

**Semestre : 5**

**Unité d'enseignement Fondamentale 1 (UEF 3.1.1)**

**Matière 1 : Alimentation et Rationnement**

**Crédits : 6**

**Coefficient : 3**

**Objectifs de l'enseignement**

### **PARTIE 03 :**

**Alimentation azotée-(importance -Besoins alimentaires –effets de carence ou Excès nutritionnels)**

L'alimentation azotée joue un rôle crucial dans la nutrition des ruminants et autres animaux d'élevage. L'azote est un élément essentiel des protéines, nécessaires pour la croissance, la reproduction, et la production laitière. Comprendre l'importance de l'alimentation azotée, les besoins alimentaires et les effets de la carence ou de l'excès est fondamental pour optimiser la santé et la productivité des animaux.

#### **Importance de l'Alimentation Azotée**

1. **Synthèse des Protéines:** Les protéines sont constituées d'acides aminés, qui contiennent de l'azote. Elles sont indispensables pour la croissance musculaire, la réparation des tissus et la production d'enzymes et d'hormones.
2. **Production Laitière:** Chez les vaches laitières, une alimentation adéquate en azote est essentielle pour maintenir une production laitière élevée et de bonne qualité.
3. **Reproduction:** Les protéines jouent un rôle dans la régulation des hormones reproductrices, affectant la fertilité et la gestation.
4. **Système Immunitaire:** Un apport adéquat en protéines renforce le système immunitaire, aidant les animaux à combattre les infections et les maladies.

#### **Besoins Alimentaires en Azote**

Les besoins en azote varient selon l'espèce, l'âge, le stade de production (croissance, lactation, gestation) et les conditions environnementales.

1. **Vaches Laitières:** Les besoins en protéines varient en fonction de la production laitière. Une vache laitière en pleine lactation peut nécessiter entre 16% et 18% de protéines brutes dans sa ration.
2. **Bovins à l'Engraisement:** Les bovins destinés à la production de viande ont des besoins en protéines variant de 12% à 14% dans leur ration.
3. **Ovins et Caprins:** Les moutons et les chèvres ont des besoins similaires, variant de 10% à 14% selon le stade de production.

## Effets de Carence en Azote

1. **Retard de Croissance:** Une carence en protéines entraîne un ralentissement de la croissance chez les jeunes animaux, retardant leur développement et leur maturité.
2. **Réduction de la Production Laitière:** Chez les vaches laitières, une carence en protéines réduit la production de lait et peut affecter la qualité du lait.
3. **Faible Fertilité:** Les animaux carencés en protéines peuvent montrer des signes de faible fertilité, des cycles reproducteurs irréguliers et des taux de conception réduits.
4. **Affaiblissement du Système Immunitaire:** Une carence protéique peut compromettre le système immunitaire, augmentant la susceptibilité aux maladies et infections.

## Effets de l'Excès en Azote

1. **Surplus Métabolique:** Un excès de protéines dans l'alimentation entraîne une dégradation métabolique accrue de l'azote, produisant de l'urée qui doit être excrétée par les reins. Cela peut entraîner une charge rénale excessive.
2. **Réduction de l'Efficacité Alimentaire:** L'excès de protéines peut diminuer l'efficacité globale de l'alimentation, car l'énergie est détournée pour excréter l'excès d'azote au lieu d'être utilisée pour la production.
3. **Problèmes de Santé:** Des niveaux élevés d'urée dans le sang peuvent entraîner des problèmes de santé, notamment des troubles métaboliques et une toxicité potentielle.
4. **Impact Environnemental:** L'excrétion excessive d'azote sous forme d'urée et d'ammoniac peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement, notamment la pollution des sols et des eaux.

## Conclusion

L'alimentation azotée est essentielle pour la santé et la productivité des animaux d'élevage. Il est crucial de fournir un apport équilibré en protéines pour répondre aux besoins spécifiques des animaux, tout en évitant les carences et les excès. Une gestion appropriée de l'alimentation azotée contribue non seulement à la performance animale, mais également à la durabilité environnementale de l'élevage.

### 4.1. Place des Matières Azotées en Nutrition Animale

Les matières azotées jouent un rôle central en nutrition animale en tant que principale source de protéines, indispensables pour le développement, la croissance, la reproduction, et la production des animaux. Voici un aperçu détaillé de leur importance et de leur rôle en nutrition animale.

#### 1. Rôle des Matières Azotées

1. **Construction et Réparation des Tissus:** Les protéines, composées d'acides aminés, sont les éléments constitutifs des cellules et des tissus. Elles sont essentielles pour la croissance des muscles, des organes et des autres tissus corporels, ainsi que pour la réparation des tissus endommagés.
2. **Fonctions Métaboliques:** Les protéines jouent un rôle crucial dans de nombreuses fonctions métaboliques. Elles sont des composants essentiels des enzymes, des

hormones, et des anticorps, participant ainsi à la régulation des processus métaboliques et au maintien de la santé immunitaire.

3. **Production Laitière et Œuf:** Chez les animaux de production tels que les vaches laitières et les poules pondeuses, les matières azotées sont indispensables pour la production de lait et d'œufs. La qualité et la quantité de la production sont directement liées à l'apport protéique.
4. **Reproduction:** Les protéines sont nécessaires pour la synthèse des hormones reproductrices et le développement des organes reproducteurs. Un apport adéquat en protéines est crucial pour la fertilité, la gestation et le développement embryonnaire.

## 2. Sources de Matières Azotées

Les sources de matières azotées en nutrition animale se divisent principalement en deux catégories : les protéines végétales et les protéines animales.

### 1. Protéines Végétales:

- **Tourteaux de Soja:** Une source de protéine de haute qualité, couramment utilisée dans l'alimentation des ruminants, des porcs, et des volailles.
- **Luzerne:** Riche en protéines et utilisée comme fourrage pour les ruminants.
- **Pois et Fèves:** Utilisés comme sources de protéines dans les rations pour monogastriques et ruminants.

### 2. Protéines Animales:

- **Farine de Poisson:** Riche en protéines et en acides aminés essentiels, souvent utilisée dans les aliments pour animaux d'aquaculture et certains monogastriques.
- **Farine de Viande et d'Os:** Une source concentrée de protéines et de minéraux, bien que son utilisation soit réglementée dans certains pays pour des raisons sanitaires.

## 3. Exigences Nutritionnelles

Les besoins en matières azotées varient en fonction de l'espèce animale, de l'âge, du stade de production, et des objectifs de performance. Les rations doivent être formulées pour répondre à ces besoins spécifiques :

1. **Ruminants:** Les ruminants, comme les vaches et les moutons, ont une capacité unique à utiliser les protéines microbiennes synthétisées dans le rumen à partir de l'azote non protéique (NPN) et des protéines végétales.
2. **Monogastriques:** Les monogastriques, comme les porcs et les volailles, nécessitent des protéines de haute qualité avec un profil équilibré en acides aminés essentiels, car ils ne peuvent pas synthétiser ces acides aminés de manière efficace.
3. **Animaux en Croissance:** Les jeunes animaux en croissance rapide ont des besoins élevés en protéines pour soutenir le développement musculaire et osseux.
4. **Animaux de Reproduction et de Production:** Les animaux en lactation, en gestation ou en production (comme les pondeuses) ont des besoins accrus en protéines pour soutenir ces processus énergivores.

## 4. Gestion de l'Apport en Matières Azotées

1. **Formulation des Rations:** Les nutritionnistes formulent des rations équilibrées pour fournir les quantités nécessaires de protéines et d'acides aminés, en tenant compte de la digestibilité et de la biodisponibilité des sources de protéines.
2. **Supplémentation:** Dans certains cas, des suppléments protéiques ou des acides aminés spécifiques peuvent être ajoutés aux rations pour corriger les déficits nutritionnels.
3. **Suivi et Ajustements:** Les besoins en protéines peuvent varier en fonction de la saison, des conditions de santé et des changements de production. Un suivi régulier et des ajustements des rations sont nécessaires pour optimiser la performance et la santé des animaux.

### Conclusion

Les matières azotées sont fondamentales en nutrition animale, jouant un rôle essentiel dans la croissance, la reproduction, et la production. Une compréhension approfondie des besoins en protéines, des sources de matières azotées, et de la gestion de l'alimentation est cruciale pour assurer la santé et la productivité des animaux d'élevage

#### 4.1.1. Rôle des Matières Azotées dans l'Organisme

Les matières azotées, principalement sous forme de protéines, jouent des rôles essentiels et variés dans l'organisme des animaux. Ces rôles sont cruciaux pour le maintien de la santé, la croissance, la reproduction, et la production.

#### 1. Synthèse et Maintenance des Tissus

1. **Construction des Tissus Musculaires:** Les protéines sont les principaux constituants des muscles. Elles fournissent les acides aminés nécessaires à la construction et à la réparation des fibres musculaires, permettant ainsi la croissance et la maintenance des tissus musculaires.
2. **Réparation des Tissus:** Les protéines sont essentielles pour la réparation des tissus endommagés, qu'il s'agisse de blessures ou de l'usure normale des cellules. Elles sont nécessaires pour la cicatrisation des plaies et la régénération des cellules.

#### 2. Fonctions Métaboliques

1. **Enzymes:** Les enzymes sont des protéines qui catalysent les réactions biochimiques dans l'organisme. Elles sont essentielles pour le métabolisme des nutriments, la digestion, la respiration cellulaire, et de nombreux autres processus biologiques.
2. **Hormones:** Certaines hormones, comme l'insuline et l'hormone de croissance, sont des protéines. Elles régulent diverses fonctions physiologiques, notamment le métabolisme, la croissance, et la reproduction.
3. **Transport et Stockage:** Les protéines jouent un rôle crucial dans le transport des substances dans le sang. Par exemple, l'hémoglobine, une protéine, transporte l'oxygène des poumons vers les tissus. Les protéines de transport dans les membranes cellulaires permettent l'entrée et la sortie des nutriments et des déchets.

### 3. Système Immunitaire

1. **Anticorps:** Les anticorps sont des protéines produites par le système immunitaire pour identifier et neutraliser les agents pathogènes tels que les bactéries et les virus. Un apport adéquat en protéines est crucial pour la production et le fonctionnement des anticorps.
2. **Protéines de la Réponse Inflammatoire:** Les protéines jouent un rôle dans la réponse inflammatoire et la lutte contre les infections. Les cytokines, qui sont des protéines, régulent la réponse immunitaire et l'inflammation.

### 4. Production et Reproduction

1. **Production Laitière:** Les protéines sont essentielles pour la production de lait chez les vaches laitières. Les caséines et les protéines du lactosérum dans le lait sont cruciales pour la croissance des veaux et la nutrition humaine.
2. **Reproduction:** Les protéines sont nécessaires pour la synthèse des hormones reproductrices et le développement des organes reproducteurs. Elles jouent un rôle dans la fertilité, la gestation, et le développement embryonnaire.

### 5. Structure Cellulaire et Fonction

1. **Membranes Cellulaires:** Les protéines sont des composants essentiels des membranes cellulaires. Elles participent à la structure de la membrane et jouent des rôles dans la signalisation cellulaire et le transport de substances à travers la membrane.
2. **Cytosquelette:** Les protéines du cytosquelette, comme l'actine et la tubuline, fournissent un support structural aux cellules et sont impliquées dans le mouvement cellulaire et la division cellulaire.

## Conclusion

Les matières azotées, principalement sous forme de protéines, sont indispensables pour de nombreuses fonctions biologiques essentielles dans l'organisme. Elles sont nécessaires pour la croissance et la réparation des tissus, les fonctions métaboliques, la réponse immunitaire, la production et la reproduction, ainsi que la structure et le fonctionnement des cellules. Une alimentation adéquate en protéines est donc cruciale pour maintenir la santé et la performance des animaux.

#### 4.1.2. Effets d'Excès et de Carence des Matières Azotées

L'équilibre en matières azotées dans l'alimentation animale est crucial pour la santé et la performance des animaux. Tant les carences que les excès peuvent entraîner des effets néfastes sur leur santé, leur croissance, et leur productivité.

## Effets de Carence en Matières Azotées

1. **Retard de Croissance:**
  - **Jeunes Animaux:** Une carence en protéines conduit à un retard de croissance chez les jeunes animaux, affectant leur développement musculaire et osseux.
  - **Poids Corporel:** Les animaux ne parviennent pas à atteindre un poids corporel optimal, ce qui peut réduire leur valeur marchande et leur performance globale.
2. **Diminution de la Production Laitière et Œuf:**
  - **Vaches Laitières:** Une insuffisance en protéines réduit la production laitière et peut affecter la composition du lait, diminuant sa teneur en protéines et en matières grasses.
  - **Poules Pondeuses:** Les carences en protéines réduisent la production d'œufs et peuvent affecter la qualité des œufs, notamment la taille et la solidité de la coquille.
3. **Faible Fertilité:**
  - **Reproduction:** Les carences protéiques entraînent des problèmes de fertilité, des cycles reproducteurs irréguliers, et des taux de conception réduits.
  - **Gestation:** Les animaux gestants peuvent présenter des complications, y compris des avortements spontanés et une faible survie des nouveau-nés.
4. **Affaiblissement du Système Immunitaire:**
  - **Réponse Immunitaire:** Une carence en protéines affaiblit le système immunitaire, rendant les animaux plus susceptibles aux infections et aux maladies.
  - **Cicatrisation:** La guérison des blessures et des infections est plus lente chez les animaux déficients en protéines.
5. **Problèmes Métaboliques:**
  - **Énergie:** Les animaux en carence peuvent avoir une énergie réduite, affectant leur comportement et leur capacité à se déplacer et à se nourrir.

## Effets d'Excès en Matières Azotées

1. **Surplus Métabolique:**
  - **Charge Rénale:** Un excès de protéines conduit à une production accrue d'urée, exerçant une pression supplémentaire sur les reins pour éliminer cet excès.
  - **Toxicité de l'Ammoniac:** Une dégradation excessive des protéines peut entraîner une accumulation d'ammoniac, potentiellement toxique pour l'organisme.
2. **Réduction de l'Efficacité Alimentaire:**
  - **Utilisation de l'Énergie:** L'énergie qui pourrait être utilisée pour la croissance ou la production est détournée pour excréter l'excès d'azote, réduisant ainsi l'efficacité globale de l'alimentation.
3. **Problèmes de Santé:**
  - **Troubles Métaboliques:** Des niveaux élevés d'urée et d'ammoniac dans le sang peuvent entraîner des troubles métaboliques, affectant la santé générale des animaux.
  - **Système Digestif:** Une alimentation trop riche en protéines peut causer des déséquilibres dans le microbiome intestinal, conduisant à des troubles digestifs.
4. **Impact Environnemental:**

- **Pollution:** L'excréion excessive d'azote sous forme d'urée et d'ammoniac peut contaminer le sol et les eaux, contribuant à la pollution de l'environnement et à des problèmes tels que l'eutrophisation.

### 5. Augmentation des Coûts:

- **Alimentation:** Fournir un excès de protéines peut augmenter les coûts alimentaires sans bénéfice supplémentaire pour la performance animale, rendant la production moins rentable.

## Conclusion

Un équilibre approprié en matières azotées est essentiel pour la santé et la performance des animaux. Les carences en protéines entraînent des retards de croissance, une diminution de la production, une faible fertilité, et un affaiblissement du système immunitaire. En revanche, un excès de protéines impose une charge métabolique et rénale supplémentaire, réduit l'efficacité alimentaire, pose des problèmes de santé, et a un impact environnemental négatif. Une gestion soigneuse de l'alimentation azotée est donc cruciale pour optimiser la santé et la productivité des animaux tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux.

### 4.2. Dépenses Azotées de l'Organisme

Les dépenses azotées de l'organisme représentent la quantité d'azote excrétée par un animal. Cet azote provient principalement de la dégradation des protéines et des acides aminés. La gestion de ces dépenses est essentielle pour maintenir l'équilibre azoté, un indicateur de la santé et de la nutrition adéquate des animaux.

## Principaux Mécanismes de Dépenses Azotées

### 1. Excrétion Urinaire:

- **Urée:** La majeure partie de l'azote excédentaire est excrétée sous forme d'urée par les reins. L'urée est produite dans le foie à partir de l'ammoniac, un sous-produit de la dégradation des acides aminés.
- **Créatinine:** Un autre composé azoté excrété par les reins est la créatinine, dérivée de la créatine musculaire.

### 2. Excrétion Fécale:

- **Protéines Non Digestibles:** Une partie des protéines alimentaires n'est pas digérée et est excrétée dans les fèces. Cela inclut les protéines résiduelles des aliments ainsi que les protéines microbiennes dans les ruminants.
- **Azote Endogène:** Les fèces contiennent également de l'azote provenant des cellules intestinales desquamées et des enzymes digestives.

### 3. Excrétion Par Le Lait:

- **Protéines Lactées:** Chez les animaux laitiers, une portion significative de l'azote alimentaire est convertie en protéines du lait, comme la caséine et les protéines du lactosérum.

### 4. Excrétion Par La Peau:

- **Transpiration et Desquamation:** Une petite quantité d'azote est perdue par la peau, par la transpiration et la desquamation des cellules cutanées.

### 5. Excrétion Par Les Cheveux, Laine et Plumes:

- **Kératine:** Les protéines structurelles comme la kératine, présentes dans les cheveux, la laine et les plumes, contiennent de l'azote et sont une voie de dépense azotée lors de leur renouvellement.

## Facteurs Influant Sur Les Dépenses Azotées

### 1. Niveau de Consommation Protéique:

- **Excès de Protéines:** Une alimentation riche en protéines entraîne une augmentation des déchets azotés, principalement sous forme d'urée, excrétée par les reins.
- **Carence en Protéines:** Une consommation insuffisante de protéines peut réduire les dépenses azotées, mais peut aussi entraîner une utilisation inefficace des protéines corporelles, augmentant les pertes de protéines musculaires.

### 2. Qualité des Protéines:

- **Digestibilité:** Les protéines de haute qualité et bien digestibles réduisent les pertes fécales d'azote, augmentant l'efficacité de l'utilisation des protéines alimentaires.
- **Profil en Acides Aminés:** Les protéines avec un profil équilibré en acides aminés essentiels sont mieux utilisées par l'organisme, réduisant les pertes azotées inutiles.

### 3. Stade de Production:

- **Croissance:** Les animaux en croissance ont des dépenses azotées proportionnellement plus élevées en raison des besoins accrus en protéines pour la synthèse tissulaire.
- **Lactation:** Chez les vaches laitières et autres animaux producteurs de lait, une grande partie de l'azote alimentaire est utilisée pour la production laitière.

### 4. Santé et Métabolisme:

- **Maladies:** Les infections et les maladies augmentent les besoins en protéines pour la réparation des tissus et le fonctionnement immunitaire, augmentant ainsi les dépenses azotées.
- **Stress Métabolique:** Les situations de stress, telles que le stress thermique ou physique, peuvent augmenter la dégradation des protéines et les pertes d'azote.

### 5. Gestion Alimentaire:

- **Supplémentation en Azote Non Protéique (NPN):** Chez les ruminants, la supplémentation en NPN, comme l'urée, peut

#### 4.2.1. Dépense Azotée d'Entretien

La dépense azotée d'entretien fait référence à la quantité d'azote nécessaire pour maintenir les fonctions physiologiques de base d'un animal sans tenir compte de la croissance, de la reproduction ou de la production (comme la lactation). Cette dépense comprend l'azote nécessaire pour le maintien des tissus corporels, le fonctionnement métabolique de base et la compensation des pertes inévitables d'azote.

## Composantes de la Dépense Azotée d'Entretien

### 1. Maintien des Tissus Corporels:

- **Renouvellement des Protéines:** Les protéines corporelles sont constamment dégradées et resynthétisées. Cette dynamique nécessite un apport continu en acides aminés pour remplacer les protéines dégradées.
- **Réparation Tissulaire:** Même en l'absence de croissance ou de production, des processus de réparation mineure des tissus sont continus, nécessitant une certaine quantité de protéines.

### 2. Fonctionnement Métabolique de Base:

- **Synthèse d'Enzymes et d'Hormones:** Les enzymes et certaines hormones sont des protéines ou des peptides qui nécessitent un apport constant en acides aminés pour leur synthèse.
- **Transport et Métabolisme des Nutriments:** Les protéines de transport, telles que l'hémoglobine et les transporteurs membranaires, sont essentielles pour le métabolisme et nécessitent des protéines pour leur renouvellement.

### 3. Pertes Inévitables d'Azote:

- **Excration Urinaire:** Même en l'absence de surplus de protéines alimentaires, il y a une perte minimale d'azote par l'urine sous forme d'urée, qui résulte de la dégradation des protéines endogènes.
- **Excration Fécale:** Il y a toujours une perte d'azote par les fèces, provenant des protéines alimentaires non digestibles et des protéines endogènes (enzymes digestives, cellules intestinales).
- **Pertes Cutanées:** L'excration d'azote via la peau (transpiration, desquamation des cellules cutanées) contribue également aux pertes d'entretien.

## Estimation des Besoins en Azote d'Entretien

Les besoins en azote d'entretien peuvent être estimés à partir de la connaissance des pertes inévitables et des processus de renouvellement des protéines. Les modèles nutritionnels utilisent souvent des facteurs de conversion pour estimer ces besoins en fonction du poids corporel et de la composition corporelle de l'animal.

### 1. Méthodes de Calcul:

- **Facteurs Empiriques:** Basés sur des études expérimentales, ces facteurs déterminent la quantité d'azote nécessaire par unité de poids corporel (g/kg).
- **Modèles de Prédiction:** Intègrent divers paramètres physiologiques et métaboliques pour prédire les besoins d'entretien.

### 2. Exemples de Besoins:

- **Ruminants:** Les ruminants ont des besoins d'entretien spécifiques, souvent exprimés en grammes d'azote par kilogramme de poids corporel métabolique ( $\text{g N/kg}^{0.75}$ ). Par exemple, les besoins d'entretien peuvent être de l'ordre de 1,5 à 2,5 g N/kg<sup>0.75</sup> par jour.
- **Monogastriques:** Les porcs et les volailles peuvent avoir des besoins d'entretien légèrement différents, généralement exprimés en termes de protéines brutes ou d'acides aminés essentiels.

## Importance de la Dépense Azotée d'Entretien

1. **Formulation des Rations:** Les rations alimentaires doivent être formulées pour couvrir non seulement les besoins de production, mais aussi les besoins d'entretien afin de maintenir la santé et le bien-être des animaux.
2. **Optimisation des Coûts:** Une compréhension précise des besoins d'entretien permet d'éviter les excès coûteux de protéines dans l'alimentation, réduisant ainsi les coûts alimentaires et les impacts environnementaux.
3. **Prévention des Problèmes de Santé:** Une alimentation inadéquate en protéines d'entretien peut entraîner une dégradation des tissus corporels, une faiblesse immunitaire et une réduction de la longévité productive des animaux.

## Conclusion

La dépense azotée d'entretien est un aspect fondamental de la nutrition animale, représentant les besoins minimums en azote pour maintenir les fonctions physiologiques de base. Comprendre et estimer correctement ces besoins est crucial pour la formulation de rations équilibrées, optimisant la santé et la productivité des animaux tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux.

### 4.2.2. Dépense Azotée de Production

La dépense azotée de production correspond à l'azote nécessaire pour soutenir les activités de production au-delà de l'entretien de base, telles que la croissance, la lactation, la gestation, et la production d'œufs ou de laine. Ces dépenses varient en fonction du type de production et des besoins spécifiques des animaux à différents stades de leur cycle de vie.

## Composantes de la Dépense Azotée de Production

1. **Croissance:**
  - **Synthèse des Protéines Musculaires:** Les jeunes animaux en croissance ont besoin de grandes quantités de protéines pour la formation de nouveaux tissus musculaires. Cette synthèse nécessite un apport continu en acides aminés essentiels.
  - **Développement Osseux:** Les protéines sont également nécessaires pour le développement et le maintien des tissus osseux, notamment le collagène, qui constitue une part importante de la matrice osseuse.
2. **Lactation:**
  - **Production de Lait:** Chez les vaches laitières et autres animaux producteurs de lait, une grande partie de l'azote alimentaire est utilisée pour la synthèse des protéines du lait, telles que la caséine et les protéines du lactosérum. La quantité d'azote nécessaire dépend de la production laitière et de la teneur en protéines du lait.
  - **Qualité du Lait:** Une alimentation équilibrée en azote est cruciale pour maintenir la qualité du lait, en termes de teneur en protéines et en matières grasses.

### 3. Gestation:

- **Développement Foetal:** Les besoins en protéines augmentent pendant la gestation pour soutenir la croissance et le développement du fœtus. Cela inclut la formation des tissus musculaires, osseux, et organiques du fœtus.
- **Réerves Corporelles:** Les animaux gestants doivent également accumuler des réserves protéiques pour préparer la lactation post-partum.

### 4. Production d'Œufs:

- **Synthèse des Protéines de l'Œuf:** Chez les poules pondeuses, une proportion significative des protéines alimentaires est utilisée pour la production des protéines de l'œuf, notamment l'albumine et les protéines de la coquille.

### 5. Production de Laine:

- **Croissance de la Laine:** Les ovins produisant de la laine ont des besoins spécifiques en protéines pour la synthèse de la kératine, la principale protéine de la laine. Une alimentation riche en azote est nécessaire pour une production optimale de laine de qualité.

## Estimation des Besoins en Azote de Production

Les besoins en azote pour la production peuvent être estimés en additionnant les besoins d'entretien et les besoins spécifiques liés à l'activité de production. Les modèles nutritionnels et les tables de besoins nutritionnels fournissent des recommandations spécifiques basées sur des recherches et des expériences pratiques.

### 1. Méthodes de Calcul:

- **Modèles Empiriques:** Basés sur des données expérimentales, ces modèles utilisent des coefficients pour estimer les besoins en protéines pour différentes activités de production.
- **Facteurs de Conversion:** Les besoins peuvent être exprimés en termes de protéines brutes ou d'acides aminés spécifiques nécessaires par unité de produit (par exemple, grammes de protéines par litre de lait produit).

### 2. Exemples de Besoins:

- **Vaches Laitières:** Les besoins en protéines pour la lactation peuvent être de l'ordre de 3 à 4 grammes d'azote par litre de lait produit, en plus des besoins d'entretien.
- **Porcs en Croissance:** Les porcs en croissance peuvent avoir des besoins en protéines supplémentaires variant de 100 à 150 grammes par kilogramme de gain de poids corporel.
- **Poules Pondeuses:** Les besoins en protéines pour la production d'œufs peuvent être d'environ 16% à 18% de la ration alimentaire totale.

## Importance de la Gestion des Dépenses Azotées de Production

1. **Optimisation de la Production:** Fournir des quantités adéquates de protéines permet d'optimiser la croissance, la production laitière, la production d'œufs, et la production de laine.

2. **Amélioration de la Santé:** Une alimentation équilibrée en azote contribue à la santé générale des animaux, réduisant les risques de maladies et améliorant la longévité productive.
3. **Efficacité Alimentaire:** Une gestion précise des apports en protéines permet de maximiser l'efficacité de l'utilisation des nutriments, réduisant les coûts alimentaires et les impacts environnementaux.
4. **Qualité des Produits:** La qualité des produits animaux, tels que le lait, les œufs, et la laine, dépend fortement de l'apport adéquat en protéines alimentaires.

## Conclusion

La dépense azotée de production est une composante essentielle de la nutrition animale, couvrant les besoins spécifiques liés à la croissance, la lactation, la gestation, et la production d'œufs et de laine. Une gestion précise et équilibrée des apports en protéines est cruciale pour optimiser la santé, la performance, et la rentabilité des animaux d'élevage.

### 4.3. Utilisation des Matières Azotées

L'utilisation des matières azotées en nutrition animale est cruciale pour optimiser la santé, la croissance, et la productivité des animaux d'élevage. Cette section explore les différents aspects de l'utilisation des matières azotées, y compris leur digestion, leur absorption, leur métabolisme, et leur conversion en produits animaux.

#### 1. Digestion des Matières Azotées

##### 1. Ruminants:

- **Fermentation Réticulorumen:** Chez les ruminants, les matières azotées sont partiellement dégradées par les microbes du rumen, qui fermentent les protéines en acides aminés et ammoniac. Les microbes utilisent ensuite ces produits pour synthétiser des protéines microbiennes.
- **Passage à l'Abomasum et à l'Intestin:** Les protéines non dégradées dans le rumen (protéines non dégradables) et les protéines microbiennes passent ensuite à l'abomasum et à l'intestin grêle, où elles sont digérées et absorbées.

##### 2. Monogastriques:

- **Protéines Alimentaires:** Chez les monogastriques comme les porcs et les volailles, les protéines alimentaires sont digérées principalement dans l'estomac et l'intestin grêle par des enzymes protéolytiques telles que la pepsine et la trypsine.
- **Absorption des Acides Aminés:** Les acides aminés résultants sont absorbés par les cellules intestinales et transportés vers le foie et d'autres tissus via la circulation sanguine.

#### 2. Absorption et Métabolisme des Acides Aminés

##### 1. Absorption:

- **Intestin Grêle:** Les acides aminés et les peptides courts issus de la digestion des protéines sont absorbés dans l'intestin grêle par des transporteurs spécifiques situés sur la membrane des entérocytes.

- **Transport Sanguin:** Une fois absorbés, les acides aminés sont transportés vers le foie et d'autres tissus pour être utilisés dans diverses fonctions métaboliques.
- 2. Métabolisme Hépatique:**
- **Synthèse Protéique:** Le foie utilise les acides aminés pour la synthèse de protéines plasmatiques essentielles telles que l'albumine, les enzymes, et les hormones.
  - **Dégradation des Acides Aminés:** Les acides aminés excédentaires peuvent être dégradés en ammoniac et en acides céto, les premiers étant convertis en urée pour être excrétés par les reins.

### 3. Utilisation des Matières Azotées pour la Synthèse Protéique

- 1. Croissance et Réparation Tissulaire:**
- **Synthèse des Protéines Musculaires:** Les acides aminés sont utilisés pour la synthèse de nouvelles protéines musculaires, cruciales pour la croissance et la réparation des tissus.
  - **Maintenance des Organes:** Les protéines sont nécessaires pour le renouvellement et la réparation des cellules dans divers organes.
- 2. Production de Lait:**
- **Synthèse des Protéines Laitières:** Les vaches laitières utilisent les acides aminés pour produire des protéines du lait, telles que la caséine et les protéines du lactosérum, essentielles pour la croissance des veaux et la production laitière.
- 3. Production d'Œufs:**
- **Albumine et Protéines de la Coquille:** Les poules pondeuses utilisent les protéines alimentaires pour synthétiser l'albumine et les protéines de la coquille des œufs.

### 4. Efficacité de l'Utilisation des Protéines

- 1. Facteurs Affectant l'Efficacité:**
- **Qualité des Protéines:** La digestibilité et la composition en acides aminés des protéines alimentaires influencent leur utilisation efficace par les animaux. Les protéines de haute qualité, bien équilibrées en acides aminés essentiels, sont mieux utilisées.
  - **État Physiologique:** Les besoins en protéines varient selon l'âge, le stade de production (croissance, lactation, gestation), et la santé de l'animal.
- 2. Conversion de l'Azote:**
- **Efficacité de Conversion:** La conversion de l'azote alimentaire en protéines corporelles est mesurée par des indicateurs tels que l'efficacité d'utilisation des protéines (PER) et le taux de conversion des protéines (PCR).
  - **Réduction des Déchets:** Une gestion efficace des matières azotées vise à minimiser les pertes d'azote par l'excrétion et à maximiser la conversion en produits animaux.

## 5. Gestion des Apports en Azote

### 1. Formulation des Rations:

- **Équilibre en Acides Aminés:** Les rations doivent être formulées pour fournir un équilibre adéquat en acides aminés essentiels, en tenant compte des besoins spécifiques des animaux.
- **Suppléments:** Des suppléments d'acides aminés peuvent être ajoutés pour corriger les déficits nutritionnels et améliorer l'efficacité de l'utilisation des protéines.

### 2. Stratégies de Nutrition de Précision:

- **Alimentation par Phase:** Ajuster les rations en fonction des différents stades de production et des besoins changeants des animaux.
- **Utilisation de NPN:** Chez les ruminants, l'utilisation de sources d'azote non protéique (NPN), comme l'urée, peut améliorer la synthèse des protéines microbiennes dans le rumen.

## Conclusion

L'utilisation des matières azotées en nutrition animale est un processus complexe qui implique la digestion, l'absorption, le métabolisme, et la synthèse des protéines. Une gestion efficace des apports en azote permet de maximiser la santé, la croissance, et la productivité des animaux tout en minimisant les pertes et les impacts environnementaux. Une compréhension approfondie des mécanismes de l'utilisation des matières azotées est essentielle pour optimiser les performances en élevage.

### 4.3.1. Dégradation des Matières Azotées: Dégradation des Formes Azotées Simples

La dégradation des matières azotées est un processus crucial dans le métabolisme animal, permettant la conversion des protéines alimentaires en formes utilisables d'azote, principalement des acides aminés. Les formes azotées simples, comme les acides aminés libres et les peptides courts, résultent de la dégradation des protéines et sont ensuite utilisées dans diverses fonctions métaboliques.

## 1. Dégradation des Protéines Alimentaires

### 1. Protéolyse:

- **Enzymes Gastriques:** Dans l'estomac, les enzymes comme la pepsine commencent la digestion des protéines en les fragmentant en polypeptides plus courts.
- **Enzymes Pancréatiques:** Dans l'intestin grêle, les enzymes pancréatiques telles que la trypsine, la chymotrypsine, et la carboxypeptidase continuent à décomposer les polypeptides en peptides encore plus courts et en acides aminés libres.

### 2. Hydrolyse des Peptides:

- **Peptidases Intestinales:** Les enzymes peptidases situées sur la bordure en brosse des entérocytes (cellules de l'intestin grêle) finissent de décomposer les peptides courts en acides aminés libres, prêts pour l'absorption.
-

## 2. Absorption des Acides Aminés

### 1. Transport Actif:

- **Mécanismes de Transport:** Les acides aminés sont transportés à travers la membrane des entérocytes par des transporteurs spécifiques qui fonctionnent via des mécanismes de transport actif, utilisant de l'énergie pour déplacer les acides aminés contre leur gradient de concentration.

### 2. Entrée dans la Circulation Sanguine:

- **Passage vers le Sang Portal:** Une fois dans les entérocytes, les acides aminés passent dans la circulation sanguine par le système portal hépatique, où ils sont transportés vers le foie pour le métabolisme initial.

## 3. Métabolisme des Acides Aminés Simples

### 1. Transamination:

- **Formation de Nouveaux Acides Aminés:** Par des réactions de transamination, les acides aminés peuvent être convertis en d'autres acides aminés nécessaires pour la synthèse protéique ou d'autres fonctions métaboliques.

### 2. Déamination:

- **Production d'Ammoniac:** Les acides aminés excédentaires subissent des réactions de déamination, libérant de l'ammoniac. Cet ammoniac est ensuite converti en urée dans le foie via le cycle de l'urée, permettant son excrétion par les reins.

### 3. Synthèse des Protéines Corporelles:

- **Utilisation pour la Synthèse:** Les acides aminés absorbés sont utilisés pour la synthèse de nouvelles protéines corporelles, y compris les enzymes, les hormones, les anticorps, et les protéines structurelles telles que le collagène et la kératine.

## 4. Utilisation des Formes Azotées Simples

### 1. Fonctions Anaboliques:

- **Synthèse de Protéines Musculaires:** Les acides aminés sont essentiels pour la synthèse des protéines musculaires, cruciales pour la croissance et la réparation des tissus.
- **Production Laitière:** Chez les animaux producteurs de lait, les acides aminés sont utilisés pour la synthèse des protéines du lait, comme la caséine.

### 2. Fonctions Énergétiques:

- **Oxydation pour l'Énergie:** Les acides aminés excédentaires peuvent être oxydés pour fournir de l'énergie. Les acides aminés gluconéogéniques peuvent être convertis en glucose via la gluconéogenèse, tandis que les acides aminés céto-géniques peuvent être convertis en corps cétoniques.

### 3. Synthèse de Composés Non Protéiques:

- **Synthèse d'Hormones et de Neurotransmetteurs:** Certains acides aminés servent de précurseurs pour la synthèse d'hormones (par exemple, la tyrosine pour la thyroxine) et de neurotransmetteurs (par exemple, le tryptophane pour la sérotonine).

## 5. Gestion des Déchets Azotés

### 1. Cycle de l'Urée:

- **Conversion de l'Ammoniac en Urée:** L'ammoniac produit lors de la dégradation des acides aminés est toxique et doit être converti en urée par le cycle de l'urée dans le foie, avant d'être excrété par les reins.
- **Excrétion Urinaire:** L'urée, une forme non toxique d'azote, est ensuite excrétée dans l'urine.

### 2. Excrétion Fécale:

- **Protéines Non Digestibles:** Les matières azotées non digérées et les protéines endogènes (comme les enzymes digestives et les cellules desquamées) sont excrétées dans les fèces.

## Conclusion

La dégradation des matières azotées en formes azotées simples est un processus essentiel en nutrition animale, permettant la conversion des protéines alimentaires en acides aminés utilisables pour diverses fonctions métaboliques. La gestion efficace de ce processus assure la santé, la croissance, et la productivité des animaux, tout en minimisant les pertes d'azote et les impacts environnementaux.

### 4.3.2. Devenir de l'Ammoniac Généré par Hydrolyse des Matières Azotées dans le Rumen

Chez les ruminants, le rumen joue un rôle crucial dans la dégradation et l'utilisation des matières azotées. L'ammoniac est un produit clé de la dégradation des protéines dans le rumen, et son devenir est déterminé par divers processus métaboliques et physiologiques qui influencent la santé et la productivité de l'animal.

## 1. Hydrolyse des Matières Azotées dans le Rumen

### 1. Dégradation des Protéines:

- **Action Microbienne:** Les protéines alimentaires sont dégradées par les microbes du rumen en peptides et en acides aminés. Ces acides aminés sont ensuite désaminés pour produire de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).
- **Azote Non Protéique (NPN):** Des sources d'azote non protéique, comme l'urée, peuvent également être hydrolysées en ammoniac par les microbes du rumen.

### 2. Enzymes Microbiennes:

- **Protéases et Peptidases:** Les enzymes microbiennes décomposent les protéines en peptides et acides aminés.
- **Désaminases:** Les acides aminés sont désaminés par les désaminases microbiennes, libérant de l'ammoniac.

## 2. Utilisation de l'Ammoniac dans le Rumen

### 1. Synthèse des Protéines Microbiennes:

- **Incorporation de l'Ammoniac:** Les microbes du rumen utilisent l'ammoniac, en combinaison avec des sources de carbone, pour synthétiser des protéines

microbiennes. Ces protéines sont une source importante d'azote pour l'animal lorsqu'elles passent dans l'intestin grêle et sont digérées.

- **Rôle des Carbohydrates:** La disponibilité des carbohydrates fermentescibles dans le rumen est cruciale pour la synthèse efficace des protéines microbiennes, car ils fournissent l'énergie et les précurseurs nécessaires à cette synthèse.

## 2. Ammoniac Excédentaire:

- **Absorption dans le Sang:** L'ammoniac non utilisé pour la synthèse des protéines microbiennes est absorbé à travers la paroi du rumen dans la circulation sanguine.
- **Conversion en Urée:** Une fois dans le foie, l'ammoniac est converti en urée via le cycle de l'urée. Cette urée peut être soit excrétée par les reins, soit recyclée dans le rumen par la salive ou directement par diffusion à travers la paroi du rumen.

## 3. Recyclage de l'Azote

### 1. Cycle de l'Urée:

- **Formation d'Urée:** L'ammoniac absorbé est converti en urée dans le foie.
- **Excrétion et Recyclage:** L'urée peut être excrétée dans l'urine ou retournée au rumen par la salive ou par diffusion directe, fournissant ainsi une source d'azote supplémentaire pour les microbes du rumen.

### 2. Recyclage Salivaire:

- **Urée Salivaire:** Une partie de l'urée formée dans le foie est sécrétée dans la salive et ingérée de nouveau, permettant aux microbes du rumen d'utiliser cet azote recyclé pour la synthèse des protéines microbiennes.

## 4. Facteurs Affectant le Devenir de l'Ammoniac

### 1. Équilibre Protéines/Énergie:

- **Carbohydrates Fermentescibles:** Une alimentation riche en carbohydrates fermentescibles favorise la synthèse des protéines microbiennes en fournissant l'énergie nécessaire pour utiliser l'ammoniac.
- **Déséquilibre Protéines/Énergie:** Un excès de protéines par rapport à l'énergie disponible peut entraîner une accumulation d'ammoniac non utilisé, augmentant la charge de détoxicification pour le foie.

### 2. Taux de Passage:

- **Vitesse de Dégradation:** Le taux auquel les protéines sont dégradées en ammoniac dans le rumen peut influencer la quantité d'ammoniac disponible pour la synthèse microbienne.
- **Vitesse de Passage des Aliments:** Un taux de passage rapide des aliments à travers le rumen peut réduire le temps disponible pour la synthèse des protéines microbiennes, augmentant ainsi l'absorption d'ammoniac.

### 3. Santé du Rumen:

- **pH du Rumen:** Le pH du rumen affecte l'activité microbienne et la capacité de synthèse des protéines microbiennes. Un pH optimal favorise une utilisation efficace de l'ammoniac.

- **Population Microbienne:** La composition de la population microbienne dans le rumen influence l'efficacité de la dégradation des protéines et de la synthèse des protéines microbiennes.

## Conclusion

Le devenir de l'ammoniac généré par l'hydrolyse des matières azotées dans le rumen est un processus complexe impliquant la dégradation microbienne, la synthèse des protéines microbiennes, l'absorption et le recyclage de l'ammoniac. Une gestion efficace de ce processus est essentielle pour optimiser l'utilisation des matières azotées, améliorer la santé et la productivité des ruminants, et minimiser les pertes d'azote

### 4.3.3. Utilisation Digestive des Matières Azotées

L'utilisation digestive des matières azotées implique leur digestion, absorption, et métabolisme pour répondre aux besoins de l'organisme en protéines et en acides aminés. Ce processus est essentiel pour la santé, la croissance, et la productivité des animaux.

#### 1. Digestion des Matières Azotées

##### 1. Chez les Ruminants:

- **Rumen:**
  - **Dégradation Microbienne:** Les protéines alimentaires et l'azote non protéique (NPN) sont partiellement dégradés par les microbes du rumen en acides aminés, peptides, et ammoniac.
  - **Synthèse des Protéines Microbiennes:** Les microbes du rumen utilisent l'ammoniac et les acides aminés pour synthétiser des protéines microbiennes.
- **Abomasum:**
  - **Digestion Chimique:** Les protéines alimentaires non dégradées dans le rumen (protéines non dégradables dans le rumen, PND) et les protéines microbiennes sont digérées par les enzymes gastriques (comme la pepsine) en peptides plus courts.
- **Intestin Grêle:**
  - **Hydrolyse Enzymatique:** Les enzymes pancréatiques (trypsine, chymotrypsine, carboxypeptidase) et les peptidases intestinales décomposent les peptides en acides aminés libres et dipeptides/tripeptides.

##### 2. Chez les Monogastriques:

- **Estomac:**
  - **Protéolyse Gastrique:** La pepsine, activée par l'acide chlorhydrique, commence la digestion des protéines en peptides.
- **Intestin Grêle:**
  - **Digestion Pancréatique:** Les enzymes pancréatiques continuent la dégradation des peptides en acides aminés libres et en petits peptides.
  - **Peptidases Intestinales:** Les enzymes de la bordure en brosse des entérocytes hydrolysent les petits peptides en acides aminés libres.
  -

## 2. Absorption des Acides Aminés et Peptides

### 1. Mécanismes d'Absorption:

- **Transport Actif:** Les acides aminés sont absorbés par les entérocytes via des transporteurs spécifiques utilisant de l'énergie (ATP) pour transporter les acides aminés contre leur gradient de concentration.
- **Cotransport avec le Sodium:** Le transport actif des acides aminés est souvent couplé au transport du sodium.
- **Absorption des Dipeptides et Tripeptides:** Les dipeptides et tripeptides sont absorbés par des transporteurs spécifiques et hydrolysés en acides aminés libres à l'intérieur des entérocytes.

### 2. Transport Vers le Foie:

- **Circulation Portale:** Les acides aminés absorbés sont transportés vers le foie via la veine porte, où ils peuvent être métabolisés ou distribués à d'autres tissus.

## 3. Métabolisme des Acides Aminés

### 1. Dans le Foie:

- **Synthèse Protéique:** Le foie utilise les acides aminés pour synthétiser des protéines plasmatiques essentielles telles que l'albumine et les facteurs de coagulation.
- **Transamination:** Les acides aminés peuvent être convertis en d'autres acides aminés nécessaires pour diverses fonctions métaboliques.
- **Déamination:** Les acides aminés excédentaires sont déaminés, produisant de l'ammoniac, qui est converti en urée et excrété par les reins.

### 2. Dans les Tissus Périphériques:

- **Synthèse de Protéines Corporelles:** Les acides aminés sont utilisés pour la synthèse de protéines structurelles et fonctionnelles dans les muscles, la peau, les organes, etc.
- **Oxydation pour l'Énergie:** Les acides aminés peuvent être oxydés pour fournir de l'énergie, surtout en cas de déficience énergétique.

## 4. Facteurs Affectant l'Utilisation Digestive

### 1. Qualité des Protéines:

- **Digestibilité:** Les protéines hautement digestibles sont mieux dégradées et absorbées, améliorant l'utilisation des matières azotées.
- **Profil en Acides Aminés:** Les protéines avec un profil équilibré en acides aminés essentiels sont plus efficaces pour répondre aux besoins nutritionnels.

### 2. Ration Alimentaire:

- **Équilibre Protéines/Énergie:** Un équilibre adéquat entre protéines et énergie dans la ration est crucial pour une utilisation optimale des acides aminés.
- **Supplémentation en Acides Aminés:** L'ajout d'acides aminés spécifiques peut corriger les déficiences et améliorer l'efficacité de l'utilisation des protéines.

### 3. Santé et Fonctionnement Digestif:

- **Santé Intestinale:** Une bonne santé intestinale favorise une digestion et une absorption efficaces des protéines.

- **Microbiote Intestinal:** La composition et l'activité du microbiote intestinal peuvent influencer la dégradation et l'absorption des protéines.

## Conclusion

L'utilisation digestive des matières azotées est un processus complexe impliquant la digestion, l'absorption, et le métabolisme des protéines et des acides aminés. Une gestion efficace de ce processus est essentielle pour maximiser la santé, la croissance, et la productivité des animaux. Comprendre les facteurs qui influencent l'utilisation digestive des matières azotées permet d'optimiser les régimes alimentaires et de garantir un apport adéquat en protéines et en acides aminés pour répondre aux besoins nutritionnels des animaux.

### 4.3.4. Utilisation Métabolique des Matières Azotées

L'utilisation métabolique des matières azotées concerne la transformation et l'intégration des acides aminés dans les processus biologiques nécessaires au maintien de la vie, à la croissance, et à la production des animaux. Cela inclut la synthèse des protéines corporelles, la production d'énergie, et la régulation des voies métaboliques.

#### 1. Synthèse des Protéines Corporelles

##### 1. Synthèse Protéique:

- **Rôle des Ribosomes:** Les acides aminés sont assemblés en protéines sur les ribosomes dans le cytoplasme des cellules selon l'information génétique codée dans l'ADN et transcrète en ARNm.
- **Types de Protéines Synthétisées:** Les acides aminés sont utilisés pour synthétiser diverses protéines corporelles, y compris les enzymes, les hormones, les anticorps, et les protéines structurelles (comme le collagène et la kératine).

##### 2. Protéines Fonctionnelles:

- **Enzymes:** Les enzymes catalysent toutes les réactions biochimiques dans l'organisme, y compris le métabolisme des nutriments et la production d'énergie.
- **Hormones:** Certaines hormones, comme l'insuline et les hormones de croissance, sont des protéines essentielles pour la régulation des processus physiologiques.

##### 3. Protéines de Transport et de Structure:

- **Hémoglobine:** Transporte l'oxygène des poumons vers les tissus.
- **Actine et Myosine:** Protéines contractiles des muscles, essentielles pour le mouvement et la locomotion.

#### 2. Production d'Énergie

##### 1. Catabolisme des Acides Aminés:

- **Dégradation:** Les acides aminés peuvent être catabolisés pour produire de l'énergie lorsque l'apport énergétique est insuffisant. Cela implique la déamination, où le groupe amino est retiré pour former de l'ammoniac, et le squelette carboné restant est utilisé dans le cycle de Krebs.

- **Cycle de l'Urée:** L'ammoniac produit est converti en urée dans le foie et excrété par les reins pour éviter la toxicité.
- 2. **Gluconéogenèse:**
  - **Formation de Glucose:** Certains acides aminés (gluconéogéniques) peuvent être convertis en glucose dans le foie, fournissant une source d'énergie importante, notamment pendant le jeûne ou l'exercice prolongé.

### 3. Régulation des Voies Métaboliques

- 1. **Transamination et Synthèse d'Acides Aminés:**
  - **Transamination:** Processus par lequel un groupe amino est transféré d'un acide aminé à un acide céto pour former un nouvel acide aminé. Cela permet la production d'acides aminés non essentiels selon les besoins de l'organisme.
  - **Synthèse d'Acides Aminés Non Essentiels:** Les acides aminés non essentiels peuvent être synthétisés à partir de précurseurs disponibles dans le corps.
- 2. **Régulation Hormonale:**
  - **Hormones Anaboliques:** Les hormones comme l'insuline et l'hormone de croissance stimulent la synthèse des protéines et l'utilisation des acides aminés pour la croissance et la réparation des tissus.
  - **Hormones Cataboliques:** Les hormones comme le cortisol favorisent la dégradation des protéines pour libérer des acides aminés en réponse au stress ou à la privation alimentaire.

### 4. Élimination des Déchets Azotés

- 1. **Cycle de l'Urée:**
  - **Conversion de l'Ammoniac:** L'ammoniac toxique produit lors de la dégradation des acides aminés est converti en urée dans le foie, un processus crucial pour la détoxification.
  - **Excrétion Urinaire:** L'urée est ensuite excrétée par les reins dans l'urine, permettant l'élimination des déchets azotés de l'organisme.
- 2. **Autres Voies d'Excrétion:**
  - **Créatinine:** Produite par la dégradation de la créatine musculaire, elle est excrétée par les reins et utilisée comme indicateur de la fonction rénale.
  - **Acide Urique:** Produit de la dégradation des purines, excrété principalement par les reins.

### 5. Facteurs Affectant l'Utilisation Métabolique

- 1. **Qualité et Quantité des Protéines Alimentaires:**
  - **Profil en Acides Aminés:** La disponibilité et l'équilibre des acides aminés essentiels dans l'alimentation influencent fortement l'efficacité de la synthèse protéique.
  - **Apport Protéique:** Des apports adéquats en protéines sont nécessaires pour répondre aux besoins de maintenance, de croissance, de reproduction, et de production.
- 2. **État Physiologique:**
  - **Croissance:** Les jeunes animaux en croissance ont des besoins accrus en protéines pour le développement des tissus musculaires et osseux.

- **Production:** Les animaux en lactation ou en production d'œufs ont des besoins accrus en acides aminés pour la synthèse des protéines du lait ou des œufs.
- 3. Santé et Nutrition:**
- **État de Santé:** Les maladies et le stress peuvent augmenter les besoins en protéines pour soutenir la réponse immunitaire et la réparation des tissus.
  - **Nutrition Globale:** Un apport équilibré en nutriments, y compris les vitamines et minéraux, est crucial pour une utilisation optimale des protéines.

## Conclusion

L'utilisation métabolique des matières azotées est un processus complexe et essentiel pour la santé et la productivité des animaux. Elle comprend la synthèse des protéines, la production d'énergie, la régulation des voies métaboliques, et l'élimination des déchets azotés. Une compréhension approfondie de ces processus permet de formuler des régimes alimentaires optimisés pour répondre aux besoins spécifiques des animaux à différents stades de leur vie et de leur production.

## 4.4. Système des Protéines Digestibles dans l'Intestin Grêle (PDI)

Le système des protéines digestibles dans l'intestin grêle (PDI) est un concept utilisé pour évaluer la qualité et l'efficacité des protéines dans les régimes alimentaires des ruminants. Ce système prend en compte la fraction des protéines alimentaires qui est réellement disponible pour l'absorption et l'utilisation par l'animal après avoir passé par les différentes étapes de la digestion.

### 1. Concepts Clés du Système PDI

1. **Protéines Ingestibles (PI):**
  - **Fraction Ingestée:** Correspond aux protéines totales ingérées par l'animal, provenant des fourrages, concentrés et autres sources alimentaires.
2. **Protéines Dégradables dans le Rumen (PDR):**
  - **Dégradation Microbienne:** Partie des protéines alimentaires qui est dégradée dans le rumen par les microbes pour produire de l'ammoniac, des acides aminés et des peptides, qui sont ensuite utilisés pour la synthèse des protéines microbiennes.
3. **Protéines Non Dégradables dans le Rumen (PNDR):**
  - **Protéines Passantes:** Fraction des protéines alimentaires qui échappe à la dégradation microbienne dans le rumen et passe intacte dans l'abomasum et l'intestin grêle.

### 2. Composantes du Système PDI

1. **Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI):**
  - **PDIMN (Protéines Digestibles d'Origine Microbienne):** Les protéines synthétisées par les microbes du rumen qui sont ensuite digérées et absorbées dans l'intestin grêle.
  - **PDIA (Protéines Digestibles d'Origine Alimentaire):** Les protéines alimentaires non dégradées dans le rumen mais digestibles dans l'intestin grêle.
2. **Synthèse des Protéines Microbiennes:**

- **Microbiote Rumen:** La population microbienne du rumen utilise l'azote non protéique (NPN) et l'ammoniac pour synthétiser des protéines microbiennes, qui sont ensuite digérées et absorbées dans l'intestin.

### 3. Fraction de l'Azote Non Digestible (NID):

- **Protéines Non Digestibles:** Fraction des protéines qui passe à travers le tractus gastro-intestinal sans être digérée ou absorbée, excrétée dans les fèces.

## 3. Calcul du PDI

### 1. PDIMN:

- **Formule:**  $PDIMN = (\text{Quantité d'azote microbien synthétisé dans le rumen}) \times (\text{Coefficient de digestibilité des protéines microbiennes dans l'intestin})$ .
- **Facteurs:** Dépend de la disponibilité de l'énergie fermentescible (carbohydrates) et de l'azote dans le rumen.

### 2. PDIA:

- **Formule:**  $PDIA = (\text{Quantité de protéines non dégradables dans le rumen}) \times (\text{Coefficient de digestibilité des protéines dans l'intestin})$ .
- **Facteurs:** Dépend de la source de la protéine alimentaire et de sa résistance à la dégradation ruminale.

## 4. Importance du Système PDI

### 1. Évaluation de la Qualité des Protéines:

- **Besoins Nutritionnels:** Le système PDI permet de mieux évaluer et répondre aux besoins nutritionnels des ruminants en termes de protéines réellement disponibles pour l'absorption et l'utilisation.
- **Optimisation des Régimes:** Aide à formuler des régimes alimentaires équilibrés qui maximisent l'efficacité de l'utilisation des protéines et minimisent les pertes.

### 2. Production et Performance:

- **Croissance et Production Laitière:** Une meilleure compréhension et gestion des protéines digestibles améliore la croissance des jeunes animaux et la production laitière chez les vaches laitières.
- **Santé et Reproduction:** Des régimes optimisés en protéines digestibles soutiennent la santé générale et la fertilité des animaux.

### 3. Efficacité et Durabilité:

- **Utilisation Efficiente des Nutriments:** Maximiser la proportion de protéines alimentaires qui est effectivement digérée et absorbée réduit le gaspillage de nutriments.
- **Réduction des Rejets Azotés:** Une meilleure utilisation des protéines alimentaires réduit l'excrétion d'azote dans l'environnement, contribuant ainsi à une production animale plus durable.

## Conclusion

Le système des protéines digestibles dans l'intestin grêle (PDI) est un outil crucial pour évaluer la qualité des protéines dans les régimes des ruminants. En prenant en compte les fractions de protéines réellement disponibles pour l'absorption après la digestion ruminale, ce système permet de formuler des régimes alimentaires plus efficaces et équilibrés, améliorant

ainsi la santé, la croissance, et la productivité des animaux tout en réduisant les impacts environnementaux.

#### **4.5. Besoins en PDI de Différentes Espèces de Polygastriques**

Les besoins en protéines digestibles dans l'intestin grêle (PDI) varient selon les espèces de polygastriques en raison de différences dans leur métabolisme, leur production et leurs objectifs de performance. Voici un développement détaillé sur les besoins en PDI pour différentes espèces de ruminants avec des références bibliographiques récentes.

##### **1. Vaches Laitières**

**Besoins en PDI pour la Production Laitière:** Les besoins en PDI des vaches laitières dépendent principalement de leur production laitière, de leur poids corporel, de leur stade de lactation et de leur état de santé.

- **Production Laitière Élevée:** Les vaches à haute production nécessitent une quantité plus élevée de PDI pour soutenir la synthèse des protéines du lait. Les recherches indiquent qu'une vache laitière produisant 40 kg de lait par jour peut avoir besoin d'environ 1900 à 2100 g de PDI par jour.
- **Stade de Lactation:** Les besoins en PDI sont plus élevés en début de lactation et diminuent progressivement. Selon le National Research Council (NRC, 2001), une vache en début de lactation nécessite environ 170 g de PDI par kg de lait produit, tandis qu'en fin de lactation, ce besoin peut diminuer à 150 g par kg de lait.

##### **2. Bovins de Boucherie**

**Besoins en PDI pour la Croissance et l'Engrasement:** Les besoins en PDI des bovins de boucherie varient en fonction de leur phase de croissance et de leur régime alimentaire.

- **Jeunes Bovins en Croissance:** Les jeunes bovins en phase de croissance rapide ont des besoins élevés en PDI pour soutenir le développement musculaire. Selon les recommandations, un jeune bovin de 300 kg en croissance rapide peut nécessiter environ 1200 à 1500 g de PDI par jour.
- **Bovins en Phase d'Engrasement:** Les besoins en PDI diminuent légèrement en phase d'engraissement. Un bovin de 600 kg en phase d'engraissement peut avoir besoin d'environ 1800 à 2000 g de PDI par jour pour maintenir un gain de poids optimal.

##### **3. Ovins**

**Besoins en PDI pour la Production de Laine et la Reproduction:** Les besoins en PDI des ovins varient selon qu'ils sont élevés pour la production de laine, la reproduction ou la croissance.

- **Brebis en Gestation et Lactation:** Les brebis en gestation ont des besoins accrus en PDI pour soutenir la croissance fœtale. Une brebis en fin de gestation peut nécessiter environ 100 à 120 g de PDI par jour. Pendant la lactation, les besoins peuvent augmenter à 150 g de PDI par jour pour une production laitière optimale.

- **Agneaux en Croissance:** Les agneaux en croissance rapide nécessitent environ 120 à 140 g de PDI par kg de gain de poids corporel. Pour un agneau pesant 30 kg, cela représente environ 400 à 500 g de PDI par jour.

#### 4. Caprins

**Besoins en PDI pour la Production Laitière et la Croissance:** Les besoins en PDI des caprins, comme les chèvres laitières, dépendent de leur production laitière, de leur stade de lactation et de leur état de croissance.

- **Chèvres Laitières:** Les chèvres laitières en production élevée nécessitent des apports en PDI similaires à ceux des vaches laitières, proportionnellement à leur poids corporel et à leur production laitière. Une chèvre produisant 4 kg de lait par jour peut nécessiter environ 400 à 500 g de PDI par jour.
- **Chevreaux en Croissance:** Les jeunes chevreaux en phase de croissance rapide nécessitent environ 110 à 130 g de PDI par kg de gain de poids corporel. Pour un chevreau pesant 20 kg, cela représente environ 300 à 400 g de PDI par jour.

#### Conclusion

Les besoins en PDI varient considérablement selon les espèces de ruminants et leurs phases de production. Une gestion précise de ces besoins permet d'optimiser la santé, la croissance et la productivité des animaux, tout en minimisant les pertes de nutriments et les impacts environnementaux. Les références récentes fournissent des guides essentiels pour formuler des régimes alimentaires adaptés aux besoins spécifiques de chaque espèce et stade de production.