

## **Alimentation et nutrition du bétail II : azotée**

### **Généralités**

L'alimentation occupe une place importante en production animale. Elle représente entre 1/2 et 3/4 du coût de production des produits animaux. Elle représente souvent le poste le plus incompressible de ce coût.

La consommation de protéines animales est, d'une façon générale, positivement corrélée au niveau de vie des personnes considérées. Ce principe se vérifie entre les pays mais également entre les groupes sociaux dans un même pays.

### **I. L'alimentation azotée des animaux domestiques**

#### **I.1. Historique :**

1770 : Découverte de l'azote

1840: Formes alimentaires d'azote nécessaires aux animaux, (Boussingault, vers 1843)

Terme "protéine" (Mulder 1839: importance primaire)

1900 : Notion de qualité des protéines

1906-1935 : Notion d'acide aminé

1910 : Découverte des acides aminés essentiels (AAE)

1990 : Acides aminés digestibles

Les matières azotées ont pour **rôle** principale l'élaboration des protéines de constitution de l'organisme, des productions ou des protéines fonctionnelles : enzymes, hormones, anticorps..etc).

L'autre rôle des matières azotées est la fourniture d'énergie lorsque les acides aminés (AA) absorbés dépassent les possibilités de synthèse protéiques de l'organisme. Dans ce cas les AA non fixés sont dégradés avec production d'énergie et d'azote, ce dernier étant éliminé sous forme d'urée dans les urines.

Les AA sont les principaux produits issus de la digestion des protéines, ils serviront aux synthèses des protéines animales.

- Ils sont la seule forme azotée utilisable par les cellules animales.
- L'apport azoté dans l'alimentation des animaux est nécessaire du fait des dépenses azotées résultant de :
  - Pertes inévitables liées à l'entretien, renouvellement constant des tissus de l'organisme et à la synthèse des substances liées à son fonctionnement.
  - De l'exportation des protéines des produits : gain de poids, fœtus, lait, œuf...etc

## **I.2. Protéines : Qu'est ce qu'une protéine ?**

**Définition** : Séquence de plusieurs dizaines à milliers d'acides aminés reliés par une liaison peptidique.

Il existe 20 acides aminés dont 10 indispensables

### **I.2.1 Importance des Protéines :**

- **Nutritionnelle** : remplacer les pertes liées au fonctionnement de l'organisme
- **Economique** : un des composants le plus couteux de la ration
- **Zootechnique** : fertilité et lactation, performances, qualité de la peau et de la fourrure

- **Sanitaire** : intégrité corporelle et immunité
- **Psychologique** : culture et affectivité.

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, la croissance, la reproduction et la lactation. Les animaux non-ruminants ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. Par contre, grâce aux microbes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non-protéique (ANP). Des sources d'ANP telles que l'ammoniac ou l'urée peuvent donc être utilisées dans leur ration. De plus, les ruminants possèdent un mécanisme pour conserver l'azote lorsque leur ration est déficiente en azote. L'urée est le produit final du métabolisme des protéines dans le corps et elle est normalement sécrétée dans les urines. Cependant, en cas de déficit azoté, l'urée retourne de préférence dans le rumen où les bactéries peuvent en faire usage. Chez les non-ruminants, l'urée produite dans le corps est toujours entièrement perdue dans les urines.

### **I.3. Modes d'expression des apports et des besoins protéiques :**

Tout système d'expression de la valeur azotée des aliments et des besoins azotés des animaux doit vérifier simultanément deux conditions :

- Permettre d'exprimer dans une même unité apports et besoins.
- Retenir un même niveau d'expression pour la valeur des aliments et pour les besoins des aliments.

Le niveau retenu peut être :

- Le niveau cellulaire où a lieu la dépense où peut être évaluée cette dépense en protéines ou /et acides aminés.
- Le niveau de l'absorption intestinale
- Le niveau de l'apport des matières azotées alimentaires.

Le choix du niveau d'expression est différent selon l'espèce ; il dépend de :

- La plus ou moins grande variabilité des pertes d'azote consécutive soit à l'utilisation digestive soit à l'utilisation métabolique

- De la possibilité de connaître ou d'estimer assez précisément ces pertes selon les aliments ou les caractéristiques des animaux

- **I.3.1. Chez les monogastriques :** L'utilisation digestive est assez peu variable et l'utilisation métabolique dépend principalement de l'apport en acides aminés essentiels. Le niveau retenu est celui de l'apport ou celui de l'absorption. La valeur des aliments et besoins sont exprimés en MAT( Matières azotées totales) ou PB (protéines brutes) en AA essentiels ou essentiels digestibles.

### **I.3.2. Chez les ruminants :**

En raison de l'importance des remaniements dus aux fermentations dans le rumen- réseau , le niveau retenu est celui de l'absorption. La valeur des aliments et les besoins sont exprimés en PDI, voire en AADI (Acides Aminés Digestibles dans l'Intestin) pour les vaches laitières.

## **I.4. Transformation des protéines dans le rumen**

Les protéines alimentaires sont dégradées par les micro-organismes du rumen d'abord en acides aminés et ensuite en ammoniac et acides gras branchés (Figure 1). L'azote non-protéique des aliments et l'urée recyclée dans le rumen par l'intermédiaire de la salive ou la paroi du rumen contribuent aussi à la formation de l'ammoniac dans le rumen. Lorsque la quantité d'ammoniac est insuffisante pour le besoin des microbes, la digestibilité des aliments

tend à diminuer. Par contre, trop d'ammoniac dans le rumen entraîne un gaspillage d'azote et la possibilité d'intoxication, ce qui dans les cas extrêmes peut entraîner la mort de l'animal.

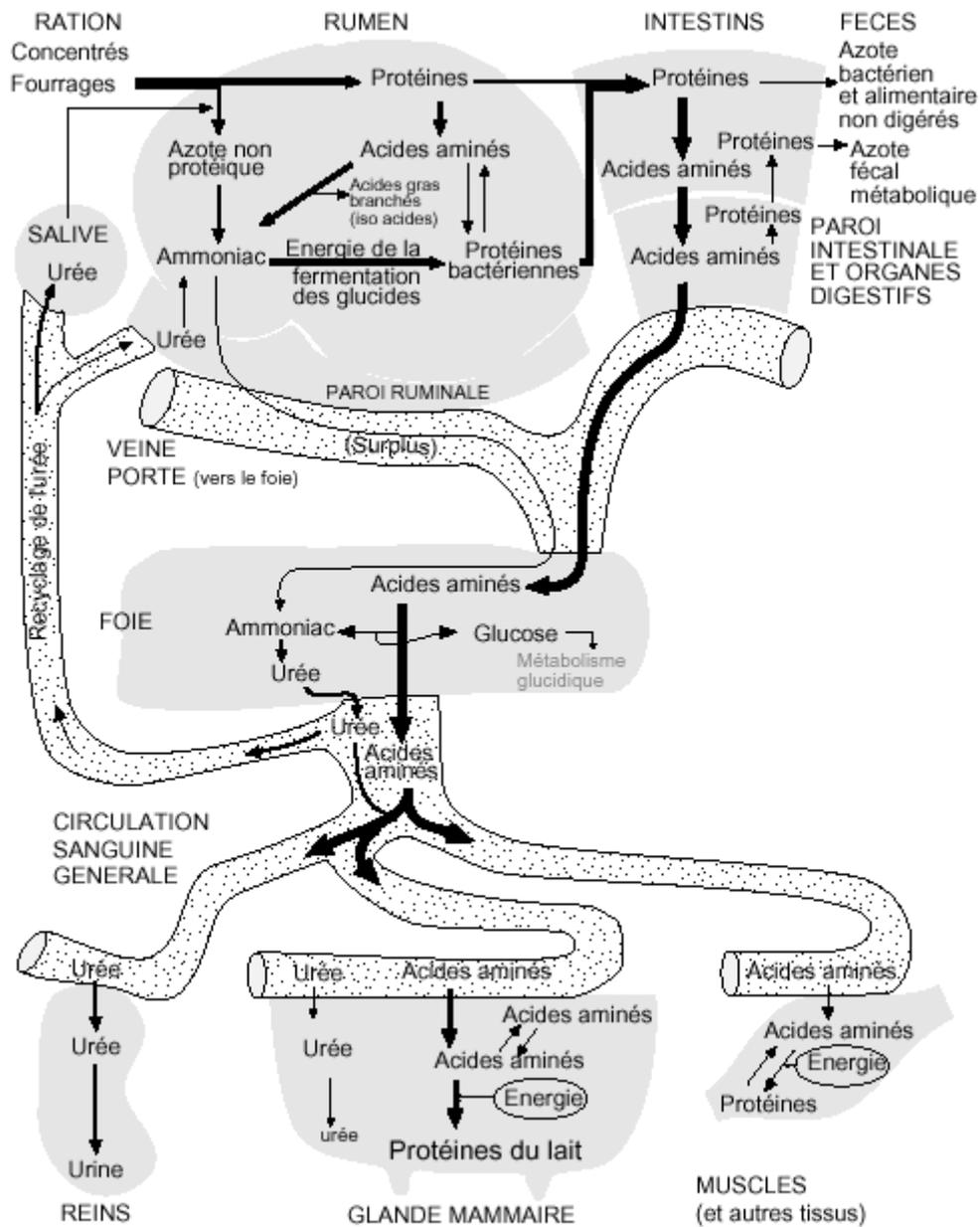


Figure 1: Vue générale du métabolisme protéique chez la vache laitière

La population bactérienne utilise l'ammoniac pour sa croissance. La quantité d'ammoniac transformée en protéines bactériennes dépend surtout de la quantité d'énergie générée par la fermentation des hydrates de carbone. En moyenne, il y a une synthèse de 20 g de protéines bactériennes pour 100 g de matières organiques fermentées dans le rumen. La quantité de protéines bactériennes synthétisées par jour varie de moins de 400 g à plus de 1500 g en fonction de la digestibilité de la ration. Le pourcentage de protéines dans les bactéries varie de 38 à 55%. Cependant, lorsqu'une vache ingère plus d'aliments, les bactéries sont plus riches en protéines et celles-ci passent plus rapidement du rumen dans la caillette.

### **I.5. L'alimentation azotée**

- L'azote se retrouve principalement dans les protéines dont les rôles de **structure** et **fonctionnels** sont bien connus.
- Les protéines animales se caractérisent par une grande richesse en **acides aminés essentiels** (exemple : 8 à 10 % de lysine contre seulement 3-4 % dans les protéines végétales)
- **La carence** en protéines, ou en certains acides aminés essentiels, altère les performances des animaux, la qualité de leurs produits et leur état de santé. Elle présente des risques parfois graves :
  - La carence en azote réduit profondément l'appétit, diminue les performances (croissance, lait, ponte), détériore l'indice de consommation, peut conduire à un amaigrissement important des animaux (cachexie), apparition d'œdèmes des extrémités et conduire à la mort.
  - **Un excès brutal et important** d'azote favorise les états congestifs : (**Congestion** : accumulation anormale de sang dans un organe ou un tissu, encombrement, hypertrophie). Mais le plus souvent un excès d'azote dans le régime, même s'il est catabolisé par

l'organisme provoque des perturbations : Modification du faciès microbien intestinal, fatigue hépatique et rénale, alcalose sanguine ..etc.

L'excès d'azote entraîne un accroissement des flux de rejets azotés urinaires qui peuvent être polluants si le chargement animal des surfaces est trop important.

### **I.5.1. L'alimentation azotée des monogastriques**

Les protéines alimentaires ingérées doivent pouvoir fournir une quantité suffisante d'acides aminés répartis selon un profil bien déterminé (protéine idéale). Lorsqu'il y a carence en un acide aminé, les protéosynthèses corporelles sont diminuées, les performances altérées et les carcasses deviennent plus grasses. Il est donc nécessaire de formuler des régimes contenant

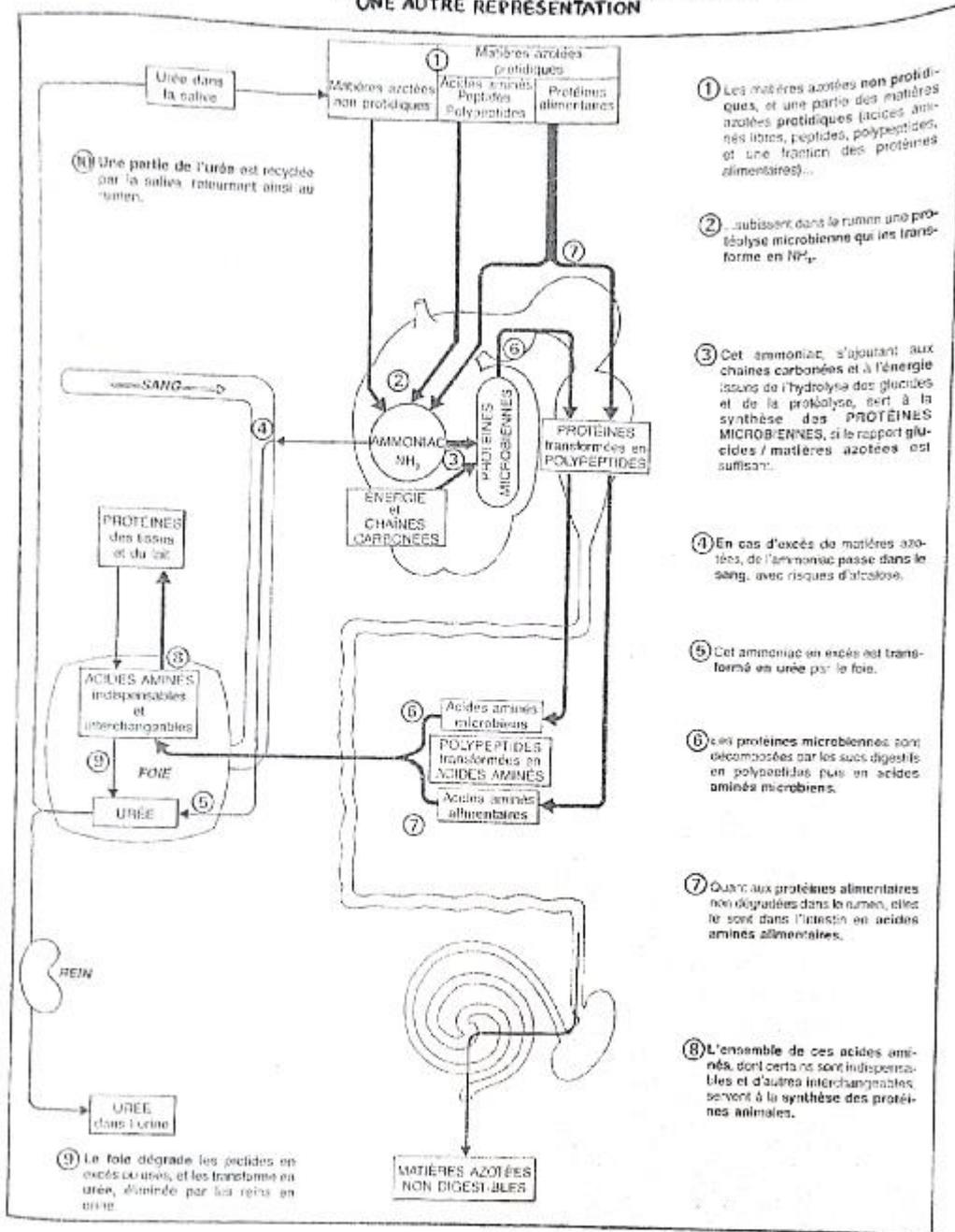
- Une teneur suffisante en protéines brutes (12 à 25 % de la matière sèche ingérée selon l'espèce animale) et le type de production.
- Une teneur suffisante, dans cette protéine, des principaux acides aminés essentiels (lysine, méthionine, cystine, thréonine, tryptophane). Pour être encore plus précis dans l'apport, on formule actuellement les régimes en considérant, d'une part, l'équilibre "**acides aminés / énergie**" et, d'autre part, les teneurs en acides aminés absorbés dans l'intestin grêle (par la mesure de leur digestibilité entre l'ingéré et l'extrémité de l'iléon).

La teneur de l'aliment en protéines et AA doit tenir compte de sa concentration énergétique puisque les monogastriques régulent en grande partie leur consommation de façon à couvrir leurs dépenses énergétiques.

## **I.5.2. L'alimentation azotée des ruminants :**

La panse (rumen) est le siège d'une hydrolyse des protéines alimentaires par les enzymes des microbes et d'une protéosynthèse microbienne intense (figure 2). Ces protéines qui couvrent environ les 2/3 des besoins de l'animal sont particulièrement riches en acides aminés essentiels. Par contre, une partie de l'azote alimentaire dégradé en  $\text{NH}_3$  peut être, en cas d'excès, perdu par la voie urinaire. Pour permettre de tenir compte de ces deux phénomènes, il a été créé un système d'unités d'alimentation adapté. Il s'agit des **PDI** (= Protéines Digestibles dans l'Intestin, INRA 1978). Les valeurs des aliments et des besoins nutritifs sont exprimés en g de PDI quantifiant le flux entrant d'AA au niveau duodéal. Le calcul des valeurs PDI des aliments s'effectue par l'addition des PDIA qui correspondent à la fraction protéique non dégradée dans la panse d'origine alimentaire et des PDIM issues de la protéosynthèse **microbienne** qui peut elle-même être limitée par l'azote (PDIMN) ou l'énergie (PDIME) apportés par la ration.

**LA DIGESTION DES MATIÈRES AZOTÉES ET L'ABSORPTION DES PRODUITS OBTENUS: UNE AUTRE REPRÉSENTATION**



Scanned avec CamScanner

**Figure 2 :** Etapes de la digestion des matières azotées dans le rumen.

## **I.6. La prise en compte des phénomènes dynamiques de la nutrition**

### **I.6.1. Origine de ces phénomènes**

Tout organisme vivant poursuit d'après Monod (1970) son projet téléonomique, c'est-à-dire qu'il cherche à travers ses structures et ses fonctions à assurer, d'une part, la pérennité de l'espèce à laquelle il appartient et, d'autre part, sa propre survie en s'adaptant à son environnement. D'un point de vue nutritionnel, ces sous-projets se traduisent, d'une part, par les régulations d'homéorhèse et, d'autre part, par les régulations d'homéostasie. Les régulations d'homéorhèse contrôlent les voies métaboliques de façon à assurer les fonctions de reproduction (gestation, lactation, production d'œufs) et la maturation de l'organisme pour atteindre le stade de reproducteur (croissance). Les grandes fonctions zootechniques sont donc dépendantes des régulations d'homéorhèse. Les régulations d'homéostasie agissent notamment comme un tampon dynamique de court terme entre les apports alimentaires d'éléments nutritifs plus ou moins discontinus en raison des repas et l'utilisation chronique des nutriments liée à l'homéorhèse. Les régulations d'homéorhèse et d'homéostasie induisent des propriétés dynamiques fortes de la nutrition des organismes. En général les régulations d'homéorhèse gèrent des phénomènes à pas de temps long (plusieurs mois), tandis que les phénomènes d'homéostasie gèrent des phénomènes à faible pas de temps (heures ou minutes). En pratique, il est nécessaire de tenir compte de ces propriétés dynamiques dans l'alimentation des animaux.

**I.6.2. La dynamique des réserves** : les organismes animaux possèdent, pour certains éléments nutritifs, des mécanismes et des organes qui leur permettent de faire face à un état de sous-nutrition passagère compensée, avant ou après, par une phase de reconstitution des réserves. Ce type de situation se rencontre, par exemple, pour l'énergie (organe de stockage =

tissu adipeux) et pour des éléments minéraux tels que le calcium (organe de stockage = squelette). Ces facultés physiologiques acquises au cours de l'évolution soulèvent plusieurs questions d'ordre pratique : • quel est l'intérêt économique de l'exploitation de cette "souplesse métabolique" des animaux ?

- jusqu'à quel niveau est-il possible d'exploiter l'utilisation ces réserves sans inconvénients zootechniques ou pathologiques ?

- quelles majorations d'apport pratiquer pendant la phase de reconstitution ?

Pour les éléments nutritifs concernés par ce phénomène, il n'est pas nécessaire de chercher à couvrir "au jour le jour" les besoins et il est par contre nécessaire de définir une stratégie des apports à respecter au cours du cycle de production.

D'autres éléments nutritifs ne sont pour ainsi dire que **peu ou pas stockables** sous leur forme active (exemple des acides aminés indispensables). De ce fait, en cas de déficit d'apport, en ce nutriment, les performances sont rapidement affaiblies et fréquemment associées à une fragilité ou à des troubles métaboliques. Par contre, pour ces apports d'acides aminés, il est connu que les excès alimentaires ne peuvent être stockés et sont efficacement détruits au niveau hépatique, ce qui induit une production et un rejet d'azote sous forme d'**urée**. Dans cette situation, il convient d'éviter au maximum les déficits et les excès.

### **I.6.3. Les recommandations de dynamique d'apport du court terme**

Des modifications brutales de régimes alimentaires risquent d'entraîner de graves perturbations des équilibres au sein de populations microbiennes présentes dans le tube digestif. Il convient donc de ne changer les régimes que **progressivement** pour respecter des durées d'accoutumance des micro populations digestives à de nouveaux substrats. Ce fait concerne surtout les animaux ruminants pour lesquels la durée d'accoutumance peut être de

plusieurs semaines. Même à court terme, il est parfois nécessaire de respecter une certaine dynamique d'apports des aliments. Ainsi les apports de phosphore et de calcium doivent être harmonisés dans le temps pour assurer leur disponibilité simultanée dans l'organisme afin que de la matière osseuse puisse être élaborée.

#### **I.6.4. Les recommandations d'utilisation des matières premières**

Les recommandations évoquées ci-dessus ne concernaient que les éléments nutritifs; il est également parfois nécessaire de limiter, ou même d'interdire, l'apport d'une matière première dans une ration ; différentes raisons justifient le respect d'une telle limite :

- \* la prudence sur la qualité d'une matière première susceptible d'entraîner des troubles pathologiques par la présence de substances anti nutritives (toxines, ammoniac...) ou de micro-organismes pathogènes (salmonelles, prions...),
- \* la forte variabilité de composition et de valeur nutritive pour une matière première dont on ne connaît pas l'analyse chimique,
- \* l'inappétence que peut induire un niveau d'incorporation trop élevé de certaines matières premières dans un régime (exemple : du tourteau de colza).

Lorsque le régime est déterminé par formulation, ces limitations constituent les "contraintes alimentaires" qui sont prises automatiquement en compte dans le calcul par programmation linéaire.

#### **I.7. Ruminants :**

– Tube digestif capable

- De digérer la cellulose (i.e. hydrates de carbone de structure)
- Synthétiser des acides aminés
- Rôle crucial du rumen

– Peut satisfaire ses besoins avec un grand nombre d'aliments

- Fourrages (besoin minimum)

- Graines et tous les coproduits

- Racines

– Règles de fonctionnement

Herbivore ruminant :

– Capable de valoriser les hydrates de carbone de structure à des fins énergétiques

– Capable de valoriser l'azote **non protidique** à des fins protéiques

Deux caractéristiques majeures

– Adaptation du tube digestif

– Adaptation de la **mastication**

3 pré-estomacs et 1 estomac vrai

– Un **rumen volumineux**

– Colonisation du rumen par des microorganismes

- Bactéries

- Protozoaires

- Champignons

Ingestion

– 10 à 15 repas/jour dont 2 grands

– 5 à 9 heures/jour (pâturage >> stabulation)

– Arrêt du repas : encombrement du rumen

Rumination

– 12 à 18 périodes de 20 à 50 minutes

– 6 à 10 h/jour

– durée si durée ingestion (total max 10 à 17 h)

- 2 à 3 fois la MS ingérée
- Réduction de la taille des particules

Mastication 60 % du temps.

## **II. Les dépenses azotées**

On considère deux types de dépenses :

\* Le renouvellement constant des tissus de l'organisme et les synthèses de substances liées à son fonctionnement : il s'agit des dépenses **d'entretien**.

\* L'exportation des protéines des produits : gain de poids, fœtus, lait, œuf.. dépenses **de production**.

Les dépenses de production : On évalue leur importance globale (quantitative) et la composition en AA (aspect qualitatif).

1- **La croissance** : Le dépôt azoté quotidien correspond aux dépôts dans les différents compartiments corporels : muscles, os, graisse, peau , sang..

Son importance dépend :

- De la croissance, elle même liée à l'âge, au type génétique, au sexe..
- Du mode d'alimentation : à volonté ou restreint.
- Des conditions d'élevage et de production, poids et âge d'abattage.

2- **La gestation** : Les dépenses azotées correspondent aux matières azotées fixées dans l'utérus par le ou les fœtus et les annexes. On ne tient compte d'un besoin azoté spécifique qu'au cours du derniers tiers de gestation.

3- **La lactation** : La dépense azotée dépend de la composition du lait, elle est donc variable selon les espèces. Cependant, pour une espèce donnée, la dépense azotée varie avec :

- **La race** : le taux azoté varie selon les types génétiques de 30 à 35 g/kg.

- **Le stade de lactation** : Au cours de la lactation les teneurs en matières grasses et matières azotées évoluent en sens inverse de la quantité de lait produite (phénomène de dilution).

- **La production d'œufs** : Les œufs sont riches en matières azotées, environ 12% de leur poids. La ponte d'un œuf de 60g représente une dépense de 7g de matières azotées, soit 3,5 fois les dépenses d'entretien d'une poule de 2,5 kg.

L'alimentation azotée des animaux repose sur des données fondamentales : Les AA constituent la seule forme azotée utilisable par les cellules animales.

\* Les cellules ont des besoins en AAI et autres AA.

\* Les synthèses nécessitent de l'énergie : il y'a une interdépendance entre l'alimentation énergétique et l'alimentation azotée. A l'inverse, un excès engendre des dysfonctionnements de l'organisme : modification du faciès microbien, fatigue hépatique ou rénale, alcalose sanguine...

Un déséquilibre azoté augmente les pertes urinaires et fécales en azote et engendre un phénomène de pollution azotée.

Remarque : La carence en azote se traduit par une perte d'appétit et donc une diminution des performances.

## **II.1. Les différentes formes de matières azotées dans l'organisme :**

Les cellules des monogastriques et des ruminants ont des besoins identiques en AA. Les protéines représentent une part sensiblement constante de la masse corporelle délipidée (21% chez les ruminants et le cheval). Elles sont présentes sous différentes formes : tissus, hormones, enzymes, caséines du lait, albumine de l'œuf..etc. figure n°3.

Tableau 4.3. Les matières azotées dans l'organisme

Type de matières azotées	Exemples
Protéines de circulation	albumine (synthétisée dans le foie) fibrinogène (coagulation du sang) globulines (précurseurs des anticorps) hémoglobine des hématies nucléoprotéines des globules blancs } dans le plasma
Protéines tissulaires	osséine de l'os kératine des phanères (laine, poil, plume, corne) myoglobine, actine et myosine des muscles rouges collagène et élastine du tissu conjonctif
Protéines fonctionnelles	toutes enzymes et hormones, sauf les hormones stéroïdiennes
Protéines des productions	caséines, $\alpha$ -lactalbumine, $\beta$ -lactoglobuline du lait albumine de l'œuf
Acides aminés	protéines tissulaires : muscles, foie, etc. lysine, méthionine, etc.
Matières azotées non protidiques	bases azotées des acides nucléiques (ADN et ARN) déchets du catabolisme des AA : $\text{NH}_3$ puis urée ou acide urique

Figure 4.12. Les différentes formes de matières azotées dans l'organisme

Figure 3 : Les différentes formes de matières azotées dans l'organisme.

## II.2. Modes d'expression de l'apport azotée

L'apport azoté est exprimé en "grammes" ou en "%" par rapport à l'aliment, rapporté à l'une des valeurs ci-dessous :

### II.2.1. Les matières azotées totales (MAT) :

Teneur en azote organique de l'aliment, déterminé par la méthode de **Kjeldahl** x le coefficient 6,25 (6,25 = 100/16 qui est le taux d'azote des protides, 16%)

$$\text{Matières MAT} = N_{\text{total}} \times 6,25$$

**MAT** comprend les : matières protéiques (protéines, polypeptides et acides aminés libres) et les matières azotées non protéiques (amines, amides, urée, sels ammoniacaux).

## **II.2.2. Matières azotées digestibles MAD :**

Sont la partie digestible des matières azotées totales MAT.

**MAD = MAT x CUD** (CUD : coefficient d'utilisation digestive des matières azotées de l'aliment)

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

Pour les ruminants la teneur d'un aliment en MAD que la quantité d'azote ( N x 6,25) qui disparaît apparemment dans le tube digestif : sans tenir compte d'une quantité importante de MAT qui, après dégradation en ammoniacque (NH<sub>3</sub>) dans le rumen, passe dans le sang et est éliminé par l'urine. : c'est ce qui se passe pour des rations riches en azote fermentescible et trop pauvres en énergie : les synthèses microbiennes sont insuffisantes pour transformer tout cet azote en acides aminés.

- MAD ne tient pas compte non plus de l'apport d'énergie par la ration. ( si on ajoute de l'amidon à une ration, on ne modifie pas sa teneur en MAD mais augmente la synthèse d'AA disponibles dans l'intestin, d'où l'intérêt d'un bon équilibre Énergie / Azote et la nécessité de nouvelles normes tenant mieux compte de la quantité d'énergie disponible dans la ration, d'où l'utilisation d'un nouveau système appelé **PDI**.

## **- II.2.3. Etude de la valeur azotée des aliments :**

La valeur azotée d'un aliment est exprimée en PDI. Ce système d'unités proposé en 1978 par l'INRA pour remplacer le MAD prend en compte le devenir des matières azotées alimentaires et de celles remaniées dans le rumen.

Cette valeur est la somme de deux fractions :

- **PDIA** = Protéines réellement disponibles dans l'intestin grêle, d'origine alimentaire.

Ce sont les AA réellement absorbés, provenant des protéines alimentaires non dégradées dans le rumen.

- **PDIM** = Protéines réellement disponibles dans l'intestin grêle, d'origine microbienne.

- **La valeur PDI d'un aliment est donc :  $PDI = PDIA + PDIM$**

Cette deuxième fraction (PDIM) dépend de la disponibilité dans le rumen de deux facteurs principaux de la synthèse : Energie et azote dégradables.

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

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

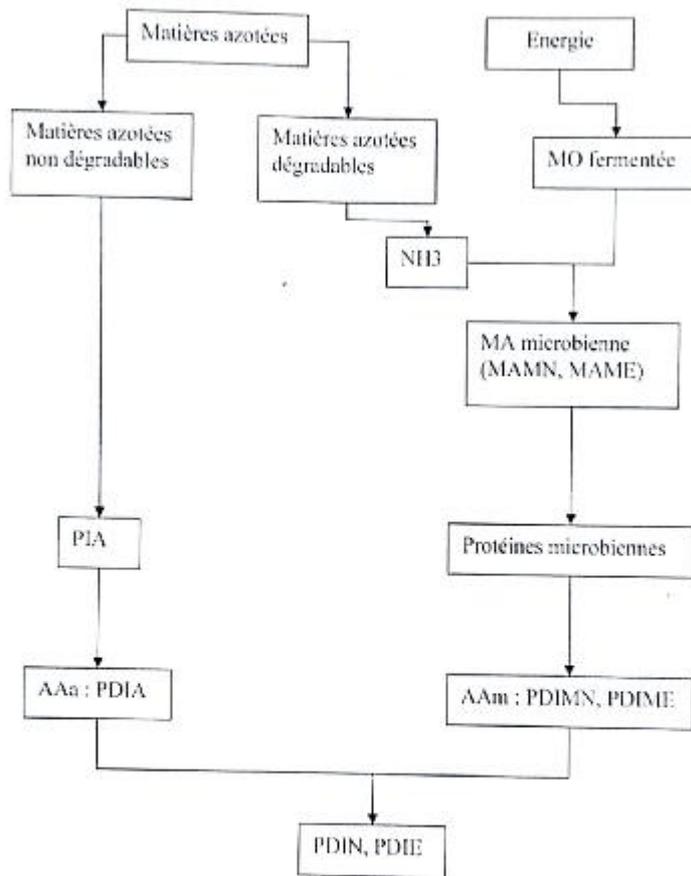
PDIME : Valeur de PDIM permise par sa teneur en énergie fermentescible dans le rumen.

Donc,  $PDI = PDIA + PDIM$

La valeur PDIM dépend de la disponibilité dans le rumen de deux facteurs limitants principaux de la protéosynthèse : l'énergie fermentescible et les matières azotées dégradables.

La valeur azotée d'un aliment est donc définie par deux valeurs PDIN et PDIE :

- **$PDIN = PDIA + PDIMN$**
- **$PDIE = PDIA + PDIME$**
- **L'optimum** est d'obtenir un équilibre entre les apports UF, PDIN et PDIE de la ration totale, (figure 4).



$$PDI = PDIA + PDIM$$

C'est-à-dire que la somme des acides aminés absorbés au niveau de l'intestin = AAa + AAm.

En tenant compte des deux principaux facteurs limitant de la protéosynthèse microbienne : les énergies fermentescibles et les matières azotées dégradables, on peut distinguer en théorie deux valeurs PDIM :

Scanné avec CamScanner

Figure 4 ; Schéma des différentes formes de matières azotées chez les ruminants

#### **II.2.4. Mode de calcul des valeurs PDI des aliments :**

Des formules (1988) permettent de calculer PDIA, PDIMN et PDIME des aliments pour aboutir à leurs deux valeurs PDIN et PDIE :

1-  $PDIA = 1,11 \times MAT (1 - D_T^*) \times D_r^*$

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

3-  $PDIME = 0,093 \times MOF^*$

$D_T$  : Dégradabilité théorique ; **MOF** = matière organique fermentescible;

**MOF** : matière organique fermentescible.  $D_r$  : digestibilité réelle des acides aminés alimentaires dans l'intestin grêle.

#### **II.3. La dégradabilité des matières azotées dans le rumen :**

C'est une **protéosynthèse microbienne** dont le produit est essentiellement l'ammoniaque ( $NH_3$ ). Elle dépend essentiellement de :

- leur structure chimique plus ou moins complexe ( les protéines sont moins dégradables que les matières azotées plus simples : urée..)
- Leur accessibilité par les microorganismes
- Traitement technologique (tannage, flaconnage, extrusion..etc)
- L'activité microbienne du rumen.

L'importance de la protéosynthèse est proportionnelle à la quantité de l'élément dont la concentration dans le milieu ruminal est la plus faible. Cet élément est le facteur limitant de la protéosynthèse (énergie ou ammoniaque)

### II.3.1 Utilisation digestive des protéines :

#### II.3.1.1 - facteurs de variation :

- Liés à l'animal
- Âge : jeune et âgé < adulte
- Race : grandes races < autres
- État de santé : Syndrome mal assimilation-malabsorption (SIBO, protein losing enteropathy)
- Liés à l'aliment.

### II.3.2. La dégradation des matières azotées :

Les matières azotées alimentaires subissent dans le rumen une dégradation plus ou moins intense et rapide dont l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est le produit terminal le plus important. Cette dégradation en ammoniac (figure 3) est rapide et totale pour les constituants non protidiques (urée, amides ...) ainsi que pour les constituants protidiques simples (acides aminés libres, peptides et polypeptides).

Les substrats carbonés et l'ammoniac peuvent ensuite être pour la synthèse des matières azotées de certaines bactéries (cellulolytiques) ce qui correspond à la phase de **protéosynthèse microbienne**. Dans la mesure où il n'est pas utilisé par les micro-organismes pour cette synthèse de matières azotées microbiennes, la majeure partie de l'ammoniac restant est absorbé au niveau de la paroi du rumen, véhiculé au foie où il est transformé en urée. Cette urée est en partie recyclée dans la salive ou par diffusion à travers la paroi de tout le tube digestif, et en partie éliminée par l'urine et donc perdue. L'uréogenèse à partir de l'ammoniac nécessite beaucoup d'énergie. Elle est estimée à 4 ATP / moles d'urée produite (Remesy et Demigne, 1981 ).

Selon Milton et Ternouth (1984) cités par Komisarczuk (1985), l'absorption d'ammoniac est conditionnée par sa concentration dans le rumen (50 à 80 mg / 100 ml de jus de rumen) et par le pH du rumen (un pH élevé conduit à une absorption rapide, un pH bas à une absorption lente. Les bactéries qui vivent sous des concentrations basses d'ammoniac fixent l'ammoniac à deux étapes de la glutamine synthétase et la glutamate synthase au cours desquelles il y'a transfert de l'amide-N de la glutamine au 2-oxoglutarate et cette étape nécessite de l'ATP (Leng et al., 1987).

La concentration en ammoniac dans le rumen peut varier de 2 à 40 mmoles/l mais on estime à 4-5 mmoles /l la teneur nécessaire pour que la production de protéines bactériennes soit maximum (Thivend et *al.*, 1985 ; Leng et al., 1984 ).

Selon Vérité et *al.*, (1987), de 2/3 à 3/4 des fractions azotées des fourrages sont dégradés dans le rumen.

### **III- La supplémentation des sources azotées**

La recherche d'aliments équilibrés en AA et la réduction du taux azoté mènent à utiliser des aliments complémentaires en AA ou une supplémentation de synthèse.

#### **III.1. Les formes de supplémentation :**

a) **Intersupplémentation :** Association de matières premières complémentaires en AAI, des céréales et des matières premières riches en matières azotées (tourteaux protéagineux pour couvrir les besoins en AAI qui risquent d'être facteurs limitants de la protéosynthèse, exemple : maïs +tourteau de soja).

b) **Supplémentation en acides aminés de synthèse :**

Elle a pour principe de couvrir les besoins en AAI avec le minimum de protéines naturelles et un ou plusieurs acides aminés synthèse ; méthionine ; lysine, thréonine..) leur coût encore élevé limite leur usage.

**c) Auto-supplémentation :**

Cas particulier des ruminants, grâce à la microflore ruminale, le problème des AAI ne se pose pas aux ruminants.

L'apport d'azote soluble disponible pour les micro organismes permet les synthèses d'AAI qui seront absorbés dans l'intestin grêle fournissant les AAI au ruminant.

**Remarque** : Avant de satisfaire les besoins en AA du ruminant, une alimentation azotée doit satisfaire les besoins azotés des micro-organismes du rumen. L'activité microbienne doit être intense vis à vis des parois cellulaires pour assurer la meilleure efficacité globale de l'utilisation de la ration.

Un déficit en azote dégradable apprécié par la différence (apports **PDIN** –apports **PDIE**) augmente le temps de rétention des aliments dans le rumen et leur encombrement. En conséquence, la digestibilité et la valeur énergétique **UF** de la ration sont diminuées de même que la consommation de fourrage.

### **III.2 L'utilisation digestive et métabolique de l'azote alimentaire**

L'importance des pertes d'azote peut être caractérisée à deux niveaux différents :

**a) Au niveau digestif** : Par la digestibilité apparente (**d<sub>a</sub>**) ou digestibilité réelle (**d<sub>r</sub>**)

ou par les coefficients d'utilisation digestive et apparent et réel (**CUD<sub>a</sub>** et **CUD<sub>r</sub>**).

-  $CUD_a (\%) = d_a \times 100$

**On détermine les valeurs des digestibilités de l'azote par les formules suivantes :**

$$D(a) = \frac{N \text{ ingéré} - (N \text{ fèces totales} - N \text{ fèces endogènes})}{N \text{ ingéré}}$$

b) **Au niveau métabolique :** Par le coefficient d'utilisation métabolique **CUM**.

Il permet de connaître la qualité des matières azotées, c'est à dire l'équilibre en acides aminés de l'aliment par rapport aux besoins de l'animal.

$$CUM = \frac{N \text{ fixé}}{N \text{ absorbé}}$$

On distingue CUM **a** et CUM **r** qui est appelé aussi la valeur biologique (**VB**).

### **III.1. Coefficient d'efficacité protéique (CEP) :**

Il permet d'intégrer les deux notions précédentes et de quantifier l'effet de l'alimentation azotée sur les performances.

$$CEP = \frac{N \text{ fixé}}{N \text{ ingéré}}$$

Pour améliorer l'efficacité de l'apport azoté alimentaire il faut :

- Réduire la fraction de l'azote indigestible rejeté dans les fèces.
- Réduire la fraction de l'azote indigestible rejeté dans les urines ce qui suppose un bon ajustement quantitatif des apports aux besoins des animaux et un équilibre optimale des protéines du régime alimentaire en acides aminés en particulier acides aminés essentiels.

## III.2. Les facteurs de variation du CUD des matières azotées

### III.2.1. Les facteurs liés à l'animal :

- L'espèce animale est un facteur déterminant de la digestibilité des aliments. On dispose pour chaque espèce animale des valeurs de la digestibilité de la matière azotée des aliments.

### III.2.2. Les facteurs liés à l'aliment :

- Concernent la nature des matières azotées et les autres éléments de l'aliment, en particulier la teneur en constituants pariétaux (qui diminuent l'accessibilité du contenu cellulaire) et en matières grasses.

- D'autre part les traitements technologiques peuvent avoir des effets favorables ou défavorables sur la digestibilité.

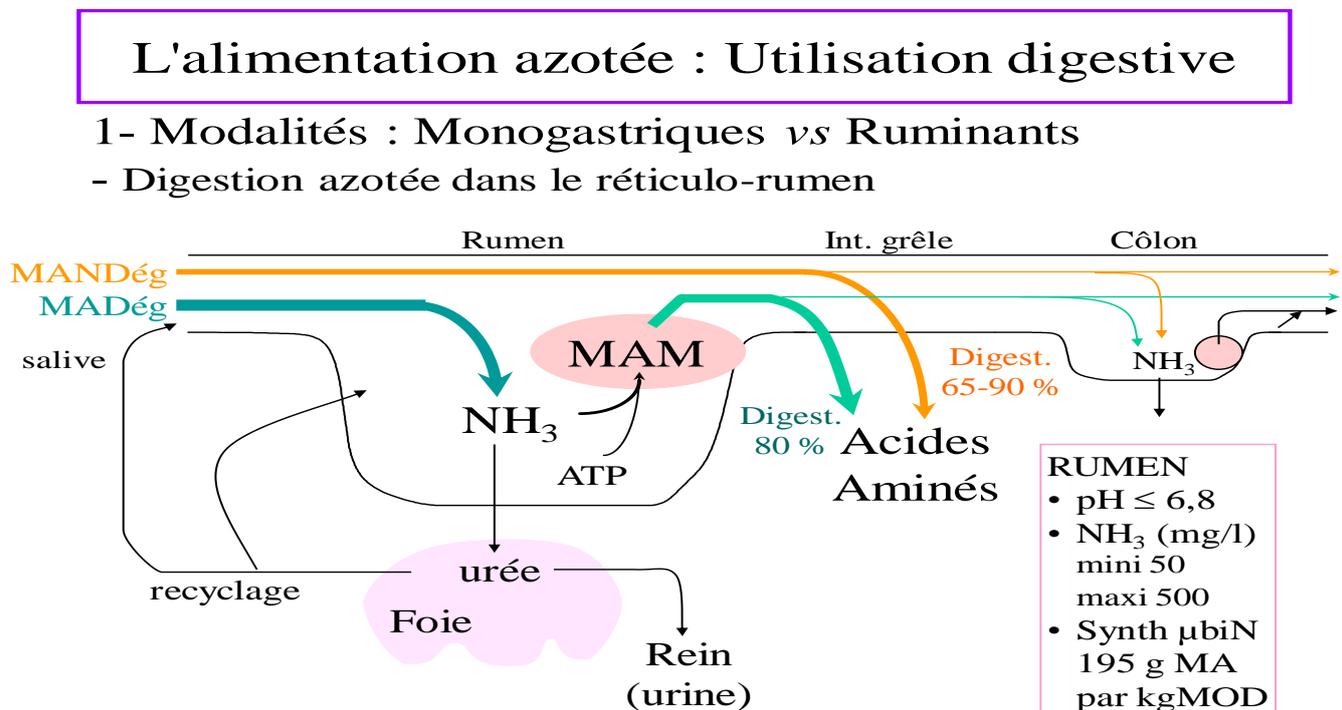


Figure 5 : Utilisation digestive des matières azotées

### **III.3. Les facteurs de variation du CUM :**

- Caractéristiques physiologiques de l'individu, âge, sexe, état physiologique..
- Les caractéristiques de l'aliment ont une influence déterminante sur le CUM, en particulier l'équilibre des matières azotées en acides aminés essentiels (AAE) et le taux azoté de la ration.
- Chez les monogastriques : L'utilisation métabolique est le principal facteur de variation de l'utilisation des matières azotées.
- Les besoins sont exprimés en : matières azotées totales (MAT), protéines brutes (PB) ou acides aminés (AA) et calculés à partir de la dépense cellulaire en appliquant le CUD et CUM moyens :

$$\text{Besoins} = \text{Dépense cellulaire} \times \frac{1}{\text{CUM}} \times \frac{1}{\text{CUD}}$$