamment de phospholipides, céroébroésides et de stérols. La distribution de ces divers constituants lipidiques est très similaire dans les laits de vache et de chêvre, avec prédominance très nette des triglycérides (environ 98 pour cent); par contre, dans le lait de jument' la distribution des constituants lipidiques est différente. Les triglycérides ne représentent que 79 pour cent des lipides tandis que les phospholipides et les acides gras libres sont présents en plus grande quantité que dans le lait de vache.

La composition en acides gras présente des traits communs aux différentes espéces et d'autres spécifiques é chacune d'entre elles. L'acide palmitique et l'acide oléique constituent les acides en plus forts pourcentages, même si ceux-ci différent d'une espéce é l'autre. En ce qui concerne les particularités, il y a lieu de noter dans le lait de chêvre la présence, plus importante que dans le lait de vache, des acides gras é chaéne courte, en particulier de l'acide caprique. C'est pour cette raison que le dosage de l'acide caprique permet de déceler le coupage frauduleux du lait de chêvre. La richesse en acide linoléique caractérise le lait de chamelle. Le lait de jument présente des ressemblances avec le lait de femme (plus riche en acide gras insaturés et en acides linoléique et linoléinique) qui le différencient des laits des ruminants dont l'alimentation est aussi é base d'herbe. Cela s'explique par une absorption gréle, chez la jument, de lipides alimentaires non modifiés, alors qu'ils subissent une

hydrogénation microbienne préalable de l'absorption chez les ruminants.

Glacides. Le lactose constitue, de loin, la principale source glucidique. Si l'on excepte celui de jument, les laits des espèces considérées ici ont presque la même teneur en lactose (tableau 16). Dans une espèce donnée, le lait peut sembler plus doux ou plus amer selon la teneur en lactose.

Minéraux et oligo-éléments. Le tableau 35 regroupe les données concernant ces éléments. Dans un ensemble de données relativement homogènes, on peut remarquer le faible apport minéral du lait de jument en général, malgré sa richesse en calcium, la teneur élevée du chlore dans le lait de chèvre (elle est à l'origine d'acidoses hyperchlorémiques observées chez les nourrissons exclusivement alimentés au lait de chèvre), ainsi que la teneur élevée en calcium du lait de brebis.

TABLEAU 35 Teneurs en minéraux et en oligo-éléments des laits de diverses espèces animales (mg/litre)

	Vache	Bufflonne	Chamelle	Jument	Chèvre	Brebis
Minéraux						

Sodium	0,50	0,47	0,39	0,19	0,37	0,42
Potassium	1,50	1,39	1,76	0,68	1,55	1,50
Calcium	1,25	2,03	1,16	1,10	1,35	2,0
Magnésium	0,12	0,20	-	0,085	0,14	0,18
Phosphore	0,95	1,29	0,83	0,55	0,92	1,18
Chlore	1,00	0,65	1,99	0,30	2,20	1,08
Acide citrique	1,80	0,49	-	-	1,10	
Oligo-éléments						
Fer	0,20-0,50	0,80-1,10		0,59	0,55	0,2-1,5
Cuivre	0,10-0,40	0,18-0,25		0,28	0,40	0,3-1,76
Zinc	3-6	2,4-6,2		2,00	3,20	1-10
Manganèse	0,010-0,030	0,050-0,170		0,05	0,06	0,08-0,36
Molybdène	0,070	0,022				
Aluminium	0,6-1	0,22		-	-	-

lode	-	-	0,02		
------	---	---	------	--	--

Notes: Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou, dans quelques cas, des valeurs extrêmes. Le signe - indique que les données font défaut ou sont sujettes à caution. Source Compilation de diverses sources.

TABLEAU 36 Teneurs en vitamines des laits de diverses espèces animales (mg/litre)

Vitamines	Vache	Bufflonne	Chamelle	Jument	Chèvre	Brebis
B ₁	0,42	0,40-0,80	-	0,28	0,41	0,85
B ₂	1,72	1,07-1,65	-	0,38	1,38	3,30
B ₆	0,48	0,23-0,70	-	-	0,60	0,75
B ₁₂	0,0045	0,0004- 0,0006	0,0023-0,0039	-	0,0008	0,006
Acide nicotinique	0,92	0,80-1,72	-	0,70	3,28	4,28
Acide folique	0,053	-	-	-	0,006	0,006
C	18	19-25	57-98	145,0	4,20	47,0

A	0,37	0,48-0,69	0,37-1,26	-	0,24	0,83
β-carotenes	0,21	0,00-0,30	0,16-0,46	-	<0,10	0,02

Notes: Les valeurs exprimées sont des valeurs moyennes ou, dans quelques cas, des valeurs extrêmes. Le signe - indique que les données font défaut ou sont sujettes à caution. Source: Compilation de diverses sources.

Vitamines. Les données concernant les vitamines sont moins complètes que celles concernant les autres nutriments (tableau 36).¹¹ convient de remarquer la richesse du lait de brebis, dans presque toutes les vitamines, par rapport au lait de vache, la teneur élevée des laits de chamelle et de jument en vitamine C, ainsi que la faible teneur en folates du lait de chèvre (elle serait l'origine des anémies mégaloblastiques que favorise également une teneur un peu basse et une faible disponibilité de la cobalamine observées chez des nourrissons ou des jeunes enfants principalement alimentés au lait de chèvre).

Comme pour le lait de vache, les teneurs en nutriments des différents laits sont susceptibles de variations, liées par exemple à la durée de la lactation ou à l'alimentation (type de fourrage utilisés). Les variations sont beaucoup plus marquées chez les camélidés. Ainsi, la teneur en eau du lait de chamelle varie selon le degré de sécheresse de l'environnement extérieur (91 pour cent d'eau en saison sèche

contre 86 pour cent en saison d'abondance alimentaire); cela permet au chamelon de recevoir l'eau qui lui manque. A l'inverse, la teneur en lipides passe de 43 g/litre en période sèche à 11 g/litre en période humide.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Chapitre 3 Produits laitiers: consommation, technologie et microbiologie

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Introduction

Le traitement et la transformation du lait ont pour but sa conservation (ou celle de certains de ses constituants). Celle-ci ne s'accompagne pas nécessairement de l'élimination des micro-organismes pathogènes éventuellement présents. Pour

cette raison les procédés de conservation sont souvent complétés par des procédés d'assainissement.

Une laiterie, c'est-à-dire le lieu où se fait la fabrication, se caractérise tout d'abord par les quantités de produits élaborés, de l'atelier fermier ou artisanal mettant en œuvre des procédés rudimentaires manuels ou non à l'usine, traitant jusqu'à plusieurs millions de litres par jour, mettant en œuvre des procédés complexes, mécanisés, voire automatisés et informatisés. Chacun de ces établissements peut fabriquer plusieurs produits ou, au contraire, être spécialisé et n'en faire qu'un seul.

Le procédé utilisé a le plus souvent des conséquences sur la qualité des produits et les aspects socio-économiques liés à chaque entreprise, dont doivent tenir compte ceux (investisseurs, fabricants, nutritionnistes, etc.) qui, sous des titres divers, recommandent ou décident en matière de lait et de produits laitiers.

L'influence des procédés sur les produits joue sur leur qualité organoleptique, leur valeur nutritionnelle et hygiénique, leur conservation, leur coût de fabrication. Sur le plan socio-économique, les incidences du procédé concernent notamment la valorisation de la matière première, son rendement, le prix de vente et, par suite, la possibilité d'achat des consommateurs, le salaire et la pénibilité du travail des

hommes.

Dans le cas des procédés les plus simples qui sont généralement ceux utilisés par l'éleveur, le fermier ou le petit artisan, on fabrique essentiellement des produits dits de type traditionnel. Issus de technologies empiriques, faits dans des conditions souvent précaires avec des équipements peu élaborés et un personnel peu formé, il en existe une grande diversité; chaque variété est elle-même de qualité très irrégulière. Cependant, dans les régions où la production laitière est faible, ces méthodes sont d'une utilité certaine et contribuent, notamment, à améliorer la nutrition des populations et le revenu des éleveurs.

Les procédés complexes, utilisés dans les grosses usines, conduisent à des produits dits industriels. Ils se caractérisent notamment par l'uniformisation et la régularisation de leur composition et de leur qualité. Cette standardisation, étroitement liée à la mise en œuvre de méthodes industrielles, résulte d'un ensemble de facteurs issus de l'évolution technico-économique, parmi lesquels on peut citer la nécessité d'assainir le lait et les produits laitiers et d'améliorer leur durée de conservation afin d'approvisionner les centres urbains de plus en plus peuplés et de plus en plus éloignés des zones de production; la nécessité de faire des produits de composition et de qualités connues, régulières et conformes à la demande des consommateurs, des nutritionnistes et des hygiénistes (ainsi est

apparue une idéologie alimentaire, considérablement renforcée par la publicité); la modification des habitudes de vie (restauration collective, déstructuration des repas, travail des femmes) et, par suite, celle des habitudes de consommation; la nécessité d'abaisser les prix de revient et d'améliorer la productivité en raison de la réduction des dépenses alimentaires des ménages et des augmentations salariales; le développement des grandes surfaces de distribution; la nécessité de réduire le travail physique par la mécanisation; la croissance de la production laitière.

Cette standardisation ainsi que la facilité des échanges mondiaux et le développement d'entreprises multinationales permettent de retrouver dans un grand nombre de pays les mêmes types de produits, toutefois toujours adaptés à chaque pays. L'internationalisation ne supprime pas la diversité et la spécificité.

Entre ces deux types de produits, traditionnels et industriels, se place une large gamme intermédiaire conduisant à des produits variés. Les uns cherchent à conserver, tout en les adoucissant et en les régularisant, les caractères organoleptiques traditionnels; les autres se rapprochent des qualités standard industrielles. Ainsi, il existe sur le marché mondial une immense palette de produits laitiers qui, dans l'ensemble, répondent aux attentes conscientes ou non des différents consommateurs.

Pendant très longtemps, tous les produits laitiers étaient issus d'une matière première unique (le lait) et de technologies voisines. Depuis quelques années, on tend à modifier la composition de certains d'entre eux de façon à renforcer, équilibrer ou alléger leurs qualités nutritives. On cherche aussi à faire des produits dont le lait ou certains de ses constituants ne sont plus les seules matières premières. On en trouve quelques exemples dans les produits allégés en matière grasse, les minarines, les huiles de beurre, les beurres et fromages sans cholestérol, les produits laitiers au soja, etc.

Enfin, l'utilisation de procédés nouveaux, comme l'ultrafiltration, conduit à des produits différents dans leur composition et leurs qualités organoleptiques. Si certains de ces produits nouveaux cherchent à répondre aux recommandations des nutritionnistes et des hygiénistes, beaucoup, par la diversification qu'ils apportent, répondent surtout à des intérêts commerciaux.

Production laitière et consommation des produits laitiers

Les paragraphes qui suivent n'ont pas pour but de couvrir ces questions en détail, mais seulement de faire ressortir quelques faits saillants qui permettent de replacer cette étude de nutrition dans un contexte plus global.

TABLEAU 37 Répartition de la production laitière dans le monde en 1990, par région et par espèce (%)

Régions (ou groupes de pays)	Vache	Bufflonne	Brebis	Chèvre
Amerique du Nord	15,7			
Europe	35,2	0,3	41,0	18,2
Océanie ³	2,9			
Ex-URSS	22,8		0,8	3,4
Autres pays développés ⁴	2,4		0,2	0,2
Afrique ⁵	1,9		9,9	16,2
Amerique latine et Caraïbes	8,7			3,2
Proche-Orient ⁶	2,0	3,7	3,7	23,2
Extrême-Orient ⁷	8,3	96,0	8,6	35,6

Autres pays en developpement ⁸	-9			
Total	100	100	100	100

Notes:

¹Canada et Etats-Unis

²Europe géographique, mais sans les territoires européens de l'ex-URSS.

³Australie et Nouvelle-Zélande

⁴Afrique du Sud, Israël et Japon.

⁵Continent africain sans l'Afrique du Sud, l'Egypte, la Lybie et le Soudan.

⁶Afghanistan, Arabie saoudite, Bahreïn, Chypre, Egypte, Emirats arabes unis, Iran, Iraq, Jordanie. Koweït, Liban, Lybie, Oman, Qatar, Soudan, Syrie, Turquie, Yémen et zone de Gaza.

⁷Asie sauf ceux mentionnés en 6 et l'ex-URSS

⁸Regroupe les Bermudes, le Groenland, Saint-Pierre et-Miquelon et les îles océaniques.

9 Insignifiant moins de 0,1 pour cent.

Source: FAO, 1991,

Production

La production laitière mondiale est estimée par la FAO à 537 millions de tonnes pour l'année 1990, dont 88,8 pour cent proviennent du lait de vache, 7,7 pour cent de celui de bufflonne, 1,7 pour cent de celui de brebis et 1,9 pour cent de celui de chèvre. L'homme utilise aussi le lait d'autres mammifères (chamelle, jument, éléphant, etc.) dont les quantités ne sont pas connues avec une approximation suffisante pour être prises en compte par les statistiques,

Le tableau 37 donne la répartition de la production laitière par espèce et par région. Il met en évidence la place prépondérante de l'Europe, de l'ex-URSS et de l'Amérique du Nord dans la production du lait de vache et celle de l'Asie dans la production du lait de bufflonne.

TABLEAU 38 Production de lait de vache entier en 1990, par pays (milliers de tonnes)

Pays	Production
Ex-URSS	108 700

Etats-Unis	67 260
Inde	27 500
France	26 561
Allemagne (ex-RFA)	23 672
Pologne	15 832
Royaume-Uni	15 203
Brésil	15 000
Pays-Bas	11 226
Italie	10 376
Japon	81 90
Nouvelle-Zélande	7 700
Allemagne (nouveaux landers)	7 635
Canada	7 535
Tchécoslovaquie	6 931

Australie	6 435
Argentine	6 400
Mexique	6 332
Espagne	5 825
Irlande	5 402

Source: FAO, 1991.

Le tableau 38 donne la liste des 20 premiers producteurs de lait de vache. On notera que seuls quatre pays en développement (Inde, Brésil, Argentine, Mexique) figurent dans cette liste. L'Inde produit elle seule près des deux tiers de la production mondiale du lait de bufflonne et le Pakistan en produit un quart.

La production de fromage, estimée par la FAO 1,45 millions de tonnes en 1990, est dominée par quatre pays: les Etats-Unis (21,5 pour cent), L'ex-URSS (14,2 pour cent), la France (9,4 pour cent), l'Allemagne (ex-RFA) (7,8 pour cent); pris ensemble, ces pays fournissent plus de la moitié de la production mondiale. Seize autres pays produisent chacun entre 1 et 5 pour cent de la production mondiale. Ce sont, par ordre décroissant de production, L'Italie, les Pays-Bas, la Pologne, le Royaume-Uni, l'Egypte, le Danemark, le Canada, L'Argentine, l'Allemagne (nouveaux Länder), la

Tchécoslovaquie, la Grèce, la Bulgarie, l'Iran, L'Australie, l'Espagne et la Chine. Comme pour le lait de vache frais, on constate la part importante des pays développés dans la production de fromage (87,5 pour cent de la production totale). On constate aussi des différences entre cette liste et celle du tableau 38: tous les pays de grand cheptel laitier n'ont pas une tradition fromagère, et inversement. Ainsi, la Grèce, la Bulgarie, l'Egypte et l'Iran produisent des quantités assez importantes de fromage sans figurer parmi les 20 premiers producteurs de lait.

Pour le beurre et le ghee (beurre liquide clarifié par ébullition produit essentiellement en Extrême-Orient), la production mondiale est estimée à 7,8 millions de tonnes en 1990 et est assurée pour plus de la moitié par quatre pays, savoir l'ex-URSS (23,2 pour cent), l'Inde (12,5 pour cent), les Etats-Unis (7,8 pour cent) et la France (6,8 pour cent). Seize autres pays contribuent pour plus de 1 pour cent à la production. Ce sont, par ordre décroissant l'Allemagne (ex-RFA), la Pologne, le Pakistan, l'Allemagne (nouveaux Länder), la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Tchécoslovaquie, l'Irlande, le Royaume-Uni, la Turquie, l'Australie, le Canada, le Danemark, l'Union Belgique-Luxembourg, l'Italie et l'Egypte. La prépondérance des pays développés est globalement moins marquée puisqu'ils n'assurent qu'un peu moins de 75 pour cent de la production totale de beurre et de ghee.

L'industrie laitière met à la disposition du consommateur, en plus du lait frais, du lait

concentré, du lait entier en poudre et du lait crémé en poudre, dont les productions mondiales estimées, en 1990 sont, respectivement, de 4,6, 2,1 et 4,2 millions de tonnes. Le lait crémé en poudre est produit à raison de 97,1 pour cent dans les pays développés.

Consommation

La consommation du lait et des produits laitiers n'est connue avec précision que pour les pays développés. Par contre, la FAO réunit pour tous les pays des données donnant la quantité disponible, par personne et par an, de lait et produits laitiers (le beurre étant exclu) exprimés en équivalent-lait, ainsi que la quantité disponible de beurre. La grandeur quantité disponible est calculée à partir de la production, du solde importation-exportation, des pertes, et des changements dans les stocks. Elle ne correspond pas à la consommation réelle, qui ne peut être connue que par une enquête de consommation alimentaire, mais elle en constitue une approximation qui permet les comparaisons internationales à un moment donné et l'étude de séries chronologiques pour un pays donné.

Consommation apparente du lait et de produits laitiers en 1988-1990. Le tableau 39 récapitule la consommation apparente, en 1988-1990, de lait et de produits laitiers dans les pays où cette quantité est élevée. On retrouve, dans ce tableau, la plupart

des pays développés, 1 l'exception de l'ex-URSS, de la Roumanie, de la Yougoslavie, de la Hongrie, de l'Espagne, du Portugal, du Japon et de l'Afrique du Sud. Seuls deux pays en développement y figurent, la Somalie et l'Uruguay.

Parmi les pays qui ont une consommation apparente comprise entre 91,3 et 182,6 kg/personne/an, on remarque notamment plusieurs pays du Proche-Orient (Liban, Syrie, Jordanie, Koweït, Arabie Saoudite, Emirats arabes unis, Soudan, Lybie), les pays européens qui n'étaient pas inclus dans les pays à consommation apparente élevée, plusieurs pays des Caraïbes (Barbade, Bahamas, Dominique, Cuba) et quelques pays d'Amérique centrale (Mexique, Costa Rica) et du Sud (Argentine, Venezuela). Parmi les pays où la consommation apparente est faible, on trouve tous les pays de l'Afrique au sud du Sahara et un grand nombre de pays d'Amérique latine et d'Extrême-Orient.

TABLEAU 39 Quantité disponible de lait et de produits laitiers (beurre exclu), par pays (kg/personne/an)

Pays	Quantité disponible
Quantité supérieure à 243,4 kg/an (soit 666 g/jour)	

Autriche	251,3
Finlande	337,7
France	277,7
Allemagne (nouveaux l ^{and} ers)	251,8
Allemagne (ex-RFA)	243,5
Islande	302,2
Irlande	323,1
Pays-Bas	298,5
Italie	261,7
Nouvelle-Z ^{land} e	267,4
Norv ^{ge}	278,5
Su ^{de}	324,7
Etats-Unis	247,0
Quantit^e comprise entre 182,6 d 243,4 kg/an (soit entre 500 et 666 /jour)	
Australie	216,6

Belgique-Luxembourg	207,8
Bulgarie	201,3
Canada	228,7
Tch [?] coslovaquie	1 96,7
Danemark	205,6
Gr [?] ce	229,4
Isra [?] l	212,6
Malte	1 83,0
Pologne	234,7
Somalie	206,6
Royaume-Uni	232,7
Uruguay	206,6

Note: Les donn[?]es indiqu[?]es corespondent [?] la moyenne du triennium 1988-1990
Sources: Donn[?]es FAOSTAT.

Evolution de la consommation apparente de lait et de produits laitiers dans les deux

dernières décennies. Pour chaque pays, la consommation apparente de lait et de produits laitiers par personne et par an a évolué au cours des deux dernières décennies. Cette évolution est jugée sur des moyennes triennales mobiles tabliées comme suit: 1969- 1971, 1979- 1981, 1984-1986 et 1988-1990.

En ce qui concerne l'évolution dans les pays développés, quatre schémas différents ont été observés (figure 7):

- **Pays où cette quantité disponible baisse soit constamment, soit à partir d'une certaine date: Islande, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne et Suède.**
- **Pays où cette quantité disponible reste pour ainsi dire constante: Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, Finlande, Irlande, Royaume-Uni, Tchécoslovaquie.**
- **Pays où cette quantité disponible s'accroît puis se maintient en plateau: Allemagne (nouveaux Länder), Autriche, Bulgarie, Espagne, Italie, Yougoslavie.**
- **Pays où cette quantité disponible s'accroît du début à la fin de la période considérée: Allemagne (ex-RFA), Belgique-Luxembourg, France, Grèce, Hongrie, Israël, Portugal.**

Il convient de noter que, dans les pays scandinaves et aux Pays-Bas, les autorités, conscientes des dangers liés à une consommation élevée de produits animaux riches en acides gras saturés et en cholestérol, facteurs de risque des maladies

cardio-vasculaires, ont établi des recommandations dans le cadre de politiques de nutrition. En Pologne, par contre, il faut probablement y voir la conséquence du retrait des subventions à la consommation qui a entraîné une augmentation des prix. On notera également que, dans tous les pays des deux premières catégories (à l'exception de la Tchécoslovaquie), la quantité disponible était supérieure à 200 kg/an en 1969- 1971 et qu'à l'inverse, dans tous les pays des deux dernières catégories (à l'exception de la France), la quantité disponible était inférieure à 200 kg/ an à la même période.

Il faut souligner que la grandeur étudiée regroupe le lait et les produits laitiers et donc des éléments qui peuvent varier en sens opposé. D'ailleurs, en 1976, les travaux de Debry et Féron soulignaient que, de 1965 à 1974, la consommation de protéines du lait et des produits laitiers est restée constante en France, mais que cette constance résulte d'un accroissement de celle des fromages et du lait crémeux et d'une baisse de celle du lait entier.

[FIGURE 7 Evolution de la quantité disponible de laits et produits laitiers \(beurre exclu\) dans cinq pays développés \(la base 100 correspond à la quantité disponible par personne et par an en 1969-1971\)](#)

Dans un nombre important de pays en développement, la quantité disponible de lait

et de produits laitiers par personne et par an est faible. On se bornera ici à noter l'influence, sur cette grandeur, de phénomènes majeurs qui affectent la vie dans les pays. Comme on pouvait s'y attendre, les sécheresses entraînent une diminution de la quantité disponible; ainsi, de 1969-1971 à 1988-1990, elle baisse de 42 pour cent au Niger, de 32 pour cent au Mali et de 19 pour cent en Mauritanie. De même, elle diminue dans les pays où des troubles civils opposent des groupes rivaux: baisse, par exemple, de 50 pour cent au Nicaragua, de 36 pour cent en Afghanistan, de 33 pour cent au Tchad et de 21 pour cent en Somalie (dans ces deux derniers pays, les effets de ces troubles se conjuguent avec ceux de la sécheresse). Les booms pétroliers ont provoqué un accroissement de la quantité disponible dans plusieurs pays exportateurs de pétrole, dont l'effet perdure en Arabie saoudite, en Lybie, dans les Emirats arabes unis et en Algérie, mais n'a été que temporaire à la Trinité-et-Tobago.

Consommation apparente de beurre en 1988-1990. La consommation apparente de beurre est estimée de la même manière que celle du lait et des produits laitiers. Le tableau 40 récapitule les pays où la quantité disponible est d'au moins 3 kg/personne/an. La plupart des pays développés y figurent, avec quelques exceptions notables: Espagne, Etats-Unis, Grèce, Italie et Portugal. La présence, dans cette liste, de pays qui ne sont pas d'importants producteurs de lait (Emirats arabes unis, Fidji, Koweït et Singapour) montre l'émergence de nouveaux modèles de

consommation ↻ partir des importations.

Evolution de la consommation apparente de beurre entre 1969-1971 et 1988-1990.

L'↻volution de la consommation apparente diff↻re de mani↻re frappante. Dans certains pays, elle a baiss↻ tout au long de cette p↻riode: c'est le cas de l'Australie, du Canada, du Danemark, des Emirats arabes unis, de la Finlande, de l'Irlande, de la Norv↻ge, du Royaume-Uni et de la Turquie. Pour nombre de ces pays, elle traduit la mise en garde contre la consommation excessive de produits animaux par les autorit↻s scientifiques. La baisse de la consommation est particuli↻rement spectaculaire en Australie, en Finlande et au Royaume-Uni, o↻ elle atteint, respectivement, 67, 50 et 52 pour cent. Dans d'autres pays, comme l'Allemagne (ex-RFA) et l'Islande, elle est assez limit↻e, tandis qu'elle est apparue plus tardivement en Allemagne (nouveaux L↻nders), ↻ Fidji, en Nouvelle-Z↻lande et en Su↻de. En France, elle est pour ainsi dire stable.

Enfin, dans d'autres pays (Bulgarie, ex-URSS, Koweït, Pays-Bas, Pologne et Tch↻coslovaquie), elle a augment↻ au cours de la p↻riode consid↻r↻e, mais tend ↻ se maintenir en plateau. La figure 8 visualise ces diff↻rents types d'↻volution. En 1991 et 1992, la consommation de beurre dans l'ex-URSS a baiss↻ en raison d'une r↻duction des importations qu'imposent le manque de devises et la rupture des courants commerciaux ↻ l'int↻rieur de l'ex-COMECON.

TABLEAU 40 Quantité disponible de beurre, par pays (kg/personne/an)

Pays	Quantité disponible
Allemagne (nouveaux I�nders)	14,4
Nouvelle-Zélande	10,7
France	9,3
Tchécoslovaquie	8,6
Belgique-Luxembourg	8,5
Pologne	8,4
Irlande	8,0
Ex-URSS	7.7
Finlande	7,5
Allemagne (ex-RFA)	7.4
Suède	6,4

Danemark	6,3
Suisse	6,2
Islande	6,0
Autriche	5,1
Bermudes	4,9
Fidji	4,2
Royaume-Uni	4,2
Emirats arabes unis	3,9
Pays-Bas	3,9
Canada	3,8
Singapour	3,2
Australie	3,1
Koweït	3,1
Norvège	3,1
Bulgarie	3,0

Note: Les données indiquées correspondent à la moyenne du triennium 1988-1990.

Source: FAO, données FAOSTAT.

FIGURE 8 Evolution de la quantité disponible de beurre dans sept pays développés, de 1969-1971 à 1988-1990

Produits laitiers et aide alimentaire

A côté des céréales, le lait écrémé en poudre (LEP) a été longtemps un composant très fréquent du panier alimentaire des programmes d'aide alimentaire. D'autres produits laitiers (beurre clarifié et mélanges de farines pour enfants) ont pu aussi y figurer, mais en bien moindre quantité. L'aide alimentaire aux pays en développement a distribué près de 332 000 tonnes de LEP en 1981, puis plus de 364 000 tonnes en 1984 (les livraisons de 1984 et de 1985, plus importantes, répondent à des catastrophes, en particulier à la sécheresse au Sahel). Cependant, depuis quelques années, on assiste à une diminution marquée des livraisons de LEP dans les programmes d'aide alimentaire. Ainsi, ces livraisons ont-elles été seulement de 209 000 tonnes en 1989 et de 94 000 tonnes en 1990. A un moment où les grands pays producteurs et exportateurs (Amérique du Nord, Australie, Communauté européenne) prennent des mesures de contingentement de la production, la

communauté internationale et, en particulier, les organisations des Nations Unies œuvrant dans le domaine de la nutrition, de la santé et de l'aide alimentaire ont souligné le danger d'infections par le lait en poudre mal préparé. Des directives ont été élaborées, insistant sur la nécessité d'en limiter l'emploi aux programmes dans lesquels on est assuré qu'il sera préparé et employé dans de bonnes conditions d'hygiène et sous la supervision d'un personnel bien formé. En 1990, l'Afrique a été de loin le principal bénéficiaire des envois de LEP dans les programmes d'aide alimentaire. Elle en a reçu plus de la moitié (48 000 sur 94 000 tonnes), l'Éthiopie arrivant en tête des pays bénéficiaires.

Technologie des produits laitiers

Le lait ou certains de ses composants constituent la matière première d'un grand nombre de produits obtenus à l'aide de procédés variés, essentiellement de nature physique et/ou biochimique.

La microbiologie intervient dans la plupart des opérations de transformation et de conservation du lait et des produits laitiers. Elle a un rôle dominant dans la transformation du lait, tout particulièrement en fromagerie. La conservation du lait et des produits qui en sont issus constitue une préoccupation majeure de la production

◆ la consommation. La principale cause d'altération est le développement des micro-organismes; en outre, ceux-ci peuvent entraîner un risque sanitaire important.

Pour assurer la conservation et l'assainissement des produits, la technologie fait appel à divers procédés, essentiellement d'ordre physique, appliqués seuls ou en combinaison. Parmi ces procédés, on peut citer:

- La destruction partielle ou totale des micro-organismes, généralement au moyen de la chaleur (pasteurisation, stérilisation). A signaler aussi l'emploi rayons ionisants ou des antiseptiques, encore qu'il fasse généralement l'objet d'une réglementation stricte, voire d'interdictions.
- L'inhibition de la croissance de la microflore par le froid (réfrigération, congélation).
- La création d'un milieu ou de conditions défavorables au développement microbien: élimination de l'eau libre (concentration, déshydratation), abaissement de la disponibilité de l'eau (salage, sucrage), abaissement du pH (fermentation lactique), conservation en atmosphère modifiée (CO₂).
- La séparation des micro-organismes (centrifugation, microfiltration).

Le tableau 41 donne un schéma des principales utilisations du lait en fonction des traitements qui lui sont appliqués.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Microflore du lait

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Le lait peut êtreensemencé par de nombreuses espèces microbiennes. Pour certaines, il constitue un bon milieu de culture, ce qui leur permet de s'y développer. Pour d'autres germes banals ou pathogènes, il n'est qu'un véhicule occasionnel.

Ensemencement du lait

Le lait d'un animal parfaitement saint trait aseptiquement, est normalement dépourvu de micro-organismes. A la sortie de la mamelles le nombre de germes est très faible généralement inférieur à 5000/ml. Ils proviennent de l'extérieur et pénètrent dans la mamelle par le canal du trayon. Dans le cas d'infections de la mamelle, le nombre de germes augmente peu (sauf dans le cas de mammites

cliniques), mais il sont en majorit❖ constitu❖s de bact❖ries pathog❖nes, notamment staphylocoques ou streptocoques. Ainsi, hormis les maladies de la mamelle, l'ensemencement du lait se fait pour l'essentiel au cours des diverses manipulations dont il est l'objet ❖ partir de la traite.

[TABLEAU 41 Principales utilisations du lait - A](#)

[TABLEAU 41 Principales utilisations du lait - B](#)

[TABLEAU 41 Principales utilisations du lait- C](#)

Par concentration et transformation de divers constituants ou de sous produits	Par concentration, s❖chage, pr❖cipitation, centrifugation, ultrafiltration, osmose inverse, ❖lectrodialyse, de divers fermentations,
Par d'autres proc❖d❖s	Produits d❖riv❖s: p❖te ou poudre de s❖rum, poudre de babeurre, lactose, prot❖ines, levures, acide lactique, boissons, sous-produits
	Outre les utilisations ❖classiques❖ le lait ou certains de ses constituants sont utilis❖s comme mati❖re premi❖re pour la pr❖paration de produits alimentaires varies consid❖r❖s comme

◆ produits laitiers ◆.

Exemples:

- Fromage fondu: produit pâteux obtenu par la fonte ◆ la chaleur (90 ◆C) de fromages divers (gruy◆re), éventuellement additionn◆s de produits laitiers (lait en poudre, cr◆me, beurre, cas◆ine lactos◆rum) et d'autres denr◆es (aromates jambon. noix etc.). La fonte se fait en pr◆sence de sels (sels de fonte) dissolvants et ◆mulsifiants et d'acides organiques faibles (citrate et phosphates de soude, etc.) permettant de fixer le pH ◆ une valeur favorable au maintien de l'◆mulsion de la mati◆re grasse dans la p◆te et ◆ une bonne texture et ◆ une valeur d'◆favorable au d'◆veloppement des micro-organismes (pH 5,6 ◆ 5,8).

Fromage fondu mati◆re s◆che > 50% mati◆re grasse > 40%

Fromage fondu pour tartine mati◆re s◆che = 44 ◆ 50% mati◆re grasse > 40%

Fromage fondu pour tartine mati◆re s◆che = 20 ◆ 30% mati◆re grasse > 31%

Fromage fondu en poudre = fromage fondu dilu◆ ◆ l'eau puis

desserts par pulvérisation dans un courant d'air chaud. Produit destiné à la préparation de biscuits et de produits diététiques.

- Crèmes dessert: mélange de lait concentré ou non, enrichi ou non de crème, de sucre, d'arômes naturels et d'additifs (stabilisateurs et paississants etc.).

- Crèmes glacées: produits obtenus par congélation d'un mélange pasteurisé de lait, crème, sucre, fruits ou jus de fruits ou arômes naturels additionnés de stabilisateurs et éventuellement de colorants. Matière grasse 5 à 7%, saccharose 14%, matière sèche 29 à 31%.

- Lait reconstitués:

- Lait reconstitué: mélange de lait écrémé en poudre et d'eau en proportions permettant d'obtenir un produit dont la matière sèche est voisine de celle du lait liquide écrémé (90 g/litre).
- Lait recombinaison: mélange de lait écrémé en poudre de matière grasse laitière anhydre et d'eau permettant d'obtenir un produit dont la matière sèche est voisine de

celle du lait liquide entier (125-130 g/litre; ou partiellement
 ◊cr◊m◊.

- Lait coup◊ (toned milk): m◊lange de lait de bufflese (ou autre), de poudre de lait ◊cr◊m◊ et d'eau.

- Produits d'imitation: aliments pr◊pares ◊ partir de lait ou de certains de ces constituants (prot◊ines, dont cas◊inates, etc.) et de diverses denr◊es d'origine v◊g◊tale ou animale.

Lait imitation dans du lait ◊cr◊me frais ou reconstitu◊, soit une ◊mulsion de mati◊re grasse v◊g◊tale dans un liquide dont aucun constituant ne vient du lait ◊ l'exception des prot◊ines (cas◊inate).

- Cr◊me imitation (fouett◊e ou non) ◊ base d'huile v◊g◊tale, sucre, cas◊inate et additifs divers.
- Fromages imitation o◊ la mati◊re grasse butyrique est remplac◊e par de la graisse v◊g◊tale.
- Produits divers ◊ base de lait, soja, etc.

- Lait spécialiaux (liquides ou secs): laits dont la composition a été modifiée afin de les adapter aux besoins spécifiques de catégories particulières de consommateurs (nourrissons, malades, etc.). Ils comprennent les laits infantiles, diétiques, médicamenteux, irradiés, etc.

Le niveau de contamination est étroitement dépendant des conditions d'hygiène dans lesquelles sont effectuées ces manipulations, à savoir l'état de propreté de l'animal et particulièrement celui des mamelles, du milieu environnant (étable, local de traite), du trayon, du matériel de récolte du lait (seaux à traire, machines à traire) et, enfin, du matériel de conservation et de transport du lait (bidons, cuves, tanks). A noter qu'il est généralement moins élevé dans le cas de la traite manuelle que dans la traite mécanique, car cette dernière met en œuvre un équipement plus important et plus difficile à nettoyer.

Développement des micro-organismes

Trois facteurs principaux conditionnent la croissance microbienne: le nombre initial de germes, la température et la durée conservation. A la sortie de la mamelle, le lait est à la température de l'animal (37 °C). Malgré cette condition favorable à la multiplication de nombreux germes, celle-ci est inexistante pendant les quelques

heures qui suivent la traite, en raison du pouvoir bactériostatique du lait frais. Dans la mesure où l'on dispose des moyens nécessaires, il est hautement souhaitable de profiter de cette période pour refroidir le lait afin de ralentir la prolifération des micro-organismes dans la phase bactériostatique passée.

Le tableau 42 montre l'influence des facteurs précités sur la croissance des bactéries aérobies mésophiles (improprement appelées flore totale) à différentes températures. En prenant, par exemple, les valeurs de ce tableau, et si l'on admet qu'un lait de qualité moyenne ne doit pas contenir plus de un million de germes par ml au moment de son traitement, on voit que lorsque sa population initiale est faible, il peut se conserver 4 jours à 4,5 °C, un peu plus de 3 jours à 10 °C et moins de 24 heures à 15,5 °C et à 25 °C. Lorsque la contamination est importante, il supporte une conservation de 4 jours à 4,5 °C mais, lorsque la température atteint 10 °C, il n'est déjà plus conforme en 24 heures. Or, dans la pratique, la charge microbienne pouvant être plus forte et les normes choisies plus sévères, on observe que, même à la température de 4,5 °C, le refroidissement est insuffisant. Il importe donc d'obtenir à la production un lait très peu chargé en micro-organismes (si possible moins de 100000 germes/ml) et de refroidir ce lait le plus rapidement possible après la traite, à une température la plus proche de 0 °C et jamais supérieure à +4 °C (en pratique de +2 °C à +4 °C).

TABLEAU 42 Multiplication de la flore aérobie mésophile en fonction de la température et de la durée de conservation

Température de conservation (°C)	Nombre de bactéries par ml	Facteurs de multiplication			
		24 heures	48 heures	72 heures	96 heures
4.5	4200	1	1,1	2	4,7
	137000	2	3,9	5,5	6,2
10	4200	33	30	1 36	9400
	137000	8 5	98	182	300
15,5	4 200	380	7860	77800	229000
	137000	175	4600	17 500	386 000
25	4200	7000	1 5600	88 500	240000
	137000	4 900	11 200	21 000	23300

TABLEAU 43 Durée maximale de conservation en fonction du nombre de bactéries et de l'origine

Nombre de bactéries aérobies mésophiles du lait d'origine N 30°C	Durée maximale du lait refroidi rapidement dans la traite entre +2°C et +4°C
N 10 000	4 jours
N 100 000	3 jours
N 500 000	2 jours
N 500 000	1 jour ou moins

Le temps de conservation reste de toute façon étroitement lié à la charge microbienne du lait mis en refroidissement. Aussi convient-il de respecter le barème indiqué au tableau 43.

Cependant le refroidissement, même à +4°C n'empêche pas certains microorganismes de se multiplier et de provoquer de graves défauts dans la qualité des produits pouvant même les rendre inconsommables. Il est donc indispensable de limiter au maximum, dès la production, le nombre de ces germes par une excellente hygiène.

Enfin, bactéries, virus, levures et moisissures peuvent être présents dans le lait. Les

bactéries ont une place prédominante dans l'ensemble des problèmes microbiologiques et des produits laitiers, les levures et les moisissures intéressant surtout la fromagerie.

Bactéries

En raison de la grande diversité des bactéries présentes dans le lait, et en se basant sur un certain nombre de propriétés importantes qu'elles ont en commun, on les divise en deux catégories: les bactéries saprophytes et les bactéries pathogènes.

***Bactéries saprophytes.* Elles peuvent avoir un intérêt technologique, hygienique ou être indifférentes.**

***Bactéries lactiques.* Elles ont une grande importance en laiterie. Leur principale propriété est de produire de l'acide lactique par fermentation du lactose; certaines produisent en outre du gaz carbonique et divers composés, dont certains contribuent à l'arôme des produits laitiers. Par leur production d'enzymes protéolytiques, elles contribuent à l'affinage des fromages. Dans du lait non réfrigéré, elles tendent à prédominer, donnant à celui-ci une certaine protection vis-à-vis de germes indésirables. Cependant, la production d'acide lactique, en faisant baisser le pH, provoque une déstabilisation progressive de la dispersion micellaire, ce qui rend le**

lait de moins en moins stable aux traitements thermiques et peut entraîner sa coagulation, même à température ambiante. Le tableau 44 montre l'influence de l'acidité sur la stabilité du lait à différentes températures.

La flore acidifiante du lait n'est pas uniquement constituée de bactéries lactiques. Des bifidobactéries et des entérobactéries interviennent aussi dans l'acidification.

Bactéries coliformes. Presque toujours présentes dans le lait cru, elles ont une grande importance en laiterie. Du point de vue technologique, certaines assurent la fermentation du lactose, produisant, outre des acides, des gaz (hydrogène et gaz carbonique) qui font gonfler les fromages. De plus, elles laborent diverses substances conférant aux produits des goûts et des odeurs très désagréables.

TABLEAU 44 Stabilité du lait à différentes températures en fonction de l'acidité titrable¹ et du pH

pH	Acidité titrable (g/litre)	Température (°C)	Etat du lait
6,6-6,8	1,6-1,8	0-150	Normal
6,4	2,0	110-120	Floculation

6,3	2,2	100	Floculation
6,1	2,4	72-75	Floculation
5,2	5,5-6,0	20	Floculation

1 L'expression **acidité titrable** désigne l'acidité mesurée par la méthode classique de la réaction acide-base.

Du point de vue hygiénique, un grand nombre d'entre elles étant les hôtes habituels de l'intestin des mammifères, leur présence dans le lait (comme dans l'eau) est l'indice d'une contamination fécale. Cet indice est mis à profit dans l'examen de la qualité sanitaire des produits. Certaines espèces peuvent être responsables d'infections gastro-intestinales.

Flore psychrotrophe. On désigne par psychrotrophes des micro-organismes qui ont la faculté de se développer à une température égale ou inférieure à 7 °C, indépendamment de leur température optimale de croissance (en général, dans le lait, c'est le genre *Pseudomonas* qui domine). Dans des laits refroidis, cette flore peut devenir la flore dominante, notamment quand ceux-ci ne sont pas récoltés dans d'excellentes conditions hygiéniques et qu'ils sont maintenus plus de 24 à 48 heures dans les conditions habituelles de réfrigération (+3 à +4 °C). Si l'on tient compte de

leur temps de génération, la population des psychrotrophes peut être multipliée par 10 en 24 heures à 4 °C et par 4 en 1 °C. Ces germes peuvent produire des lipases et des protéases thermorésistantes ayant pour conséquence l'apparition de goûts très désagréables dans les produits laitiers: goût amer, rance, putride, etc. La protéolyse peut aussi entraîner une déstabilisation progressive de la dispersion micellaire des laits UHT aboutissant à leur gélification avec altération du goût.

Flore thermorésistante. Un certain nombre de bactéries sont capables de résister aux traitements thermiques usuels utilisés dans le but d'assainir ou de conserver le lait. Elles sont dites thermorésistantes. Leur développement ultérieur peut altérer les produits et, parfois, être dangereux pour la santé. On distingue:

- La flore thermorésistante totale, définie comme la flore résiduelle après un traitement à 63 °C pendant 30 minutes ou un traitement équivalent tel que la pasteurisation HTST (72 °C pendant 15 secondes).
- La flore moyennement thermorésistante, qui n'est pas détruite par chauffage à 75 °C pendant 12 secondes.
- La flore fortement thermorésistante, qui n'est pas détruite par chauffage à 80 °C pendant 10 minutes. Elle comprend notamment les spores bactériennes, qui nécessitent des températures supérieures à 100 °C.

Les bactéries sporulées rencontrées en laiterie appartiennent aux genres ciaprès :

Bacillus, dont les activités enzymatiques peuvent être responsables de l'acidification, la coagulation ou la protéolyse des laits de longue conservation .

Clostridia, qui peuvent provoquer de graves altérations des fromages pâte dure, mi-dure et fondue. Ces altérations provoquent leur tour le gonflement des fromages et contribuent leur donner un goût rance et piquant très désagréable. L'une d'elles, Clostridium perfringens, peut être dangereuse par ses toxines.

La flore thermorésistante est notamment apportée dans le lait par le sol, les ensilages, les fèces et les résidus dus à l'insuffisance de nettoyage et de désinfection des matériels en contact avec le lait.

Flore totale. Ce terme est impropre, car la méthode la plus courante consiste à ne dénombrer que la flore aérobie mésophile par comptage des colonies après culture sur plaques de gélose nutritiveensemencées et incubées en aérobiose pendant 3 jours à 30 °C, excluant par conséquent certains germes. Cependant, elle est la méthode la plus courante et la plus pratique pour établir le niveau de contamination globale du lait.

Bactéries pathogènes. Le lait cru et les produits laitiers avec lequel ils sont fabriqués, de même parfois que ceux ayant subi un traitement d'assainissement, peuvent contenir des germes pathogènes pour l'homme. L'animal, l'environnement et l'homme peuvent être l'origine de cette contamination. Différentes espèces bactériennes sont capables de pénétrer dans la mamelle par le canal du trayon et sont excrétées avec le lait. En se développant dans la mamelle, certains de ces germes, en particulier les staphylocoques, les streptocoques et les entérobactéries, provoquent des mammites avec contamination du lait.

L'animal peut aussi contaminer indirectement le lait par des particules d'excréments, d'expectorations, et d'autres rejets, ou par le voisinage avec des animaux malades de même espèce ou d'espèces différentes (chèvre, par exemple). Le sol, les eaux, les litières, les poussières, le matériel mal nettoyé, etc., sont d'importantes sources de contamination du lait au cours de la traite et des diverses manipulations qu'il subit. Par ses mains, ses expectorations, ses vêtements souillés, etc., l'homme malade ou porteur sain ou infecté peut être également une cause de contamination de l'animal ou de son environnement et du lait.

Le nombre de germes vivants est important, car l'efficacité de leur destruction par la chaleur (pasteurisation) dépend, en partie, de leur concentration initiale. Si l'on considère que la destruction est de 99 pour cent, la contamination résiduelle peut

être négligeable ou, au contraire, importante. Outre leur capacité à se multiplier et à se répandre dans l'organisme, certains germes pathogènes produisent des toxines. Souvent thermostables, elles restent actives après certains traitements thermiques tels que la pasteurisation et la dessiccation.

Les mesures de prévention contre la présence et le développement des pathogènes reposent d'abord sur un bon état sanitaire des animaux et du personnel les entretenant et manipulant le lait; une bonne hygiène générale des animaux, du personnel, des locaux et des matériels (une attention toute particulière doit être portée à l'hygiène de la traite); l'emploi d'eau potable et la conservation du lait au froid. Bien entendu, les traitements d'assainissement du lait (pasteurisation, ébullition, stérilisation) réduisent considérablement les risques de présence de germes dangereux dans la mesure où le lait et ses dérivés ne subissent pas ensuite de recontaminations.

On citera ci-après les germes pathogènes auxquels on accorde une importance particulière, en raison de la gravité ou de la fréquence des risques qu'ils présentent.

Staphylocoques. On les trouve assez fréquemment dans le lait et, parfois, en nombre important. L'origine de la contamination est la mamelle malade et, peut être plus

fréquemment, l'homme. Leur fréquence tend à augmenter du fait de leur antibiorésistance. Ils provoquent par leur production de toxines thermostables des intoxications de gravité variable pouvant être redoutables chez l'enfant. Les produits laitiers responsables sont le plus souvent des laits concentrés et en poudre ainsi que des crèmes glacées. Une fermentation lactique suffisamment active les inhibe. Au cours de l'affinage des fromages, ils disparaissent progressivement, mais le risque subsiste s'il y a eu accumulation préalable de toxines en quantité suffisante..

Entérobactéries. Les salmonelles sont responsables de toxi-infections. Des épidémies de fièvre typhoïde et paratyphoïde ont pour origine la consommation de lait, crème, beurre, crème glacée, etc., n'ayant pas subi de traitement d'assainissement ou recontaminés.

Les colibacilles, tels que E. coli, dont certaines souches sont entéropathogènes, peuvent être responsables de graves toxi-infections suite à la consommation de lait ou de produits laitiers infectés. La pollution en bactéries coliformes est très fréquente; même légère, elle présente un risque.

Des coliformes banals absorbés en quantité massive (1 million à 1 milliard de germes) peuvent déclencher des troubles gastro-intestinaux. Ils sont responsables de la maladie du voyageur. Les Yersinia peuvent être responsables de troubles

intestinaux variés. Ces germes sont assez fréquents dans le lait et dans les crèmes glacées. Les laits de vache, de chèvre et d'autres espèces sont souvent contaminés par des brucelles dans les pays où il n'a pas été effectué de sérieuses campagnes d'éradication. On trouve encore le bacille tuberculeux de façon parfois importante dans le lait de pays où la prophylaxie est inexistante ou insuffisante. Les infections tuberculeuses dues à la consommation de lait contaminé par la variété bovine ou humaine sont hélas bien connues. La contamination se fait par l'animal ou par l'homme, ce dernier pouvant avoir contaminé l'animal et réciproquement.

Bien d'autres microflores pathogènes peuvent contaminer le lait. Leur fréquence est très variable et souvent plus importante dans les pays en développement.

Levures

Bien que souvent présentes dans le lait, elles s'y manifestent rarement. Peu d'entre elles sont capables de fermenter le lactose. Certaines sont utilisées dans la production de laits fermentés (comme le kéfir et le koumis), des levures alimentaires et de l'éthanol. En fromagerie, de nombreuses levures participent à l'affinage des fromages. C'est ainsi qu'en se développant à la surface de certains fromages jeunes comme le fromage de chèvre ou le croûte moisie, elles contribuent à leur désacidification. Par leurs enzymes protéolytiques et lipolytiques, elles jouent un rôle dans la formation de

l'arôme.

Les levures peuvent aussi être non fastes. Des *Torulopsis*, productrices de gaz à partir du lactose, supportent des pressions osmotiques élevées et sont capables de faire gonfler des boîtes de lait concentré sucré. Certaines sont responsables de fermentations gazeuses dans les crèmes fermières et les caillots frais. La présence de levures à la surface des yaourts, fromages à pâte fraîche, crème et beurre sont l'indice d'une pollution qui déprécie l'aspect et le goût des produits.

Moisissures

Sans importance dans le lait liquide, elles intéressent un grand nombre d'autres produits laitiers. Elles se développent en surface ou dans les parties internes aérées. Elles sont productrices de lipases et de protéases. Des *penicilliums* sont utilisés pour recouvrir la croûte des fromages à pâte molle d'une fleur blanche et pour former des veines de couleur bleue dans les fromages à pâte persillée. Les levures peuvent aussi participer à la désacidification de la pâte de divers fromages en début d'affinage.

Les mêmes moisissures peuvent aussi être indésirables, par exemple quand un développement excessif de *Geotrichum* à la surface des fromages à pâte molle

rend celle-ci glaireuse et coulante ou quand des veines bleues apparaissent dans la fleur blanche des camemberts, ce qui les déprécie fortement. L'apparition, la surface des fromages pâte molle moisie, de spores de couleur brun-noir dues d'autres moisissures rend leur commercialisation difficile ou impossible. D'autres moisissures, souvent colorées, peuvent se développer sur divers produits (crème, beurre, fromage, yaourt, poudre de lait). Elles diminuent leur qualité organoleptique. Bien que très généralement sans danger du fait de l'absence de mycotoxines, les produits sur lesquels elles prolifèrent sont le plus souvent considérés comme impropres à la consommation.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Chapitre 4 Lait de consommation

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Lait liquides

Destruction des micro-organismes

Dans le but d'assainir le lait et de prolonger sa durée de conservation, on lui applique généralement un traitement thermique qui détruit partiellement ou complètement sa flore microbienne.

Lorsque l'on soumet une population microbienne à l'action d'une température donnée pendant un temps déterminé, une certaine proportion de cette population est détruite. Ce fait se traduit par deux lois expérimentales. La première loi montre qu'à l'intérieur d'une même espèce et pour un traitement thermique déterminé, le nombre de survivants est fonction de la durée du traitement. La seconde loi fait apparaître que pour une même espèce, et pour obtenir un taux de réduction donné de la population, la durée de traitement nécessaire est fonction de la température de traitement. Ces deux fonctions sont des exponentielles. Leur représentation graphique est la courbe de survie pour la première et la courbe du temps de réduction pour la seconde. Une représentation plus commode consiste à porter en ordonnée le logarithme du temps de chauffage et en abscisse la température: on obtient dès lors une droite dite de survie.

Les lois de destruction des micro-organismes sont de même nature que celle régissant la dégradation des molécules biochimiques du lait. Les effets du chauffage

sur les micro-organismes, les enzymes, les protéines et autres constituants du lait, qui déterminent notamment son goût, son aspect, sa valeur nutritive, etc., résultent de l'accroissement de la vitesse de certaines réactions. Des réactions se faisant très lentement à la température ordinaire peuvent s'accomplir à une vitesse très grande, sous l'action de températures élevées. Il a été établi que chaque fois que la température augmente de 10 °C, la vitesse de réaction est multipliée par un facteur q peu près constant, appelé coefficient de température. Ce coefficient est de 5 à 10 pour la destruction des spores microbiennes et de 10 à 25 pour la destruction des bactéries.

Il existe, pour chaque espèce microbienne ou chaque souche, ou pour chaque réaction, une droite de combinaisons temps-température délimitant deux domaines. Dans celui de droite apparaît la modification considérée. Pour déterminer les combinaisons temps-température, on établit les courbes de destruction des micro-organismes, ainsi que celles de l'apparition des modifications que l'on veut éviter (par exemple, apparition du goût cuit du lait). Le choix de ces combinaisons est d'autant plus réduit que l'on veut détruire un grand nombre d'espèces microbiennes et d'enzymes tout en respectant l'état du milieu, en évitant des modifications du produit sur le plan organoleptique, nutritionnel et technologique (figure 9).

D'une manière générale, les hautes températures appliquées pendant un temps très court ont un effet plus puissant sur la destruction des microorganismes et des enzymes que sur les modifications des constituants du lait, ce qui justifie l'intérêt des traitements UHT. De plus, en assurant une montée en température et un refroidissement rapides, les procédés UHT évitent les effets cumulatifs des traitements thermiques et réduisent ainsi les modifications physicochimiques du lait.

Pour caractériser la cinétique de destruction d'une population d'une souche microbienne donnée, à une température donnée et dans un milieu défini, on utilise le temps de réduction décimale qui correspond à la destruction de 90 pour cent de la population microbienne, donc à la division par 10 (ou réduction décimale) de son effectif initial. Si, par exemple, il faut 2 minutes pour passer d'une population microbienne de 1 millions 100 000, il faut autant de temps pour passer de 100 000 à 10 000, ou de 10 000 à 1 000.

Le caractère de relativité de la destruction des micro-organismes par la chaleur montre que l'efficacité du traitement thermique est fonction du nombre initial de germes contenus dans le lait. On voit ainsi la nécessité pour assainir un lait, tout en respectant ses qualités originelles, qu'il soit peu chargé en microorganismes. D'où l'importance de conditions hygiéniques de récolte du lait puis de son refroidissement et de son traitement rapide.

L'efficacité du couple temps-température sur les micro-organismes dépend de plusieurs facteurs, dont:

- **Le milieu.** En solution aqueuse les germes, sont plus facilement détruits qu'en milieu gras (crème) ou déshydraté (lait en poudre). En milieu acide, ils sont plus aisément détruits. Plus le milieu est concentré en sucres, en sels et en protéines, plus la résistance des germes augmente.
- **L'état de la population microbienne.** La résistance à la chaleur varie avec les espèces et les souches. C'est ainsi que certaines souches d'*Escherichia coli* sont tuées en cinq minutes à 57 °C alors que d'autres résistent 60 minutes à cette température. Les formes végétatives sont en général très sensibles à la chaleur; beaucoup sont détruites en 15 secondes à 72 °C. Par contre, les formes sporulées nécessitent un chauffage supérieur à 100 °C pendant 20 ou 30 minutes. Certaines enzymes microbiennes, notamment des *Pseudomonas*, peuvent ne pas être inactivées par des traitements thermiques de 5 minutes à 130 °C.

[FIGURE 9 Choix d'un traitement thermique \(la zone hachurée recouvre les combinaisons temps-température qui permettent de détruire les germes sans provoquer le goût de cuit dans le lait\)](#)

Procédés de traitement thermique

Ces procédés ont un objectif commun, savoir la destruction des germes pathogènes. Ils se différencient par la durée de conservation qu'ils donnent au lait, conséquence d'une destruction plus ou moins complète des autres microorganismes. Indépendamment de l'ébullition, dont l'intérêt est incontestable, mais limité au niveau domestique, on distingue deux catégories de traitement:

- la pasteurisation, lorsque le chauffage est inférieur à 100 °C;
- la stérilisation, lorsque le chauffage est supérieur à 100 °C.

Pasteurisation

A la suite de nombreux travaux, on a défini les combinaisons temps température capables d'assurer la destruction des germes pathogènes. On s'est fondé pendant longtemps sur la destruction du plus thermorésistant, savoir le bacille tuberculeux, qui nécessite un chauffage de 12 secondes à 72 °C. Actuellement, on prend en compte le bacille *Coxiella burnetti* qui nécessite une durée de chauffage de 15 secondes à 72 °C.

A la suite des travaux de Dahlberg (1932), un certain nombre de combinaisons temps-

température assurant une destruction équivalente ont été sélectionnés compte tenu d'une marge suffisante de sécurité.

Le lait pasteurisé contient toujours une flore résiduelle (bactéries lactiques, germes saprophytes variés) dont l'importance est notamment liée à la charge microbienne initiale. Son développement doit être empêché en réfrigérant le lait immédiatement et rapidement après chauffage à une température de +2 °C à +4 °C. Même à ces températures, le lait n'est pas totalement stabilisé en raison de la présence éventuelle de germes psychrotrophes thermorésistants.

Pour conserver au lait pasteurisé son caractère hygiénique, il est indispensable de le soustraire aux recontaminations qui ne manquent pas de se produire au cours de la distribution du lait en vrac et qui rendent alors nécessaire son ébullition avant consommation. C'est pourquoi, dès sa réfrigération, le lait pasteurisé doit être conditionné en emballages de détail (bouteilles en verre ou en plastique, cartons, sachets plastique).

La pasteurisation est définie par un chauffage à 72 °C maintenu pendant 15 ou 20 secondes. Elle est souvent désignée sous le nom de procédé high temperature short time ou HTST, c'est-à-dire procédé à haute température et de courte durée. Ce type de pasteurisation est utilisé dans le monde entier. Toutefois, lorsque

le lait cru est de qualité microbiologique médiocre ou mauvaise, il faut augmenter la température et le temps de chauffage. C'est ainsi que celle-ci peut atteindre ou dépasser 80 °C avec une durée de chambrage atteignant 1 ou 2 minutes.

L'effet de la pasteurisation HTST bien conduite est tout fait négligeable sur les qualités organoleptiques et nutritionnelles du lait. Ce n'est que lorsque le traitement est plus sévère qu'apparaissent des modifications défavorables touchant particulièrement la saveur (goût de cuit).

La plupart des appareils utilisés sont constitués par un ensemble de tubes ou plus généralement de plaques entre lesquelles les fluides circulent en continu contre-courant. Une installation classique comprend les éléments ci-après:

- un échangeur récupérateur dans lequel le lait cru arrivant est réchauffé (vers 60-65 °C) par le lait chaud sortant de l'élément de pasteurisation chambrage.
- un réchauffeur ou pasteurisateur proprement dit dans lequel le lait arrivant de l'élément 1 est porté à la température de pasteurisation (par exemple 80 °C);
- un chambreur dans lequel le lait venant de l'élément 2 est maintenu à la température de pasteurisation (par exemple 80 °C) pendant le temps voulu (par exemple 20 secondes);

- un échangeur récupérateur (qui est l'élément 1) où le lait venant de l'élément 3 subit un refroidissement (par exemple vers 35 °C) par échange avec le lait cru froid entrant;
- un réfrigérant (comprenant généralement deux sections, l'une d'eau froide, l'autre d'eau glacée ou de saumure) où le lait est refroidi de +3-+4 °C.

L'installation est complétée par divers appareils de contrôle (thermomètres) et de régulation du degré de chauffage et de sécurité (dispositif de déviation du lait insuffisamment chauffé). Elle peut être reliée à un nettoyeur centrifuge, à une crémeuse, à un homogénéisateur et à un dégazeur. Un schéma d'une installation à plaques est donné dans la figure 10.

Les normes et les prescriptions sanitaires concernant le lait pasteurisé varient selon les pays. En l'absence d'une réglementation, on peut toutefois considérer qu'un lait pasteurisé conditionné est de qualité satisfaisante quand, à la vente au consommateur, il présente les caractéristiques ci-après:

Schema d'une installation de pasteurisation

Acidité	1,5 à 1,8 g/litre d'acide lactique
---------	------------------------------------

Stabilité à l'ébullition	
Epreuve de phosphatage	negative
Bactéries aérobies mésophiles à 30°C	moins de 30 000/ml
Bactéries coliformes	moins de 10/ml
<i>Escherichia coli</i>	absence dans 1 ml
Antibiotiques et inhibiteurs	absence

Le lait pasteurisé destiné à être vendu en vrac, à la sortie du pasteurisateur, doit présenter les mêmes caractéristiques. Ensuite, il subit généralement, au cours de la distribution, des recontaminations qui lui font perdre les avantages du traitement thermique, et doit être bouilli avant d'être consommé.

On considère qu'un lait pasteurisé conditionné a une durée de conservation d'environ 8 jours, maintenu à la température de +4°C à +6°C. Toutefois, cette durée ne peut être atteinte que dans la mesure où :

- le lait cru n'était pas trop chargé en micro-organismes, notamment en thermorésistants psychrotrophes;

- le lait a subi effectivement en temps et en température le traitement thermique nécessaire;
- le lait n'est pas recontaminé au cours du refroidissement et des opérations diverses intervenant au cours du conditionnement.

Stérilisation

Elle a pour objectif la destruction totale des micro-organismes (y compris les spores), ainsi que des enzymes et des toxines. En fait, la destruction des germes dans les conditions de température et de durée appliquées de façon à altérer le moins possible le lait et notamment ses qualités organoleptiques risque de ne pas être absolue. Des micro-organismes vivants ou revivifiables peuvent subsister. Pour cette raison, le traitement de stérilisation vise, en pratique, à obtenir un produit restant stable au cours d'une longue conservation (de 5 à 6 mois), c'est-à-dire exempt de germes susceptibles de s'y développer et d'y provoquer des altérations. Parmi ces germes seuls les non pathogènes subsistent éventuellement, les plus thermorésistants d'entre eux étant détruits pour des combinaisons temps/température très inférieures. Dans le cas des spores, la plus résistante d'entre elles (celle de *Clostridium botulinum*, d'ailleurs très rare dans le lait), en admettant qu'elle ne soit pas tuée, ne trouverait pas dans le lait stérilisé des conditions permettant sa croissance. Ainsi, les risques de non-stérilité n'ont de

conséquences éventuelles que sur la conservation du lait. C'est pourquoi la notion de stérilité (c'est-à-dire de stérilité absolue) est remplacée par celle de stérilité commerciale. Bien entendu, cette stérilité n'est maintenue que si le lait est conditionné en récipients hermétiquement clos (récipients en verre, en métal, en matière plastique, en carton).

Le lait destiné à la stérilisation doit être de bonne qualité: peu chargé en micro-organismes et en enzymes thermorésistantes et stable à la chaleur. La stabilité au cours du chauffage varie avec les espèces (le lait de vache est plus stable que celui de chèvre ou de brebis) et avec les races.

Dans la plupart des méthodes modernes de stérilisation, il est recommandé de faire précéder ce traitement proprement dit d'une pasteurisation ou, mieux, d'un chauffage à haute température ou prèstérilisation. Cette pratique a un double but:

- élimination d'une part importante des micro-organismes afin de procéder à la stérilisation dans des conditions thermiques moins sévères et de limiter ainsi les modifications du lait;
- amélioration de la stabilité du lait par formation d'un complexe caséine k/13-lactoglobuline et abaissement du pH au maximum de stabilité.

Une bonne méthode de pasteurisation consiste en un chauffage du lait en flux continu dans un appareil UHT à 130-140 °C pendant 3 à 4 secondes. Il est ensuite refroidi vers 70-80 °C, homogénéisé puis envoyé à la stérilisation.

L'homogénéisation, indispensable avant la stérilisation des laits complets ou partiellement crèmes, consiste à projeter du lait à 70 °C environ sous forte pression (de 1 à 350 atmosphères) dans une tubulure obstruée par un clapet conique maintenu sur son siège par un ressort dont la tension est réglable. Pour s'écouler, le lait doit vaincre la résistance opposée par le clapet. Sous l'action du choc contre le clapet, du laminage entre celui-ci et son siège, et de la détente brutale du lait, il se produit un éclatement des globules et une stabilisation de l'émulsion de matière grasse. On distingue deux procédés de stérilisation:

- la méthode classique, qui consiste à stériliser le lait préalablement conditionné en récipients hermétiquement clos;
- la stérilisation en vrac ou en flux continu, suivie du conditionnement aseptique du lait.

Stérilisation en récipients clos

Méthode discontinue. Un premier procédé le plus simple, consiste à soumettre le

lait préalablement mis en bouteilles hermétiquement bouchées et un chauffage de la vapeur, en autoclave, à 120 °C pendant une vingtaine de minutes. La montée et la descente en température sont progressives et lentes. Le goût et la couleur du lait sont altérés, sa teneur en vitamines hydrosolubles est diminuée. Lorsque le lait est fortement contaminé en spores bactériennes, sa stabilité n'est pas assurée.

La méthode est améliorée par l'emploi d'autoclaves rotatifs ou de paniers agités, ce qui accélère les échanges thermiques et permet l'application d'un traitement un peu moins sévère et ainsi de limiter les modifications des propriétés organoleptiques.

Malgré ces améliorations, les appareils fonctionnant de façon discontinue ont l'inconvénient de nécessiter une durée totale de traitement longue due à la lenteur de la montée en température et du refroidissement, ce qui, de plus, est défavorable à la qualité organoleptique du lait. Néanmoins, ils rendent de bons services pour de petites quantités de lait.

Méthode continue. Elle est utilisée lorsque les quantités de lait sont importantes. Les bouteilles sont rapidement portées à la température souhaitée. Dans le cas des bouteilles en verre ou des boîtes en métal, on utilise généralement l'appareil à pression d'eau ou stérilisateur hydrostatique. Celui-ci est constitué de trois

colonnes verticales: une colonne ou chambre de stérilisation sous pression de vapeur reliée à l'atmosphère par deux colonnes d'eau symétriques faisant équilibre la pression qui règne dans la chambre.

Les récipients sont introduits de façon continue dans des supports solidaires d'un transporteur chaîne parcourant les trois colonnes. Certains appareils permettent leur agitation permanente. Ils passent dans la première colonne qui sert de réchauffeur; le lait y est amené de la température ambiante environ 100 °C. Ils entrent ensuite dans la seconde, ou stérilisateur, où le lait est porté à une température comprise entre 110 et 120 °C selon la technique utilisée. Ils vont ensuite dans la troisième colonne où ils sont refroidis.

Le choix de la combinaison temps/température de stérilisation se fait entre deux techniques. L'une consiste en un chauffage pendant 40 minutes à 110 °C; l'autre, pendant 20 minutes à 115-120 °C. Dans tous les cas, il est recommandé de pasteuriser le lait à 135-140 °C pendant 3 à 4 secondes.

Lorsque l'on utilise des bouteilles en matière plastique, on utilise généralement des appareils à surpression pneumohydrostatique qui évitent la déformation des récipients. Le lait peut atteindre une température de 127 à 130 °C.

Stérilisation en vrac ou en flux continu. Les procédés précédents ont l'avantage d'être relativement simples, y compris sur le plan mécanique. Cependant, ils nécessitent un chauffage long qui provoque des modifications, notamment du goût et de la couleur. En cherchant à les réduire, on risque alors des altérations d'origine microbienne et enzymatique.

Par contre, en chauffant le lait à température élevée (135-150 °C) pendant un temps très court (de 1 à 5 secondes), on assure la destruction des microorganismes et des enzymes sans endommager ses propriétés organoleptiques et biochimiques. Ce procédé n'est possible qu'en flux continu. Il s'est généralisé sous le nom de traitement Ultra-Haute Température ou UHT. Dans la préparation des laits liquides de consommation, il est utilisé :

- soit en pasteurisation, comme vu précédemment;
- soit plus généralement en stérilisation, lorsque celle-ci est suivie d'un conditionnement aseptique et seulement dans ce cas. Il est en effet pratiquement impossible de maintenir la stérilité d'un lait conditionné selon les méthodes utilisées pour le lait pasteurisé, car, au cours des manipulations de remplissage, même en travaillant très proprement, on récupère toujours quelques germes.

Les procédés UHT mettent en œuvre :

- soit le chauffage indirect dans des échangeurs tubulaires ou plaques,
- soit le chauffage direct par contact du lait et de vapeur d'eau sous pression.

Le chauffage indirect se fait dans des échangeurs comparables à ceux utilisés pour la pasteurisation, mais adaptés aux conditions du traitement. Les appareils doivent être particulièrement bien étudiés et réalisés en ce qui concerne, notamment, l'écoulement du lait, le transfert de la chaleur et l'homogénéité du chauffage. La température de chauffage est généralement limitée à 145 °C pendant 3 à 4 secondes.

Le chauffage direct se fait par mélange intime de lait et de vapeur, ce qui assure une élévation quasi instantanée de la température du lait vers 140-150 °C et le maintien de celle-ci pendant environ 2 secondes. Une partie de la vapeur se condense dans le lait, ce qui le dilue (d'environ 10 pour cent). Il est donc nécessaire de faire suivre le chauffage d'une évaporation permettant de ramener la matière sèche du lait à sa teneur initiale.

Le chauffage direct peut être réalisé selon deux procédés :

- soit par injection de vapeur dans le lait;
- soit par pulvérisation du lait dans la vapeur.

Les procédés UHT ne se justifient que pour de grosses quantités de lait. La conservation du lait UHT conditionné aseptiquement est en principe de 6 mois à température ambiante (20 °C). Dans les régions chaudes, elle est plus limitée; à 30 °C elle ne peut guère dépasser trois mois.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Laits de conserve

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Leur fabrication permet de conserver le lait sous un volume réduit et d'en faciliter ainsi le report et l'usage dans le temps et dans l'espace. Ils sont obtenus par chauffage et dessiccation. Un simple apport d'eau permet de reconstituer le lait liquide initial.

On distingue deux catégories de produits:

- les laits concentrés obtenus par dessiccation partielle;

- les laits en poudre obtenus par dessiccation plus poussés.

Laits concentrés

Lait concentré ordinaire. Il est obtenu à partir de lait entier ou de lait crémé. Après concentration et homogénéisation, il est conditionné en boîtes métalliques et stérilisé à l'autoclave. Selon la norme n° A-3 (1971) du Code des principes FAO/OMS, le lait concentré a une teneur minimum en matière grasse laitière de 7,5 pour cent m/m et une teneur minimum en extraits secs laitiers de 25 pour cent m/m, Le lait crémé concentré a une teneur minimum en extraits secs laitiers de 20 pour cent m/m.

Lait concentré sucré. Il est obtenu à partir de lait entier ou crémé et auquel des sucres sont ajoutés qui assurent la conservation du produit sous stérilisation. Selon la norme n° A-4 (1971) FAO/OMS, le lait concentré sucré a une teneur minimum en matière grasse laitière de X pour cent m/m et en extraits secs laitiers de 28 pour cent. Le lait crémé concentré sucré a une teneur minimum en extraits secs laitiers de 24 pour cent m/m.

Le chauffage et la concentration peuvent, faute de précautions particulières au cours de la fabrication, provoquer une instabilité des laits concentrés lors de leur

conservation: épaissement, gélification, etc. Ces traitements provoquent notamment une modification de l'équilibre entre les sels insolubles et ceux de l'état dissous et un accroissement de l'instabilité des micelles de phosphocaseinate de calcium. Pour cette raison, on a recours à l'emploi de sels stabilisants (sels de sodium, de potassium et de calcium, des acides chlorhydrique, citrique, carbonique, orthophosphorique et polyphosphorique à la dose maximum exprimée en substance anhydre, de 2 g/kg s'ils sont utilisés seuls et de 3 g/kg s'ils sont utilisés en mélange).

Le chauffage à haute température (supérieure à 100 °C), outre son action favorable sur la destruction des micro-organismes et des enzymes, a également un effet stabilisant mis à profit dans la plupart des condensez.

Afin d'éviter un barattage de la matière grasse on effectue une homogénéisation du lait. Des précautions particulières au cours du refroidissement du lait concentré doivent être prises pour éviter la formation de cristaux d'α-lactose supérieurs à 0,01 mm qui provoquent une texture sableuse.

Dans le cas des laits concentrés sucrés dont la conservation est assurée non par la stérilisation mais par une quantité suffisante de sucre (saccharose) qui, créant dans le milieu une pression osmotique élevée, empêche le développement des micro-organismes, il faut particulièrement lutter contre la présence de micro-organismes

osmophiles, savoir:

- les levures, qui en assurant la fermentation du lactose produisent des gaz qui provoquent un bombement des boîtes;
- les staphylocoques, dont certains peuvent former des entérotoxines.

Le lait mis en œuvre doit être d'excellente qualité microbiologique, non acide et ne pas flocculer lorsqu'il est soumis à ébullition en présence de phosphate monopotassique 5 M. Il est ensuite filtré ou centrifugé de façon à éliminer les impuretés physiques, standardisé puis préchauffé à haute température (105-130 °C pendant quelques secondes).

Méthode de fabrication La concentration est effectuée généralement par évaporation thermique sous vide. Elle consiste en un transfert de matière et en un transfert de chaleur. Le transfert de matière est le passage de l'eau du lait à l'état de vapeur laissant un liquide résiduel plus concentré. Le transfert de chaleur concerne, d'une part, la chaleur sensible pour le chauffage du lait à concentrer et le refroidissement de celui-ci après concentration ainsi que celui de la vapeur condensée et, d'autre part, la chaleur latente pour l'évaporation et la condensation de l'eau. Ce dernier transfert de chaleur est obtenu par la vapeur de chauffage de l'évaporateur.

La concentration se fait par **ébullition** dans des **évaporateurs** ou **vacuums**, sous **vide partiel**, de façon à **diminuer la température d'ébullition**. Il s'agit d'appareils fonctionnant en continu et en multiple effet, c'est-à-dire comprenant plusieurs évaporateurs auxquels on a apporté de nombreuses améliorations visant à **réduire les dépenses d'énergie**. L'osmose inverse peut être utilisée pour **préconcentrer le lait**.

Dans le cas du lait concentré sucré, on utilise du saccharose pur, exempt de sucre inverti. Le sucrage du lait se fait avant concentration par addition d'un sirop stérile à 70 pour cent de sucre. La quantité de sucre utilisée pour 100 litres de lait est d'environ 17 kg. La composition des laits concentrés est variable. Les exemples donnés au tableau 45 correspondent à des qualités couramment rencontrées. Les installations de concentration nécessitent un équipement important, complexe et un personnel très qualifié.

TABLEAU 45 Composition des laits concentrés (g/100 g)

Composants	Lait concentré		Lait concentré sucré
	Entier	Crème	
Eau	66	69-70	26

Matière grasse	10	0.5	9
Matières azotées	9	12	9
Lactose	13	16	12
Matières minérales	2	3	2
Saccharose	-	-	41
Extrait de graisses	24	31	23
Matière sèche totale	34	31.5	73

Laits en poudre

Constituent essentiellement de matière sèche de lait et d'une très faible quantité d'eau (de 2 à 4 pour cent) ils ont l'avantage de pouvoir:

- se stocker et se transporter aisément;
- s'utiliser après reconstitution pour la préparation de nombreux produits: laits liquides de consommation, laits fermentés, fromages.

Aux termes de la norme n° A5 (1971) du Code des principes, on distingue trois catégories de lait en poudre, dont la composition est donnée au tableau 46. Selon cette norme, ils peuvent faire l'objet, dans certaines conditions, d'additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants).

Les qualités d'une bonne poudre de lait sont les suivantes:

- aptitude à la reconstitution de façon à obtenir facilement un liquide homogène, exempt de particules macroscopiques. Elle est sous la dépendance des propriétés de mouillabilité, de dispersibilité et de solubilité;
- absence de saveurs anormales (goût de cuit, de brûlé, de rance, etc.);
- absence de germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques), de toxines et de micro-organismes capables de nuire à sa conservation ou à son utilisation;

TABLEAU 46 Composition des laits en poudre (% m/m)

Composants	Lait entier	Lait partiellement crémé	Lait crémé
Matière grasse laitière:			

Minimum	26	>1,5	
Maximum	<40	<26	1,5
Eau maximum	5	5	5

- absence de substances anormales (antibiotiques) et de résidus divers provenant des conditions de production, de récolte et de conservation du lait initial;
- absence de modifications de la structure et de la composition physicochimique pouvant nuire à sa valeur nutritionnelle et à ses aptitudes technologiques.

Ces qualités dépendent de la qualité du lait cru mis en œuvre, du traitement thermique du lait, de la méthode de concentration et de séchage et des conditions de stockage.

Plusieurs méthodes permettent de classer les poudres de lait. L'une des plus courantes est l'indice des protéines solubles, le plus souvent désigné par les initiales anglaises WPNI. Elle est fondée sur la quantité de protéines de lactosérum non dénaturées et restées à l'état soluble après traitement thermique. Cette quantité est exprimée en milligrammes d'azote par gramme de poudre. Plus l'indice des protéines est élevé, plus faible a été la dénaturation, ce qui indique un traitement thermique du lait limité rendu possible par sa bonne qualité microbiologique. On distingue ainsi quatre catégories de poudres:

- **poudres /on heat avec WPNI égal ou supérieur 6. Le traitement thermique du lait est rest faible (pasteurisation température inférieure X0 C). Il s'agit des poudres de la meilleure qualité convenant aussi bien la préparation du lait de consommation que de celui destiné la fromagerie;**
- **poudres médium heat avec WPNI compris entre 4,5 et 5,9;**
- **poudres medium-high heat avec WPNI compris entre 4,4 et 1,5;**
- **poudres high - heat avec WPNI inférieur 1,5.**

Méthode de fabrication. Après les traitements d'épuration, de standardisation, de pasteurisation ou de préchauffage haute température, on procède en deux étapes principales: la concentration et le séchage.

Concentration. Comme dans le cas du lait concentré, la concentration se fait par évaporation. L'ébullition se fait sur une surface chaude. Pour des raisons de qualité, on cherche à limiter la température du lait et à réduire son temps de séjour, d'où le traitement sous vide et en film mince.

Pour des raisons énergétiques, on utilise l'effet multiple, la compression mécanique des vapeurs et le préchauffage du liquide. Il est ainsi possible d'évaporer plusieurs kg d'eau avec l'énergie de vaporisation de 1 kg d'eau, alors que le séchage demande l'énergie de plus de 1 kg de vapeur pour sécher 1 kg d'eau. Il y a donc intérêt à

concentrer au maximum avant de procéder au séchage.

Séchage. Il existe deux procédés principaux: le séchage sur cylindre, ou procédé Hatmaker, et le séchage par pulvérisation.

Dans le procédé Hatmaker, le lait ruisselle sur la surface de deux cylindres tournant en sens inverse chauffés intérieurement vers 140 °C à l'aide de vapeur. Il se forme un film de lait qui sèche très rapidement formant une croûte détachée par un racleur. Le chauffage brutal entraîne des modifications de la structure physico-chimique du produit. Les conséquences sont notamment la faible solubilité, le goût de cuit et le brunissement de la poudre. Celle-ci a néanmoins des usages industriels et dans l'alimentation du bétail.

Le procédé par pulvérisation (procédé spray ou par atomisation) (figure 1 1) est le procédé le plus employé dont il existe diverses variantes. Le lait concentré est finement pulvérisé à l'aide d'une turbine dans un courant d'air chaud (vers 150 °C) à l'intérieur d'une tour de séchage. Le séchage se fait par entraînement, l'air chaud servant de vecteur de chaleur et d'humidité. L'évaporation de l'eau se fait par diffusion instantanée, ce qui provoque le refroidissement (vers 90 °C) de la poudre et de l'air.

FIGURE 1 1 Schéma d'une installation de séchage du lait par le procédé spray (Niro)

Afin d'améliorer l'aptitude des laits en poudre obtenus par pulvérisation la reconstitution en eau chaude ou en eau froide, on fait subir la poudre un traitement dit d'instantanéisation qui consiste à provoquer la formation d'agglomérats poreux en jouant sur la thermoplasticité des grains de poudre. Ce traitement se fait par humidification de la poudre au moyen d'air humide ou de vapeur. Elle est ensuite séchée, puis les particules sont standardisées selon leur densité. La poudre ainsi obtenue présente des particules dont le diamètre moyen est augmenté (il est supérieur à 100 microns), une densité réduite d'environ moitié (pour un volume de 100 litres, sa densité en vrac est de 35 à 40 g contre 65 à 75 g primitivement) et une perte d'hygroscopicité.

Reconstitution recombinaison du lait. On distingue généralement:

la reconstitution, qui consiste à mélanger de l'eau et du lait en poudre crémé afin d'obtenir un produit dont la teneur en matière sèche est voisine de celle du lait liquide initial (ou conforme à un rapport eau/ matière sèche donné). La reconstitution peut aussi être la dilution d'une poudre de lait grasse dans de l'eau;

la recombinaison, qui consiste à ajouter l'eau et la poudre de lait de la matière

grasse laitière anhydre, de façon à obtenir un lait entier ou partiellement écrémé présentant la fois les rapports eau/matière sèche totale et matière grasse/matière sèche désirés conformes au produit désiré.

Bien entendu, ces laits peuvent être mélangés avec du lait frais. Reconstitution et recombinaison sont très largement pratiquées dans les pays à faible production laitière, notamment dans ceux en développement, en vue de préparer des laits de consommation, des laits fermentés, du fromage, de la crème, ou d'autres produits laitiers.

Matières premières. La qualité du lait reconstitué ou recombinaison est fonction de celle des matières premières mises en œuvre.

Eau. Elle doit être potable et notamment répondre aux standards fixés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Sur le plan microbiologique, elle ne doit contenir aucun germe pathogène. Leur recherche nécessitant des techniques spéciales, on choisit comme indicateurs de pollution des germes de contamination fécale qui sont plus faciles à identifier, à dénombrer et plus communs (bactéries coliformes, dont E. coli, streptocoques fécaux, Clostridium sulfitoréducteurs).

Si l'eau n'est pas potable de façon permanente, il est indispensable de la traiter,

notamment par la pasteurisation ou la chloration. Sur le plan physicochimique, elle ne doit contenir ni pesticides, ni nitrates, avoir une dureté totale comprise entre 0 et 15 et un pH voisin de la neutralité.

Lait en poudre. Il doit être de qualité pour consommation humaine et présenter les spécifications ci-après:

Indice WPNI minimum	4 mg/g
Humidité maximum	4 pour cent
Matière grasse maximum	1,25 pour cent
Acidité titrable maximum (méthode ADMI)	0,10 à 0,15 pour cent
Solubilité maximum (ADMI)	1,25 ml
Impureté (particules brisées) (ADMI)	disque B ou mieux
Germes aérobie mesophiles à 30 °C maximum dans 1 g	10 000
Bactéries coliformes maximum dans 0,1 g	absence

Levures et moisissures maximum dans 1 g Absence d'odeur et de goût d'agréables ou anormaux.	50
Matières grasses. On utilise généralement de la matière grasse laitière anhydre (MGLA). Elle doit répondre la composition ci-après:	
Matière grasse minimum	99,8 pour cent
Humidité maximum	0,1 pour cent
Acides gras libres maximum (en acide oléique)	0,3 pour cent
Cuivre maximum	0,05 ppm
Fer maximum	0,2 ppm
Indice de peroxyde maximum	0,2
Neutralisants	absence
Bactéries coliformes dans 1 g	absence
Odeur et goût (à 20-25 °C)	doux et francs, sans anomalies.

Méthodes de reconstitution et de recombinaison. Elles sont relativement simples et

satisfaisantes dans la mesure où l'on tient compte d'un certain nombre de précautions.

La température de reconstitution varie entre 35 et 45 °C. On verse la poudre dans l'eau contenue dans une cuve ou, mieux, dans un tank tout en agitant assez énergiquement pendant 20 à 30 minutes. Afin de permettre une bonne hydratation de la poudre, il faut maintenir le mélange sous agitation à la température de 5 à 10 °C pendant 5 à 12 heures.

Au cours de l'opération, il est nécessaire d'éviter l'introduction d'air dans le mélange. Il est préférable d'utiliser les dispositifs de mélange comportant une pompe de recirculation avec apport de la poudre par une trémie située avant la pompe plutôt que ceux comportant la simple agitation mécanique en tank ou en cuve. Un système de filtration ou de nettoyage centrifuge peut être utile pour éliminer les particules résiduelles.

On procède ensuite à la pasteurisation à la température de 74 °C pendant 15 à 20 secondes pour le lait. S'il s'agit de mélanges à teneurs en matières sèches plus élevées, la température doit être augmentée (80-85 °C pendant 20 à 25 secondes). La pasteurisation peut être suivie d'un dégazage permettant l'élimination de saveurs anormales de certaines poudres (saveur de vieux).

Dans le cas de la préparation du lait reconstitué l'apport de matière grasse se fait:

- soit directement dans le lait reconstitué (crème) après fluidification de la MGLA par chauffage vers 38-42 °C. Le mélange est ensuite agité à la température de 55 à 65 °C puis homogénéisé sous une pression d'environ 250 bars;
- soit sous forme d'une crème à 20-30 pour cent de matière grasse obtenue par mélange de lait crème et de MGLA chauffé à 55-65 °C et homogénéisé dans un appareil à deux étages, le premier opérant à 200 bars environ et le second à 50 bars. Cette crème est ensuite mélangée énergiquement avec le lait reconstitué crème préalablement préparé.

Ces laits sont ensuite pasteurisés ou éventuellement stérilisés. Au cours de la reconstitution du lait, il est indispensable d'éviter la dissémination des poudres dans la salle de traitement et d'y maintenir d'excellentes conditions d'hygiène.

Laits spéciaux

Laits infantiles. C'est par touches successives que l'on a cherché à rapprocher la composition du lait de vache de celle du lait de femme. On a commencé par corriger les écarts les plus importants et les plus faciles à identifier. On y parvenait par

dilution du lait aux deux tiers environ avec de l'eau et par sucrage par apport de 5 pour cent de saccharose ou par apport de malto-dextrines, voire en ajoutant un peu de crème. Pour pallier la difficulté de digestion des matières grasses chez le nourrisson (de 2 à 3 mois), on produit du lait partiellement écrémé dès lors présentant un déséquilibre calorique. Se rendant compte aussi que la caséine du lait de vache coagulait dans l'estomac sous forme de gros caillots, on a procédé à sa précipitation préalable sous forme fine à l'aide d'une acidification contrôlée par ajout d'acide lactique ou par culture de ferment lactique. L'apport de jus de citron et de farines donne aussi des résultats.

L'effort de préparation des laits se rapprochant le plus possible du lait de femme pris comme modèle se poursuit grâce à une connaissance toujours accrue de la composition et de la structure physico-chimique des laits et grâce à des études cliniques plus fines. Ainsi, on a constaté la nécessité d'enrichir le lait en acides gras insaturés, notamment en acide oléique. Cet apport se fait facilement à l'aide de graisses végétales (maïs, tournesol, etc.). On peut même affiner davantage la composition lipidique par l'apport de mélanges de graisses ou de certaines fractions d'entre elles. Toutefois, ces graisses végétales réduisent la teneur du lait en cholestérol et en d'autres constituants mineurs.

Le lait de vache a une teneur excessive en protéines, notamment en caséine, et

insuffisante en azote non protéique. En outre, il contient moins de cystine que celui de femme, mais davantage de lysine, de méthionine, de phénylalanine et de tyrosine. De plus, les séquences d'acides aminés sont différentes. Des écarts très importants apparaissent aussi dans les teneurs en protéines solubles: l'albumine est présente en raison respectivement de 1,5 g/litre et de 2,6 g/litre dans le lait de vache et le lait de femme, la α -lactoglobuline est présente dans le lait de vache (2,7 g/litre) et absente dans le lait de femme. Il en est de même pour d'autres petits constituants dont l'intérêt biologique ne saurait être négligé: immunoglobulines, nucléotides, etc.

La complexité de la composition protéique du lait de femme rend très difficile sa reconstitution à partir de celui de vache (ou d'autres espèces). Le problème des glucides est apparemment plus aisé, encore que 15 pour cent environ des sucres du lait de femme soient constitués d'oligosides complexes alors que le lait de vache contient seulement du lactose. Le rééquilibrage se fait par l'apport de saccharose ou de malto-dextrines.

Les sels minéraux du lait de vache sont en quantités de trois à cinq fois supérieures à ceux du lait de femme. Diverses techniques permettent de rétablir une composition normale. En ce qui concerne les vitamines, il y a quelques différences entre les laits, mais il est assez facile de les corriger si nécessaire.

Les divers constituants du lait infantile, qu'ils soient d'origine laitière ou non, sont mélangés en proportion voulue en phase liquide (eau, lait, lactosérum, crème) puis homogénéisés. Le produit est ensuite séché comme le lait en poudre par le procédé spray ou par d'autres techniques (séchage sur plateau, etc.).

Laits de régime et laits médicamenteux. Ce sont des produits destinés à l'alimentation de nourrissons, enfants ou adultes atteints de troubles métaboliques et nutritionnels. Il en existe un très grand nombre faits à base de lait de vache auquel on a fait subir certaines modifications. Celles-ci portent notamment sur les fractions protéiques, les éléments minéraux et le sucre de lait.

Dans le cas d'intolérances graves des protéines de lait de vache chez les nourrissons, on remplace celles-ci par des protéines végétales (par exemple, soja). On peut aussi soumettre à une hydrolyse enzymatique les protéines ou seulement les protéines de lactosérum, afin qu'il ne reste plus de protéines intactes. Dans le cas d'intolérance spécifique à un acide aminé, on prépare un lait dépourvu de celui-ci.

Dans les régimes hyposodés, on réduit la teneur du lait en sodium avec généralement augmentation de celle en potassium. On connaît aussi les laits sans calcium utilisés dans le cas d'hypercalcémie.

En cas d'intolérance au lactose, on propose des laits sans lactose et autres dérivés (galactose). Il existe aussi des laits dont le lactose a été hydrolysé par voie enzymatique. On peut citer aussi les laits de composition lipidique remaniés employés chez des individus atteints de diarrhée.

Laits vitaminés. Certains laits en poudre (ou liquides) sont enrichis en vitamines, notamment A et D3, généralement après pasteurisation et dans certaines limites. Cette supplémentation doit être soigneusement contrôlée de façon à éviter une hypervitaminose ou, au contraire, une inutilité du traitement.

Depuis 1984, le lait écrémé en poudre livré par le Programme alimentaire mondial (PAM) et distribué en l'état aux populations bénéficiaires est de règle enrichi en vitamine A (cette décision a été prise avec l'aval de l'OMS). Par contre, il ne l'est pas dans des projets comme ceux de reconstitution du lait ou de transformation industrielle du lait en fromage ou en yaourt, opération au cours de laquelle la vitamine risque d'être détruite.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

[Home](#)":81/cd.iso" "http://www24.brinkster.com/alexweir/"">

Valeur nutritive des laits de consommation

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)

Les traitements technologiques peuvent modifier la composition du lait et, ce faisant, sa valeur nutritive. Certains changements sont par nature évidents: l'écémage prive le lait de sa matière grasse et des acides gras essentiels et entraîne des pertes élevées en vitamines liposolubles A et E. La perte est partielle dans le lait demi-écrémé. D'autres techniques ont des effets plus insidieux, comme le chauffage ou la conservation (Hermier et Cert, 1987).

En fait, il est difficile de prévoir la teneur en nutriments de laits obtenus par une combinaison de divers procédés technologiques, ainsi que le montre la composition vitaminique de différents types de lait (tableau 47).

Effets des traitements thermiques

Les effets de la température de chauffage multiplient en proportion ceux de la durée et sont visibles surtout sur le constituant protéique du lait, mais peu sur la matière grasse (figure 12).

Dénaturation de la matière azotée

Effets des procédés technologiques La chaleur modifie la configuration spatiale des protéines, sans lésurer la séquence polypeptidique (structure primaire). Cette dénaturation débute des températures de 80 °C, et est partiellement réversible.

TABLEAU 47 Teneurs en vitamines de différents types de lait (par litre)

Vitamines	Lait pasteurisé			Lait UHT			Lait stérilisé	
	Entier	Demi- écrémé	Ecrémé	Entier	Demi- écrémé	Ecrémé	Entier	Demi- écrémé
A (mg)	0,55	0,25	Traces	0,55	0,25	Traces	0,55	Traces
D (µg)	0,30	0,01	Traces	0,30	0,10	Traces	0,30	Traces
C (mg)	8	8	8	1	1	1	0,8	0,8
B ₁ (mg)	0,40	0,35	0,40	0,1	0,39	0,40	0,30	0,31
B ₂ (mg)	1,67	1,83	1,83	1,83	1,85	1,77	1,48	1,48
B ₆ (mg)	0,60	0,61	0,65	0,44	0,49	0,47	0,39	0,41

B ₁₂ (µg)	3,60	3,90	3,80	2	2	2,3	1	0,90
Acide pantothenique (mg)	3,60	3,14	3,20	3,26	3,38	3,28	2,94	3,33
Acide nicotinique (mg)	0.83	0,89	0,89	0,91	0,97	0,98	0,95	1,2
Biotine (mg)	20	21	23	19	19	17	19	21
Folates (µg)	57	58	53	8	19	12	2	3

Source: Renner, 1989.

La caséine résiste aux effets thermiques: elle coagule seulement après un chauffage d'une heure à 125 °C. Des chauffages moins intenses et couramment pratiqués peuvent ouvrir et littéralement déplier l'arrangement spatial des chaînes peptidiques.

Les protéines solubles sont très altérées par la chaleur (figures 12 et 13 et tableau 48). La pasteurisation d'une nature de 10 à 20 pour cent des protéines du lactosérum, le processus UHT direct de 40 à 60 pour cent et le processus indirect de 60 à 80 pour cent. Enfin, la stérilisation classique les dénature, mais pas totalement. La sensibilité à la chaleur va d'augmentant, des immunoglobulines (extrêmement altérables) aux sérum-albumine et α -lactoglobuline, puis à l'alfalactalbumine (la protéine sérique la plus stable). Le degré de dénaturation de la lactoferrine varie avec son taux de saturation en fer. La fraction protéoseptone résiste très fortement à la chaleur.

La qualité des protéines sériques varie donc en fonction du traitement thermique subi, et les laits pasteurisés, UHT et stérilisés ne sont pas équivalents à cet égard.

FIGURE 12 Dénaturation des protéines solubles du lait par la température: effet du degré de chauffage et de la durée d'exposition

Nature des modifications biochimiques. A des températures supérieures à 75 °C, les acides aminés soufrés libèrent des groupements sulfhydryl volatiles qui donnent au lait chauffé son goût cuit très caractéristique, en quantités dépendant de l'intensité du chauffage (elles sont déjà maximales à 90 °C).

A température plus élevée (lait stérilisé), les quantités de ces groupements diminuent. Dans certains laits, de la cystine est ajoutée pour améliorer leur qualité nutritionnelle, notamment dans les laits destinés aux nourrissons. D'autre part, les pertes en composés thermosensibles (acides aminés branchés et histidine) méritent aussi d'être surveillés après un chauffage intense

Les produits laitiers et les aliments lactés pour nourrissons ne contiennent pas de complexes lysine-alanine. La présence de ce composé est un indicateur de dénaturation protéique, également corrélée à la perte de cystine et de sérine.

FIGURE 13 Modulation (en fractions relatives) de la teneur azotée du lait par la température: effet du degré et de la durée chauffage

Interactions entre protéines suite au chauffage. Les réactions de dénaturation protéique du lait peuvent être caractérisées comme suit: les protéines s'aggrègent soit en formant entre elles des ponts disulfites, soit en reliant entre elles les micelles de caséine par l'entremise des protéines solubles dénaturées.

TABLEAU 48 Dénaturation complète par la chaleur des diverses fractions protéiques du lait de vache

Dénaturation

Protéines	Dénaturation	
	Température (°C)	Durée
Immunoglobulines	74	15 secondes
Sérum-albumine	84	15 secondes
β -lactoglobuline	86	15 secondes
α -lactalbumine	100	5 minutes
Caséine	125	>60 minutes

Lorsque la caséine précipite, elle entraîne la fraction des protéines solubles complexes. Cette coprécipitation entraîne non plus seulement 80 pour cent de l'azote protéique total, mais plus de 95 pour cent de la fraction azotée protéique du lactosérum, tandis que la teneur de la phase soluble en azote non protéique (NPN) demeure inchangée. La coprécipitation par la chaleur est avantageuse en fromagerie, puisqu'elle augmente les rendements en favorisant l'incorporation des protéines solubles dénaturées au coagulum constitué par les caséines.

Les laits de chèvre et de brebis présentent des courbes de stabilité à la chaleur semblables à celles du lait de vache. Dans le cas du lait de chèvre, une variation

individuelle considérable du temps de coagulation par la chaleur a été démontrée.

Conséquences nutritionnelles du chauffage des protéines. La digestibilité des protéines dénaturées par la chaleur est supérieure à celle des protéines natives. Les protéines chauffées précipitent dans le milieu acide de l'estomac en particules plus fines et donc plus dispersées. Elles sont ainsi plus accessibles aux enzymes hydrolytiques qui agissent plus facilement sur une protéine ouverte. Le meilleur coefficient d'utilisation digestive des laits pasteurisés et UHT comparés au lait cru est le témoin de cette différence. Le traitement par la chaleur permettrait aussi de neutraliser certains inhibiteurs naturels du lait, des anti-trypsines notamment.

Interactions du composant glucidique.

Réaction de Maillard. A haute température et/ou lors de très longues périodes de stockage, il apparaît dans le lait des aldéhydes, des cétones et des substances réductrices. Elles interagissent avec certains acides aminés, amines et protéines. Cette réaction (dite de Maillard) intervient principalement entre le lactose et la lactoglobuline, mais aussi avec les caséines. Les produits de Maillard peuvent prendre une teinte brune (surtout dans les laits stérilisés et évaporés). L'un de ces produits qui sert d'indicateur est le hydroxyméthylfurfural. Ce composé n'existe pas dans le

lait cru et sa teneur augmente du lait pasteurisé au lait UHT direct et indirect pour être encore plus élevée dans le lait stérilisé. Les produits de la réaction de Maillard donnent au lait une odeur et une saveur agréables.

Les aldéhydes et certains sous-produits présentent une forte affinité pour la lysine et forment, lors de la réaction, des dérivés résistants à l'hydrolyse enzymatique. La lysine piégée dans ces composés n'est plus biodisponible. On peut estimer la perte de lysine 1-2 pour cent dans le lait pasteurisé, 2-4 pour cent dans le lait UHT, 5 pour cent dans le lait bouilli, 5-10 pour cent dans le lait stérilisé et 20 pour cent dans le lait évaporé. Cette réaction se poursuit au cours du stockage du lait et son intensité dépend fortement du degré d'humidité du milieu de conservation, mais aussi de la forme physique du lactose.

En raison de la teneur initiale élevée en lysine, la perte peut être considérée comme négligeable au cours du processus industriel classique (Adrian et Lepen, 1987), et donc les repercussions nutritionnelles pour l'adulte sont le plus souvent faibles. Par contre, chez le nourrisson recevant une alimentation essentiellement lactée, ces modifications doivent être prises en considération (tableau 49).

La plupart des auteurs estiment les produits de la réaction de Maillard inoffensifs pour le fœtus et le nouveau-né, mais certains d'entre eux ont évoqué un risque

néphrotoxique.

Complexes avec les minéraux. Le lactose donne des complexes avec certains hydroxyles et notamment avec l'hydroxyde de calcium. La concentration en calcium, mais surtout en lactose, augmente la solubilité de ce complexe qui demeure dispersible en milieu faiblement alcalin.

TABLEAU 49 Effets d'une perte de 40 pour cent de lysine due au traitement thermique sur la quantité de protéines fournies au nourrisson

Laits	Teneur initiale en protéines	Perte de lysine	Teneur protéines utilisables
	<i>(g/litre)</i>	<i>(g/litre)</i>	<i>(g/litre)</i>
Lait maternel	12	-	12
Lait demi-crémé acidifié	30	12	18
Lait demi-crémé doux	26	11	15

Lait adapté de 1er âge	16	6,4	9,6
------------------------	----	-----	-----

Source: Adrian et Lepen,1987.

De la même manière, l'absorption intestinale (passive) du magnésium, du zinc, du fer réduit et du manganèse se trouve renforcée. Ces propriétés du lactose sur la biodisponibilité des minéraux s'estompent lorsque le chauffage du lactose est poussé fort loin.

Impact sur les constituants lipidiques. Le chauffage ne semble pas modifier la qualité des graisses quand la technique appliquée au lait est la pasteurisation courte, instantanée, la stérilisation ou le processus UHT. Lors du chauffage du lait, les acides cétoniques et hydroxylés naturels sont convertis respectivement en méthylcétones et en lactones, qui modifient les propriétés organoleptiques du lait. Tous les laits chauffés contiennent de tels dérivés carboxydes, mais à des degrés divers et parfois en quantités insuffisantes pour altérer sensiblement le goût et l'arôme, le lait UHT en contenant plus qu'un lait pasteurisé.

La pasteurisation n'altère pas les graisses polyinsaturées et donc les acides gras essentiels; l'acide linoléique est stable à haute température et sa décomposition ne survient qu'après un chauffage d'une heure à 180 °C. Par contre, les laits

stérilisés et UHT subiraient au cours du traitement thermique une réduction légère de leur teneur en acides gras essentiels.

TABLEAU 50 Effets de divers traitements thermiques sur la perte vitaminique

Procédés	Perles (%)				
	Thiamine	Pyridoxine	Cobalamine	Acide folique	Acide ascorbique
Pasteurisation	1 0	0-8	1 0	1 0	1 0-25
UHT	0-20	1 0	5-20	5-20	5-30
Ebullition	1 0-20	1 0	20	1 5	1 5-30
Stérilisation	20-50	20-50	20-100	30-50	3-100

Source: Renner, 1989.

Impact du traitement thermique sur les minéraux. Le chauffage du lait diminue la fraction de calcium et de phosphore solubles, mais a des conséquences limitées pour l'être humain en raison des quantités initiales très élevées de ces minéraux. Le fluor ionisé diminue également sous l'effet de la chaleur.

Effet de la chaleur sur les vitamines. Seuls la thiamine, la cyano cobalamine et l'acide ascorbique sont réellement très thermosensibles. La pyridoxine et les folates subissent aussi l'effet de la chaleur (tableau 50). Les autres vitamines sont peu ou ne sont même pas détruites lorsque l'exposition à la chaleur survient à l'abri de l'air (oxygène) et de la lumière.

Les techniques actuelles de pasteurisation et UHT ne modifient que peu la teneur vitaminique du lait (<20 pour cent), pour autant que les procédés soient correctement appliqués (sans exposition prolongée à haute température). Le même principe vaut lors du processus de séchage par pulvérisation.

Les techniques anciennes (stérilisation en bouteille ou concentration sans addition de sucre) et le séchage sur cylindre entraînent des pertes considérables de folates, de thiamine et de vitamine B 12 ainsi qu'une nonbiodisponibilité de la vitamine B6. L'ébullition domestique (souvent à haute température et prolongée) diminue fortement la valeur vitaminique du lait (tableau 50). Cette baisse de valeur nutritive est d'autant plus importante que le lait (crème) est mal conservé. La destruction des vitamines se poursuit lors du stockage, surtout en ambiance humide.

La perte de vitamine C est plus imputable à l'oxydation qu'à l'exposition à la chaleur. La forme d-hydroascorbique est nettement plus sensible à la chaleur que

l'acide ascorbique lui-même. La destruction des vitamines peut être réduite par dégazage du lait, c'est-à-dire en diminuant fortement la teneur en oxygène ambiant.

***Effet du traitement thermique sur les enzymes.* Les enzymes endogènes (phosphatases alcalines, peroxydase) sont très thermosensibles. Leur disparition sert d'indice d'efficacité de la méthode thermique appliquée: la xanthine-oxydase n'est détruite qu'à des températures supérieures à 85 °C et les phosphatases acides supportent la pasteurisation, mais pas le traitement UHT (figure 14). En établissant le profil enzymatique d'un lait, on peut ainsi établir le traitement qu'il a subi et donc son origine.**

Les souches de Pseudomonas psychrotrophe produisent des lipases et des protéases thermostables. Le chauffage long à des températures élevées nécessaire à la destruction de ces enzymes exogènes, abîme aussi le lait. Leur persistance favorise l'apparition dans le lait (UHT) d'acides gras, cause d'acidité et de rancissement.

Un chauffage préalable et modéré du lait (1 heure à 55 °C pour les protéinases, 10 secondes à 74 °C pour les lipases) permet de se débarrasser, en partie au moins, de ces enzymes gênantes.

Chauffage des laits destinés à l'alimentation infantile. Des nourrissons alimentés au lait humain, cru, pasteurisé ou bouilli ne se développent pas de la même façon. Les retentions azotée, calcique, phosphorée et sodique sont comparables, mais les prises pondérales diffèrent: le gain de poids d'un nouveau-né recevant du lait de femme chauffé est d'un tiers plus bas en raison notamment de l'inactivation par la chaleur des lipases naturelles du lait humain. D'autres modifications entrent très vraisemblablement en ligne de compte (voir chapitre 1).

Les aliments lactés pour nourrissons sont fabriqués avec du lait de vache qui a été au préalable chauffé. De tous les traitements thermiques, c'est le processus UHT qui abîme le moins le lait tout en lui conférant des propriétés alimentaires et nutritives satisfaisantes et des qualités d'hygiène suffisantes.

[FIGURE 14 Inactivation des enzymes du lait selon l'intensité du chauffage](#)

La stérilisation est ce dernier regard supérieure, mais détériore trop les caractéristiques nutritionnelles de la matière première. En conséquence, un lait stérilisé ne devrait pas être utilisé pour préparer des produits diététiques spécialement destinés aux nourrissons (tableau 51).

TABLEAU 51 Effets de divers traitements thermiques sur la qualité du lait

Procédés	Effets sur la qualité du lait
Pasteurisation basse et stérilisation UHT	Pas de modification nutritionnelle ou organoleptique
Stérilisation classique	Apparition du goût cuit
	Brunissement du lait
	Pertes notables de thiamine
	Pertes élevées de vitamine B12
Ebullition domestique	Destruction de la vitamine C
	Diminution de la digestibilité
	(modification des protéines solubles)
Pasteurisation haute, non à l'abri de l'air	Altération de l'équilibre minéral
	Dégagement de CO ₂

Homogénéisation

L'homogénéisation a pour but de réduire la dimension des globules gras de 3 à 6 µm environ et d'augmenter les surfaces d'échange avec le milieu environnant. Elle provoque la formation de complexes lipides-protéines.

Ces modifications présentent un intérêt nutritionnel: les globules gras offrent davantage de sites d'action des lipases et la digestion est facilitée, notamment chez le nourrisson prématuré. La digestion protéique est aussi améliorée: l'acidification gastrique permet d'obtenir un caillé plus doux et plus finement dispersé.

Condensation

L'évaporation se faisant sous basse pression, des températures peu élevées (55-65 °C) c'est-à-dire moins délétères pour le composant nutritionnel, suffisent à réduire l'eau du lait.

Le préchauffage (100-120 °C pendant 1 à 3 minutes) stabilise les protéines et l'homogénéisation disperse les globules gras, empêchant la coagulation des premières et la coalescence des seconds lors de la stérilisation ultérieure éventuelle.

TABLEAU 52 Teneurs en minéraux des laits concentrés comparés au lait entier pasteurisé (mg/100 g)

Minéraux	Lait entier			Lait crémés secs
	Pasteurisé	Evaporé	Condensé	
Calcium	110	292	286	1280
Magnésium	11	31	29	127
Sodium	58	1 88	132	555
Potassium	126	354	389	1 588
Phosphore	90	253	233	968
Fer	0,04	0,26	0,23	0,27
Zinc	0,36	0,95	1,03	0,27
Cuivre	<0,01	0,02	<0,01	<0,01

La fabrication du lait concentré sucré n'exige justement pas le passage par une stérilisation puisque le sucre ajouté sert de conservant. De ce fait, les

déteriorations d'ordre nutritionnel sont évitées. Par contre, le procédé implique un bon contrôle de la cristallisation du lactose (procédé de refroidissement après évaporation) qui favorise, en présence d'eau, la réaction de Maillard (voir plus haut). La réaction du blocage de la lysine dépend donc moins du degré d'humidité d'une poudre que de l'état physique du lactose. La fabrication du lait condensé non sucré additionne les risques nutritionnels de la condensation et de la stérilisation qui reste nécessaire.

La valeur biologique des protéines des laits condensés est finalement peu altérée et la composition aminée proche de celle du lait initial; la teneur en lysine est néanmoins réduite de 20 pour cent environ. Le tableau 52 donne la teneur des principaux minéraux; leur biodisponibilité n'est pas altérée par la condensation.

Les quantités vitaminiques sont dans l'ensemble très proches des valeurs initiales: seuls la thiamine, la pyridoxine, les folates et la vitamine B 12 voient respectivement leurs taux réduits de 65, 48, 77 et 17 pour cent dans le lait entier condensé. Dans le lait entier concentré sucré, seule la pyridoxine est réduite de 45 pour cent de sa quantité initiale, parce que ce lait échappe à la stérilisation (tableau 53).

TABLEAU 53 Teneurs en vitamines des laits concentrés comparés au lait entier pasteurisé (par kg de produit)

Vitamines	Lait entier			Lait
	Pasteuris	Evapor	Condens	cr
A (mg)	0,55	1 ,08	1 ,11	4,04 (S)
D (g)	0,30	40 (S)	54 (S)	21 (S)
C (mg)	8	15	41	132
B ₁ (mg)	0,40	0,65	0,85	3,80
B ₂ (mg)	1,67	4,20	4,60	16,30
B ₆ (mg)	0,60	0,72	0,68	6
B.12 (g)	3,60	1,40	7,30	26
Acide pantothique (mg)	3,8	7,50	8,50	33,3
Acide nicotinique (mg)	0,83	2,40	2,90	10,2
Biotine (g)	20	40	39	200
Folates (g)	57	110	150	510
E (mg)	0,9	2	2	2

Note: (s) = supplément.

Dessiccation (séchage)

Les modifications nutritionnelles consécutives à ce procédé sont celles du traitement thermique: le séchage sur cylindre est donc plus agressif que le séchage par pulvérisation. Le premier procédé provoque presque inmanquablement une dénaturation des protéines solubles et un brunissement. Avec du lait entier, les globules gras s'agglomèrent. Le second procédé ne permet pas d'éviter la coalescence partielle des particules lipidiques. Au cours de l'évaporation les globules gras se divisent et se couvrent de micelles de caséine et de protéines sériques. Le taux de lysine diminue environ de 5 pour cent ou de 15 pour cent lors de la pulvérisation ou du passage sur cylindre, respectivement. Une perte de certains autres acides aminés peut survenir. On considère, cependant, que la valeur biologique des protéines du lait en poudre est proche de celle du lait initial pour peu qu'il n'y ait pas eu de chauffage intense.

TABLEAU 54 Biodisponibilité de la lysine après 20 mois de conservation de poudre de lait à des humidités relatives différentes

	Humidité relative de conservation
--	-----------------------------------

	Fra \heartsuit che (>80%)	31%	37%	42%	56%
Humidit \heartsuit de la poudre (eau en g pour 100 g de poudre)	2,6	5,0	4,95	5,3	6,4
Forme physique cristallis \heartsuit e du lactose	A	A	A	C	C
Biodisponibilit \heartsuit de la lysine (%)	100	92,4	91,5	84,4	68,1

Source: Adrian et Lepen 1987.

Par contre, le lait dont le lactose a \heartsuit t \heartsuit hydrolys \heartsuit avant s \heartsuit chage poss \heartsuit de une valeur biologique moindre (taux r \heartsuit duit de lysine), le blocage de la lysine par les monosaccharides (glucose) \heartsuit tant intense. La dessiccation par pulv \heartsuit risation ne semble pas modifier les taux de vitamines, alors que le passage sur cylindre est moins inoffensif.

Stockage

Effet de l'humidité. Les laits en poudre y sont particulièrement vulnérables car au cours de la conservation le lactose amorphe, très hygroscopique, fixe progressivement de l'eau, ce qui provoque sa cristallisation sous forme monohydratée. Cette cristallisation se produit de manière intense lorsque l'humidité relative dans la poudre atteint ou dépasse 40 pour cent (soit une teneur absolue en eau de l'ordre de 5 g/ 100 g de poudre). Les conséquences nutritionnelles de cette humidification de la poudre sont importantes car l'eau absorbée sur le lactose amorphe excède la quantité nécessaire à la cristallisation. Lorsque celle-ci se produit, il apparaît dans le milieu une eau métaboliquement très active qui déclenche notamment la réaction de Maillard. Il en résulte que la réaction de blocage de la lysine est à la fois tributaire du degré d'humidité et de l'état physique du lactose (tableau 543.

A 37 °C et un degré d'humidité de 4 pour cent, la teneur des vitamines décroît aussi progressivement. Après 30 jours, les folates ont baissé de 72 pour cent, l'ascorbate de 91 pour cent; après 60 jours, la vitamine B 1 n'a plus que 12 pour cent de sa teneur initiale. Lorsque le degré d'humidité atteint 10 pour cent, après 15 jours, les folates et la vitamine C ne sont plus dosables alors que la thiamine maintient 40 pour cent de son taux initial après un mois dans ces conditions.

[FIGURE 15 Teneur en vitamine C de différents laits \(UHT direct et indirect, pasteurisés\) au cours du stockage](#)

Effet de l'oxygène. Les folates et la vitamine C sont particulièrement oxygénosensibles (figure 15); les vitamines B12, A, E et la choline le sont moins; les vitamines B1, B6 et D le sont modérément; les autres ne le sont pas. En réfrigérateur, des pertes vitaminiques ont lieu également, mais à vitesse réduite. Une conservation en emballage imperméable à l'oxygène de l'air est donc recommandée après dégazage pour éliminer l'air et son oxygène (poudre désaérée). Le type d'emballage choisi joue à cet égard aussi un rôle qu'il convient de garder à l'esprit (figure 16). Dans les laits entiers en poudre, c'est l'oxydation des graisses au cours de la conservation qui est susceptible d'induire une odeur et un goût désagréable du produit.

FIGURE 16 Influence de l'exposition lumineuse sur la teneur vitaminique du lait: effet de l'intensité (vitamine B2) et de la nature de l'emballage (vitamine C)

FIGURE 17 Effet la lumière fluorescente sur les qualités organoleptiques du lait en différents emballages

Conséquences des rayonnements. La lumière solaire et le rayonnement UV provoquent la destruction partielle ou totale des vitamines A, B2, B6 et C. Les taux de riboflavine et d'acide folique diminuent de 10 à 30 pour cent par heure d'exposition au soleil (figure 16). Les radiations ionisantes, capables d'assainir le lait, ont des effets

similaires, mais induisent de plus des saveurs désagréables: celles-ci sont dues à l'oxydation des matières grasses (figure 17). La présence d'oxygène ambiant accélère certaines réactions, comme la destruction de l'acide ascorbique. Les autres substances, notamment vitaminiques, ne sont pas sensibles aux rayonnements. Leurs effets sont cependant suffisamment importants pour qu'on recommande de conditionner et de conserver le lait en récipients opaques (feuille d'aluminium) ou en verre teinté. Le rayonnement UV offre la propriété intéressante de transformer certains stérols du lait en vitamine D3. Le phénomène est difficile à contrôler et son application n'est pas autorisée dans tous les pays.

Impact nutritionnel de la conservation chimique. La conservation du lait en présence d'eau oxygénée est interdite dans la plupart des pays, mais autorisée dans certaines régions tropicales. Une addition de 0,5 à 0,8 pour cent d' H_2O_2 préserve le lait des développements bactériens, notamment coliformes. De la catalase ajoutée ensuite au milieu permet d'éliminer l'eau oxygénée. Le lait ainsi traité conserve ses qualités nutritionnelles, mais subit une dénaturation de ses protéines solubles. La méthionine et la cystine sont partiellement oxydées, mais les métabolites obtenus semblent biologiquement utilisables et interchangeables. Les vitamines B₁, B₆, C et la niacine sont faiblement oxydées.

[Table des matières](#) - [Précédente](#) - [Suivante](#)