

J.L. TROCCON, R. TOULLEC*

INRA Station de Recherches
sur la Vache laitière
Saint-Gilles 35590 L'Hermitage

* INRA Laboratoire du jeune Ruminant
65, rue de Saint-Brieuc
35042 Rennes Cedex

Aliments d'allaitement pour veaux d'élevage

Remplacement de la poudre de lait
écrémé par d'autres sources
protéiques

Un aliment d'allaitement est un aliment complet, généralement sous forme de poudre, qui, par dilution dans l'eau, permet d'obtenir un lait de remplacement pouvant se substituer en totalité au lait entier. Jusqu'au début de 1988, les aliments d'allaitement étaient riches en poudre de lait écrémé. En effet, en 1976, devant l'importance des stocks, la CEE avait assujetti l'octroi de la prime de dénaturation à ce produit à une introduction minimale de 60 % dans les aliments d'allaitement. En 1988, avec la disparition des stocks, les prix de la poudre de lait écrémé et des aliments d'allaitement ont augmenté. La réglementation européenne a corrigé à la baisse le taux d'incorporation ouvrant droit à la prime de dénaturation puis a supprimé tout taux minimum. Par suite, la recherche de sources protéiques potentiellement incorporables dans les aliments d'allaitement est relancée et justifie cette mise au point axée sur l'alimentation des veaux d'élevage.

Résumé

L'élévation du prix de la poudre de lait écrémé et des aliments d'allaitement relance l'intérêt d'utiliser des sources protéiques de remplacement. Cependant, les protéines de substitution sont incoagulables dans la caillette et il en résulte une accélération de l'évacuation gastrique des protéines et des lipides. Ces modifications s'accompagnent d'une réduction variable des sécrétions digestives stomacales et (ou) pancréatiques. Certaines sources protéiques (comme le soja) peuvent provoquer des réactions d'intolérance de nature allergique de la part des veaux. La digestibilité des protéines de remplacement est inférieure à celle du lait écrémé, en particulier chez le veau de moins de 1 mois. L'aliment d'allaitement doit fournir en quantité suffisante, des protéines digestibles bien équilibrées en acides aminés.

Les risques sanitaires (diarrhées, mortalité) et zootechniques (réduction du gain de poids vif) sont accrus par l'utilisation des protéines de substitution surtout par les jeunes veaux. L'effet dépressif sur le croît des veaux devient important lorsque le taux de substitution atteint 25 à 50 % suivant la nature des protéines et les traitements technologiques. Des adaptations des techniques d'allaitement et de sevrage des veaux sont nécessaires afin de limiter les inconvénients du remplacement des protéines du lait qui demeurent les mieux utilisées.

Le lait entier et les laits de remplacement vont directement dans la caillette grâce au réflexe de fermeture de la gouttière oesophagienne. Ce mécanisme fonctionne efficacement chez les veaux non stressés et en bonne santé ; il est indépendant de la composition de l'aliment lacté à condition que ce dernier soit bien apprécié par les animaux (revue de Toullec *et al* 1973). Le veau préruminant se comporte comme un monogastrique et, de ce fait, seuls des produits facilement digérés selon cette voie peuvent être introduits dans les aliments d'allaitement et leurs protéines doivent être bien équilibrées en acides aminés ou faciles à compléter.

Dans la caillette, le lait entier et les laits de remplacement riches en poudre de lait écrémé de bonne qualité coagulent en 3-4 minutes sous l'action de la chymosine et de la pepsine du suc gastrique. La cohésion du caillé formé augmente quand le pH du lait diminue et

quand sa teneur en matière sèche et sa température augmentent (Emmons et Lister 1976). Le pH des effluents de la caillette diminue de 4,5-5,5 immédiatement après le repas jusqu'à environ 2. Cette valeur est atteinte environ 6 heures (2 repas par jour) ou 13 heures (1 repas par jour) plus tard (Leibholz 1975). La distribution de lait entier à la tétine plutôt qu'au seau a un effet favorable sur les sécrétions d'acide chlorhydrique, de pepsine et de chymosine dans la caillette et de protéases totales par le pancréas (tableau 1). L'emploi de lait écrémé ayant subi un traitement thermique excessif entraîne une réduction des sécrétions d'acide chlorhydrique, de pepsine et de protéase pancréatique (Ternouth et Roy 1973).

Les substances hydrosolubles (lactose, minéraux et matières azotées non caséiniques) sont expulsées du coagulum et quittent la caillette plus rapidement que les caséines et les lipides. Chez le veau nourri au lait entier, les quantités de lactose, de minéraux, de protéines et de lipides parvenant dans le duodénum au cours des 6 premières heures après le repas représentent respectivement 80, 80, 55 et 47 % des quantités ingérées (Toullec *et al.* 1971). Avant de quitter la caillette, les caséines sont davantage hydrolysées que l' α -lactalbumine tandis que la β -lactoglobuline est peu attaquée (Yvon *et al.* 1984).

Les protéines de remplacement ne sont pas coagulables dans la caillette ; il en résulte une augmentation de la vitesse d'évacuation, variable selon la nature des protéines.

1 / Digestion des laits de remplacement

1.1 / Le transit digestif

Des traitements thermiques excessifs appliqués au lait écrémé réduisent son aptitude à coaguler. Ils augmentent la vitesse d'évacuation gastrique des protéines et des lipides et réduisent l'intensité de la protéolyse dans la caillette (Ternouth et Roy 1973). Il en est de même quand le lait de remplacement est rendu incoagulable par addition d'oxalate de calcium (Petit *et al.* 1987a) ou d'acide chlorhydrique (Toullec *et al.* 1974b).

*Figure 1. Influence de la nature des protéines sur l'évacuation gastrique de l'azote total et de l'azote protéique (insoluble dans l'acide trichloracétique 12 %) chez le veau préruminant (d'après Toullec *et al.* 1975).*

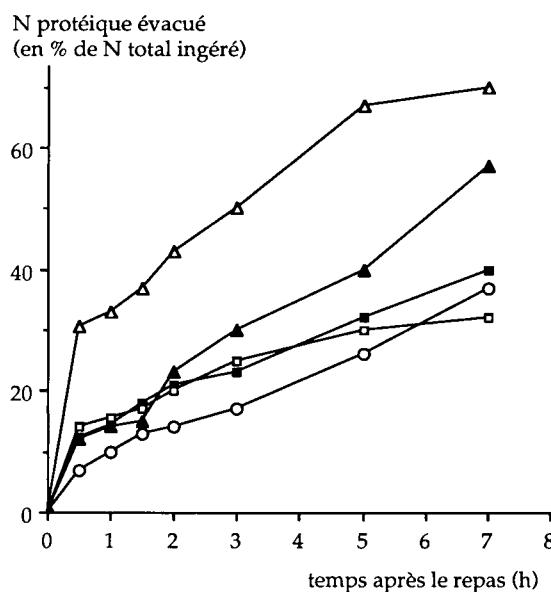
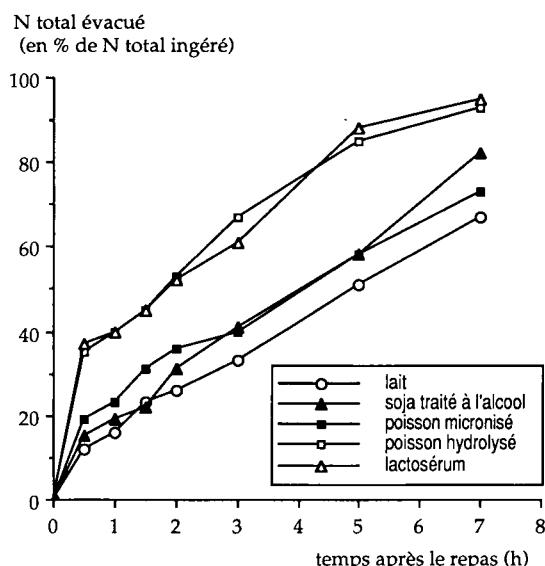


Tableau 1. Sécrétions digestives en fonction de l'âge et du régime alimentaire du veau (effluents collectés pendant 12 heures après le repas).

	Roy et Stobo 1975			Ternouth et Roy 1978			
	Age 7 à 10 jours	Age 24 à 31 jours	Age 63 à 73 jours	Lait entier tétine 39°C	Lait entier seau 39°C	Lait de remplacement tétine 39°C	Lait de remplacement seau 10°C
Caillette							
Acidité (mmol) ⁽¹⁾	209	308	329	370	318	231	182
Pancréas							
Trypsine (mg)	146	176	220	98	147	71	76
Trypsine (/l ration)	42	42	45				
Protéase (g)	1,10	2,80	5,10	2,87	1,94	2,16	1,65
Protéase (/l ration)	0,3	0,7	1,0				
Amylase (mg)	9	58	240	75	151	54	53
Amylase (/l ration)	3	14	49				

(1) Estimée d'après la différence : Cl - moins Na⁺.

Les protéines de substitution ne sont pas coagulables et leur introduction dans l'aliment en remplacement partiel ou total des protéines du lait entraîne généralement des effets similaires à ceux décrits ci-dessus (revue de Toullec *et al* 1975). Cependant, l'augmentation de la vitesse d'évacuation gastrique dépend de la nature des protéines et des traitements technologiques (figure 1). Elle est plus importante avec les protéines de lactosérum, d'hydrolysat de poisson et d'isolats de féverole ou de soja qu'avec celles de levures d'alcanes et de concentrats de soja ou de poisson non hydrolysé. La solubilité n'est pas seule en cause puisque les protéines de lactosérum quittent la caillette aussi rapidement qu'elles soient insolubilisées ou non. Les acides aminés et les lipides sont absorbés plus rapidement dans l'intestin et s'accumulent dans le sang (revue de Toullec *et al* 1983, Beynen et Van Gils 1983, Petit *et al* 1987b, Nunes Do Prado *et al* 1989b). Avec les aliments contenant du tourteau de soja cuit, après quelques jours de distribution, il se produit une stase gastrique dans l'heure qui suit le repas, puis une accélération du transit intestinal (Sissons *et al* 1987). Ces perturbations sont vraisemblablement de nature allergique (cf 3).

1.2 / Les sécrétions enzymatiques

Dans la caillette, la sécrétion d'acide chlorhydrique augmente durant le premier mois de vie (tableau 1) mais varie peu par la suite chez le veau nourri au lait (revue de Toullec *et al* 1983). Exprimée par kg de poids vif, la quantité de pepsine sécrétée ne change pas significativement avec l'âge tant que le veau reste exclusivement préruminant. En revanche, les quantités

de chymosine et de lysozyme diminuent (Andren *et al* 1980, Guilloteau *et al* 1984). Néanmoins, la muqueuse abomasale d'un veau de boucherie de 5 mois contient encore 60 fois plus d'activité coagulante qu'il n'en faut pour coaguler rapidement la totalité du lait ingéré quotidiennement (Guilloteau *et al* 1984).

Les activités des enzymes pancréatiques intervenant dans la digestion des matières azotées (trypsine, chymotrypsine, élastase, carboxypeptidase A et B et ribonucléase) augmentent fortement au cours des 2 premiers mois (Le Huerou *et al*, résultats non publiés). De même, la quantité de protéase sécrétée par litre de lait ingéré est multipliée par 2,3 entre les âges de 1 et 4 semaines et par 1,4 entre les âges de 4 et 10 semaines (tableau 1). Par contre, les activités dans l'intestin grêle des aminopeptidases A et N diminuent fortement entre les âges de 2 et 7 jours, mais n'évoluent plus par la suite (Le Huerou *et al*, résultats non publiés).

Les protéines de substitution ont des effets dépressifs sur les sécrétions digestives de la caillette et du pancréas (tableaux 2 et 3). Ainsi, la quantité de chymosine présente dans la muqueuse et le contenu de la caillette ou sécrétée par une poche gastrique est réduite (revue de Toullec *et al* 1983). Il en est de même pour les activités protéasiques présentes dans le pancréas et sécrétées dans le suc pancréatique. Cependant, ces tendances ne sont pas systématiques. Ainsi, Guilloteau *et al* (1986) n'ont pas observé de réduction de la teneur en chymosine de la muqueuse de la caillette avec des protéines de soja. Williams *et al* (1976) ont obtenu une augmentation de la sécrétion d'acide avec des protéines de poisson.

Caillette	Ternouth <i>et al</i> 1975			Sedgman <i>et al</i> 1985 (*)			Sedgman <i>et al</i> 1985(*)				
	Lait écrémé	Soja 40 % des protéines	Lait écrémé	Protéines bactériennes 22 % 44 % 66 % des protéines	Lait écrémé	Protéines de levures 22 % 44 % 66 % des protéines					
Acidité (mmol) (1)	286	265	310	136	88	64	14	270	277	217	191
Activité enzymatique ($\mu\text{moles tyrosine/min}$)											
Pepsine				1818	1099	639	838	1388	897	1818	1120
Chymosine				2355	2551	1588	1930	2498	2645	2485	2352

(1) Estimée d'après la différence : Cl- moins Na+ .

Tableau 3. Influence de la nature des protéines du lait de remplacement sur les sécrétions pancréatiques du veau (Ternouth *et al* 1975) (effluents collectés pendant 12 heures après le repas).

Pancréas	Lait écrémé	Poisson 40 % des protéines	Soja
Trypsine (mg) (/l ration) (/g MAT)	272,9 85,4 17,5	260,8 70,6 15,5	297,6 68,7 15,3
Chymotrypsine (g) (/l ration) (/g MAT)	1,290 0,411 0,081	1,160 0,310 0,067	1,280 0,296 0,066
Protéase (g) (/l ration) (/g MAT)	6,00 1,87 0,39	5,14 1,42 0,31	6,62 1,55 0,34
Amylase (mg/l ration)	6,84	5,37	4,65

Tableau 2. Influence de la nature des protéines du lait de remplacement sur les sécrétions digestives dans la caillette du veau (effluents collectés pendant 12 heures ou 8 heures(*) après le repas).

Tableau 4. Digestibilité apparente des protéines chez le veau préruminant (entre parenthèses : âge en semaines). (D'après Toullec et al 1978 et 1980, Toullec 1988, Toullec et Grongnet, non publié).

Source de protéines	Digestibilité
Lait entier	0,97 (3-15)
Lait écrémé séché spray	0,87 (1) 0,97 (4)
Lait écrémé séché spray	0,92 (3) 0,96 (5-14) 0,87 (3) 0,95 (5-14) 0,75 (3) 0,95 (5-14)
Lactosérum	0,66 (3) 0,91 (5-14) 0,85 (1) 0,89 (5) 0,90 (1) 0,94 (5)
Poisson	0,83 (5-14) 0,80 (3) 0,91 (5-14)
Levures	0,76 (3) 0,84 (5-14) 0,75 (3) 0,80 (5-12)
Bactéries cultivées sur méthanol	0,91 (7-15)
Champignons cultivés sur lactosérum	0,75 (3) 0,74 (5-14)
Soja	0,63 (3) 0,74 (5-14) 0,88 (5-6) 0,70 (5-11) 0,87 (5-11)
Féverole décortiquée	0,72 (8-16) 0,79 (8-16) 0,83 (8-16) 0,78 (7-15) 0,79 (5-12)
Pomme de terre	0,74 (3) 0,82 (5-14)
Gluten de maïs	0,86 (6-12) 0,86 (7-15)
Concentrat protéique de luzerne	0,68 (9-16)
Pois floconné	0,72 (5) 0,77 (7)

Chez le veau, la digestibilité des protéines augmente jusqu'à l'âge de 1 mois, mais elle est en général moins élevée pour les sources de remplacement que pour le lait écrémé.

1.3 / Les réactions d'intolérance aux protéines alimentaires

Ces réactions ont surtout été étudiées dans le cas du soja. Le tourteau de soja cuit peut causer des réactions d'hypersensibilité gastrointestinale qui se traduisent par des perturbations de la motricité et des altérations de la paroi intestinale, caractérisées par de l'oedème, une infiltration lymphocytaire, une atrophie des villosités et une augmentation de la profondeur des cryptes (revue de Toullec 1983, Seegarber et Morill 1986). Il en résulte une accélération du transit intestinal, une diminution de la digestibilité, un accroissement de la fréquence des diarrhées et une augmentation de la perméabilité intestinale aux macromolécules. La détection d'anticorps (IgG principalement et plus rarement IgE) spécifiques des principales globulines du soja (glycinine et β -conglycinine) et l'augmentation de leurs titres circulants avant l'apparition des troubles sanitaires indiquent une réaction allergique gastrointestinale.

En effet, la dénaturation de la glycinine et de la β -conglycinine par chauffage en milieu hydroalcoolique prévient la formation d'anticorps et les troubles (Kilshaw et Sissons 1979). De même, l'administration d'un médicament anti-allergique réduit la fréquence des pertur-

bations (Duvaux et al 1989). La fermentation du soja peut également diminuer son activité allergique (Srihara 1984). La persistance d'une altération de la paroi intestinale avec certains produits traités à l'alcool (Silva et al 1986b) indique que les conditions de traitement doivent être bien choisies. Une synthèse inadéquate d'IgA et d'IgM sécrétaires serait responsable d'une déficience possible des mécanismes locaux de défense immunitaire de l'intestin grêle du veau contre l'absorption de protéines de soja intactes ou partiellement hydrolysées (Barratt et Porter 1979). La distribution d'un régime comportant du tourteau de soja pendant une longue période ne semble pas établir de tolérance puisque les titres d'anticorps ne diminuent pas (Heppell et al 1987).

D'autres protéines de substitution sont capables d'induire une hypersensibilisation du tube digestif. Ainsi, le gluten de blé et l'albumine d'oeuf entraînent une atrophie des villosités intestinales et la formation d'anticorps (Kilshaw et Slade 1982). De même, chez des veaux recevant des aliments comprenant de la farine de pois crue et du lait, des anticorps spécifiques des protéines de pois apparaissent dans le plasma et le taux plasmatique de β -lactoglobuline augmente au moins transitoirement (Nunes Do Prado et al 1989a). En outre, la

détection de la légumine (une des principales globulines du poïs) dans le plasma après les 3 ou 4 premiers repas, montre que les protéines alimentaires franchissent la paroi intestinale en faibles quantités, ce qui favorise la formation d'anticorps contre ces protéines étrangères à l'animal.

1.4 / La digestibilité des aliments

La digestibilité des protéines varie avec l'âge du veau, la source de protéines et les traitements technologiques. La digestibilité apparente des protéines du lait augmente au cours du premier mois de vie (tableau 4), différemment selon la race et les individus. Elle n'est pas notablement diminuée par les traitements thermiques courants (pasteurisation, concentration et séchage par atomisation) mais elle peut l'être par un chauffage excessif (Ternouth et Roy 1973). La suppression de la coagulation des protéines du lait entraîne généralement une diminution de la digestibilité apparente des protéines et/ou des lipides (revue Toullec *et al* 1975, Strudsholm 1988) due probablement à l'augmentation de la vitesse d'évacuation gastrique de ces constituants (Guilloteau *et al* 1981). Le débit d'évacuation est également proportionnel à l'importance des repas, laquelle peut altérer l'activité myoélectrique du tube digestif (Sissons 1983).

La digestibilité des protéines de remplacement augmente également au cours du premier mois, mais reste généralement inférieure à celle des protéines du lait (tableau 4). Les valeurs les plus élevées sont observées pour les protéines de lactosérum, de poissons blancs partiellement hydrolysées et de bactéries cultivées sur méthanol. Une légère dénaturation thermique des protéines de lactosérum peut avoir un effet favorable sur leur digestibilité. Les protéines du tourteau de soja cuit ont une faible digestibilité, mais celle des concentrats protéiques

extraits à l'alcool est beaucoup plus élevée. Ce traitement élimine des oligosides non dégradables par les enzymes du veau mais agit probablement davantage en dénaturant les protéines responsables des réactions allergiques. Dans le cas des concentrats de poisson non hydrolysés, le traitement à chaud en milieu liquide et le séchage entraînent une dénaturation excessive puisque des méthodes plus douces permettent d'obtenir un produit plus digestible de 9 à 12 points entre les âges de 7 et 21 jours (Opstvedt *et al* 1987).

Par ailleurs, l'emploi de protéines de substitution peu digestibles diminue également la digestibilité apparente des matières grasses, du calcium, du magnésium et du phosphore (Raven 1972, Nunes Do Prado 1989c) de la même façon que les traitements empêchant la coagulation du lait entier dans la caillette (revue de Toullec *et al* 1975). La digestibilité du lactose est peu ou pas modifiée.

2 / Besoins en protéines et en acides aminés

Pour un aliment contenant 4 700 kcal d'énergie métabolisable (EM) par kg de matière sèche (MS), la teneur optimale en protéines est d'environ 25 % au cours des 7 à 8 premières semaines de vie, et de 21 % au delà (revue de Toullec *et al* 1978). Les aliments d'allaitement destinés aux veaux d'élevage sevrés entre 2 et 3 mois d'âge doivent donc contenir 25 % de protéines de lait pour fournir les meilleurs résultats techniques. S'ils renferment des protéines de substitution, les apports doivent être tels que l'aliment contienne environ 24 % de protéines digestibles. Cependant, des résultats acceptables peuvent être obtenus avec des taux un peu moins élevés.

Tableau 5. Besoins en acides aminés indispensables et semi-indispensables (g/kg MS) du veau préru-minant (pour des aliments contenant 4 700 kcal d'énergie métabolisable par kg MS).

Acide aminé	Teneur des aliments (1)	Besoins		
		Van Weerden et Huisman (1975)	Patureau-Mirand (1980) (3)	
Thréonine	12,1-10,2	≤ 12,1	13,5-10	(58)
Valine	16,2-13,6	≤ 11,6	16-13	(72)
Acides aminés soufrés	8,7-7,4	7,8	11,5-9	(51)
Isoleucine	13,4-11,2	≤ 14,7	15-12	(67)
Leucine	24,1-20,3	≤ 25	23-18,5	(103)
Phénylalanine + tyrosine	25,5-21,4	≤ 18	16-13	(72)
Lysine	21,2-17,8	19,1	22,5-18 (2)	(100)
Histidine	6,5-5,7	≤ 4,7	7-5,5	(31)
Arginine	9,0-7,6	≤ 6,3	10-7,5	(43)
Tryptophane	2,9-2,4	≤ 2,1	-	-
Poids vif (kg)	-	60	50-130	-
Gain de poids vif (g/j)	-	900	1100	-
Méthode	-	Rétention azotée	Aminoacidémie libre	

(1) Aliment de croissance (première valeur) et de finition (seconde valeur) contenant 250 et 210 g de protéines de lait par kg de matière sèche.

(2) Seconde valeur pour des veaux de 150 à 200 kg gagnant 1630 g/j.

(3) Entre parenthèses, valeurs exprimées en % du besoin en lysine.

L'aliment d'allaitement distribué au veau d'élevage devrait contenir 25 % de protéines équilibrées en acides aminés. Les déficiences éventuelles des sources azotées de remplacement peuvent être corrigées par l'addition de produits industriels ou en procédant à des mélanges.

Les besoins en acides aminés ont été déterminés en étudiant l'effet des niveaux d'apport sur l'amino-acidémie libre ou sur la rétention azotée chez des veaux préruminants en croissance intensive (tableau 5). Les écarts entre les deux méthodes sont faibles pour la plupart des acides aminés et peuvent être dus aux différences de vitesses de croissance des veaux et d'origine des protéines alimentaires. En revanche, pour les acides aminés soufrés, l'histidine et l'arginine, les écarts sont importants et résulteraient des méthodes utilisées. En exprimant les valeurs proposées par Patureau-Mirand (1980) en % du besoin en lysine, les rapports sont voisins de ceux recommandés pour le porc. La seule divergence importante concerne la somme phénylalanine + tyrosine pour laquelle le rapport est de 71 pour le veau au lieu de 100 pour le porc (Henry 1988).

Selon Van Weerden et Huisman (1985), un aliment contenant 220 g de protéines de lait et 4 700 kcal d'EM par kg de MS couvre les besoins en acides aminés soufrés d'un veau de 5 à 7 semaines. Cependant, la supplémentation en méthionine des aliments à base de protéines laitières améliore les performances des veaux (revue de Toullec *et al* 1975, Jenkins et Emmons 1983) et selon Patureau-Mirand (1980), l'addition d'au moins 2,5 g de méthionine par kg est nécessaire. Cependant, dans la plupart des essais de croissance cités par Toullec *et al* (1975), les aliments contiennent toujours moins de 220 g de protéines ou plus de 4 700 kcal d'EM par kg de MS. Hormis leur déficience éventuelle en méthionine, les poudres de lait de bonne qualité sont bien équilibrées en acides aminés. Un risque de déficience en lysine existe dans des poudres de lait écrémé ayant subi un traitement thermique excessif.

Dans le cas des protéines de substitution, il faut considérer leur composition en acides aminés, mais également la digestibilité apparente de ces derniers à la fin de l'öléon. Par chance, cette digestibilité varie généralement dans une proportion voisine de celle observée pour la digestibilité fécale de l'azote total lorsque les protéines du lait sont remplacées par des protéines de substitution (Guilloteau *et al* 1980, Guilloteau *et al* 1986, Nunes Do Prado *et al* 1989c). Parfois cependant, elle le fait moins (cystine et arginine dans le cas d'un concentrat de soja traité à l'alcool) ou davantage (histidine avec un hydrolysat de poissons blancs).

A même apport de protéines digestibles que le lait, seules les protéines de pomme de terre (revue de Toullec 1988) et d'oeuf (Sauveur 1988) semblent être, parmi les sources courantes, suffisamment pourvues en tous les acides aminés indispensables et semi-indispensables ; il subsiste toutefois une légère déficience en lysine dans le cas de l'oeuf. La poudre de lactosérum est riche en thréonine et en tryptophane mais un peu déficiente en acides aminés soufrés, histidine, arginine et valine (revue de Toullec 1988). Les concentrats de lactosérum préparés par ultrafiltration sont exceptionnellement bien pourvus en thréonine, acides aminés soufrés, lysine et tryptophane mais insuffisamment en arginine et histidine. Le soja et le pois sont riches en arginine mais sont

légèrement déficients en lysine, acides aminés soufrés, thréonine et, dans une moindre mesure, en acides aminés ramifiés. Les concentrats de poissons gras délipidés sont suffisamment riches en tous les acides aminés indispensables, sauf en acides aminés ramifiés et en thréonine. En revanche, les concentrats de poissons blancs hydrolysés sont déficients en tous les acides aminés indispensables, excepté en arginine et acides aminés aromatiques. Le gluten de maïs est très pauvre en lysine et contient un large excès de leucine, il n'est bien pourvu qu'en acides aminés soufrés et aromatiques. Le gluten de blé est très pauvre en lysine et en thréonine, il n'est suffisamment riche qu'en acides aminés aromatiques, arginine et tryptophane. Les levures lactiques présentent des déficiences dans les mêmes acides aminés ; toutefois, celles-ci sont nettement moins prononcées, sauf pour les acides aminés soufrés, la leucine et l'histidine. Les déficiences en lysine, acides aminés soufrés et thréonine peuvent être corrigées par l'addition de produits industriels ; les autres ne peuvent l'être qu'en procédant à des mélanges et/ou en augmentant le taux protéique.

3 / Résultats zootechniques

Les protéines incorporées dans les aliments d'allaitement pour les veaux d'élevage doivent être bien équilibrées en acides aminés mais également appétibles, dépourvues de constituants indésirables (facteurs antinutritionnels, excès de minéraux ou de glucides indigestibles) et solubles dans l'eau ou faciles à maintenir en suspension. Leur teneur en fer a peu d'importance contrairement aux exigences concernant les veaux de boucherie.

3.1 / Protéines animales

a / Lactosérum

Ses protéines sont disponibles sous des formes très variées : en l'état, déminéralisées, délactosées (riches en protéines et en minéraux), ultrafiltrées (riches en protéines et pauvres en minéraux), précipitées,... Incorporées à des aliments bien équilibrés sur le plan minéral, les protéines de lactosérum permettent aux veaux de boucherie de réaliser des gains de poids vif équivalents à ceux obtenus avec la poudre de lait écrémé (tableau 6). Chez les jeunes veaux d'élevage sevrés très précocement (10 ou 13,5 kg d'aliment d'allaitement), les gains de poids vif sont parfois médiocres lorsque le taux de substitution dépasse 50 % (Gorill et Nicholson 1972, Stewart *et al* 1974, Volcani et Ben Asher 1974, Shingoethe 1976, Cruywagen et Horn 1985). La substitution totale peut parfois entraîner une augmentation de la mortalité des veaux (Stewart *et al* 1974). Cependant, l'incorporation de lactosérum permet aussi d'apporter du lactose, glucide très bien digéré par le jeune veau.

b / Poisson

Le remplacement de plus de 50 % des protéines du lait par celles de poisson - fournies

par des concentrats protéiques solubles ou insolubles - et de lactosérum dans les aliments d'allaitement réduit le gain de poids vif des veaux d'élevage et de boucherie (tableaux 6 et 7). Les solubles de poisson, très pauvres en acides aminés indispensables, incorporés en forte proportion (17 %) peuvent occasionner une mortalité élevée (Campos *et al* 1982). Les refus de lait de remplacement sont accrus

(Troccon et Toullec 1976, Jenkins *et al* 1982) ainsi que la fréquence des diarrhées (Troccon et Toullec 1976) par l'incorporation d'hydrolysat de poisson. La consommation d'aliments solides est réduite lorsque le taux de remplacement est élevé (Dodsworth *et al* 1977) de sorte qu'un allaitement prolongé augmente le croît des veaux expérimentaux à la période de sevrage (figure 2).

Tableau 6. Influence de l'âge du veau et de la source protéique de l'aliment d'allaitement sur le gain de poids vif des veaux de boucherie.

Référence	Age ⁽¹⁾ (j)	Source étudiée	Protéines du lait (%)	Gain de poids vif (g/j) semaines expérimentales			
				1 à 4	5 à 8	9 à 12	1 à 12
Paruelle <i>et al</i> 1974	19	Lait écrémé	100	729	1210	1393	1110
		Hydrolysat de poisson	0	673	1013	1283	990
		Lait + poisson	50	738	1124	1414	1092
Toullec <i>et al</i> 1974a	18	Lait écrémé	100	857	1079	968	1006
		Lactosérum	0	848	1086	1194	1105
		Lait + lactosérum	50	878	1086	1246	1120
Paruelle <i>et al</i> 1975	19	Lait écrémé	0	1045	1355	1412	1271
		Levures d'alcanes	51	879	1136	1298	1104
		Levures d'alcanes	74	958	1147	1328	1144
Toullec et Patureau-Mirand 1979	24	Lait écrémé	100	945	1229	1348	1183
		Hydrolysat de poisson (2)	59	877	1185	1276	1122
		Hydrolysat de poisson (2)	59	782	1056	1205	1026
		Concentrat de soja	59	839	1042	1210	1042

De 1 kg d'aliment d'allaitement à l'âge de 3 semaines à 3 kg à l'âge de 12 semaines en 2 repas par jour.

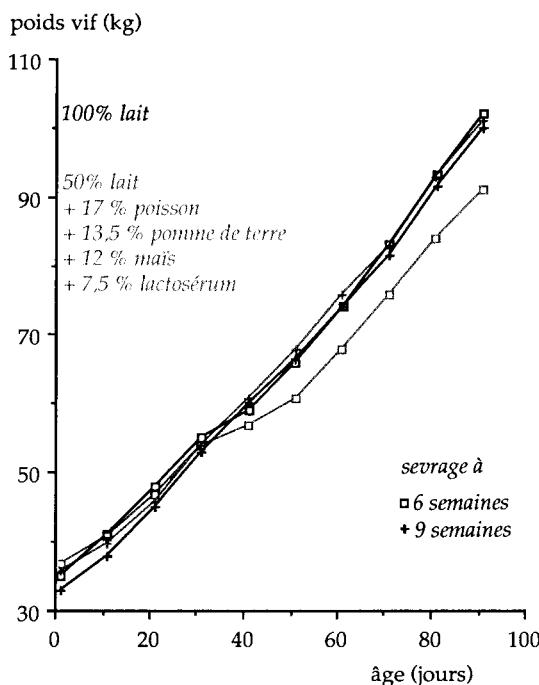
(1) Au début de l'essai.

(2) Hydrolysats différant par la préparation enzymatique utilisée.

Tableau 7. Influence de l'incorporation de protéines de poisson dans les aliments d'allaitement sur le gain de poids vif des veaux.

Produit et référence	Type de veau (1)	Aliment allaitement (kg)	Durée (j)	Poids vif initial (kg)	Pourcentage de protéines de remplacement							
					0 à 6	33 à 50	56 à 67	89 à 100				
Concentrats solubles												
<i>Hydrolysats enzymatiques partiels (papaïne, pancréatine)</i>												
CPSP 90 Troccon et Toullec 1976	{	élevage	34,6	49	38,5	592	-	-				
		élevage	30,7	46	37,3	540	494	-				
		élevage	31,1	46	35,8	641	566	-				
		élevage	48,5	65	34,6	694	658	-				
Fallon et Lawlor 1980	{	boucherie	37,1	42	43,7	510	-	-				
		élevage	14,2	32	42,4	339	304	-				
		boucherie	92,4	42	42,4	757	678	-				
Diaz-Castaneda et Brisson 1987	{	boucherie	46,1	56	44,1	470	438	414				
<i>Autres hydrolysats</i>												
Dodsworth <i>et al</i> 1977	{	élevage	13,7	42	40,9	405	390	375				
Petchey <i>et al</i> 1979	élevage	20,9	42	41,2	347	347	208					
Huber et Campos 1982	boucherie	28,0	46	44,7	416	304	245					
Solubles		boucherie	24,7	42	-	315	160	-				
Concentrats insolubles (délipidation à l'hexane ou à l'isopropanol)												
Van Weerden 1974	{	boucherie	50,3	42	42,6	995	940	919				
Roy <i>et al</i> 1977	boucherie	-	21	40,3	1110	-	880					
Opsvedt <i>et al</i> 1977	{	boucherie	57,0	56	51,1	682	660	-				
		boucherie	44,1	56	41,5	591	402	-				
		boucherie	48,9	56	44,9	650	501	-				
		élevage	59,6	70	47,5	829	-	765				
		élevage	59,5	70	45,2	777	692	-				
(1) Elevage : lait + aliment concentré avec ou sans fourrage ; Boucherie : lait seul.												

Figure 2. Influence de la nature des protéines de l'aliment d'allaitement et de l'âge au sevrage sur les performances de génisses laitières d'élevage. (Troccon et Toullec 1976).



3.2 / Protéines végétales

Le gain de poids vif des veaux diminue beaucoup quand le taux de remplacement des protéines du lait dépasse 25 à 50 % selon la nature des sources protéiques.

a / Soja

Le remplacement des protéines du lait écrémé par celles de soja - fournies par des farines ou des concentrats protéiques - et de lactosérum réduit le gain de poids vif des veaux d'élevage ou de boucherie (tableaux 6 et 8), surtout dans le jeune âge. La réduction de la croissance pondérale est moindre lorsqu'une partie des glucides du soja a été éliminée pour

concentrer les protéines. Les farines ou concentrats de soja sont généralement traités à la chaleur humide afin d'éliminer les facteurs anti-trypsiques. Le poids du tube digestif vide et l'épaisseur de la paroi de l'intestin grêle sont plus élevés avec les protéines de soja (Roy *et al* 1977).

b / Organismes unicellulaires

Les gains de poids vif des veaux de boucherie recevant des aliments d'allaitement dont 26 et 51 % des protéines proviennent de levures d'alcanes sont réduits de 8 et 16 % respectivement entre les âges de 20 et 48 jours (tableau 6). Des taux de remplacement identiques par des protéines de bactéries cultivées sur méthanol diminuent les gains de poids vif de 9 et 25 % chez des veaux de boucherie entre les âges de 4 et 10 semaines (Toullec non publié). Jusqu'au remplacement de 20 à 25 % des protéines du lait, les levures lactiques modifient peu les performances des veaux de boucherie (Quillet non publié). Paruelle *et al* (1972) ont observé un état relâché des fèces chez les veaux recevant des protéines de levures.

c / Luzerne

Le remplacement de 25 % des protéines du lait par celles d'un concentrat protéique de luzerne réduit de 8 % le gain de poids vif de veaux de boucherie entre les âges de 12 à 62 jours (Toullec 1981). Cependant, la coloration jaune des dépôts adipeux de la carcasse fait réservoir cet aliment aux veaux d'élevage.

d / Pomme de terre

Le remplacement des protéines du lait par un mélange de protéines de pomme de terre (68 %) et de lactosérum (32 %) réduit peu le gain de poids vif de veaux de boucherie entre la naissance et 3 ou 8 semaines (Noordevier et Van Kempen 1983). Cependant, les effets négatifs s'amplifient avec le taux de substitution et l'âge des veaux. Des troubles importants (diar-

Tableau 8. Influence de l'incorporation de protéines de soja dans les aliments d'allaitement sur le gain de poids vif des veaux.

Produit et référence	Type de veau (1)	Aliment d'allaitement (kg)	Durée (j)	Poids vif initial (kg)	Pourcentage de protéines de remplacement			
					0	33	56	88 à 100
Farine de soja (environ 50 % de MAT)								
Nitsan <i>et al</i> 1971	boucherie	29,0	42	44,2	410	-	248	-
Roy <i>et al</i> 1977	boucherie	-	21	40,0	1110	-	850	670
Akineyle et Harshbarger 1983	boucherie	-	42	-	400	-	-	0
Silva <i>et al</i> 1986a	boucherie	25,5	42	42,2	330	-	208	-
Dawson <i>et al</i> 1988	boucherie	-	42	40,0	562	-	-	231
Concentrat protéique de soja (environ 65 % de MAT)								
Nitsan <i>et al</i> 1971	boucherie	31,9	42	42,6	539	-	-	436
	boucherie	29,0	42	44,2	410	-	333	-
	élevage	25,3	42	42,5	810	-	-	560
	élevage	20,4	42	43,1	682	-	595	-
	boucherie	37,1	42	43,7	510	-	-	440
Fallon et Lawlor 1980	boucherie	25,3	42	42,2	315	229	-	-
Campos <i>et al</i> 1982	boucherie	28,0	46	43,5	416	350	-	-
Huber et Campos 1982	boucherie	-	42	-	400	-	-	100
Akineyle et Harshbarger 1983	boucherie	-	42	40,0	562	-	-	360
Dawson <i>et al</i> 1988	boucherie	-	42	40,0	-	-	-	-

(1) Elevage : lait + aliment concentré avec ou sans fourrage ; Boucherie : lait seul.

rhées, refus, perte de poids, chute des poils,...) apparaissent lorsque le concentrat protéique de pomme de terre est riche en solanine. Celle-ci interfère plus nettement avec les protéines de pomme de terre qu'avec celles du lait écrémé.

e / Protéagineux et oléagineux

La féverole (crue, infranisée ou fermentée) incorporée à raison de 14 % des protéines digestibles de l'aliment d'allaitement réduit de 6 à 9 % le gain de poids vif des veaux de boucherie entre les âges de 3 et 12 semaines (Toullec *et al* 1980). Avec l'incorporation d'un concentrat protéique de féverole, l'état sanitaire des veaux est médiocre et la fréquence des jours de diarrhées atteint 1 sur 2 (Guilloteau *et al* 1977). Lorsqu'un concentrat protéique de colza pauvre en glucosinolates apporte 60 % des protéines, le gain de poids vif diminue de 30 % entre les âges de 1 et 4 semaines chez le veau d'élevage recevant 10 kg environ d'aliment d'allaitement (Gorill *et al* 1976). En revanche, la diminution n'est plus significative au taux de substitution de 30 %. Lorsque de la farine de pois hydrolysée par une amylase extraite de *Bacillus subtilis* apporte 75 % des protéines de l'aliment d'allaitement, le gain de poids vif des veaux d'élevage est réduit de 54 % entre 3 et 35 jours d'âge (Bell *et al* 1979). Les effets ne sont plus significatifs à des taux moins élevés (25 ou 50 %).

3.3 / Modalités de distribution

La distribution en quantité élevée, en 1 repas par jour, d'un aliment d'allaitement dépourvu de poudre de lait écrémé à des veaux d'élevage depuis l'âge de quelques jours jusqu'au sevrage à 6 semaines altère la santé et le croît des génisses d'élevage. Le remplacement partiel de la poudre de lait écrémé (50 % des protéines) et

un sevrage plus tardif (à 9 semaines) permettent d'obtenir des résultats plus satisfaisants (Troccon et Toullec 1976). En revanche, l'introduction plus tardive (à 2 semaines) de l'aliment d'allaitement sans poudre de lait écrémé, la distribution en 2 repas par jour en quantité croissante et le sevrage à 12 semaines permettent d'élever sans effet dépressif des veaux mâles d'élevage (tableau 9). Lorsque les veaux reçoivent simultanément un aliment concentré (veaux d'élevage), la réduction du gain de poids vif est moindre (Nitsan *et al* 1971, Huber 1975, Jenkins *et al* 1982). Après le sevrage, les gains de poids vif des veaux d'élevage ne diffèrent pas selon qu'ils aient reçu des aliments d'allaitement avec ou sans lait écrémé (Troccon et Toullec 1976, Opstvedt *et al* 1977). L'addition d'un produit bactériostatique aux aliments d'allaitement sans lait écrémé améliore le gain de poids vif des veaux de boucherie (Roy *et al* 1977).

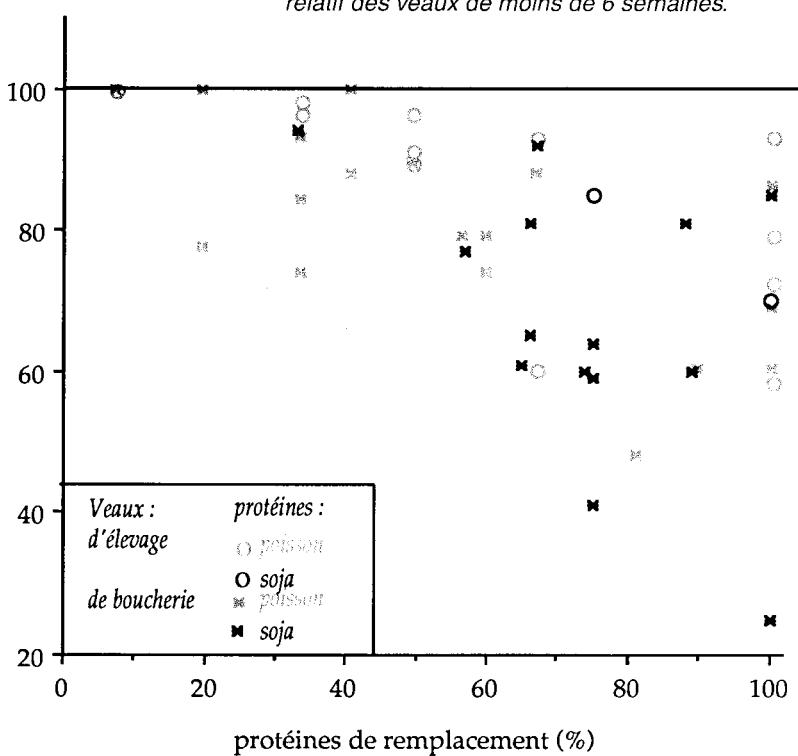
Conclusion

Le remplacement du lait écrémé par d'autres sources protéiques dans les aliments d'allaitement entraîne une accélération de l'évacuation gastrique des protéines et des lipides due à l'absence de coagulation. Ces modifications s'accompagnent d'une réduction des sécrétions digestives stomachales et (ou) pancréatiques. La digestibilité des sources azotées de remplacement est inférieure à celle du lait écrémé, en particulier chez les veaux de moins d'un mois. Certaines sources azotées provoquent des réactions d'intolérance de nature allergique. En outre, leur équilibre en acides aminés est souvent moins satisfaisant. Par suite, les risques sanitaires (diarrhées, mortalité) et zootechniques (réduction du gain de poids vif) peuvent être accrus surtout chez les jeunes veaux.

Tableau 9. Comparaison de plans de rationnement lacté des veaux d'élevage. Aliments d'allaitement à base de protéines de poisson, en g/j.

Référence	Troccon et Toullec 1976			Opstvedt <i>et al</i> 1977	
Repas par jour	1 (6 jours par semaine)			2	
Lait écrémé	0 ou 50 % des protéines			0 % des protéines	
Concentré	2 kg/j maximum			1,5 kg/j maximum	
Fourrage	Ensilage de maïs à volonté			Foin à volonté	
Age (semaines)	Sevrage à 6 semaines	Aliment g/kg lait	Sevrage à 9 semaines	Aliment g/kg lait	Sevrage à 12 semaines
1	550 à 770	220	550 à 770	-	-
2	880	220	880	-	-
3	1100	220	1100	480	120
4	1100	220	1100	585	130
5	770	220	1100	700	140
6	440	220	1100	825	150
7	0	220	1100	900	150
8	0	220	770	975	150
9	0	220	440	1050	150
10	0	-	0	1200	150
11	0	-	0	1200	150
12	0	-	0	600	150
13	0	-	0	0	-

gain de poids vif
en % du témoin



La poudre de lait écrémé demeure donc la meilleure des différentes sources de protéines utilisables dans les aliments d'allaitement. Cependant, elle ne doit avoir subi ni traitement thermique excessif ni conservation trop longue. Les dérivés du lactosérum sont les sources de remplacement les plus intéressantes, mais la teneur en minéraux de certains d'entre eux peut limiter le taux d'incorporation. De ce fait, ou à cause soit de leur faible teneur en protéines soit de leur prix, ces produits sont souvent associés à des mélanges d'autres sources de protéines (soja, gluten et pois traités de manière à inactiver les facteurs antinutritionnels et/ou les protéines allergéniques, poisson, pomme de terre, levures, etc...) afin de satisfaire au mieux les besoins en acides aminés du veau.

Cependant, l'effet dépressif des protéines de remplacement sur le croît des veaux de moins de 2 mois est important (figure 3) lorsque le taux de substitution devient élevé (de 25 à 50 % suivant la nature des protéines et les traitements technologiques). Par ailleurs, l'apport de glucides peut également constituer un problème. En effet, chez le jeune veau, la lactase est la seule enzyme glycolytique qui soit présente en quantité importante. Compte tenu de la faiblesse des activités amylolytiques et malta-siques, il n'est pas recommandé d'introduire des proportions élevées de produits amyloacés (pas plus de 7 à 8 % d'amidon partiellement hydrolysé ou de mélanges d'amidon pré-gélatinisé et d'amidon cru).

Pratiquement, l'éleveur allaitant ses veaux mâles ou femelles d'élevage avec un lait de remplacement appauvri en poudre de lait écrémé cherchera à régulariser la digestion et

l'apport de nutriments à l'organisme en le distribuant :

- en 2 repas par jour au moins.
- à une concentration comprise entre 15 et 20 % (1 kg de lait de remplacement = 150 ou 200 g d'aliment d'allaitement + 850 ou 800 g d'eau). Le volume de dilution de l'acidité produite dans la caillette sera moindre et les enzymes protéolytiques plus actives.
- en quantité faible aux veaux les plus jeunes et progressivement accrue avec l'âge jusqu'à un sevrage intervenant plus tardivement.
- au seau ou à la tétine mais à une température de 35° C.

Cependant, les veaux d'élevage reçoivent des aliments solides (aliment concentré et fourrage) et de ce fait, la réduction du gain de poids vif est moindre. Dès que le veau sera âgé de 15 jours, l'éleveur lui apportera un aliment concentré très appétible, de préférence granulé, à volonté et en quantité croissante jusqu'à 2 kg par jour au moins.

La distribution d'un aliment d'allaitement dépourvu de poudre de lait écrémé n'a probablement pas d'intérêt économique pour les jeunes veaux mâles ou femelles destinés à la vente. Un jeune veau de 50 kg en bonne santé a besoin de 7 à 8 kg de lait entier pour gagner 1 kg de poids vif. Le plus souvent, le cours des veaux de 8 jours assurent une bonne valorisation des produits laitiers. Les colostrum et les laits contenant des antibiotiques peuvent parfois suffire à alimenter ces veaux destinés à la vente (Troccon *et al* 1978). Lorsqu'il s'agit de veaux achetés et élevés hors de la présence d'un troupeau laitier, l'utilisation d'un aliment d'allaitement riche en poudre de lait écrémé de bonne qualité pendant 1 à 2 semaines est techniquement préférable avant de passer progressivement à un aliment sans poudre de lait.

Dans le cas de veaux élevés à la ferme, les générations de remplacement du troupeau laitier en particulier, un compromis financier est nécessaire entre le court terme et le long terme de l'animal. Une bonne alimentation dans le jeune âge a un effet bénéfique sur la longévité des vaches (Troccon et Petit 1989). Le lait entier peut représenter de 50 à 100 % de l'alimentation lactée de la génisse. Le lait entier utilisé en l'état doit être distribué en 2 repas par jour. Le mélange de lait entier (900 à 950 g) et d'un aliment d'allaitement sans lait écrémé (50 à 100 g) peut permettre de pratiquer l'allaitement en 1 repas par jour à partir de l'âge de 3 semaines en limitant la quantité de matière sèche distribuée entre 800 et 1 000 g/j. Un aliment d'allaitement dans lequel les protéines proviennent pour moitié du lait écrémé et pour moitié d'autres sources peut être apporté en 2 repas jusqu'à l'âge de 3 semaines puis en 1 seul jusqu'au sevrage vers l'âge de 8 à 10 semaines.

Références bibliographiques

- AKINEYLE I.O., HARSHBARGER K.E., 1983. Performances of young calves fed soybean protein replacers. *J. Dairy Sci.*, 66, 825-832.

- ANDREN A., BJORCK L., CLAESSEN O., 1980. Quantification of chymosin (rennin) and pepsin in bovine abomasum by rocket-immuno-electrophoresis. *Swed. J. Agric. Res.*, 10, 123-130.
- BARRATT M.E.J., PORTER P., 1979. Immunoglobulin classes implicated in intestinal disturbances following ingestion of soya protein antigens. *J. Immunol.*, 123, 676-680.
- BELL J.M., HARVEY B.E., CHRISTON G.I., 1979. Effects of the addition of enzymes and carboxymethylcellulose to pea flour used for calf milk replacers. *Can. J. Anim. Sci.*, 59, 43-50.
- BEYNEN A.C., VAN GILS L.G.M., 1983. Postprandial changes in the levels of lipids, glucose, urea and nonprotein nitrogen in the serum of veal calves fed milk replacers containing either skim milk powder or soybean protein concentrate. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. g. u. Futtermittelkde*, 49, 49-56.
- CAMPOS O.F., HUBER J.T., MORILL J.L., BROWNSON R.K., DAYTON A.D., HARRISON H.J.S., WARNER R.G., 1982. Spray-dried fish solubles or soy protein concentrates in milk replacer formulations. *J. Dairy Sci.*, 65, 97-104.
- CRUYWAGEN C.W., HORN J.G., 1985. Pre-weaning growth and feed intake of dairy calves receiving different combinations of soybean flour, whey powder and colostrum. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 15, 11-14.
- DAWSON D.P., MORILL J.L., REDD P.G., MINOCHA H.C., RAMSEY H.A., 1988. Soy protein concentrate and heated soy flours as protein sources in milk replacer for preruminant calves. *J. Dairy Sci.*, 71, 1301-1309.
- DIAS-CASTANEDA M., BRISSON G.J., 1987. Replacement of skimmed milk with hydrolysed fish protein and Nixtamal in milk substitutes for dairy calves. *J. Dairy Sci.*, 70, 130-140.
- DODSWORTH T.L., OWEN J.B., MACKIE I.M., RITCHIE A.H., ORSKOV E.R., 1977. Fish-protein hydrolysate as a substitute for milk protein in calf feeding. *Anim. Prod.*, 25, 19-26.
- DUVAUX C., SISSONS J.W., HEPPELL L., TOULLEC R., GUILLOTEAU P., 1989. Mécanismes impliqués dans la réaction allergique intestinale aux protéines de soja chez le veau préruminal. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 29, sous presse.
- EMMONS D.B., LISTER E.E., CAMPBELL D.L., 1976. Quality of protein in milk replacers for young calves. *Can. J. Anim. Sci.*, 56, 317-345.
- FALLON R.J., LAWLOR M.J., 1980. Effect of feeding milk replacers based on non-milk protein on calf performance. *An Forais Taluntais, Report*.
- GORILL A.D.L., NICHOLSON J.W.G., 1972. Effects of neutralizing acid whey powder in milk replacers containing milk and soybean proteins on performance and abomasal and intestinal digestion in calves. *Can. J. Anim. Sci.*, 52, 465-476.
- GORILL A.D.L., JONES J.D., NICHOLSON J.W.G., 1976. Low-and high-glucosinolate rapeseed flours and rapeseed oil in milk replacers for calves: their effects on growth, nutrient digestion and nitrogen retention. *Can. J. Anim. Sci.*, 56, 409-416.
- GUILLOTEAU P., TOULLEC R., CULIOLI J., LE DOUARON D., 1977. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. V. Utilisation digestive des protéines du poisson, du soja et de féverole. *Ann. Zootech.*, 26, 15-28.
- GUILLOTEAU P., PATUREAU-MIRAND P., TOULLEC R., PRUGNAUD J., 1980. Digestion of milk protein and methanol grown bacteria protein in the preruminant calf. II. Amino acid composition of ileal digesta and faeces and blood levels of free amino-acids. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 20, 615-629.
- GUILLOTEAU P., TOULLEC R., PATUREAU-MIRAND P., PRUGNAUD J., 1981. Importance of the abomasum in the digestion in the preruminant calf. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 21, 885-899.
- GUILLOTEAU P., CORRING T., TOULLEC R., ROBELIN J., 1984. Enzyme potentialities of the abomasum and pancreas of the calf. I. Effect of age in the preruminant. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 24, 315-325.
- GUILLOTEAU P., TOULLEC R., GRONGNET J.F., PATUREAU-MIRAND P., PRUGNAUD J., SAUVANT D., 1986. Digestion of milk, fish and soya-bean protein in the preruminant calf: flow of digesta, apparent digestibility at the end of the ileum and amino acid composition of ileal digesta. *Br. J. Nutr.*, 55, 571-592.
- HENRY Y., 1988. Signification de la protéine équilibrée pour le porc : intérêt et limites. *INRA Prod. Anim.*, 1 (1) 65-74.
- HEPPELL M.J., SISSONS J.W., STOBO I.J.F., THURSTON S.M., DUVAUX C., 1987. Immunological intolerance in calves fed with antigenic soybean protein. In : CHANDRA R.K., *Food allergy, 109-116. Nutrition Research Education Fundation, St John's, Newfoundland*.
- HUBER J.T., 1975. Fish protein concentrate and fish meal in calf milk replacers. *J. Dairy Sci.*, 58, 441-447.
- HUBER J.T., CAMPOS O.F., 1982. Enzymatic hydrolysate of fish, spray-dried fish solubles, and soybean protein concentrate in milk replacers for calves. *J. Dairy Sci.*, 23, 2351-2356.
- JENKINS K.J., EMMONS D.B., 1983. Fortification of calf milk replacers with amino acids in free form or plastein-bound. *Can. J. Anim. Sci.*, 63, 893-903.
- JENKINS K.J., EMMONS D.B., LARMOND E., SAUER F.D., 1982. Soluble, partially hydrolysed fish protein concentrate in calf milk replacers. *J. Dairy Sci.*, 65, 784-792.
- KILSHAW P.J., SISSONS J.W., 1979. Gastrointestinal allergy to soybean protein in preruminant calves. *Res. Vet. Sci.*, 27, 361-371.
- KILSHAW P.J., SLADE H., 1982. Villus atrophy and crypt elongation in the small intestine of preruminant calves fed with heated soyabean flour or wheat gluten. *Res. Vet. Sci.*, 33, 305-308.
- LEIBHOLZ J., 1975. Dietary effects on the flow of nutrients from the abomasum of the preruminant calf. *Aust. J. Agric. Res.*, 26, 623-633.
- NITSAN Z., VOLCANI R., HASDAI A., GORDIN S., 1971. Soybean protein substitute for milk protein in milk replacers for suckling calves. *J. Dairy Sci.*, 55, 811-821.
- NOORDEWIJER G.J., VAN KEMPEN G.J.M., 1983. *Bedrijfsontwikkeling*, 14, 203-211.
- NUNES DO PRADO I., TOULLEC R., LALLES J.P., HINGAND L., GUEGUEN J., 1989a. Anticorps contre les protéines alimentaires et perméabilité intestinale aux macromolécules chez le veau préruminal recevant de la farine de pois. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 29, sous presse.
- NUNES DO PRADO I., TOULLEC R., LALLES J.P., GUEGUEN J., HINGAND L., 1989b. Digestion des protéines de pois et de soja chez le veau préruminal. I. Absorption des nutriments, formation d'anticorps et perméabilité intestinale aux macromolécules. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 29, sous presse.
- NUNES DO PRADO I., TOULLEC R., GUILLOTEAU P., GUEGUEN J., 1989c. Digestion des protéines de pois et de soja chez le veau préruminal. II. Digestion apparente à la fin de l'iléon et du tube digestif. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 29, sous presse.
- OPSTVEDT J., HANSEN P., 1977. Fish protein in the nutrition of the young calf. *Acta Agric. Scand.*, 27, 197-227.
- OPSTVEDT J., SOBSTAD G., HANSEN P., 1987. Fish protein concentrates for preruminant calves: Effects of processing temperatures and source of fish on protein digestibility and biological value. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 18, 181-196.
- PARUELLE J.L., TOULLEC R., PRANTZEN J.F., MATHIEU C.M., 1972. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. I. Utilisation digestive des protéines de soja et des levures d'alcane incorporées dans les aliments d'allaitement. *Ann. Zootech.*, 21, 319-331.
- PARUELLE J.L., TOULLEC R., MATHIEU C.M., 1974. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. II. Utilisation des protéines de poisson et influence d'un complexant du fer. *Ann. Zootech.*, 23, 519-536.
- PARUELLE J.L., TOULLEC R., PATUREAU-MIRAND P., 1975. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. IV. Utilisation digestive des protéines de levures d'alcane et influence d'un complexant du fer. *Ann. Zootech.*, 24, 685-696.
- PATUREAU-MIRAND P., 1980. Quelques aspects du métabolisme des acides aminés et des protéines chez les jeunes ruminants. In : *Aspects actuels de la nutrition et de l'élevage des jeunes ruminants, E.N.S.A. et I.N.R.A. Rennes*.
- PETCHEY A.M., OWEN J.B., MACKIE I.M., RITCHIE A.H., ORSKOV E.R., 1979. A comparison of undried and dried fish-protein hydrolysate as a protein source for calf milk replacers. *Anim. Prod.*, 28, 191-198.

- PETIT H.V., IVAN M., BRISSON G.J., 1987a. An oxalate-sodium hydroxide buffer to study the role of milk replacer coagulation in preruminant calves. *J. Dairy Sci.*, 70, 2565-2569.
- PETIT H.V., IVAN M., BRISSON G.J., 1987b. Duodenal flow of digesta in preruminant calves fed clotting or non-clotting milk replacer. *J. Dairy Sci.*, 70, 2570-2576.
- RAVEN A.M., 1972. Nutritional effects of including different levels and sources of protein in milk replacers for calves. *J. Sci. Fd Agric.*, 23, 517-526.
- ROY J.H.B., STOBO J.F., 1975. Nutrition of the preruminant calf, 30-48. In Mc DONALD J.W., WARNER A.C.I., Digestion and metabolism in the ruminant. Proc. IVth int. Symp. on ruminant physiology, University of New England Pub. Unit, Armidale.
- ROY J.H.B., STOBO J.F., SHOTTON S.M., GANDERTON P., GILLIES C.M., 1977. The nutritive value of non-milk proteins for the preruminant calf. The effect of replacement of milk protein by soy-flour or fish-protein concentrate. *Br. J. Nutr.*, 38, 167-187.
- SAUVEUR B., 1988. Reproduction des volailles et production d'oeufs, 358. Ed. INRA Publications, Paris.
- SEDMAN C.A., ROY J.H.B., THOMAS J., 1985. Digestion, absorption and utilization of single-cell protein by the preruminant calf. Abomasal outflow and its composition from calves given milk-substitute diets containing varying amounts of either bacterial or yeast protein. *Brit. J. Nutr.*, 53, 673-689.
- SEEGRABER E.J., MORILL J.L., 1986. Effect of protein source in calf milk replacers on morphology and absorptive ability of small intestine. *J. Dairy Sci.*, 69, 460-469.
- SHINGOETHE D.J., 1976. Whey utilisation in animal feeding : a summary and evaluation. *J. Dairy Sci.*, 59, 556-570.
- SILVA A.G., HUBER J.T., DEGREGORIO R.M., 1986a. Influence of substituting two types of soybean protein for milk protein on gain and utilization of milk replacers in calves. *J. Dairy Sci.*, 69, 172-180.
- SILVA A.G., HUBER J.T., HERDT T.H., HOLLAND R., DEGREGORIO R.M., MULLANEY T.P., 1986b. Morphological alterations of small intestinal epithelium of calves caused by feeding soybean protein. *J. Dairy Sci.*, 69, 1387-1393.
- SISSONS B.W., 1983. Effect of feed intake on digesta flow and myoelectric activity in the gastrointestinal tract of the preruminant calf. *J. Dairy Res.*, 50, 387-395.
- SISSONS J.W., PEDERSEN H.E., DUVAUX C., THURSTON S.M., STARKEY S., WASS J.A.H., 1987. Abnormalities in gastrointestinal motility in calves fed antigenic soyabean. In : CHANDRA R.K., Food allergy, 95-108. Nutrition Research Fundation, St John's, Newfoundland.
- SRIHARA P., 1984. Processing to reduce the antigenicity of soyabe products for preruminant calf diet. Ph. D. Thesis, University of Guelph, Canada.
- STRUDSHOLM M.F., 1988. The effect of curd formation in the abomasum on the digestion of milk replacers in preruminant calves. *Acta Agric. Scand.*, 38, 321-327.
- STEWART J.A., MULLER L.L., GRIFFIN A.T., 1974. Use of whey solids in calf feeding. *Austr. J. Dairy Tech.*, 29, 53-58.
- TERNOUTH J.H., ROY J.H.B., 1973. The effect of diet and feeding technique on digestive function in the calf. *Ann. Rech. vétér.*, 4, 19-30.
- TERNOUTH J.H., ROY J.H.B., 1978. Concurrent studies of the flow of digesta in the duodenum and of exocrine pancreatic secretion in calves. 6. The effect of feeding warm or cold milk by bucket or teat. *Br. J. Nutr.*, 40, 553-561.
- TERNOUTH J.H., ROY J.H.B., THOMPSON S.Y., TOOTHILL J., GILLIES C.M., EDWARDS-WEBB J.D., 1975. Concurrent studies of the flow of digesta in the duodenum and of exocrine pancreatic secretion in calves. 3. Further studies on the addition of fat to skim milk and the use of non-milk proteins in the milk-substitutes diets. *Br. J. Nutr.*, 33, 181-196.
- TOULLEC R., 1981. Utilisation des protéines de luzerne par le veau préruminal. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix-I.N.R.A.*, 44, 9-12.
- TOULLEC R., 1988. Alimentation du veau de boucherie. In : R. JARRIGE Ed."Alimentation des bovins, ovins et caprins", 185-199. INRA Publications, Paris.
- TOULLEC R., PATUREAU-MIRAND P., 1979. Influence du procédé d'hydrolyse des protéines de poisson sur leur utilisation par le veau de boucherie. Comparaison avec les protéines de lait et celles de soja. *Ann. Zootech.*, 28, 407-422.
- TOULLEC R., THIVEND P., MATHIEU C.M., 1971. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. I. Vidange stomacale comparée du lait entier et de deux laits de remplacement ne contenant que des protéines de lactosérum comme source de matières azotées. *Ann. Zootech.*, 11, 435-453.
- TOULLEC R., PATUREAU-MIRAND P., PARUELLE J.L., GUILHERMET R., 1973. Utilisation des protéines par le veau préruminal à l'engrais. L'Alimentation et la Vie, 61, 57-92.
- TOULLEC R., MATHIEU C.M., PION R., 1974a. Utilisation des protéines du lactosérum par le veau préruminal à l'engrais. II. Digestibilité et utilisation pour la croissance. *Ann. Zootech.*, 23, 75-87.
- TOULLEC R., FRANTZEN J.F., MATHIEU C.M., 1974b. Influence de la coagulation des protéines du lait sur l'utilisation digestive d'un lait de remplacement par le veau préruminal. *Ann. Zootech.*, 23, 359-364.
- TOULLEC R., PATUREAU-MIRAND P., THIVEND P., VERMOREL M., 1975. Bases physiologiques de la réalisation des aliments d'allaitement pour veaux. L'Alimentation et la Vie, 63, 69-100.
- TOULLEC R., THIVEND P., VERMOREL M., GUEGUEN L., 1978. Veau préruminal. In I.N.R.A., Alimentation des ruminants, 245-274. INRA Publications, Versailles.
- TOULLEC R., COROLLER J.Y., PATUREAU-MIRAND P., MELCION J.P., PRUGNAUD J., VALDEBOUZE P., DELORT-LAVAL J., 1980. Influence des traitements technologiques sur l'utilisation des protéines de la fève-rolle par le veau préruminal. *Ann. Zootech.*, 29, 339-361.
- TOULLEC R., GUILLOTEAU P., PATUREAU-MIRAND P., SISSONS J.W., 1983. Digestion and absorption of protein in the preruminant. In "ARNAL M. PION R., BONIN D., IVth Symposium on protein metabolism and nutrition, I, 245-261. Ed. INRA Publications, Paris.
- TROCCON J.L., TOULLEC R., 1976. Influence du remplacement du lait écrémé par d'autres sources de protéines dans l'aliment d'allaitement distribué à des veaux femelles d'élevage sevrées précocement. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix - I.N.R.A.*, 26, 55-61.
- TROCCON J.L., PETIT M., 1989. Croissance des génisses de renouvellement et performances ultérieures. *INRA Prod. Anim.*, 2 (1), 55-64.
- TROCCON J.L., PATUREAU-MIRAND P., GOUET P., 1978. Conservation du colostrum, utilisation par le veau d'élevage. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix - I.N.R.A.*, 31, 43-52.
- VAN WEERDEN E.J., 1974. Low fat fish meal in milk replacers. In "3rd European Symposium on the use of fish meal in Animal Feeding", 96-111.
- VAN WEERDEN E.J., HUISMAN J., 1985. Amino acid requirement of the young calf. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelkd.*, 53, 232-244.
- VOLCANI R., BEN-ASHER A., 1974. Growth response of pail-fed heifers to an all-whey milk replacer. *J. Dairy Sci.*, 57, 567-575.
- WAGNER T.J., ELLIOTT J.G., GEURIN H.B., 1988. Effect of isolated soy protein and whey on partial or complete replacement of dried skim milk in a milk replacer for veal calves. *J. Dairy Sci.*, 71, 126.
- WILLIAMS V.J., ROY J.H.B., GILLIES C.M., 1976. Milk-substitute diet composition and abomasal secretion in the calf. *Br. J. Nutr.*, 36, 317-335.
- YVON M., VAN HILLE I., PEILLIER J.P., GUILLOTEAU P., TOULLEC R., 1984. In vivo milk digestion in calf abomasum. II. Milk and whey proteolysis. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 24, 835-843.

J.L. TROCCON, R. TOULLEC. Early-weaned calf milk replacers. Replacing skimmed milk powder with other protein sources.

Replacing skimmed milk protein with other animal or vegetable protein in calf milk replacer prevents milk clotting and accelerates the rate of removal of proteins and lipids from the abomasum. The protein sources vary in their ability to stimulate abomasal and pancreatic secretions. Some proteins (e.g soja) can cause gastrointestinal allergic responses.

The apparent digestibility of replacement proteins increases with the age of the calf, especially during the first month, but stays generally lower than for milk protein. More health problems and lower live weight gain are liable to occur when 25-50 % of milk protein are replaced, depending on the protein sources used, their essential amino acid balance and the production method. Practical rules are given to limit negative effects of non skim-milk calf replacer.

TROCCON J.L., TOULLEC R., 1989. Aliments d'allaitement pour veaux d'élevage. Remplacement de la poudre de lait écrémé par d'autres sources protéiques. *INRA Prod. Anim.*, 2 (2), 117-128.