

81

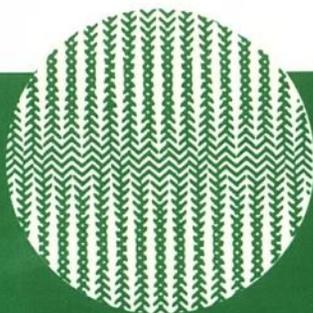
**Intérêts  
nutritionnel et diététique  
du lait de chèvre**

Niort (France)  
7 novembre 1996

G. FREUND

*Editeur*

LES COLLOQUES



**INRA**  
EDITIONS



# **Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre**

Actes du colloque

*Le lait de chèvre, un atout pour la santé*

organisé par

- Institut Technique des Produits Laitiers Caprins (ITPLC)
- INRA - Laboratoire de Génétique Biochimique et de Cytogénétique
- Station Régionale de Pathologie Caprine (SRPC)
- Centre Régional de Documentation Caprine (CRDC-ENILIA)

Niort (France), 7 novembre 1996

*Editeur/ Editor*

G. FREUND  
Centre Régional de Documentation Caprine  
17700 Surgères, France

*En vente / For sale*

INRA Editions  
Route de St Cyr, 78026 Versailles Cedex, France

© INRA, Paris, 1997  
ISBN : 2-7380-0752-X

© Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 3, rue Hautefeuille, Paris 6ème.

## Préambule

Les premières Journées Scientifiques et Techniques du Lait de Chèvre, organisées les 9 et 10 juin 1993 à Surgères, avaient réuni 220 personnes originaires de 10 pays. Cette rencontre européenne avait permis de réaliser un état des travaux de recherche menés dans les différents pays de la Communauté et de présenter les résultats récemment acquis dans les domaines de la qualité hygiénique, du polymorphisme génétique des lactoprotéines caprines, et de l'intérêt nutritionnel du lait de chèvre.

Ce dernier thème avait fait l'objet d'un débat animé au cours duquel il était apparu que si de nombreuses hypothèses et observations empiriques existaient, peu de résultats scientifiques étaient réellement disponibles pour argumenter sur l'intérêt nutritionnel du lait de chèvre.

Compte tenu de l'importance que représentent de tels arguments pour la filière, l'Institut Technique des Produits Laitiers Caprins (ITPLC) a proposé, aux chercheurs, médecins pédiatres et professionnels de la filière caprine, une rencontre sur le thème « Le lait de chèvre, un atout pour la santé ? »

Cette journée, organisée en collaboration avec le CRDC, la SRPC et l'INRA, avait pour objectif de faire un état des connaissances relatives à l'intérêt nutritionnel du lait de chèvre et de présenter les expériences dans ce domaine, de manière à pouvoir mieux faire connaître ses qualités aussi bien au milieu médical qu'au grand public.

Nous tenons à remercier très vivement tous les conférenciers qui sont intervenus au cours de cette journée, ainsi que les modérateurs : Monsieur F GROSCLAUDE, Directeur des Productions Animales à l'INRA ; le Professeur P REINERT, Chef du Service Pédiatrie au CHI de Créteil ; Monsieur JL VRILLON, Président du Centre INRA de Poitou-Charentes.

Cette manifestation a pu être réalisée grâce au soutien financier de l'ONILAIT, du Conseil Régional de Poitou-Charentes, de la Ville de Niort, de l'interprofession caprine (ANICAP, BRILAC) et des entreprises GERVAIS - NACTALIA, GRAND'OUICHE - CHAVROUX et SÈVRE ET BELLE.

Guy JAUBERT  
Directeur de l'ITPLC

## **Remerciements**

Que soient ici remerciés ceux qui ont accepté la difficile tâche qu'est la relecture :  
Monsieur D LAMBERT, Directeur Recherche et Développement chez BESNIER BRIDEL ;  
Monsieur JC MERCIER, Directeur de Recherche au Laboratoire de Génétique Biochimique à  
l'INRA Jouy en Josas; Monsieur F MESCHY, Ingénieur au Laboratoire de Nutrition et  
d'Alimentation à l'INRA-INA PG ; Professeur P REINERT, Chef du Service Pédiatrie au  
CHI de Créteil.

# Sommaire

## **Caractéristiques et qualité nutritionnelle du lait de chèvre**

Modérateur : F GROSCLAUDE, Directeur Scientifique des Productions Animales, INRA Paris

Valeur nutritionnelle du lait en alimentation humaine <i>S Mahé</i> .....	9
La composition protéique du lait de chèvre : ses particularités <i>P Martin</i> .....	27
Caractéristiques biochimiques des lipides du lait de chèvre - Comparaison avec les laits de vache et humain <i>Y Chilliard</i> .....	51
La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre <i>L Guéguen</i> .....	67
Les vitamines et les nucléotides du lait de chèvre <i>A Jaubert</i> .....	81
Intérêt nutritionnel du lait de chèvre (transcription de la communication orale) <i>M Touhami</i> .....	93
Qualité hygiénique du lait de chèvre <i>G Perrin</i> .....	101

## **Lait de chèvre et intolérances**

Modérateur : P REINERT, Chef du service pédiatrie, CHI Créteil

Les intolérances au lait. Origines, manifestations cliniques, mesures thérapeutiques <i>JL Fontaine</i> .....	107
L'allergie au lait de vache et sa substitution par le lait de chèvre <i>A Sabbah, S Hassoun, M Drouet</i> .....	111
Utilisation du lait de chèvre chez l'enfant. Expérience de Créteil <i>P Reinert, A Fabre</i> .....	119
Perspectives actuelles d'utilisation du lait de chèvre dans l'alimentation infantile <i>A Fabre</i> .....	123
Lait de chèvre, lait d'avenir pour les nourrissons <i>T Grzesiak</i> .....	127

## **Maîtrise et amélioration de la qualité nutritionnelle du lait de chèvre**

Modérateur : JL VRILLON, Président du centre Poitou-Charentes, INRA Le Magneraud

### **Maîtrise et amélioration de la qualité nutritionnelle du lait de chèvre par l'alimentation**

*MC Rousselot*.....151

### **Origine génétique de la diversité des laits caprins**

*E Manfredi*.....163

### **Transgénèse et modifications quantitative et/ou qualitative de la composition du lait à des fins nutritionnelles**

*JC Mercier*.....169

## **De nouvelles valorisations pour une production “ traditionnelle ” : un défi pour toute la filière**

Modérateur : JL VRILLON, Président du centre Poitou-Charentes, INRA Le Magneraud

Résumé de l'intervention de G Amiot.....181

Résumé de l'intervention de P Charpentier.....183

Résumé de l'intervention de F Etevenon.....185

Résumé de l'intervention de G Maingret.....187

Résumé de l'intervention de JP Secq.....189

**Liste des participants**.....193

PREMIÈRE PARTIE

**Caractéristiques et qualité nutritionnelle  
du lait de chèvre**



## **Valeur nutritionnelle du lait en alimentation humaine**

S MAHÉ

*INRA, Unité de Nutrition Humaine et de Physiologie Intestinale*

*Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques - 4, avenue de l'Observatoire - 75270 Paris  
Cedex 06*

### **RÉSUMÉ**

L'aspect nutritionnel du lait peut s'étudier par deux voies : les macronutriments et les micronutriments. Le lait contient aussi un certain nombre de composés actifs qui jouent un rôle nutritionnel, de protection ou de facteur de croissance. La composition du lait varie beaucoup d'une espèce à l'autre :

**La fraction glucidique** (10 à 20% de l'apport énergétique glucidique total) est constituée de lactose. Le lactose non absorbé est fermenté par la flore. Lorsque les capacités de fermentation de la flore sont dépassées, apparaissent des douleurs et des diarrhées (« l'intolérance au lactose »).

**Les lipides** représentent 50 à 60% de l'apport énergétique du lait. Les produits laitiers constituent 12 à 25% des apports en lipides. La fraction lipidique constitue 3 à 5% du lait et est composée à 98% de triglycérides. Les deux acides gras les plus abondants sont l'acide palmitique et l'acide oléique. La fraction lipidique est importante pour son apport en acides gras essentiels.

Chez l'adulte, la consommation moyenne de produit laitier assure 30 à 40% des apports recommandés en protéines. Ces **protéines** se classent en deux fractions, la caséine (fraction micellaire) et les protéines du lactosérum (fraction soluble). La caséine représente environ 80% des protéines du lait de vache (caséine- $\alpha$ S1, - $\alpha$ S2, - $\beta$ , - $\kappa$ ). Les protéines du lactosérum sont représentées notamment par la  $\beta$ -lactoglobuline (absente du lait humain),

l' $\alpha$ -lactalbumine, la sérum albumine bovine, plusieurs classes d'immunoglobulines et la lactoferrine (composant majeur du lait humain).

Le lait est une bonne source de **vitamines** A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>5</sub> et E. D'un point de vue nutritionnel la quantité en vitamine E est le point le plus intéressant concernant le lait humain.

Le lait est une bonne source de **minéraux** et **d'oligo-éléments**. La quantité d'oligo-éléments varie en fonction de la période de lactation, de la saison et de la nourriture. Un des minéraux présent en grande quantité dans le lait est le calcium essentiellement lié aux caséines sous forme de phosphocaséinate. Chez l'adulte, la consommation moyenne de produit laitier assure 60 à 80% des apports journaliers recommandés en calcium, environ 20% de l'apport en magnésium et en potassium, 25% de l'apport en zinc, 15 à 35% de l'apport en iode, 21% de l'apport en chrome et 36% de l'apport en molybdène.

En conclusion, les produits laitiers assurent une bonne partie des apports journaliers recommandés en calcium et en protéines. Son intérêt nutritionnel tient en particulier à la qualité de ses protéines notamment en raison de leurs profils d'acides aminés. En effet, la teneur en acides aminés indispensables du lait de vache est proche des profils de besoins retenus pour l'homme. Les protéines du lactosérum sont riches en acides aminés indispensables (lysine, isoleucine, leucine, thréonine et tryptophane) et soufrés en particulier la cystéine alors que les caséines sont riches en méthionine, en proline, en lysine, en tryptophane et en résidus phosphorylés. Le lait de vache est une matière première produite en quantité. Cependant d'autres sources de lait provenant des autres ruminants devraient pouvoir représenter une alternative au lait de vache dans certaines applications particulières.

#### **SUMMARY Nutritional value of milk in human feeding**

Milk composition of 3 species (human, cow, goat) are compared. Milk provides especially free fatty acids, vitamins (E, A, ...), trace elements (Ca, Mg, K, Zn, Mo, ...). The nutritional interest of milk lies on the quality of its proteins and specifically on the amino acid profile of whey proteins.

## INTRODUCTION - COMPOSITION DES LAITS

Le lait est un liquide physiologique complexe sécrété par les mammifères afin de nourrir leurs enfants. L'origine des constituants du lait est double. Ils proviennent des synthèses réalisées au sein des cellules mammaires à partir d'éléments sanguins (acides gras et triglycérides, protéines à partir des acides aminés, lactose à partir du glucose) et d'une filtration sélective de certains composants sanguins (sels minéraux). L'une des caractéristiques nutritionnelles majeure du lait chez le nouveau-né est qu'il représente la source unique de nutriments qui doit satisfaire des besoins importants de croissances de l'organisme. L'intérêt nutritionnel du lait tient à la qualité de ses protéines, de ses lipides et à ses vitamines en particulier à sa richesse en calcium. La composition du lait varie beaucoup d'une espèce à l'autre (Tabl. 1) et reflète les besoins nutritionnels spécifiques de chaque espèce. Cependant il existe des similitudes dans la composition des laits de même espèce zoologique.

En comparaison avec le lait humain, le lait des cétacés est très riche en lipides et en protéines et pauvre en glucides et le lait de rongeurs riche en protéines et assez riche en lipides. Le lait des ruminants est plus riche en protéines et moins riches en glucides que le lait humain. La longueur de la période de lactation ainsi que la durée des repas expliqueraient ces différences de composition. Lors de la comparaison de la composition des laits entre les espèces, il faut évaluer la part due à des origines génétiques de la part due à l'environnement, notamment l'alimentation. Ceci est particulièrement vrai pour la fraction lipidique.

Chez l'adulte, la consommation moyenne de produit laitier assure au français 60 à 80% des apports journaliers recommandés en calcium et 30 à 40% des apports recommandés en protéines (Berthier *et al.*, 1990). Les produits laitiers constituent 12 à 25% des apports en lipides. L'aspect nutritionnel des composés du lait peut s'étudier par deux voies essentielles : les macronutriments et les micronutriments. Les macronutriments correspondent essentiellement à l'apport d'énergie et de nutriments qui interviennent dans les processus anaboliques c'est-à-dire comme matériels pour la croissance et l'entretien (acides aminés indispensables, acides gras essentiels et macrominéraux) (Graham, 1974). Les micronutriments (oligo-éléments, vitamines) ont des rôles physiologiques et jouent sur les fonctions endocrine et immunologique de l'organisme. Le lait contient aussi un certain

**Tableau 1.** Composition du lait de différentes espèces.

g/l	Primate		Rongeur	Ruminant		Cétacé	
	singe	homme	rat	chèvre	vache	Dauphin	Baleine
<b>lipides</b>	40	38-41	88	35-45	37-39	330	423
<b>lactose</b>	70	70-72	38	41-44	48	11	13
<b>protéines</b>	16	9-15	81	29-31	32-34	68	109

**Tableau 2.** Composition en lipides du lait humain et du lait de vache (en g/100g d'acides gras totaux).

	homme	vache
lipides (g/l)	38	37
<b>Saturés (%)</b>	45,3	61,3
4:0	trace	3,2
6:0	<0,1	2,0
8:0	<0,1	1,2
10:0	1,5	2,8
12:0	6,7	3,5
14:0	7,7	11,2
16:0	21,8	26,0
18:0	7,4	11,2
20:0	0,2	0,2
<b>Monosaturés (%)</b>	36,7	31,9
14:1	-	1,4
16:1	3,2	2,7
18:1	33,5	27,8
<b>Polyinsaturés (%)</b>	11,3	2,9
18:2	10,2	1,4
18:3	0,8	
20:4	0,3	trace

nombre de composés actifs qui jouent un rôle nutritionnel, de protection ou de facteur de croissance au niveau digestif et éventuellement périphérique (transporteurs de nutriment, antimicrobiens, hormones, enzymes par exemple).

## **APPORTS GLUCIDIQUE ET LIPIDIQUE**

Les produits laitiers fournissent 10 à 20% de l'apport énergétique glucidique total (Gil, 1992). La fraction glucidique représente environ 5% du lait de vache et 7% du lait humain et est constituée de lactose. Le lactose n'étant pas absorbé sous forme native par la muqueuse intestinale, son absorption dépend de la présence de lactase qui hydrolyse le lactose en glucose et galactose qui sont transportés dans la cellule. Le lactose sert ainsi de source d'énergie et d'apport de galactose pour le développement du système nerveux central. De plus une fraction non absorbée est utilisée par la flore intestinale, notamment les bifides, qui produit des acides organiques ayant un rôle protecteur de l'hôte. Cependant, environ 70% des individus perdent l'activité lactase intestinale durant leur développement. Le lactose non absorbé est fermenté par la flore qui produit de l'acide lactique, des acides gras à courte chaîne, de l'hydrogène et pour certains du méthane. Les acides gras à courte chaîne sont rapidement utilisés comme source d'énergie. Cependant lorsque les capacités de fermentation de la flore sont dépassées, apparaissent des douleurs et des diarrhées. C'est ce que l'on appelle "l'intolérance au lactose" dont les symptômes sont corrélés avec la quantité de lactose ingéré. On admet que les symptômes n'apparaissent qu'au-delà de 10-12g de lactose soit environ 225 ml de lait. Si on double cette dose, l'incidence des symptômes augmente de 50%.

Les lipides représentent 50 à 60% de l'apport énergétique du lait. La fraction lipidique constitue 3 à 5% du lait et est composée à 98% de triglycérides. La fraction lipidique est importante pour son apport en acides gras essentiels qui sont nécessaires au développement du cerveau et de la rétine. Ainsi la présence de ces acides gras polyinsaturés à longue chaîne en grande quantité dans le lait humain et notamment l'acide linoléique lui confère une supériorité par rapport au lait de vache dans l'apport de ces acides gras essentiels. En effet, le lait humain contient des acides gras insaturés, acides oléique et linoléique, et une concentration en acides gras saturés faibles à l'inverse du lait de vache qui en contient 62% (Tabl. 2). La composition

en lipides est influencée par l'environnement, notamment l'alimentation. On peut augmenter la proportion d'acides gras polyinsaturés dans le lait de vache en changeant l'alimentation mais on se heurte alors à un problème de conservation du lait par oxydation et dégradation de ces acides gras polyinsaturés. La différence majeure dans la composition lipidique entre le lait humain et le lait de vache provient probablement de l'action des micro-organismes du rumen. Généralement, les deux acides gras les plus abondants sont l'acide palmitique (C16:0) et l'acide oléique (C18:1, n-9) puisqu'ils représentent à eux deux 50 à 60% des acides gras du lait de vache.

La fraction lipidique du lait contient 30 à 50 mg/100 ml de phospholipides qui ont une importance nutritionnelle en raison de leur influence sur la digestion et l'absorption d'une part et leur rôle dans le transport des lipides du foie et de l'intestin vers les tissus périphériques d'autre part. Le cholestérol est le stérol majeur du lait. Sa concentration dans le lait de vache est faible en comparaison avec d'autres aliments d'origine animale. Sa concentration moyenne est de 13 mg/100 ml.

## **APPORTS PROTÉIQUES**

Le lait est constitué d'un mélange complexe de protéines dont l'importance relative varie selon les espèces. L'isolement et la caractérisation des protéines de lait sont compliqués du fait de leur tendance à s'associer et à former des complexes, ce qui rend difficile la définition de leurs spécificités physiologiques, nutritionnelles et immunologiques. Ces protéines se classent en deux fractions correspondant à une fraction micellaire, la caséine, et une fraction soluble, les protéines du lactosérum (Brew & Grobler, 1992 ; Hambling *et al.*, 1992 ; Swaisgoog, 1992). Les protéines du lactosérum demeurent solubles après déstabilisation de la caséine par acidification au pH 4,6 ou après action de la chymosine (Jelen & Rattray, 1995). La fraction caséine est la fraction majeure qui représente de l'ordre de 80% des protéines du lait de vache. C'est une fraction spécifique du lait de vache si on le compare notamment au lait humain (Tabl. 3) :

- La concentration en protéines est quatre fois plus élevée dans le lait de vache que dans le lait humain, en raison d'une concentration environ dix fois plus importante en caséine. La

**Tableau 3.** Composition de la fraction protéique du lait humain et du lait de vache.

g/l	homme	vache
protéines totales	9-15	32-34
<b>Caséines</b>	2,0-2,5	26-37
$\alpha$ S1-caséine	-	11-15
$\alpha$ S2-caséine	-	3-4
$\beta$ -caséine	1,5	9-11
$\kappa$ -caséine	0,5	2-4
<b>Protéines de lactosérum</b>	6,3	5,8-6,5
$\alpha$ -lactalbumine	1,9-2,6	0,6-1,5
$\beta$ -lactoglobuline	-	3-4
Lactoferrine	1,7-2	0,1
Immunoglobulines	1,1-1,3	0,9
sIgA	1,0	0,05-0,1
IgG	0,05	0,3-0,8
IgM	0,02	0,05-0,1
Sérum albumine	0,4	0,4
Lysozyme	0,04-0,2	trace

**Tableau 4.** Valeur Biologique et Utilisation Protéique Nette de protéines alimentaires mesurées chez le rat.

Protéine	VB (%)	UPN (%)
Oeuf	94	94
Lait vache	82 - 84	77 - 82
caséine	85	79
lactosérum	100	95
Lait femme	95	87

caséine bovine comprend quatre composants majeurs (caséine- $\alpha$ S1, caséine- $\alpha$ S2, caséine- $\beta$ , caséine  $\kappa$ ). La caséine humaine comprend principalement de la caséine  $\beta$  et une faible fraction de caséine  $\kappa$ .

- La concentration en protéines de lactosérum est quantitativement équivalente dans le lait de vache et dans le lait humain. Elles sont représentées notamment par la  $\beta$ -lactoglobuline, l' $\alpha$ -lactalbumine, la sérum albumine bovine, plusieurs classes d'immunoglobulines, les protéose-peptones, la transferrine et la lactoferrine. Des différences qualitatives importantes existent entre les différents laits. La  $\beta$ -lactoglobuline, composant majeur du lactosérum de lait de vache est absente du lait humain. La lactoferrine, composant majeur du lait humain est présente en quantité très réduite dans le lait de vache. La fraction immunoglobuline est principalement constituée d'IgA sécrétoires dans le lait humain et d'IgG dans le lait de vache. On y trouve également plusieurs enzymes telles que le lysozyme, la lipase, la xanthine oxydase, la plasmine et les phosphatases acide et alcaline (Jelen & Rattray, 1995).

Les protéines du lactosérum telles que les immunoglobulines mais également le lysozyme, la lactoferrine, la lactopéroxydase et la xanthine oxydase jouent un rôle dans les mécanismes de défense immunitaire de l'organisme. La lactoferrine a été particulièrement étudiée pour son rôle de piégeage du fer pouvant intervenir dans le transport du fer. des effets bactéricides, ou des propriétés anti-inflammatoires et d'immunomodulation (Sanchez *et al.*, 1992 ; Iyer & Lønnerdal, 1993). C'est une protéine particulièrement résistante aux dégradations enzymatiques, retrouvée sous forme intacte après digestion et absorption chez l'enfant. Les récepteurs de la lactoferrine sont présents sur différents types cellulaires. En outre, un fragment peptidique de 25 acides aminés, issu de la lactoferrine, la lactoferricine, possède des propriétés bactéricides importantes selon un mécanisme distinct de la capacité à fixer le fer (Tomita *et al.*, 1991). Les propriétés bactéricides de la lactoferrine pourraient intervenir en association avec l'action d'autres composants tels que le lysozyme et la lactopéroxydase (Reiter, 1985). La fraction immunoglobuline du lait est impliquée dans la protection passive du jeune. Cette fraction résiste en partie aux dégradations durant la digestion chez l'enfant, mais aussi chez l'adulte (Roos *et al.*, 1995).

Le lait contient également des hormones peptidiques et des facteurs de croissance comme l'hormone de croissance bovine (bGH), la prolactine, la somatostatine, IGF-1.

Comme nous l'avons signalé précédemment, l'intérêt nutritionnel du lait tient en particulier à la qualité de ses protéines. Cependant, la détermination de la qualité nutritionnelle des protéines se heurte à la difficulté d'évaluation des besoins en azote et en acides aminés mais également à la complexité des phénomènes de digestion et de leur méthode de mesure, en particulier chez l'homme. Les méthodes d'évaluation de la qualité nutritionnelle des protéines font appel à la **valeur biologique** et l'**utilisation protéique nette** (Davidson *et al.*, 1979) (Tabl. 4) :

- la **valeur biologique** (VB) d'une protéine est la fraction de l'azote absorbé qui est retenue dans l'organisme.

- l'**utilisation protéique nette** (UPN) représente, elle, la fraction de l'azote ingéré qui est retenue dans l'organisme. L'UPN, contrairement à la valeur biologique, prend en compte le rendement de la digestion.

Cependant, si on considère les macronutriments d'un point de vue strictement nutritionnel, leur valeur est liée à la composition en acides aminés aussi bien quantitative que qualitative. Cet aspect qualitatif pose le problème des besoins pour la croissance ou l'entretien. L'apport protéique recommandé pour un homme adulte est de 0,75 g/kg/j (FAO/WHO/UNU, 1985) mais cette recommandation quantitative ne peut être dissociée de la qualité nutritionnelle des protéines ingérées. Or, les protéines alimentaires n'ont pas toutes la même qualité nutritionnelle. De plus, la quantité d'acides aminés mise réellement à la disposition de l'organisme est modulée par leur biodisponibilité. L'évaluation de la qualité nutritionnelle des protéines revêt donc aujourd'hui une importance de tout premier ordre aussi bien du point de vue scientifique qu'économique. La détermination des besoins en acides aminés de l'homme s'est accompagnée du développement de nouvelles méthodes de mesure de la qualité nutritionnelle des protéines :

- La méthode du **Coefficient d'Efficacité Protéique** (ou Protein Efficiency Ratio, PER), basée sur la prise de poids de rats en croissance, a longtemps été la méthode la plus utilisée. Cependant, la distorsion entre les besoins du rat en croissance et ceux de l'homme a conduit les organisations officielles à proposer de nouvelles méthodes.

- Les méthodes dites chimiques sont alors nées de la conception suivante : si l'on connaît la composition de la protéine alimentaire idéale, c'est-à-dire de la protéine qui satisfait les besoins en acides aminés indispensables de l'individu, il est alors possible d'évaluer la qualité

nutritionnelle de n'importe quelle protéine en comparant sa composition en acides aminés indispensables avec celle de la protéine de référence. C'est l'acide aminé indispensable le plus limitant qui fixe la qualité nutritionnelle de la protéine. En effet, si un acide aminé indispensable n'est pas présent dans les quantités requises par les besoins, son absence partielle va entraîner une réduction des synthèses en proportion du déficit. La qualité nutritionnelle de la protéine testée est donc proportionnelle au déficit de l'acide aminé limitant. Il s'exprime en % et est limité à 100%. L'enjeu est cependant d'arriver à définir la composition de cette protéine de référence et donc de définir les besoins en acides aminés indispensables de l'homme. La première composition retenue a été celle de la protéine d'oeuf, connue pour sa valeur biologique élevée. Mais dès les années 70, la FAO a préféré développer une protéine de référence, dite protéine FAO, à partir des travaux sur l'évaluation des besoins en acides aminés indispensables de l'homme. Ainsi, en 1985, la FAO/WHO/UNU a publié la composition de 4 protéines de référence selon l'âge du consommateur. Les révisions de 1990 ont conduit à la publication d'une seule protéine de référence quel que soit l'âge du consommateur, excepté le nourrisson pour qui la protéine de référence est calquée sur la composition du lait maternel (Tabl. 5).

La FAO/WHO, en 1990, a proposé le PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score), ou indice DISCO, comme nouvelle mesure de la qualité nutritionnelle des protéines alimentaires. Cet indice prend en compte la composition en acides aminés indispensables de la protéine étudiée (IC non limitée à 100 %) mais effectue une correction par sa digestibilité. La mesure de la qualité nutritionnelle des protéines alimentaires par les méthodes chimiques est donc étroitement liée à la définition des besoins en acides aminés indispensables de l'homme. Même si les progrès techniques et l'utilisation des isotopes stables ont permis de réévaluer ces besoins dans les années 90, ceux-ci restent approximatifs. Par ailleurs, la prise en compte de la biodisponibilité des protéines dans le calcul des indices de qualité nécessite de reconsidérer de façon approfondie les méthodes de mesure de la digestibilité et de l'assimilation des protéines puisque ces valeurs peuvent varier selon les méthodes utilisées (Tabl. 6).

Il est maintenant bien établi que les protéines de lait représentent une source de protéine de haute qualité nutritionnelle pour l'homme (Adrian, 1974 ; Manson, 1978; Swartz & Wong, 1985 ; Poiffait & Adrian, 1986 ; Young & Pellet, 1988 ; Hagemester *et al.*, 1990 ;