

3. Système d'évaluation des apports et des besoins azotés

Roger Daccord

Table des matières

3.	Système d'évaluation des apports et des besoins azotés	2
3.1.	Estimation des protéines d'origine microbienne	2
3.1.1.	Synthèse microbienne à partir de l'énergie disponible dans la panse	2
3.1.2.	Synthèse microbienne à partir de la matière azotée disponible dans la panse	4
3.2.	Estimation des protéines d'origine alimentaire	4
3.3.	Estimation des PAI	6
3.4.	Equilibres entre les apports azotés et énergétiques dans la ration	6
3.5.	Equilibres entre les apports azotés et énergétiques dans la panse	6
3.6.	Besoins en PAI	7
3.7.	Besoins en acides aminés	8
3.8.	Conclusions	9
3.9.	Bibliographie	9



La teneur en MOF dépend grandement de la teneur en MOD. La précision de l'évaluation de cette dernière est donc importante. L'influence des paramètres corrigeant la MOD, autres que la matière azotée non dégradable, est faible pour la plupart des aliments. La majorité des aliments a une teneur en matière grasse inférieure à 50 g par kg de MS. Pour ceux-ci, une valeur moyenne de 35 g est utilisée. La matière grasse n'est pas prise en compte avec les aliments dont les teneurs sont faibles (<10 g) ou nulles, comme les amidons, la pomme de terre et ses sous-produits, les pulpes de betteraves, la mélasse. Des valeurs supérieures à 50 g se rencontrent principalement avec les graines oléoprotéagineuses, les tourteaux extraits par pression, les sous-produits du riz et lors d'une addition de graisse. Les aliments riches en amidon dont la dégradabilité est réduite ($\leq 85\%$) sont essentiellement le maïs, le sorgho, la pomme de terre, le riz et leurs sous-produits respectifs. A ne considérer qu'avec les ensilages, les produits de fermentation sont difficilement modulables selon des critères simples, qui ne découlent pas d'une analyse chimique. Des valeurs sont proposées au cas où la dépense relativement lourde pour une analyse n'a pas été faite. Elles sont corrigées lorsque les teneurs en MS des ensilages d'herbe et de maïs s'écartent des valeurs standard.

L'analyse d'un grand nombre de bilans azotés a permis d'estimer l'efficacité de la synthèse microbienne à 145 g de protéines par kg de MOF (Vérité et al. 1987). Grâce aux différentes corrections faites à la MOF selon l'aliment considéré, il est possible de tenir compte de la variation de la synthèse microbienne. Ramenée au kg de MOD, celle-ci est en moyenne de 135 g lors de la fermentation de l'herbe, du foin et des céréales à amidon facilement dégradable, de 115 g avec les ensilages d'herbe et de maïs plante entière, de 105 à 115 g avec les tourteaux, de 95 g avec le maïs et le sorgho et de 40 g avec la farine de poisson. Mais l'efficacité microbienne varie aussi selon les conditions régnant dans la panse. La nature de la MOF, comme ses teneurs en parois et en amidon et leur cinétique de dégradation respective, ainsi que les interactions entre les composants de la ration représentent une importante source de fluctuation. Prendre en compte ces paramètres n'est pas possible dans le système statique actuel.

La fraction azotée microbienne contient en moyenne 0.80 g d'acides aminés par g, dont la digestibilité dans l'intestin est de 80 %. Ces valeurs ont de faibles variations expérimentales, ce qui permet de les considérer comme des valeurs constantes.

Les protéines microbiennes absorbables dans l'intestin, synthétisées à partir de l'énergie disponible dans la panse (PAIM), sont estimées d'après la formule suivante:

$$\begin{aligned} \text{PAIM} &= 0.145 \cdot \text{MOF} \cdot \text{AAM} \cdot \text{dAAM} \\ \text{PAIM} &= 0.145 \cdot \text{MOF} \cdot 0.80 \cdot 80/100 \\ \text{PAIM} &= \mathbf{0.093 \cdot \text{MOF}} \end{aligned}$$

où:

PAIM	=	protéines absorbables dans l'intestin d'origine microbienne, g/kg de MS
AAM	=	teneur en acides aminés de la fraction azotée microbienne, g/g
dAAM	=	digestibilité des acides aminés d'origine microbienne, %.

Les PAIM sont identiques aux PDIME (protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne, synthétisées à partir de l'énergie fermentescible) du système français des PDI et semblables aux DVME (darm verteerbaar microbiëel eiwit) du système hollandais.

La quantité moyenne de PAIM synthétisée à partir de la MOF n'est effective que si l'apport en matière azotée dégradable est suffisant pour couvrir les besoins des microorganismes. Ces besoins sont couverts lorsque la ration contient au minimum:

- 20 g MA/MJ NEL pour les femelles en lactation (vache, brebis, chèvre),
pour les jeunes animaux d'élevage,
- 18 g MA/MJ NEL pour les femelles tarées,
pour les autres animaux (taureau, bélier, bouc au repos),
- 19 g MA/MJ NEV pour les animaux à l'engrais.

3.1.2. Synthèse microbienne à partir de la matière azotée disponible dans la panse

Le 2^e facteur important régissant la synthèse microbienne est la matière azotée disponible ou dégradée dans la panse. Les protéines microbiennes absorbables dans l'intestin, synthétisées à partir de la matière azotée dégradée (PAIMN), sont estimées selon la formule suivante:

$$\begin{aligned} \text{PAIMN} &= \text{MA} \cdot (1 - 1.11 \cdot [1 - \text{deMA} / 100]) \cdot 0.9 \cdot \text{AAM} \cdot \text{dAAM} \\ &= \text{MA} \cdot (\text{deMA} / 100 - 0.10) \cdot 0.64 \end{aligned}$$

où:

PAIMN =	protéines absorbables dans l'intestin synthétisées à partir de la matière azotée dégradée, g/kg de MS
deMA =	dégradabilité de la matière azotée de l'aliment, %
0.9 =	valeur pour la captation de la matière azotée dégradée
AAM =	teneurs en acides aminés de la fraction azotée microbienne, g/g
dAAA =	digestibilité des acides aminés d'origine microbienne, %

Les PAIMN sont identiques aux PDIMN du système français des PDI.

3.2. Estimation des protéines d'origine alimentaire

La quantité de protéines alimentaires non dégradées dans la panse dépend fortement de la dégradabilité de leur matière azotée. La dégradabilité correspond à la proportion de matière azotée qui peut être transformée dans la panse en peptides, en acides aminés ou en ammoniac. Elle est influencée d'une part par les caractéristiques de l'aliment, en particulier la nature de ses protéines et leur accessibilité aux enzymes microbiens. Elle peut donc être modifiée par des processus physiques, thermiques, chimiques ou microbiens contrôlés ou involontaires, comme lors du broyage, de la déshydratation, de l'extrusion, de l'extraction des huiles, de la fenaison ou de l'ensilage. D'autre part, la dégradabilité varie aussi selon l'intensité de l'activité microbienne et le temps de séjour de l'aliment dans la panse, conditionnés par les caractéristiques de la ration, telles que sa structure, son niveau d'ingestion et la proportion d'aliments concentrés. La dégradabilité est ainsi une valeur potentielle, ajustée à la réalité seulement si les conditions de production et d'utilisation de l'aliment correspondent à celles qui existaient lors de la mesure de sa dégradabilité.

La méthode de base pour mesurer la dégradabilité de la matière azotée est la méthode *in vivo*, déterminant le flux de matière azotée au niveau de l'intestin d'animaux fistulés. Elle est lourde à mettre en œuvre et peut être affectée par de nombreuses sources d'erreurs. C'est la méthode de référence, indispensable pour calibrer des méthodes plus simples, comme la mesure *in vitro* de la fermentescibilité et le test de solubilité dans la salive artificielle sur lesquels s'appuyait le système des PAI. Désormais, celui-ci se fonde sur la méthode des sachets (méthode *in sacco*), incubés dans la panse d'animaux fistulés. Cette méthode est largement utilisée et acceptée comme la méthode fournissant des résultats proches de ceux obtenus par des mesures *in vivo*.

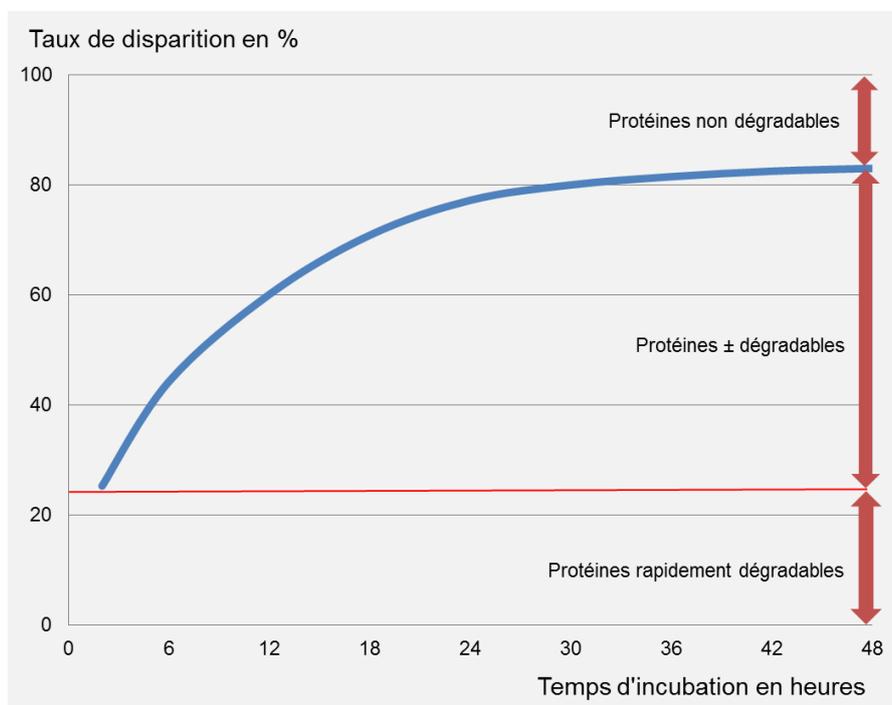
La méthode des sachets permet de décrire la cinétique de dégradation de la matière azotée qui est une caractéristique intéressante de l'aliment. Lorsqu'elle est combinée avec un taux de sortie des particules alimentaires hors de la panse fixé à 6% par heure, il est possible de calculer la dégradabilité. Si celle-ci est ajustée à un modèle exponentiel, la cinétique permet de distinguer 3 fractions azotées (fig. 3.1):

- une fraction instantanément dégradée, essentiellement par solubilisation,
- une fraction insoluble, mais potentiellement dégradable,
- une fraction non dégradable.

La méthode des sachets ne donne pas d'information sur le degré d'utilisation ou la digestibilité de la fraction non dégradable. Lorsque cette fraction est importante dans un aliment ayant subi un traitement thermique, le risque existe de surestimer sa valeur azotée. En effet, la valeur standard utilisée pour caractériser la digestibilité des acides aminés dans l'intestin est probablement trop élevée. La méthode des sachets est également lourde à mettre en œuvre: une valeur de dégradabilité implique l'incubation dans la panse d'animaux fistulés d'environ 75 sachets et de leurs analyses. Ainsi, cette méthode ne peut pas être utilisée pour analyser des grandes séries d'échantillons; elle est surtout utile pour préciser des valeurs de référence ou pour développer des méthodes de laboratoire plus simples, comme la méthode mesurant la

dégradabilité enzymatique, Malheureusement, la méthode des sachets n'est pas encore vraiment standardisée, ce qui rend difficile des comparaisons entre institutions.

Figure 3.1. Cinétique de dégradation de la matière azotée selon la méthode in sacco



La dégradabilité de la matière azotée des aliments est très variable. Dans la classe des fourrages, les légumineuses ont globalement une dégradabilité plus élevée que les graminées. En moyenne, la dégradabilité varie avec la teneur en matière azotée de l'herbe, reflétant en partie des modifications dues à l'âge des plantes. L'accessibilité de la matière azotée aux enzymes microbiens dans la panse est en effet dépendante des structures des parois végétales qui évoluent avec l'âge. La conservation par ensilage cause une augmentation de la dégradabilité de 5 à 15 %, suivant la teneur en matière azotée et la qualité de la conservation. Moins étudiés, les effets de la fenaison font diminuer la dégradabilité de l'herbe correspondante d'environ 5 à 10 %.

La dégradabilité moyenne de la matière azotée des principaux fourrages et aliments simples est donnée dans les tables de leur valeur nutritive (chap. 13 et 14). Son estimation par une méthode de laboratoire comme l'analyse enzymatique n'est rationnelle que dans l'hypothèse de processus de production ou de conservation qui s'écartent de manière importante des conditions normales.

La digestibilité des protéines alimentaires varie de manière importante (de 20 à 95 %), mais elle est difficile à estimer. Actuellement, des données suffisamment précises permettent de la moduler suivant le type d'aliment (CVB 1991; Vérité et al. 1987). Des méthodes manquent encore pour estimer rapidement les effets de technologies qui maltraitent les protéines.

Les protéines alimentaires absorbables dans l'intestin (PAIA) peuvent être estimées selon la formule suivante:

$$PAIA = MA \cdot (1.11 \cdot [1 - deMA / 100]) \cdot dAAA / 100$$

où:

MA = matière azotée, g/kg de MS

deMA = dégradabilité de la matière azotée, %

La surestimation par la méthode in sacco de la dégradabilité in vivo est corrigée par le facteur 1.11; logiquement, cette correction devrait se retrouver dans l'estimation de la MOF; pour des raisons historiques, elle n'a pas été prise en compte; pour des raisons d'harmonisation avec les systèmes français et hollandais, cette correction n'est pas faite dans l'estimation de la MOF; son influence est faible sur la teneur en PAIM.

dAAA = digestibilité des acides aminés d'origine alimentaire, %.

Les PAIA sont identiques aux PDIA (protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire) du système français et aux DVBE (darm verteerbaar bestendig eiwit) du système hollandais.

3.3. Estimation des PAI

Les PAI sont constitués par les protéines microbiennes et les protéines alimentaires absorbables dans l'intestin. Chaque aliment a 2 teneurs en PAI, l'une PAIE découlant de la teneur en énergie disponible (PAIM + PAIA), l'autre PAIN résultant de la teneur en matière azotée dégradable (PAIMN + PAIA). Ces teneurs se calculent ainsi:

$$\begin{aligned} \text{PAIE} &= 0.093 \cdot \text{MOF} + \text{MA} \cdot (1.11 \cdot [1 - \text{deMA} / 100]) \cdot \text{dAAA} / 100 \\ \text{PAIN} &= \text{MA} \cdot (\text{deMA} / 100 - 0.10) \cdot 0.64 + \text{MA} \cdot (1.11 \cdot [1 - \text{deMA} / 100]) \cdot \text{dAAA} / 100 \end{aligned}$$

où:

PAIE	=	protéines absorbables dans l'intestin, synthétisées à partir de l'énergie disponible, g/kg de MS
MOF	=	matière organique fermentescible, g/kg de MS
MA	=	matière azotée, g/kg de MS
deMA	=	dégradabilité de la matière azotée, %
dAAA	=	digestibilité des acides aminés d'origine alimentaire, %
PAIN	=	protéines absorbables dans l'intestin, synthétisées à partir de la matière azotée dégradée g/kg de MS.

Les PAIE sont identiques aux PDIE et les PAIN aux PDIN du système français des PDI

3.4. Equilibres entre les apports azotés et énergétiques dans la ration

Pour satisfaire les besoins en PAI des ruminants, il est essentiel de couvrir d'abord les besoins azotés des microorganismes de la panse. Un déficit azoté prolongé freine l'activité microbienne, ce qui diminue les apports en PAIM, de même que les apports en énergie par une baisse de la consommation de fourrage. Cette carence azotée doit être évitée, surtout chez des animaux à forte production. Une première exigence à satisfaire est celle d'une concentration minimale de la ration en matière azotée par unité d'énergie, telle qu'elle a été définie précédemment (18-20 g MA/MJ NEL, 19 g MA/MJ NEV). Cette exigence fondamentale implique aussi que la ration soit équilibrée en minéraux et en vitamines. Si un déficit azoté prolongé doit être évité, il est aussi nécessaire de veiller à ce que les apports azotés ne soient pas excessifs durant de longues périodes. Ainsi, à une contrainte de concentration minimale s'en ajoute une de concentration maximale qui se situe à:

30 g MA/MJ NEL ou NEV

A cause des problèmes que peuvent causer des rejets azotés trop importants, cette exigence doit être contrôlée avec attention. Elle n'est pas toujours facile à satisfaire, en particulier lorsque du fourrage ayant des teneurs élevées en matière azotée est donné à des animaux qui ont de faibles besoins. Ces excès ne sont bénéfiques ni pour l'animal, ni pour son environnement.

3.5. Equilibres entre les apports azotés et énergétiques dans la panse

Les apports azotés et énergétiques peuvent être optimisés au niveau de la ration en comparant la valeur laitière ou la production de lait possible avec les apports en énergie, en PAI et en matière azotée. Il est également intéressant d'examiner ces équilibres au niveau de la panse. Dans ce but, il faut connaître les quantités de protéines que les microorganismes peuvent synthétiser à partir, soit de l'énergie fermentescible (PME), soit de la matière azotée dégradable des principaux aliments (PMN). Ces valeurs se laissent facilement dériver des formules utilisées pour calculer les PAIM et les PAIA:

$$\begin{aligned} \text{PME} &= 0.145 \cdot \text{MOF} \\ \text{PMN} &= \text{MA} \cdot (1 - [1.11 \cdot \{1 - \text{deMA} / 100\}]) \end{aligned}$$

où

PME = quantité de protéines microbiennes pouvant être synthétisées à partir de l'énergie fermentescible, g/kg de MS

PMN = quantité de protéines microbiennes pouvant être synthétisées à partir de la matière azotée dégradable, g/kg de MS

La synthèse de protéines microbiennes est optimale quand les valeurs de PME et PMN s'équilibrent dans la panse. Cette condition est réalisée, soit lorsque les aliments ont des valeurs semblables, soit lorsque la combinaison de leurs valeurs différentes est judicieuse.

Les céréales ont des valeurs PME plus élevées que les valeurs PMN. Le rapport PMN/PME est d'environ 0.8 pour le blé et l'orge et de 0.4 pour le maïs. Cette céréale est ainsi efficace pour compenser des apports excessifs de matière azotée dégradable. Si la valeur PMN du pois est modeste en comparaison à celle des tourteaux, sa valeur PME est proportionnellement élevée. Les tourteaux de soja et de colza et le gluten de maïs ont un rapport PMN/PME variant entre 3 et 4. A cause de ses fractions de matière azotée et d'amidon peu dégradables, le gluten a des valeurs PMN et PME plus faibles que celles des tourteaux. Le rapport s'élève à 6 avec les protéines fourragères et atteint 8 avec la farine de poisson. Proportionnellement aux PME, ce sont les protéines fourragères qui apportent le plus de PMN. Leur utilisation n'est rationnelle que pour compenser un important déficit en matière azotée dégradable.

Dans l'herbe et ses conserves, la valeur PMN diminue avec l'avancement du stade de végétation beaucoup plus rapidement que la valeur PME. Vers les stades 3 et 4 (moyen à mi-tardif), la valeur PMN de l'herbe devient inférieure à la valeur PME, annonçant une carence en matière azotée dégradable au niveau de la panse. Ce déficit intervient plus tardivement avec l'ensilage et plus tôt avec le foin.

Les valeurs PME et PMN sont intéressantes pour choisir efficacement les aliments concentrés en matière azotée et pour optimiser de manière fine l'équilibre des apports azotés et énergétiques dans le rationnement des animaux aux besoins élevés.

3.6. Besoins en PAI

Comme en 1984, les besoins en PAI pour les différentes espèces et les différents états physiologiques sont issus du système français des PDI. La plupart de ces valeurs sont basées sur des résultats d'essais d'alimentation, ce qui leur confère une solidité pratique souvent plus consistante que celle des valeurs obtenues par calculs factoriels. Les besoins dépendent de l'efficacité avec laquelle les apports de PAI équilibrent les pertes (entretien) ou les productions. Ce rendement d'utilisation est spécifique aux espèces et aux états physiologiques (tab. 3.1).

Tableau 3.1. Rendement d'utilisation et besoins en PAI

		Bovins	Caprins	Ovins
Rendement:	lactation	0.64	0.58	0.64
	gestation	0.60	0.42	
	croissance	0.40-0.68		
Besoins:	lactation, g/kg lait	50*	70-90	45*
	entretien, g/kg PV ^{0.75}	3.25	2.50	2.3

* lait standard: vache = 32 g protéines par kg
chèvre = 29 g protéines par kg

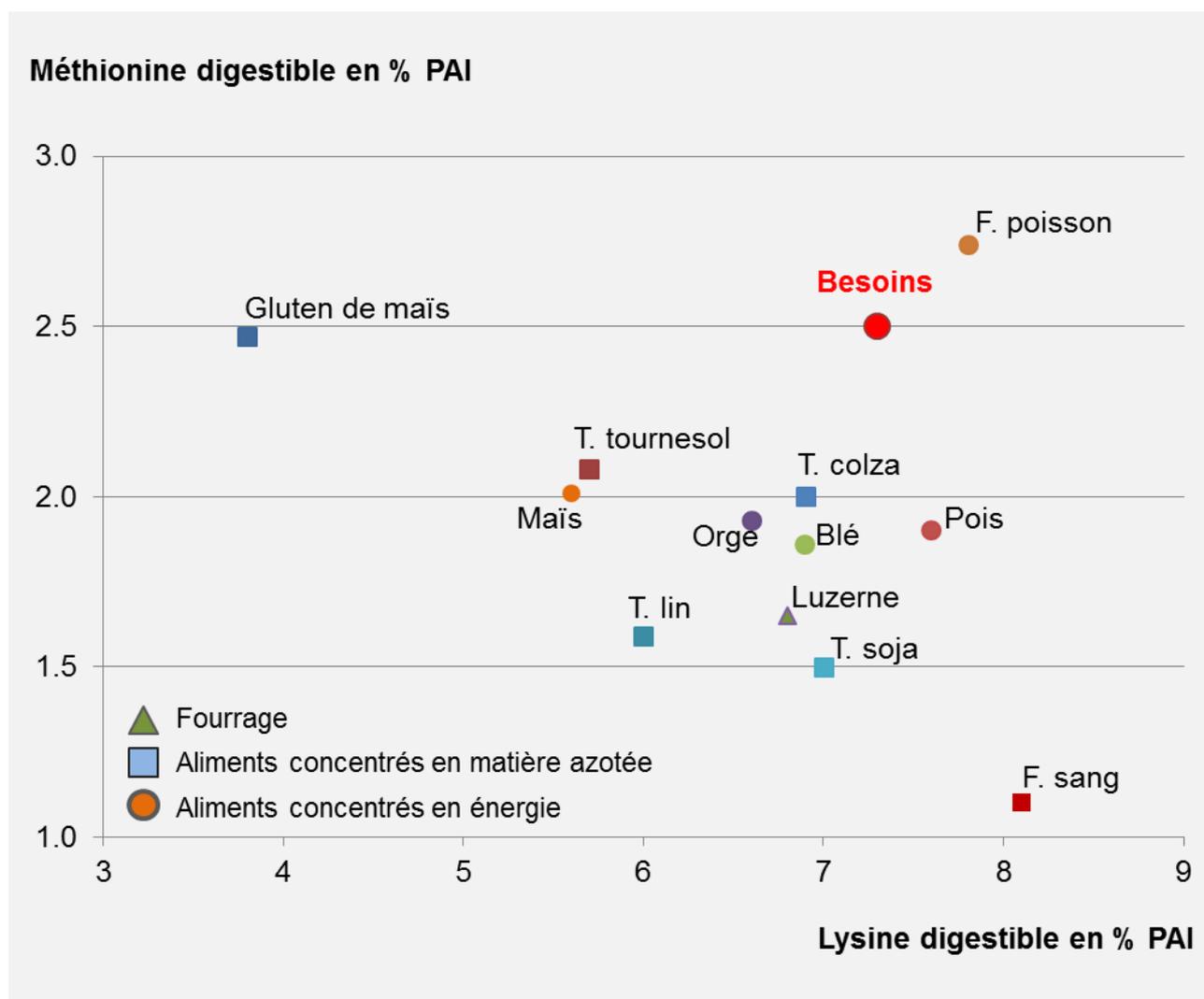
Les variations du rendement d'utilisation des PAI sont plus grandes que pour l'énergie. Les apports excédentaires de matière azotée sont presque toujours catabolisés, puisque les capacités de mise en réserves des protéines sont faibles. Chez les femelles laitières, la quantité de protéines facilement mobilisables est 8 à 10 fois moins élevée que les réserves de lipides (Chilliard et al. 1987). En situation de déficit, le ruminant peut réduire ses pertes azotées. Ces périodes de déficit ne devraient être que de courte durée. Les protéines mobilisées proviennent des muscles, mais aussi des viscères et des organes. Une mobilisation trop intense rend difficile la reconstitution des protéines corporelles. Souvent parallèles aux déficits énergétiques, les déficits azotés prolongés ont des conséquences négatives sur le taux protéique du lait, sur la reproduction et la santé des femelles laitières.

Comme pour l'énergie, les effets d'une augmentation des apports de PAI sur la production laitière ou sur la croissance suivent la loi des rendements décroissants.

3.7. Besoins en acides aminés

Les besoins en PAI correspondent aux besoins globaux en acides aminés du ruminant. Lorsque sa production est faible, les protéines microbiennes couvrent la majeure partie de ces besoins. Leurs teneurs en acides aminés indispensables sont adéquates pour la croissance et la production laitière. Lorsque celle-ci est élevée, des risques de déficit existent, en particulier avec des rations constituées par une forte proportion d'ensilage de maïs. Pour améliorer l'adéquation entre les besoins et les apports, le système français des PDI a été complété par un système permettant d'optimiser les apports en lysine et en méthionine (Rulquin et al. 1993 a). Encore en développement, ces calculs n'ont pas été intégrés dans le système des PAI. Sur la base des teneurs en lysine et en méthionine des aliments (Rulquin et al. 1993 b), en particulier des aliments concentrés en matière azotée, il est déjà possible de concevoir des formules utilisant des matières premières dont les teneurs en lysine et en méthionine sont proches des besoins (fig. 3.2).

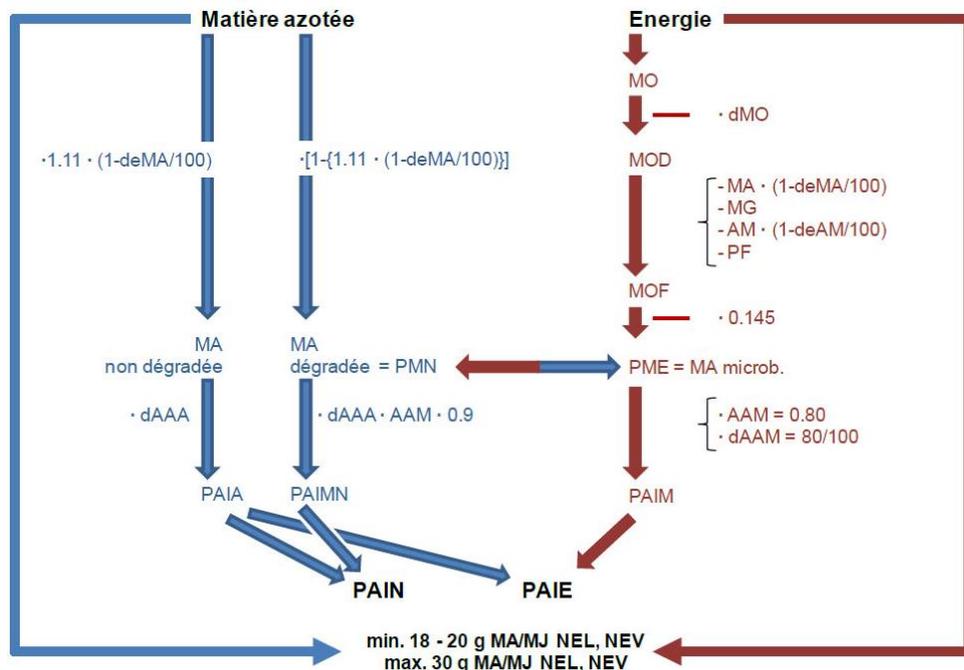
Figure 3.2. Teneurs en lysine et méthionine digestibles de quelques aliments (d'après Rulquin et al. 1993 b)



3.8. Conclusions

Les modifications apportées au système des PAI ne changent pas ses structures (fig. 3.3), Elles améliorent sa précision, à un moment où les protéines animales doivent être produites de manière plus efficace. Elles concernent principalement les teneurs en PAI des aliments. Révisées, ces teneurs sont certainement plus proches de la réalité de nos ruminants.

Figure 3.3. Structures du système révisé des PAI



Le système des PAI permet de préciser quand il y a carence en matière azotée ou en PAI, mais aussi quand il y a excès. L'optimisation des apports en relation avec les besoins n'est possible que si le rationnement est contrôlé fréquemment. Mais le suivi régulier de l'alimentation est économique seulement si la valeur nutritive des aliments et la consommation des animaux sont connues avec une précision suffisante.

3.9. Bibliographie

- Chilliard Y., Rémond B., Agabriel J., Robelin J. et Vérité R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA 70, 117-131.
- CVB, 1991. Eiwitwaardering voor herkauwers: het DVE-Systeem. Centraal Veevoederbureau, Lelystad. Reeks nr. 7.
- Landis J., 1984. Système d'évaluation azotée des aliments pour les ruminants. Dans: Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants. 2e édition. LmZ, Zollikofen. 14 - 19.
- Rulquin H., Guinard Jocelyne, Pisulewski P. et Vérité R., 1993a. Le système en lysine et méthionine digestible. Séminaire CAAA-AFTAA, Le Mans.
- Rulquin H., Guinard Jocelyne, Vérité R. et Delaby L., 1993b. Teneurs en Lysine (LysDI) et Méthionine (MetDI) digestibles des aliments pour ruminants. Séminaire CAAA-AFTAA, Le Mans.
- Vérité R., Michalet-Doreau Brigitte, Chapoutot P., Peyraud J.L. et Poncet C., 1987. Révision du système des Protéines Digestibles dans l'Intestin (P.D.I.). Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA 70, 19 - 34.

Version: Octobre 2017

Éditeur: Agroscope,

Rédaction: R. Daccord

Copyright: Agroscope

Svp reproduire le contenu avec référence