

1. Système des MAD et des PDI

1.1. Les apports azotés de la ration

A l'apport quantitatif : des matières azotées en équilibre avec l'énergie :

1.2. Les unités classiques de mesures des matières azotées

Comme pour l'énergie, des unités de mesure des matières azotées s'imposent pour pouvoir chiffrer les besoins des animaux et la valeur des aliments.

Ici, l'unité est le gramme, ou encore le pourcentage de l'aliment, rapportés à l'une des valeurs ci-dessous :

1.2.1. Les matières azotées totales (MAT)

On les obtient en multipliant la teneur en azote organique de l'aliment, déterminée par la méthode Kjeldahl, par le coefficient 6.25 c'est-à-dire 100/16. On admet donc par là que toutes les matières azotées ainsi dosées contiennent 16% d'azote, taux d'azote des protides. Ceci n'est pas très exact, mais commode.

$$\text{MAT} = \text{N total} * 6.25$$

En fait, les matières azotées totales comprennent :

2. Les matières protéiques (protéines, polypeptides, acides aminés libres).
3. Les matières azotées non protéiques (amides, sels ammoniacaux).

1.2.2. Les matières protéiques brutes (MPB)

Ce sont les protides de l'aliment (protéines, polypeptides, acides aminés libres), à l'exclusion des matières azotées non protéiques.

$$\text{MPB} = \text{MAT} - \text{MANP}$$

Leur dosage dans un aliment est possible mais plus long et par conséquent moins souvent pratiqué.

Pourtant la teneur en matières azotées des aliments du commerce, portée sur leur étiquette est souvent exprimée en MPB. Cette dénomination est impropre, car il s'agit en fait des MAT (N*6.25). Mais cette confusion a peu d'importance car dans ces aliments concentrés, à base de céréales, de tourteaux et de produits d'origine animale, 90% de l'azote est sous forme protéique.

On emploie souvent pour les volailles l'une de ces unités (MAT ou MPB),

Car les mesures de digestibilité sont difficiles chez ces animaux, pour lesquels d'ailleurs les besoins qualitatifs sont beaucoup plus importants que la quantité des MAD.¹

Les matières azotées totales digestibles matières azotées digestibles MAD

Constituées par les parties digestibles des matières azotées totales :

$$\text{MAD} = \text{MAT} * \text{CUD des matières azotées de l'aliment}$$

Ce CUD étant différents pour les bovins et pour les porcs d'où l'existence de tables des valeurs spéciales pour les porcs et pour les ruminants.

Les matières protéiques digestibles (MPD) sont la partie digestible des matières protéiques brutes :

$$\text{MPD} = \text{MPB} * \text{CUD des matières protéiques de l'aliment}$$

Le rapport matières azotées-énergie et son évolution

4. Le rapport MAD/UF, utilisé dans le rationnement des ruminants est une valeur d'un emploi continuel dans le rationnement des bovins, ovins, porcs.
5. Il sert à caractériser les besoins des animaux : il suffit d'examiner les tables des besoins pour constater que le MAD/UF des besoins d'un animal est d'autant plus élevé.

Les nouvelles unités de mesure des matières azotées pour les ruminants : les PDI

1.2.3. Les insuffisances du système MAD

¹ Soltner D. 1979 : Alimentation des animaux domestiques. Le rationnement des bovins, des ovins et des porcs.

Le système MAD ne tient pas compte de la solubilité des matières azotées.

Pour les ruminants, la teneur d'un aliment en MAD mesure la quantité d'azote * 6.25 qui disparaît apparemment dans le tube digestif. C'est la différence MAT –MA non digestibles des excréments solides. Mais cette valeur est fausse dans la mesure où une partie importante des MAT, après dégradation en ammoniac dans la panse, passe dans le sang et est éliminé par l'urine.

C'est ce qui se passe dans des rations riches en azote fermentescibles (azote soluble) et trop pauvres en énergie : les synthèses microbiennes sont insuffisantes pour transformer tout cet azote en acide aminés.

La vraie valeur azotée d'une ration, qu'il serait utile de connaître, est la quantité d'acides aminés réellement absorbés par l'intestin et qui dépend :

- De la teneur de l'aliment en protéines traversant l'estomac sans y être dégradées, et absorbables par l'intestin grêle ;
- De la teneur de cet aliment en matières azotées fermentescibles (les matières azotées non protéiques dégradées en ammoniac dans la panse servant à la synthèse des microbes, plus la partie des protéines subissant le même sort).
- De la quantité d'énergie disponible dans la panse pour les synthèses microbiennes.

Cette insuffisance des MAD apparaît bien dans l'exemple suivant : la teneur en MAD de graminées passe de 7.6 à 14% lorsqu'elles provoquent une formation intense d'ammoniac insuffisamment utilisé dans la panse (en cas par exemple d'animaux mis à l'herbe sans complémentation énergétique), la quantité de matières azotées absorbées par l'intestin est plus faible dans le cas de l'herbe très fertilisée que dans le cas de l'herbe peu fertilisée.

Le système des MAD ne tient pas compte de l'apport d'énergie par la ration.

Si on ajoute par exemple on ajoute de l'amidon à un régime de base, on ne modifie pas sa teneur en MAD, mais on augmente considérablement la synthèse d'acides aminés disponibles dans l'intestin, d'où la nécessité de nouvelles normes azotées tenant mieux compte de la quantité d'énergie disponible dans l'aliment et dans la ration.

Les unités MAD ont eu cours jusqu'en 1978, qui a vu la sortie du fameux « livre rouge » intitulé « L'alimentation des ruminants ». A cette occasion, des unités entièrement nouvelles ont été créées pour l'énergie (UFL et UFV), les protéines (Protéines Digestibles dans l'Intestin, PDI) et l'ingestion avec l'Unité d'Encombrement (UE). Depuis, des actualisations ont eu lieu en

1988 (INRA 1988), avec une édition en langue anglaise (INRA 1989), en 2002 pour les tables multi-espèces des valeurs des concentrés et co-produits (INRA-AFZ 2002) et en 2007 pour les tables des valeurs des fourrages et les recommandations pour²

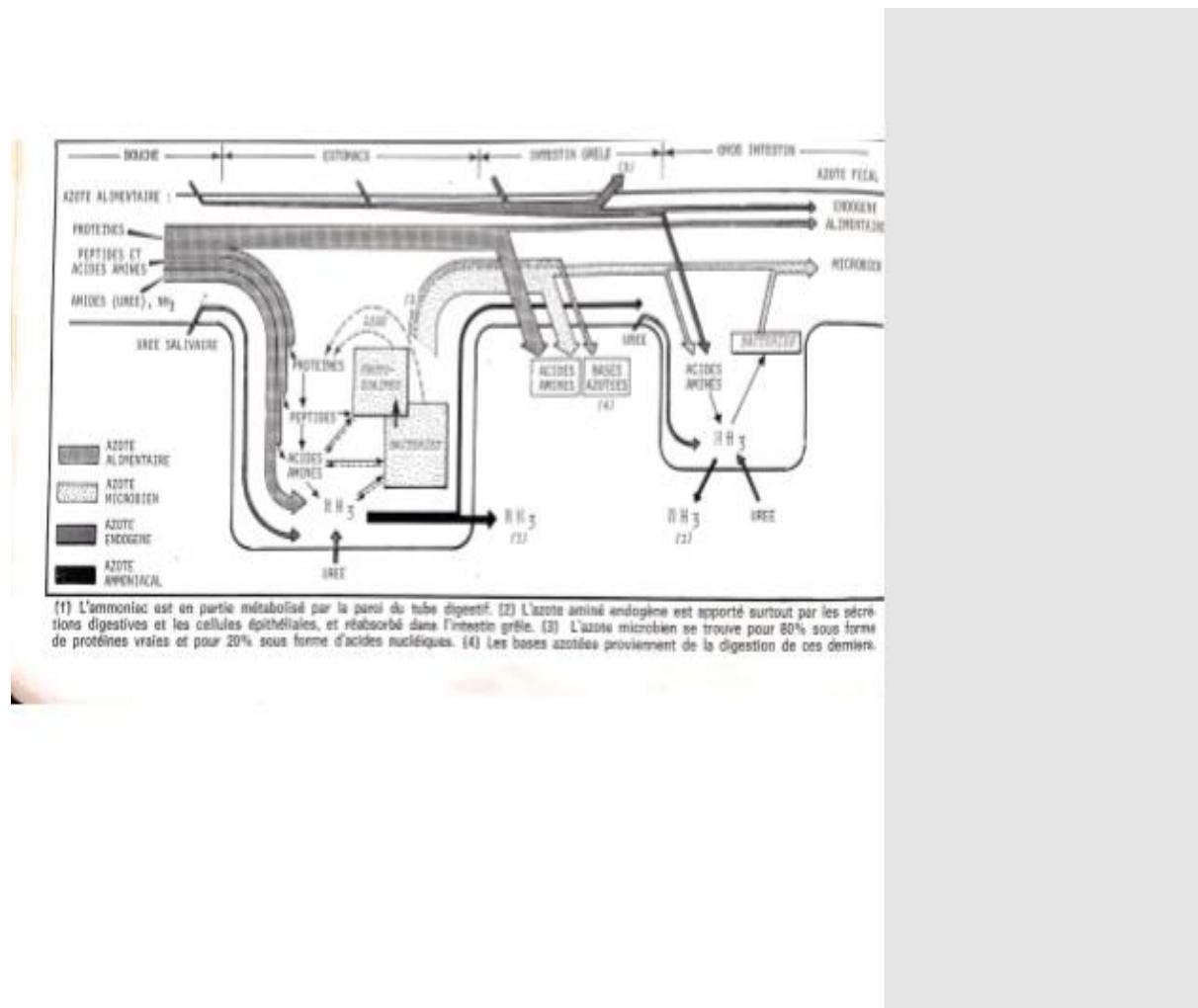
1.2.4. Le principe du système PDI

Les apports alimentaires et les besoins azotés des ruminants sont exprimés en g de protéines réellement digestibles dans l'intestin grêle, PDI, qui sont la somme de 2 fractions :

- Les protéines alimentaires digestibles dans l'intestin grêle, PDIA, fraction des protéines alimentaires ayant échappé à la dégradation microbienne dans le rumen.
- Les protéines microbiennes digestibles dans l'intestin grêle, PDIM synthétisées à partir de l'ammoniac et des acides aminés provenant de la dégradation des constituants azotés fermentescibles.

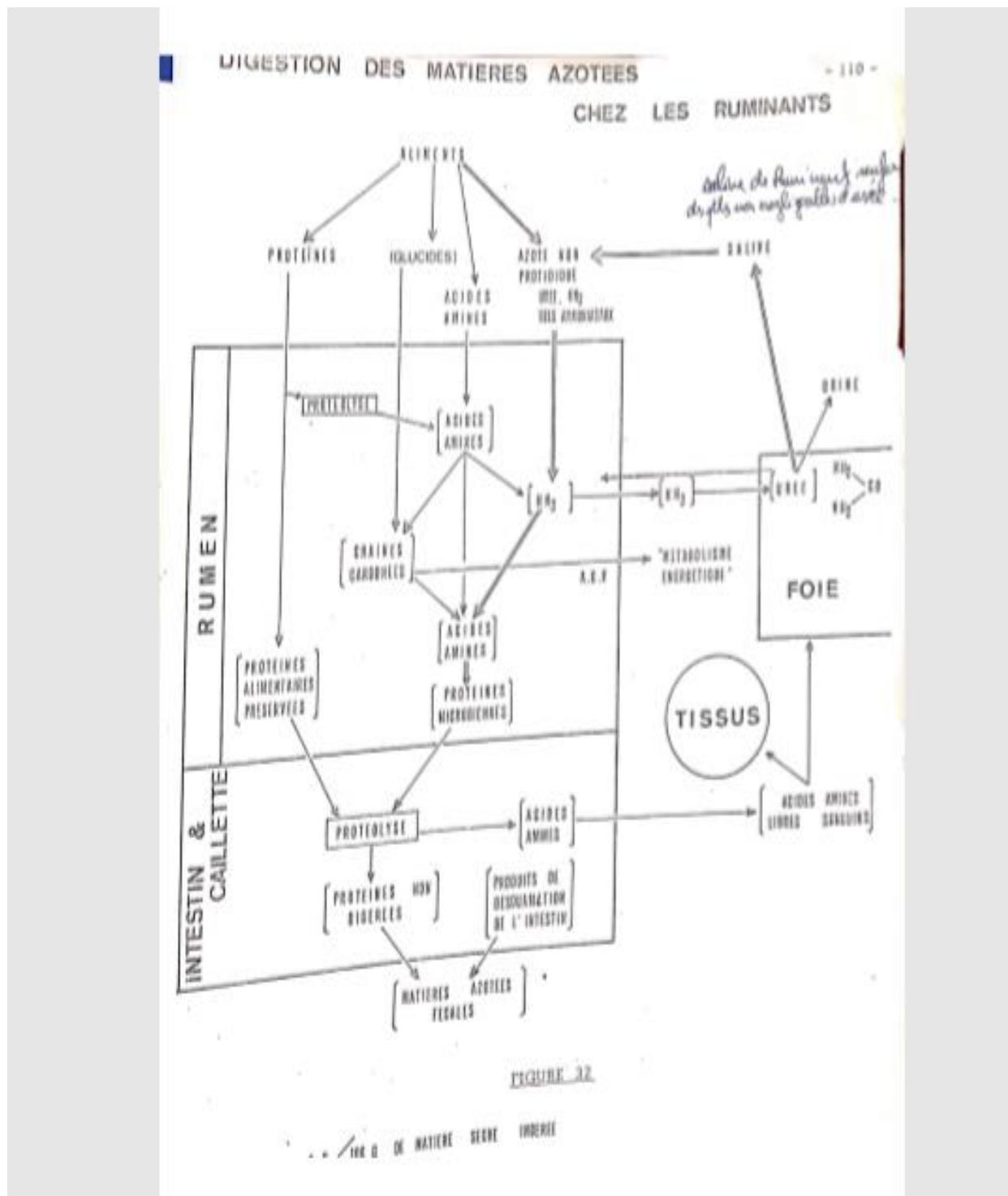
²[https://www6.inrae.fr/productions-](https://www6.inrae.fr/productions-animaux_eng/content/download/6655/90771/version/1/file/Prod_Anim_2013_26_4_03.pdf)

[animales_eng/content/download/6655/90771/version/1/file/Prod_Anim_2013_26_4_03.pdf](https://www6.inrae.fr/productions-animaux_eng/content/download/6655/90771/version/1/file/Prod_Anim_2013_26_4_03.pdf)



Utilisation digestive des matières azotées chez les ruminants³

³ Sauvant et Delage. Cours de troisième cours 1978. L'alimentation azotée des animaux domestiques. Institut National Agronomique Paris-Grignon.



Digestion des matières azotées⁴

⁴ Sauvant et Delage. Cours de troisième cours 1978. L'alimentation azotée des animaux domestiques. Institut National Agronomique Paris-Grignon.

Chaque aliment est caractérisé par une valeur PDIA et deux valeurs de PDIM :

PDIME : valeur de PDIM permise par sa teneur en énergie fermentescible dans le rumen, teneur proportionnelle à son taux de MOD.

PDIMN : valeur de PDIM permise par sa teneur en matières azotées fermentescibles dans le rumen.

Les valeurs PDIME et PDIMN ne figurent pas dans les tables de l'INRA : à ces valeurs est toujours ajoutée la valeur PDIA, la valeur azotée est donc définie par 2 valeurs (en plus des valeurs MAD qui sont toujours données) :

$$\mathbf{PDIE=PDIA+PDIME}$$

$$\mathbf{PDIN=PDIA+PDIMN}$$

1.2.5. Le mode de calcul des valeurs PDI des aliments

PDIN = PDIA + PDIMN en g/kg.

PDIE = PDIA + PDIME avec PDIA = protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire

PDIM = protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne, limitées par l'azote dégradable (PDIMN), par l'énergie fermentescible (PDIME).

$$\mathbf{PDIA = MAT \times [1,11 \times (1 - DT)] \times dr}$$

$$\mathbf{PDIMN = MAT \times [1 - 1,11(1 - DT)] \times 0,9 \times 0,8 \times 0,8}$$

$$\mathbf{PDIME = MOF \times 0,145 \times 0,8 \times 0,8}$$

Avec MAT = matières azotées totales de l'aliment en g/kg

DT = dégradabilité théorique des MAT de l'aliment dans le rumen ($0 < DT < 1$)

dr = digestibilité réelle des acides aminés alimentaires dans l'intestin grêle ($0 < dr < 1$)

MOF = matière organique fermentescible de l'aliment en g/kg.

Avec MOF = matière organique digestible. INRA 2007.

La valeur PDI d'un aliment étant la plus faible valeur entre la valeur PDIE et PDIM. **Soltner.** 1979⁵

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 ($MAT \times (1 - DT)$). Les formules de base sont les suivantes : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00895872/document>

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

⁵ Soltner D. 1979 : Alimentation des animaux domestiques. Le rationnement des bovins, des ovins et des porcs.