

Jocelyne AUFRERE, Dominique GRAVIOU,
C. DEMARQUILLY, R. VERITE *,
Brigitte MICHALET-DOREAU,
P. CHAPOUTOT **

INRA Station de Recherches
sur la Nutrition des Herbivores
Unité de la Valeur alimentaire
Theix - 63122 Saint-Genès Champanelle

* INRA Station de Recherches
sur la Vache Laitière

Saint-Gilles 35590 L'Hermitage

** INRA-INAPG Station de Nutrition
et Alimentation - 16, rue Claude-Bernard
75231 Paris Cedex 05

Aliments concentrés pour ruminants :

prévision de la valeur azotée PDI à partir d'une méthode enzymatique standardisée

Les modifications apportées en 1988 au système PDI ont été publiées dans le n° 70 du Bulletin technique de Theix. Elles concernent principalement l'utilisation de nouveaux paramètres caractérisant les aliments, notamment la dégradabilité théorique, mesurée par la technique des sachets de nylon. Cette mesure est longue et coûteuse, aussi a-t-il été nécessaire de mettre au point une méthode de laboratoire plus facile à mettre en œuvre. Cette méthode permet d'estimer la dégradabilité théorique et d'établir les relations de prévision des valeurs PDI des aliments.

La prévision de la teneur en PDI des aliments nécessite la prise en compte de 4 paramètres :

- la teneur en matières azotées totales (MAT) ;
- la dégradabilité théorique en sachets des matières azotées (DT) ;
- la digestibilité réelle des protéines alimentaires dans l'intestin grêle (dr) ;
- la teneur en matière organique fermentescible (MOF), elle-même fonction de la teneur en matière organique digestible (MOD) et des teneurs en matières grasses (MG) et en matières azotées non dégradables dans le rumen (MAT x (1 - DT)).

Les formules de base sont les suivantes :

$$(1) PDIA = 1,11 \times MAT \times (1-DT) \times dr$$

$$(2) PDIMN = 0,64 \times MAT \times (DT-0,1)$$

$$PDIME = 0,093 \times MOF$$

soit :

$$(3) PDIME = 0,093 \times (MOD - MG - MAT \times (1-DT))$$

On a donc ensuite :

$$PDIN = PDIMN + PDIA$$

$$PDIE = PDIME + PDIA$$

Pour le maïs et le sorgho grain, la teneur en MOF est multipliée respectivement par 0,80 et 0,70 car une fraction de l'amidon n'est digérée que dans l'intestin. Dans ces équations toutes les teneurs sont exprimées en g par kg de matière sèche alors que DT et dr sont des rapports compris entre 0 et 1.

Les teneurs en MAT et en matières grasses résultent de mesures classiques et la teneur en MOD (exprimée en g/kg MS) peut être prévue par les différentes méthodes (cf Giger-Reverdin *et al.*, à paraître) utilisées par les laboratoires

d'analyse en série pour l'estimation de la valeur UF des aliments. En revanche, la mesure de la dégradabilité théorique (DT) « *in sacco* » est longue et onéreuse et ne peut être réalisée que par un petit nombre de laboratoires de référence. Aussi est-il nécessaire de disposer en remplacement d'une méthode plus facile à mettre en œuvre. La méthode retenue (Aufrière et Cartailier 1988) utilise une protéase extraite de *Streptomyces Griseus* dans un tampon borate-phosphate à pH 8 (cf. encadré). Elle permet de déterminer les taux de dégradation enzymatique (DE) des matières azotées après différentes durées d'incubation : 1h (DE₁) et 24h (DE₂₄). DE₁ et DE₂₄ sont les rapports entre la quantité d'azote dégradée et la quantité d'azote de l'aliment étudié ; leurs valeurs sont donc comprises entre 0 et 1.

Le problème est de disposer de relations de prévision correctes de DT et des valeurs PDI à partir des taux de dégradation enzymatique. Pour cela, la méthode enzymatique a été appliquée à 146 échantillons d'aliments concentrés dont la DT avait été mesurée selon la méthode des sachets de nylon (Michalet-Doreau *et al.* 1987).

Ces 146 aliments correspondent à :

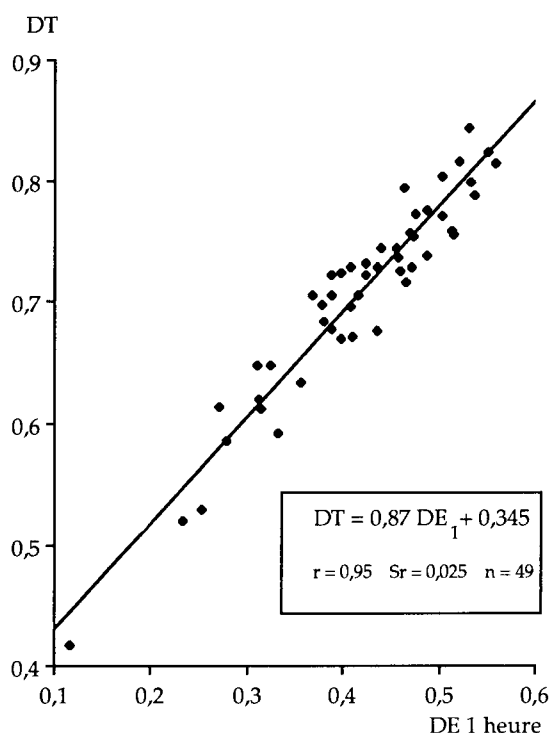
- 49 échantillons d'aliments composés du commerce fournis par 7 firmes d'aliments du bétail et contenant les matières premières les plus couramment utilisées (tourteaux traités ou non de soja, colza, arachide, tournesol ; graines protéagineuses et oléoprotéagineuses ; céréales et sous-produits ; pulpes de betterave et d'agrumes...). Leur composition chimique était

très variable : teneurs en matières azotées de 120 à 486 g/kg MS (valeur moyenne 298 g), en cellulose brute de 35 à 149 g/kg MS (valeur moyenne 87g), extrait éthéré de 9 à 155 g/kg MS (valeur moyenne 35 g), lignocellulose (ADF) de 43 à 234 g/kg MS (valeur moyenne 149 g). Leur DT était comprise entre 0,42 et 0,84 et leur DE_1 entre 0,12 et 0,56.

- 97 échantillons d'aliments simples, représentant 26 matières premières (cf plus loin) les plus couramment utilisées dans l'alimentation des ruminants. Leur DT variait de 0,29 pour un échantillon de glutenmeal à 0,96 pour un échantillon de féverole et leur DE_1 de 0,04 à 0,78 pour ces mêmes échantillons.

Les équations de prévision liant la DT au taux de dégradation enzymatique DE et celles liant directement les teneurs en PDI (g/kg MS) aux teneurs en matières azotées non dégradées par les enzymes ((MANDE = MAT x (1 - DE)) exprimées en g/kg MS) et à d'autres caractéristiques des aliments ont été établies. Elles seront toutes données dans une publication scientifique (Aufrère *et al*, en préparation). Dans un but de simplification du travail analytique des laboratoires, nous n'avons retenu ici que les équations faisant intervenir la DE au temps 1h (DE_1) ou les teneurs en MANDE au temps 1h ($MANDE_1 = MAT \times (1 - DE_1)$). La prise en compte en supplément de la DE_{24} ou des $MANDE_{24}$ se traduit en effet par un gain de précision faible qui ne justifie pas un surcroît de travail et de coût analytiques. Plusieurs situations ont été distinguées pour la prévision des DT et des valeurs PDI des aliments concentrés.

Figure 1. Liaison entre la dégradabilité théorique (DT) et la dégradation enzymatique au temps 1 h (DE_1) pour 49 aliments composés.



1 / Aliments composés

a/ Comme la formule ouverte et donc la digestibilité réelle ne sont en général pas connues, des équations de prévision directe des valeurs PDI sont proposées. Elles ont été établies à partir des 49 aliments composés étudiés.

$$(4) \text{ PDIA} = -0,211 \times \text{MAT} + 0,840 \times \text{MANDE}_1$$

$r = 0,997 \quad \text{Sr} = 7,7 \quad n = 49$

$$(5) \text{ PDIN} = 0,507 \times \text{MAT} + 0,278 \times \text{MANDE}_1$$

$r = 0,999 \quad \text{Sr} = 3,4 \quad n = 49$

$$(6) \text{ PDIE} = -0,220 \times \text{MAT} + 0,802 \times \text{MANDE}_1 + 67,1$$

$r = 0,980 \quad \text{Sr} = 8,8 \quad n = 49$

La précision de la prévision des PDIE peut être légèrement améliorée si on détermine la teneur en MG et si on estime la teneur en MOD (à partir des équations proposées par Giger-Reverdin *et al*, à paraître).

$$(7) \text{ PDIE} = -0,199 \times \text{MAT} + 0,766 \times \text{MANDE}_1 + 0,090 \times \text{MOD}$$

$r = 0,999 \quad \text{Sr} = 7,8 \quad n = 49$

$$(8) \text{ PDIE} = -0,190 \times \text{MAT} + 0,751 \times \text{MANDE}_1 + 0,096 \times \text{MOD} - 0,13 \times \text{MG}$$

$r = 0,999 \quad \text{Sr} = 7,1 \quad n = 49$

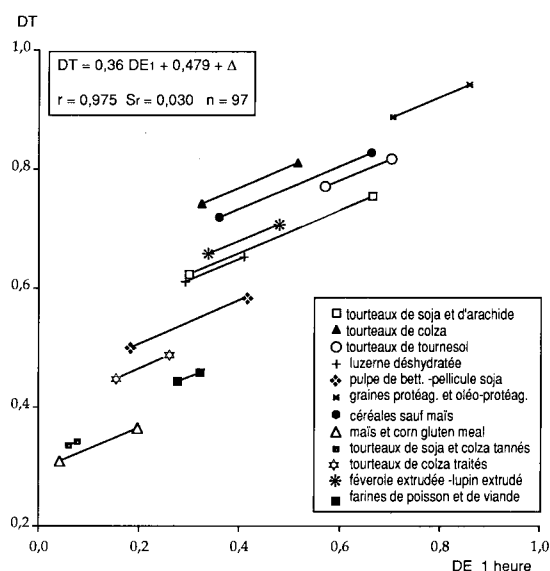
b/ La précision de ces prévisions est bonne. A l'avenir elle pourrait être améliorée lorsqu'on pourra prévoir la digestibilité réelle des protéines alimentaires. Il sera alors possible d'adopter une démarche analytique en deux phases : d'abord prévision de la DT à partir de la DE_1 puis calcul des valeurs PDI à partir des équations (1) à (3).

Il existe en effet une relation linéaire étroite (figure 1) entre la DT et la DE_1 des aliments composés, l'équation de régression étant la suivante :

$$(9) \text{ DT} = 0,87 \times \text{DE}_1 + 0,345$$

$r = 0,955 \quad \text{Sr} = 0,025 \quad n = 49$

Figure 2. Liaison entre la dégradabilité théorique (DT) et la dégradation enzymatique au temps 1 h (DE_1) pour 97 aliments simples.



Actuellement, la prévision de la dr n'est possible que si on connaît les proportions de chaque matière première dans l'aliment composé. Des méthodes de prévision de la dr sont en cours d'élaboration à partir des méthodes analytiques (teneur en azote de l'ADF déterminé directement sans passer par le NDF), mais doivent être précisées dans le cas des aliments composés et encore améliorées d'autant plus qu'elles impliquent un surcroît de travail et de dépenses.

2 / Aliments simples figurant dans les Tables INRA 1988

Pour les aliments simples figurant dans les Tables INRA 1988, la prévision de la DT n'est à envisager que si l'aliment a subi un traitement technologique particulier, différent de celui de l'aliment figurant dans les Tables ou pour tester

ALIMENTS	DT	dr
Fourrages		
Luzerne déshydratée	0,60	0,70
Céréales		
Avoine	0,78	0,95
Blé	0,74	0,95
Maïs	0,42	0,95
Orge	0,74	0,85
Triticale	0,76	0,95
Sous-produits de céréales		
Sons et remoulages de blé	0,76	0,95
Drêches de maïs	0,50	0,85
Corn gluten feed	0,69	0,85
Corn gluten meal	0,27	0,90
Solubles distilleries de maïs	0,70	0,85
Graines protéagineuses et oléoprotéagineuses		
Graines de colza	0,90	0,60
Graines de féverole	0,86	0,60
Graines de lin	0,80	0,60
Graines de lupin	0,95	0,60
Graines de pois	0,90	0,80
Graines de soja	0,90	0,85
Graines de tournesol	0,90	0,90
Sous-produits des graines protéagineuses et oléoprotéagineuses		
Tourteaux :		
Tourteau d'arachide	0,73	0,85
Tourteau d'arachide traité	0,55	0,85
Tourteau de colza	0,71	0,80
Tourteau de lin	0,62	0,85
Tourteau de soja	0,62	0,90
Tourteau de soja / colza tanné	0,35	0,90
Tourteau de tournesol	0,77	0,85
Tourteau de germes de maïs	0,52	0,85
Enveloppes :		
Pellicules de colza	0,50	0,70
Pellicules de soja	0,54	0,70
Pellicules de tournesol	0,40	0,50
Sous-produits des racines, fruits et légumes		
Pulpe de betterave déshydratée	0,48	0,70
Pulpes d'agrumes déshydratées	0,66	0,80
Marc de raisin	0,30	0,25
Pulpes de raisin	0,15	0,25
Pulpes de tomates	0,55	0,80
Sous-produits animaux		
Farine de poisson	0,45	0,85
Farine de viande	0,50	0,80
Farine de plumes	0,20	0,70

Tableau 1. Dégradabilité théorique (DT) et digestibilité réelle (dr) des principaux aliments concentrés.

Adaptation de la méthode enzymatique pour la prévision de la dégradabilité de l'azote des aliments concentrés et composés

Jocelyne Aufrère et Dominique Graviou
INRA Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores,
Unité de la Valeur Alimentaire
Theix 63122 Saint-Genès-Champanelle

1/ Principe

L'échantillon subit une hydrolyse par une protéase dans un tampon borate-phosphate pH 8 au temps 1 h. Le dosage de l'azote dégradé est effectué sur le surnageant par la méthode Kjeldhal.

2/ Réactifs

2.1/ tampon borate - phosphate pH 8
(Na₂HPO₄, 2H₂O) Prolabo n° 28015.294 (12,2 g/l)
(Na₂B₄O₇, 10H₂O) Prolabo n° 27727.297 (8,91 g/l)
Ajuster avec de la soude N à pH 8,0 au pHmètre.

2.2/ solution enzymatique (2 g d'enzyme/l tampon borate-phosphate pH 8)
- Protéase extraite de *Streptomyces griseus* (type XIV, Sigma n° P-5147).

Ex : Dissoudre par agitation magnétique, pendant 15 min. 200 mg d'enzyme dans 90 ml de tampon borate phosphate pH 8. Ajuster à 100 ml avec du tampon borate-phosphate. Filtrer ensuite la solution enzymatique obtenue (filtre Whatman n° 41). La solution doit être préparée extemporanément.

2.3/ Tétracycline (antibiotique) Sigma n° T-3258 (100 mg/l tampon borate-phosphate pH 8). Cette solution peut être conservée au maximum 1 mois à + 4°C.

2.4/ Nystatine (antifongique) (Sigma n° N-3503) (10 mg/l).

La nystatine est pesée directement.

2.5/ Préparation enzymatique (pour 500 mg d'échantillon) :

- 0,5 ml de solution enzymatique (Réf. 2.2) (1 mg/500 mg échantillon)
- 0,5 ml de solution de tétracycline (Réf. 2.3) (0,05 mg/500 mg échantillon)
- 0,5 mg nystatine (Réf. 2.4) (0,5 mg/500 mg échantillon)

- compléter à 50 ml avec du tampon borate-phosphate pH 8 (Réf. 2.1).

NB : Tous ces produits sont à conserver sous leur forme d'origine à l'abri de la lumière à + 4°C.

2.6/ Autres réactifs : cf la norme de la méthode Kjeldhal NF 18 octobre 1977.

3/ Matériel

- Bain-marie sans agitation réglé à 40°C ± 1°C.
- Tubes en verre à centrifuger 80 ml (hauteur 11,5 cm, diamètre extérieur 4 cm).
- Centrifugeuse.
- Balance analytique à 0,1 mg.
- Etuve ventilée pour la détermination de la matière sèche (à 103°C).
- Filtres Whatman n° 41.
- Filtres Durieux 2B.
- Appareils à minéraliser et à distiller selon Kjeldhal.

4/ Préparation à l'échantillon

- Ne pas le sécher préalablement à l'étuve.
- Broyage à la grille de 0,8 mm (broyeur Gondard). Le broyage est plus facile à effectuer si l'échantillon a été congelé une nuit à -15°C et est broyé dès sa sortie du congélateur.

5/ Mode opératoire

- Pour chaque échantillon les mesures sont réalisées en double ou en triple au temps 1 heure.
- Un témoin (luzerne déshydratée) est introduit dans chaque série (temps 1 heure).
- Deux tubes, sans échantillon, sont ajoutés (ce sont les blancs). Ils permettent de connaître la teneur en azote de la préparation enzymatique.

Peser exactement environ 500 mg d'échantillon broyé à la grille de 0,8 mm dans un tube à centrifuger. Parallèlement, effectuer une matière sèche en double sur 5 g d'échantillon à 103°C pendant 48 h, jusqu'à poids constant.

Ajouter, à chaque tube, 50 ml de préparation enzymatique à 40°C (Réf. 2.5).

Fermer les tubes et les mettre au bain-marie à 40°C.

Les tubes sont agités par simple agitation manuelle (rotation de façon à décoller toutes les particules) au départ (temps 0 mn), puis au temps 55 mn.

Au temps 1 h, l'échantillon est centrifugé (5 mn à 3000 tours/mn) puis filtré (filtre plissé 2 B Durieux préalablement humidifié avec de l'eau distillée). Rincer le tube avec de l'eau distillée ainsi que l'entonnoir après avoir enlevé le filtre.

Le dosage de l'azote est effectué par la méthode Kjeldhal si possible sur la totalité du surnageant ou à défaut sur une fraction aliquote.

L'azote total de l'aliment est également déterminé par la méthode Kjeldhal.

6/ Calcul

Les valeurs d'azote dégradé sont rapportées soit à la matière sèche de départ, soit en % de l'azote total de l'échantillon.

$$\text{Quantité d'azote dégradée dans le surnageant (\% MS)} = \frac{14 \times T \times (V - V_0) \times 100}{m \times 1000}$$

T : normalité de l'acide chlorhydrique,

V : volume en ml d'acide chlorhydrique nécessaire à la neutralisation pour la prise d'essai,

V₀ : volume en ml d'acide chlorhydrique nécessaire à la neutralisation pour le blanc,

m : masse en g de la prise d'essai (exprimée par rapport à la M.S.).

$$\text{Quantité d'azote dégradée dans le surnageant (par rapport à Nt)} = \frac{\text{Quantité d'azote dégradée dans le surnageant (\% MS)}}{\text{Teneur en N total (en \% MS)}}$$

Exemple de calcul

Teneur en N total : 8,5 % de MS

Prise d'essai 0,5 g

Teneur en MS échantillon : 95,8 %

donc m = 0,4790 g

T : 0,05 N

V : 25,10 ml

V₀ : 0,250 ml

$$\text{Quantité d'azote dégradée (en \% MS)} = \frac{14 \times 0,05 \times (25,10 - 0,250) \times 100}{0,4790 \times 1000} = 3,361 \% \text{ MS}$$

$$\frac{\text{Quantité d'azote dégradée}}{\text{Quantité d'azote de l'aliment}} = \frac{3,631}{8,5} = 0,427$$

Correction par le témoin

Chaque série comporte un témoin luzerne déshydratée (temps 1h). En moyenne, si dans les séries précédentes la dégradabilité de ce témoin au temps 1h est de TM (par exemple 0,3650) et sa dégradabilité dans la série de TS (par exemple 0,3704) la dégradabilité à 1h de l'échantillon est de :

$$\frac{0,427 \times 0,3650}{0,3704}$$

NB : Le témoin luzerne déshydratée ne peut être utilisé pour des aliments très rapidement dégradables (ex : lupin, pois, fève) ; dans ce cas il faut prendre un témoin rapidement dégradable.

l'influence sur la DT de nouvelles technologies d'obtention d'un co-produit.

Pour ces aliments, la digestibilité réelle dr est connue à partir des Tables (cf tableau 1). Il reste donc à estimer leur DT. Une équation commune de prévision de la DT a pu être calculée à partir des 97 échantillons d'aliments simples. Ceux-ci correspondent à 26 matières premières qui ont pu être regroupées en 12 classes car la pente de l'équation liant la DT et la DE n'est pas significativement différente alors que l'ordonnée à l'origine l'est (figure 2), contrairement à ce qui a été trouvé pour les aliments composés.

$$(10) DT = 0,36 \times DE_1 + 0,479 + \Delta$$

$$r = 0,986 \quad Sr = 0,030 \quad n = 97$$

avec les valeurs de Δ suivantes :		Δ
Classe 1	Maïs - Corn gluten meal	- 0,185
Classe 2	Tourteaux de colza + soja tannés	- 0,166
Classe 3	Farine de poisson et de viande	- 0,136
Classe 4	Tourteaux de colza traités	- 0,085
Classe 5	Pulpe de betterave - Pellicules de soja et de colza	- 0,042
Classe 6	Luzerne déshydratée	+ 0,026
Classe 7	Tourteau de soja - Tourteau d'arachide	+ 0,036

Classe 8	Féverole extrudée - Lupin extrudé	+ 0,057
Classe 9	Tourteau de tournesol	+ 0,085
Classe 10	Céréales (sauf maïs) - Son - Corn gluten feed	+ 0,110
Classe 11	Tourteau de colza	+ 0,145
Classe 12	Pois - Lupin - Féverole - Graines de soja	+ 0,154

La prévision de la DT de ces aliments pourra dans un avenir plus ou moins proche être améliorée quand le nombre d'échantillons étudiés par matière première sera suffisamment important pour qu'il soit possible de proposer des équations spécifiques pour les matières premières les plus importantes.

Les valeurs PDIA et PDIMN seront calculées grâce aux équations 1 et 2, à partir de la DT (obtenue à partir de la dégradation enzymatique, équation 10) et de la dr des Tables (tableau 1).

Quant à la teneur en PDIE, on l'obtient en modifiant la teneur en PDIME des Tables (PDIME = PDIE - PDIA lues dans les Tables) en prenant en compte la modification de la MOF due aux différences de teneur en MAT et de DT entre l'aliment étudié et celui des Tables. D'où :

$$PDIME \text{ corrigé} = PDIME \text{ Tables} - \frac{(PDIA \text{ Tables} - PDIA)}{1,11 \times dr} \times 0,093$$

Tableau 2. Equations proposées pour la prévision de la DT et des teneurs en PDI.

ALIMENTS COMPOSÉS								
	Constante	MAT	MANDE ₁	MOD	MG	DE ₁		
PDIA		- 0,211	0,840					
PDIN		0,507	0,278					
PDIE	67,1	- 0,220 - 0,199 - 0,190	0,802 0,766 0,751	0,090 0,096	- 0,13			
DT	0,345					0,87		
ALIMENTS SIMPLES								
- figurant dans les Tables								
DT = 0,36 × DE ₁ + 0,479 + Δ dr lues dans les Tables								
PDIA = 1,11 × MAT × (1 - DT) × dr								
PDIMN = 0,64 × MAT × (DT - 0,1)								
PDIME = 0,093 × (MOD - MG - MAT × (1 - DT))								
- n'appartenant pas à une classe définie dans le texte								
	Constante	MAT	MANDE ₁	(MANDE ₁) ²	MOD	MG	DE ₁	(DE ₁) ²
PDIA			0,359	0,00060				
PDIN		0,576	0,087	0,00028				
PDIE	70,4 20,9		0,285 0,321 0,291	0,00063 0,00056 0,00060	0,088 0,069	- 0,90		
DT	0,211						1,48	- 0,76

* Les teneurs en PDI, MAT, MANDE₁, MOD sont exprimées en g/kg MS ; DT, dr, DE₁ sont des rapports compris entre 0 et 1.

La correction est souvent négligeable et l'erreur commise est très minime si on considère que la teneur en PDIME des Tables n'est pas modifiée. Cependant, pour les matières premières dont la dMO peut être variable d'un échantillon à l'autre (son, gluten...), ou avoir été modifiée par la nouvelle technologie d'obtention de la matière première, il sera nécessaire, notamment si la composition chimique de l'échantillon étudié est différente de celle figurant dans les Tables, d'estimer la dMO à partir de paramètres chimiques (Sauvant *et al* 1987) ou enzymatiques (digestibilité pepsine-cellulase; Sr = 3,2) (Aufrère et Michalet-Doreau 1988) de façon à recalculer la MOD.

3 / Aliments simples n'appartenant pas à une des classes précédemment définies

a/ Pour ces aliments l'approche a été la même que pour les aliments composés. Des équations de prévision ont été établies à partir des 97 échantillons de matières premières mais sans distinction d'origine.

Les équations de prévision des valeurs PDI sont les suivantes :

$$(11) PDIA = 0,359 \times MANDE_1 + 0,00060 \times (MANDE_1)^2$$

r = 0,989 Sr = 20,7 n = 97

$$(12) PDIN = 0,576 \times MAT + 0,087 \times MANDE_1 + 0,00028 \times (MANDE_1)^2$$

r = 0,999 Sr = 9,6 n = 97

$$(13) PDIE = 0,285 \times MANDE_1 + 0,00063 \times (MANDE_1)^2 + 70,4$$

r = 0,977 Sr = 20,0 n = 97

Comme pour les aliments composés, la valeur PDIE peut être estimée avec un peu plus de précision en prenant en compte les teneurs en MOD et en MG.

$$(14) PDIE = 0,321 \times MANDE_1 + 0,00056 \times (MANDE_1)^2 + 0,088 \times MOD$$

r = 0,995 Sr = 18,3 n = 97

$$(15) PDIE = 0,291 \times MANDE_1 + 0,00060 \times (MANDE_1)^2 + 0,069 \times MOD - 0,90 \times MG + 20,9$$

r = 0,981 Sr = 18,0 n = 97

b/ Globalement la précision des teneurs en PDIA et PDIE prédites n'est pas très bonne : ± 20 g. Cela résulte en partie du fait que l'adoption d'une même équation pour tous les aliments revient à considérer que la dr est la même quel que soit l'aliment considéré ; elle pourra être améliorée quand on disposera d'une méthode de prévision de dr. Il faudra alors prévoir la DT par l'équation suivante :

$$(16) DT = 1,48 \times DE_1 - 0,76 \times (DE_1)^2 + 0,211$$

r = 0,938 Sr = 0,060 n = 97

Dans l'immédiat les teneurs en PDIME peuvent aussi être calculées à partir des dMO données dans les Tables étrangères ou prévues à partir des paramètres chimiques ou enzymatiques (digestibilité pepsine-cellulase).

Toutes les équations proposées pour la prévision de la DT et des teneurs en PDI sont reprises dans le tableau 2.

Références bibliographiques

AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., 1988. Comparison of methods for predicting digestibility of feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 20, 203-218.

AUFRERE J., CARTAILLER D., 1988. Mise au point d'une méthode de laboratoire de prévision de la dégradabilité des protéines alimentaires des aliments concentrés dans le rumen. *Ann. Zoot.*, 37 (4), 255-270.

INRA, 1981. Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

MICHALET-DOREAU B., VERITE R., CHAPOUTOT P., 1987. Méthodologie de mesure de la dégradabilité *in sacco* de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 69, 5-7.

SAUVANT D., AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., GIGER S., CHAPOUTOT P., 1987. Valeur nutritive des aliments concentrés simples : Tables et prévision. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 70, 75-89.

VERITE R., MICHALET-DOREAU B., CHAPOUTOT P., PEYRAUD J.L., PONCET C., 1987. Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI). *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 70, 19-34.