

3^{ème} année Ingéniorat en sciences agronomiques
Semestre 5 (S5)

PRODUCTION ET AMÉLIORATION ANIMALE

UEF3 , Crédit : 4 , Coefficient : 3

A. Cours (21h)

2. Rationnement et alimentation des animaux domestiques.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

2.2.1. Types

2.2.2. Composition et valeur alimentaire

2.2. Besoins et apports nutritifs

2.2.1. Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

2.2.2. Alimentation énergétique

2.2.3. Alimentation azotée

2.2.4. Alimentation minérale

2.2.5. Alimentation vitaminique

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

2.2.1. Types des aliments

Un aliment est une substance complexe dont l'ingestion chez les animaux permet la couverture des besoins nutritionnels pour l'entretien et les différentes productions

Lors de leur digestion, les aliments sont transformés en éléments simples, les nutriments, sont absorbés par la muqueuse du tube digestif et utilisés dans les cellules des différents tissus de l'organisme pour leur métabolisme.

La nature et la composition des aliments ont une grande influence sur la qualité des produits élaborés et la santé des animaux

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

2.2.1. Types des aliments

En **alimentation animale**, on distingue :

- les **aliments simples**, matières premières d'origine végétale, animale ou minérale,
- et les **aliments composés**, formés par plusieurs aliments simples et ayant des spécification nutritionnels en fonction de leur utilisation.

◎ Parmi les **aliments simples** :

Les fourrages :

- Aliments grossiers (riches en constituants pariétaux) : fourrages verts, foin, ensilages
- Aliments succulents (riche en eau) : racines, tubercules...

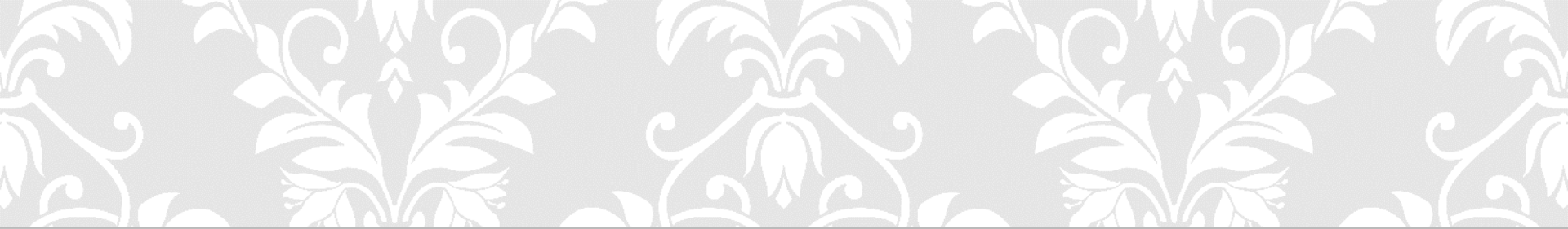
Les aliments concentrés (à fort Tx de MS)

- Aliments concentrés énergétiques riches en glucides (grains des céréales), ou en lipides (huiles végétales, graisses animales)
- Aliments concentrés azotés (graines oléo-protéagineuses, tourteaux, produits d'origine animale)
- Aliments minéraux (sel, craie phosphatée,...) ou vitaminique.

- ◎ **Les aliments composés** sont des mélanges des divers aliments simples, obtenus par formulation de façon à répondre aux exigences nutritionnelles particulières selon les types d'animaux auxquels ils sont destinés et les objectifs de production souhaités.

Il peut s'agir d'aliment complet assurant les besoins nutritionnels des animaux, que l'on utilise chez les monogastriques ou les jeunes pré-ruminants ou des aliments complémentaires destinés à équilibrer ou compléter la ration de base généralement produite sur l'exploitation (aliments correcteurs azotés, ...)

Certaines phases physiologiques délicates dans la vie de l'animal peuvent nécessiter l'utilisation d'aliment particulier (**aliments de démarrage ou 1^{er} âge, aliments de sevrage ou de post-sevrage, aliment de transition, aliments médicamenteux**)

A decorative floral pattern in white and light gray, featuring stylized leaves and flowers, runs horizontally across the top of the slide.

Certaines phases physiologiques délicates dans la vie de l'animal peuvent nécessiter l'utilisation d'aliment particulier (**aliments de démarrage ou 1^{er} âge, aliments de sevrage ou de post-sevrage, aliment de transition, aliments médicamenteux**)

Les **pré-mélanges**, les **aliments complémentaires minéraux (CM)**, les **aliments complémentaires minéraux et vitaminisés (CMV)** représentent des types particuliers d'aliments composés, élaborés à partir de M1^{ères} minérales et de vitamines de synthèse, auxquels s'ajoute des additifs.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

Lorsqu'on place un al^t dans une étuve, l'eau contenue dans l'al^t s'évapore et il subsiste un résidu sec, appelé matière sèche (MS).

La MS comprend d'une part :

- la MO : glucides pariétaux (appelés « fibres » : cellulose, hémicellulose et pectines) et cytoplasmiques (amidon et sucres solubles), lignine, lipides, matières azotées et vitamines liposolubles et hydrosolubles ;
- et d'autre part la MM : macroéléments et oligo-éléments.

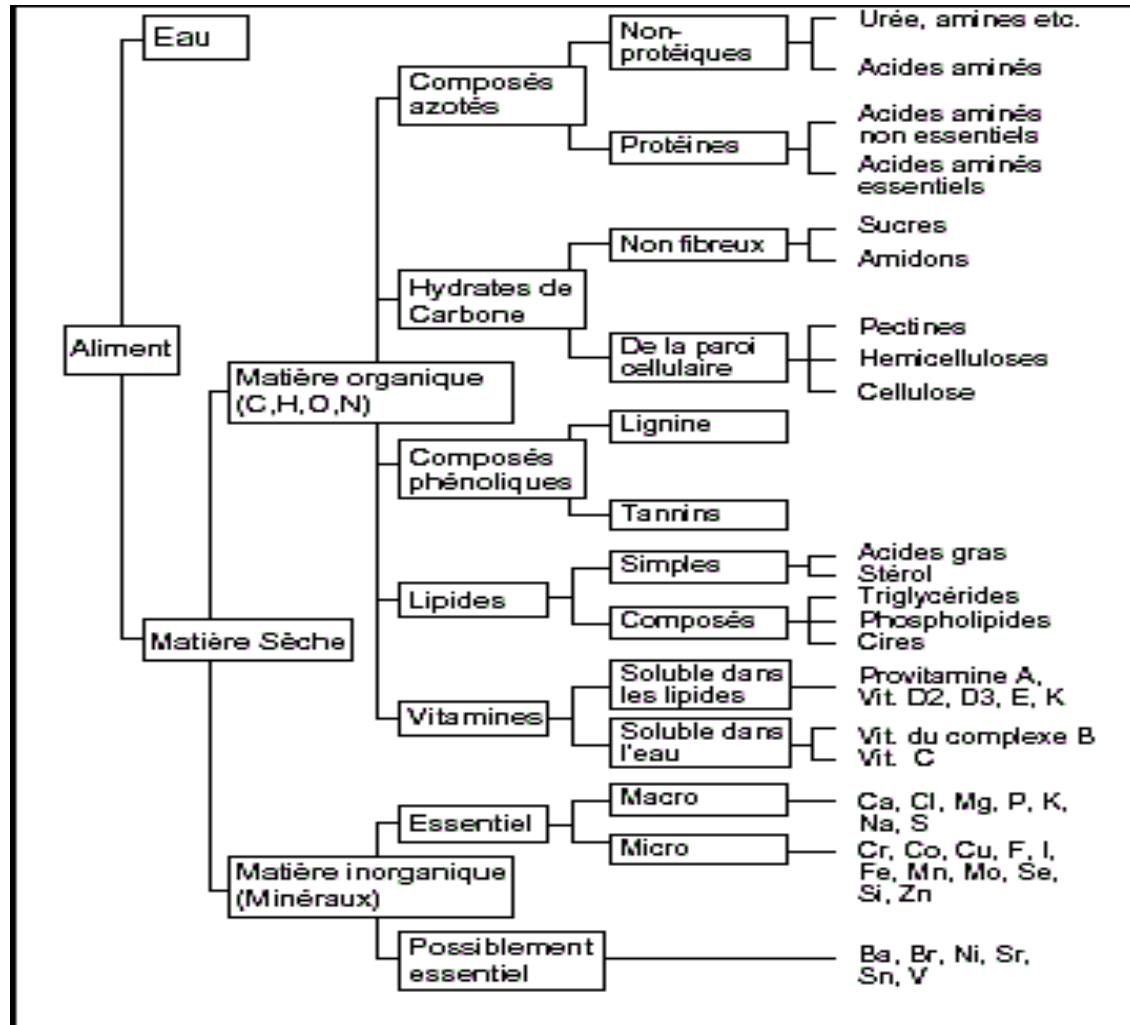


Figure 1: Composition et analyse de laboratoire des aliments.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

L'eau

L'eau représente un pourcentage très variable selon les aliments:

- 78 à 92% dans les betteraves fourragères (8 à 22% de MS).
- 70 à 88% dans l'herbe verte (12 à 30% de MS).
- 50 à 80% dans les ensilages (20 à 50% de MS).
- 15 à 20% dans les foin et les graines (80 à 85% de MS).

Du fait de ces grandes variations, la comparaison de la valeur des aliments n'est possible qu'exprimée par kg de MS et non par kg de produit brut.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

Les matières minérales

Les matières minérales sont cruciales pour le bon fonctionnement de l'organisme.

- Les macroéléments (calcium, phosphore, magnésium, potassium, sodium, chlore, soufre) sont nécessaires en grandes quantités.
- Les micro-éléments (fer, cuivre, zinc, sélénium) sont nécessaires en petites quantités et jouent un rôle catalytique.
- Les carences en minéraux peuvent affecter la santé et la productivité des animaux.

Besoins en minéraux des animaux

Les animaux ont des besoins spécifiques en minéraux pour optimiser leur santé.

- Certains minéraux sont souvent déficients dans les rations et nécessitent des compléments.
- La détermination des besoins doit prendre en compte les niveaux maximums tolérables pour éviter des effets néfastes.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

La matière organique et ses composants

La matière organique est essentielle pour la nutrition animale.

Elle est composée de glucides, lipides et matières azotées.

Les glucides fournissent de l'énergie et se divisent en glucides structuraux et non structuraux.

Les lipides jouent un rôle énergétique et structurel dans l'organisme.

La combustion d'1 g de protides libère 5,6 Kcal

La combustion d'1 g de lipides libère 9,3 Kcal

La combustion d'1 g de glucides libère 4,7 Kcal

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

La matière organique et ses composants

Les glucides sont la principale source d'énergie pour les ruminants.

- Les glucides solubles sont rapidement métabolisés dans le rumen, tandis que les glucides structuraux sont fermentés plus lentement.

Les Lipides : Les acides gras volatils (AGV) produits dans le rumen représentent 50-70% de l'énergie digestible.

Rôle et sources des lipides

Les lipides sont des sources concentrées d'énergie dans l'alimentation animale.

- Ils sont principalement constitués de triacylglycérols et jouent un rôle dans la structure cellulaire.
- Les lipides doivent être incorporés avec précaution dans les rations pour éviter des effets antimicrobiens négatifs.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

La matière organique et ses composants

Les matières azotées sont essentielles pour la synthèse des protéines chez les ruminants.

- Elles se divisent en matières protéiques brutes et matières azotées non protéiques.
- La digestion commence dans le rumen, où les matières azotées non protéiques sont rapidement dégradées en ammoniac.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

A. Composition des aliments

La matière organique et ses composants

Les vitamines sont nécessaires en petites quantités pour le métabolisme animal.

- Les vitamines liposolubles (A, D, E, K) sont stockées dans l'organisme, tandis que les vitamines hydrosolubles doivent être fournies régulièrement.
- Les rations doivent inclure des vitamines A et E, surtout pour les animaux confinés.

Besoins en vitamines des petits ruminants

Les besoins en vitamines B et K des petits ruminants sont généralement couverts par leur alimentation, sauf exceptions spécifiques.

- Les microorganismes symbiotiques synthétisent des vitamines, y compris la vitamine C à partir de l'acide gulonique.
- Les nouveau-nés dépendent entièrement de leur ration pour leurs besoins vitaminiques.
- La flore ruminale commence à fournir des quantités significatives de vitamines B à partir du 8ème jour.
- La synthèse de la vitamine C ne commence qu'à partir de la 3ème semaine.

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.1. Types et composition des aliments

2.2.2. Valeur alimentaire

La valeur alimentaire d'un aliment intègre deux notions :

- la valeur nutritive, qui permet d'évaluer la contribution de cet aliment à la couverture des besoins nutritionnels de l'animal,
- et l'ingestibilité, qui permet d'évaluer la quantité de cet aliment que l'animal peut ingérer.

$$\text{Donc : } VA = VN + Qi$$

La valeur nutritive d'un aliment recouvre sa valeur énergétique exprimée en UF, sa valeur azotée exprimée en PDI et en LysDi et MetDi, et sa teneur en minéraux,

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.2. Besoins et apports nutritifs

2.2.1. Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

2.2.2. Alimentation énergétique

2.2.3. Alimentation azotée

2.2.4. Alimentation minérale

2.2.5. Alimentation vitaminique

2. RATIONNEMENT ET ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

2.2. Besoins et apports nutritifs

2.2.1. Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

L'appareil digestif est destiné à transformer les aliments en nutriments, l'appareil digestif qui va de la bouche à l'anus, est constitué de deux ensembles :

Le Tube Digestif :

- Bouche, Pharynx,
- Œsophage,
- Estomac,
- Intestin.

Les Glandes Annexes Qui Sécrètent Les Sucs Digestifs

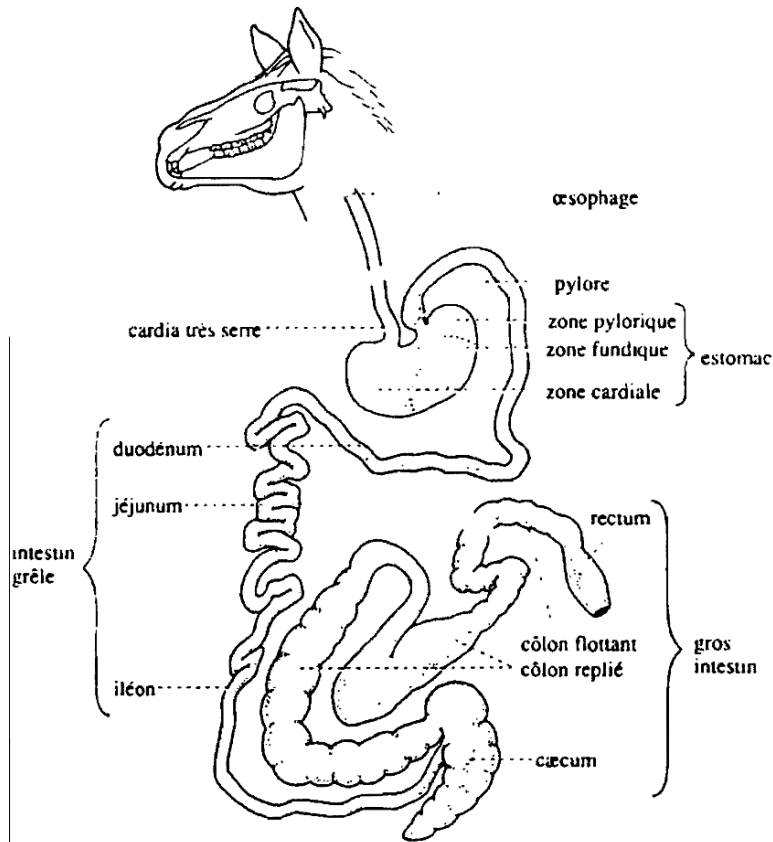
- Salivaires,
- Gastriques,
- Intestinales
- Le Foie,
- Le Pancréas.

Le tube digestif assure 4 grandes fonctions :

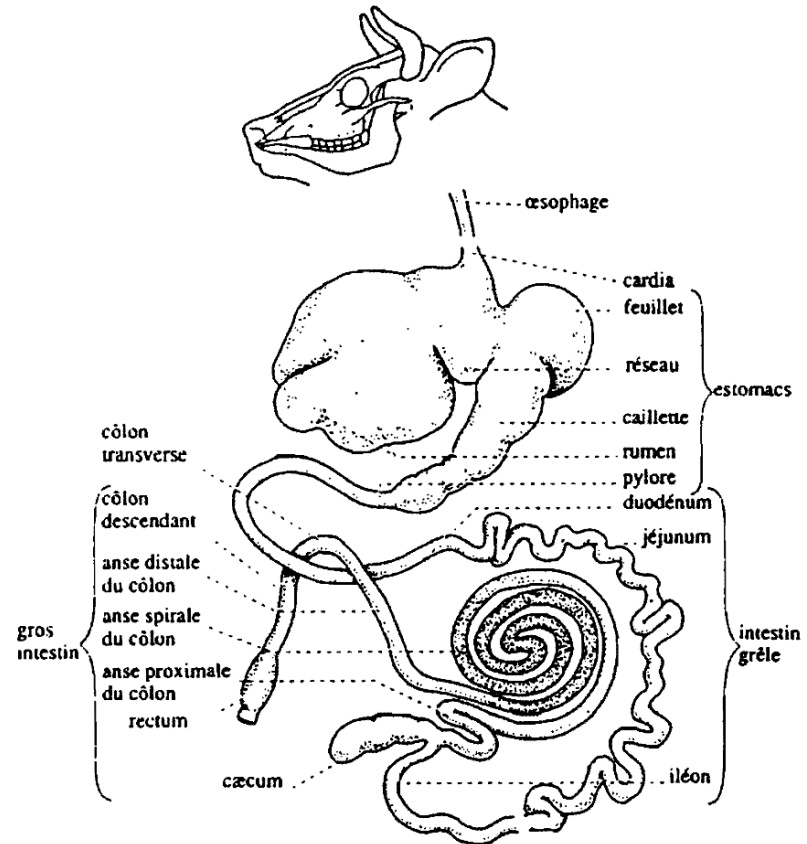
- Fonction mécanique : motricité digestive et transit des digesta.
- Fonction de sécrétion : eau, enzymes, autres éléments nécessaires à la digestion
- Fonction de digestion : réduction des aliments en nutriments
- Fonction d'absorption des nutriments par les cellules du tube digestif

Appareils digestifs : Cheval, bovin

Schéma 1 : Différentes parties du rumen des ruminants et du gros intestin des équidés
(RIVES, 1984)



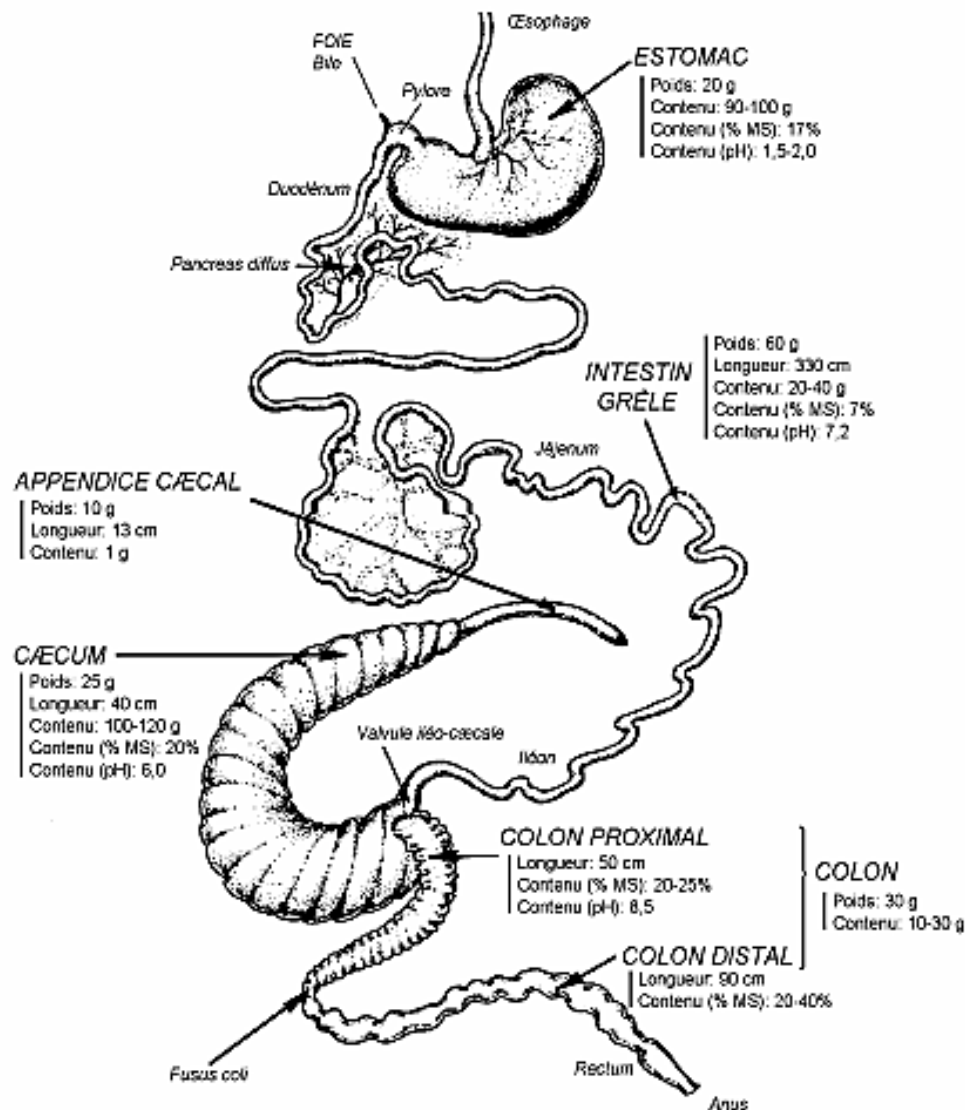
Le tube digestif du cheval.



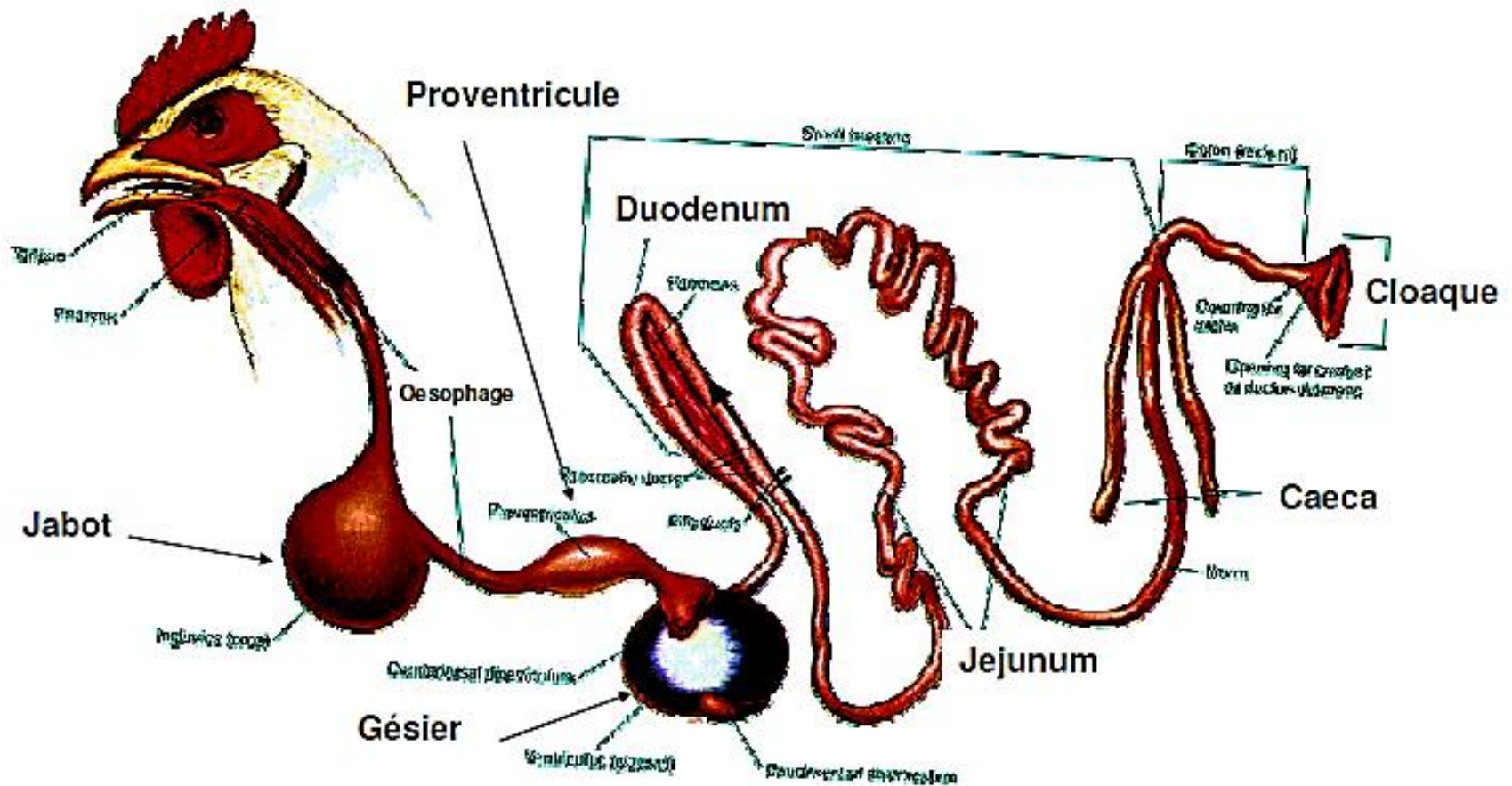
Le tube digestif du bovin adulte.

Appareil digestif : Lapin

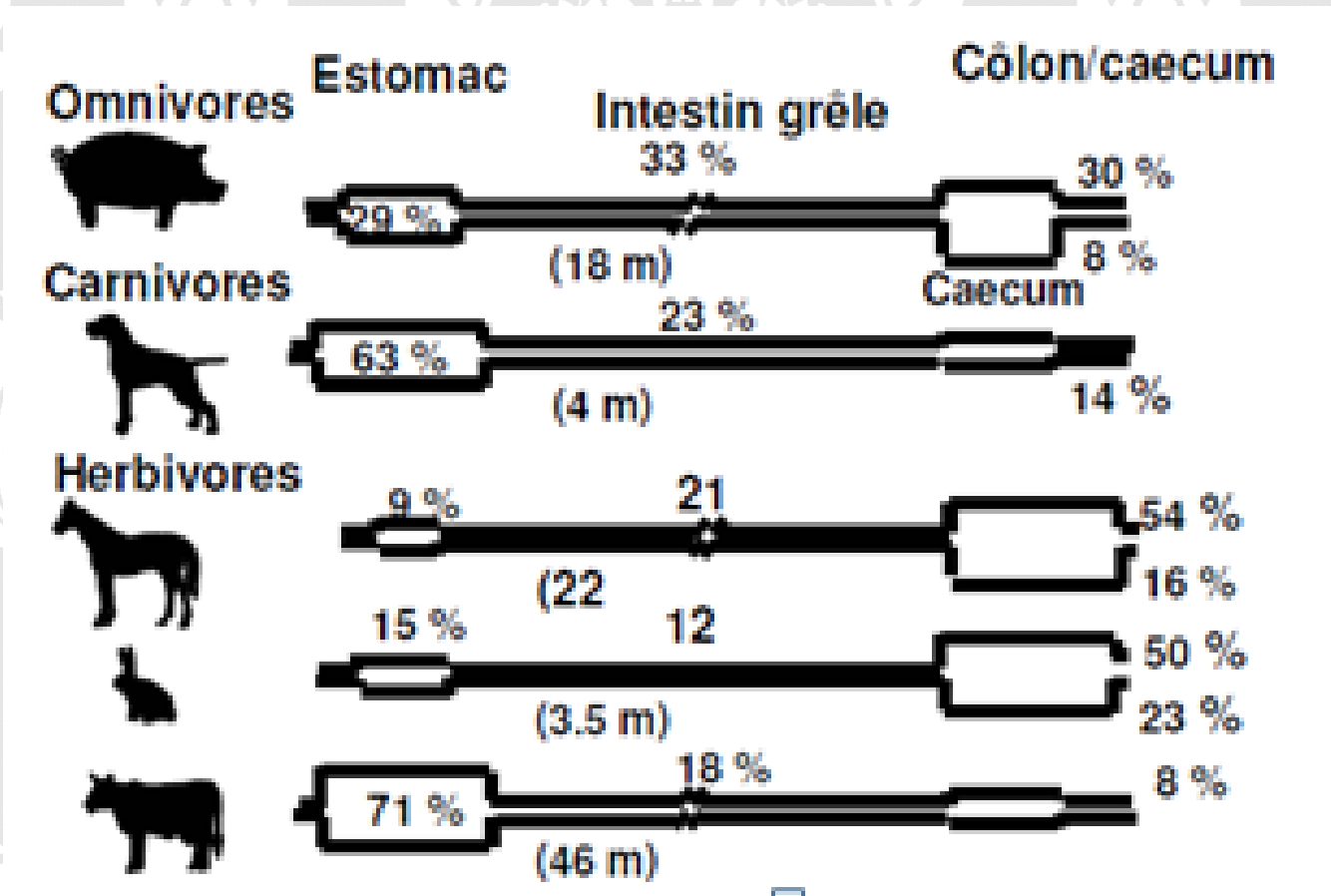
Figure 1: Anatomie générale du tube digestif du lapin (Valeurs moyennes pour un lapin néo-zélandais blanc de 2,5kg, nourri à volonté avec un aliment granulé équilibré d'après Lebas *et al.*, 1997).



Appareil digestif : Poule



Volume relatif des différents segments du tube digestif chez les animaux domestique



Capacité du tube digestif en litre chez les principales espèces domestiques

	Homme	Porc	Cheval	Mouton	Bovin
Poids vif, kg	75	190	450	80	575
Rumen	...	...	...	17	125
Omasum	...	...	...	1	20
Estomac sécrétoire/Abomasum	1	8	8	2	15
Total estomac	1	8	8	20	160
Intestin Grêle	4	9	27	6	65
Cæcum	...	1	14	1	10
Gros intestin	1	9	41	3	25
Total intestin	6	27	90	30	260

Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

La relation entre l'organisation de l'appareil digestif et le régime alimentaire des différentes espèces d'animaux domestiques est évidente.

Par rapport à leur tube digestif de monogastrique, les oiseaux se contentent de saisir et de déglutir les aliments. Le broyage des grains est une activité +/- intense.

Le faible Dvpt de l'estomac du cheval et le transit rapide des aliments en son sein ne le prédisposent pas à la digestion gastrique. Toutefois, une multiplication des repas augmente sensiblement son efficacité.

A l'opposé, l'existence de pré-estomac chez les ruminants, associée à un temps de séjour important des aliments, favorise le Dvpt d'une micro-population ruminale de bactéries, protozoaires et champignons dont l'hôte (l'animal) tire un très grand profit.

La cæcotrophie (consommation de certains fèces appelés cæcotrophes) permet au lapin de compenser cet handicap (valorisation de certains constituants biochimiques après dégradation microbienne).

Pour cette espèce, l'existence d'1 estomac et d'1 gros intestin bien développé équilibre entre la digestion gastrique et la digestion dans le gros intestin

Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

Les **volailles** peuvent être qualifiées d'espèces à digestion **gastro-intestinales enzymatique prépondérante**.

Les **ruminants** sont incontestablement des espèces à digestion **essentiellement microbiologiques**

Les **équidés** sont capables de tirer parti d'une alimentation à dominance de graines ou de fourrages, ce qui leur confère de **larges possibilités d'adaptation**.

Enfin, les régimes destinés aux **lapins** doivent permettre le Dvpt de l'**activité microbienne dans le gros intestin**. Leur teneur en parois doit être suffisante.

Particularités de digestion chez les animaux d'élevage

Actions digestives

La finalité de la physiologie digestive est d'approvisionner l'organisme en nutriments nécessaires pour pouvoir assurer les différentes fonctions. Cela est assuré par l'action conjuguée de processus physiques et biochimiques (fonction mécanique, sécrétion, digestion et absorption.)

Processus physique:

- Mastication
- Déglutination
- Régurgitation
- Rumination brassage au niveau de l'estomac (et pré-estomac chez les ruminants)
- Mécanisme du transit digestif

Processus biochimique:

- Activité biochimique d'origine endogène
- Activité biochimique due aux micro-organismes

Activité biochimique d'origine endogène

Tableau : Principales sécrétions digestives, substrats et produits des réactions enzymatiques eu cours de la digestion

Principaux constituants des aliments participant à l'activité enzymatique d'origine endogène	Glucides		Lipides		Protides	Acides nucléiques
	Saccharose	Lactose	Amidon	Triglycérides	Caséinogène / autres protéines	
Salive		pas d'amylase			↓	
Suc gastrique					Caseïne	
présure					↓	
Pepsine					polypeptides	
HCl					↓	
Suc pancréatique					polypeptides	
Trypsine et chymotrypsine			↓		acides aminés	
Carboxypolypeptidase			Maltose			
Amylase			↓			
Lipase				monoglycérides, glycérol, acides gras		
Sels biliaires						
Nucléases						Nucléotides
Suc intestinal					acides aminés	
Aminopeptidase	↓	↓				
Maltase			Glucose			
Saccharase	Glucose + fructose	Glucose + lactose	↓			
Lactase						Bases azotées
Nucléotidases et nucléosidase						pentose, H3PO4
Nutriments absorbés		Hexoses		monoglycérides, glycérol, acides gras	acides aminés	Bases azotées pentose, H3PO4

Activité biochimique due aux micro-organismes

Cette activité est considérable dans les pré-estomacs des ruminants. Son importance est très grande dans le gros intestin du cheval et du lapin mais moins importante chez les volailles.

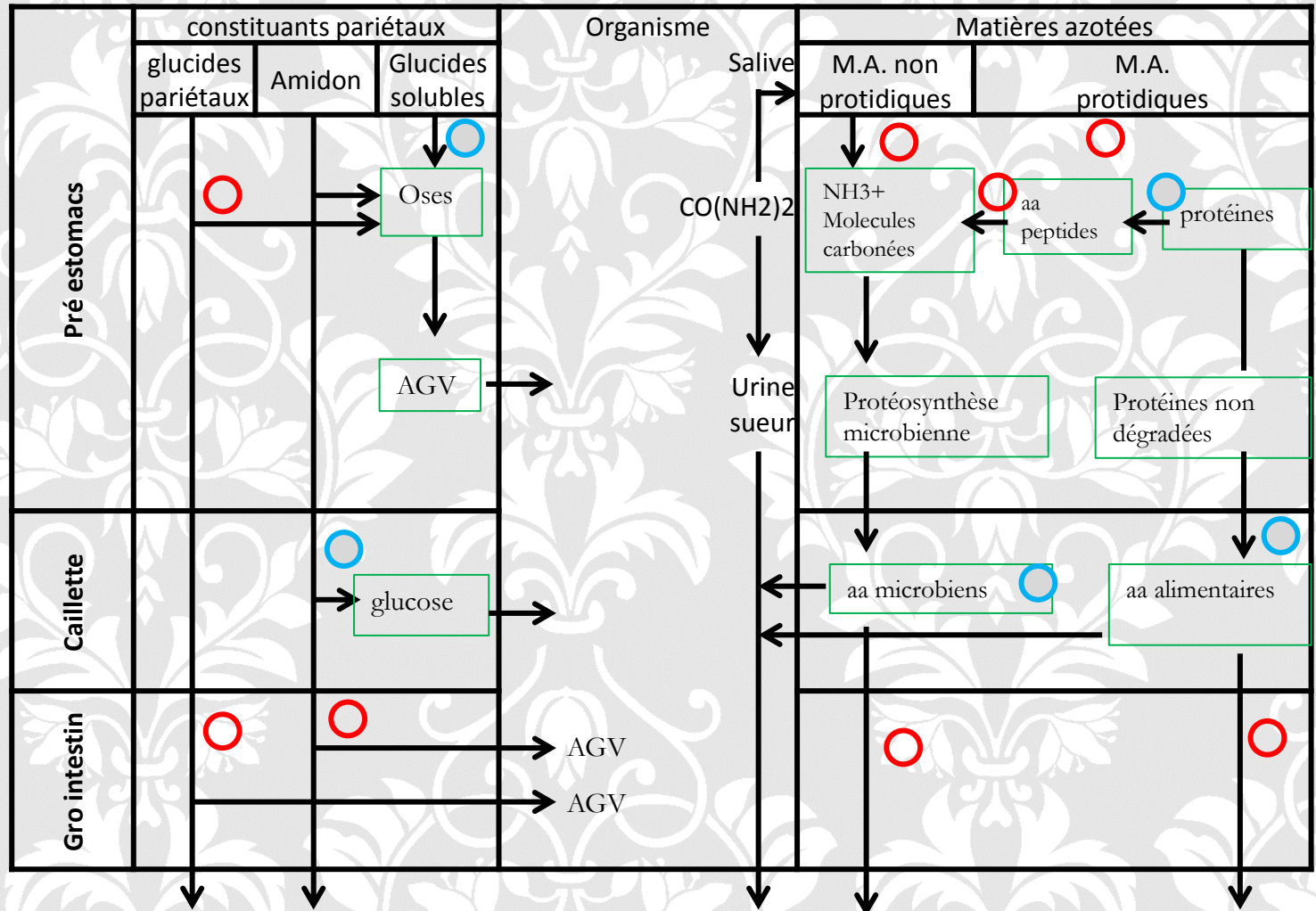
Bactéries, protozoaires et champignons sont les principaux μ -organismes qui colonisent ces cavités.

Cette μ -population dispose d'enzymes susceptibles de réagir avec les glucides intracellulaires, les constituants pariétaux et 1 partie des M^{ères} azotées. La \neq essentielle avec l'activité d'origine endogène réside donc en la dégradation des constituants glucidiques pariétaux.

Elle possède des cellulases capables de monomériser la cellulose. Le résultat étant une production importante de : CO₂, CH₄, Acides éthanoïque, propanoïque, butanoïque, parfois lactique.

Les AGV sont absorbées au niveau de la muqueuse ruminale ou du gros intestin. Le transit digestif entraîne des μ -organismes vers la caillette où ils subissent la digestion gastrique puis intestinale.

Activité biochimique due aux micro-organismes



○ Enzymes des micro-organismes

○ Enzymes endogènes

2.2.2. Alimentation énergétique

L'énergie se définit comme la capacité d'un corps à produire un travail.

Chez les animaux, elle se présente principalement sous les formes chimique, mécanique, électrique et thermique.

Les animaux ne peuvent pas tirer directement leur énergie du soleil Comme les végétaux; ils doivent donc en recevoir un apport constant dans leur alimentation.

Dans la nutrition animale, si un animal reçoit une quantité d'énergie dans les aliments, on la retrouve entièrement sous une forme ou l'autre. L'énergie qui lui est donnée est :

- soit excrétée,
- soit transformée en chaleur,
- soit utilisée pour effectuer un travail,
- soit encore retenue par l'organisme sous l'une ou l'autre forme. En d'autres termes, «tout ce qui rentre doit sortir».

Alimentation énergétique

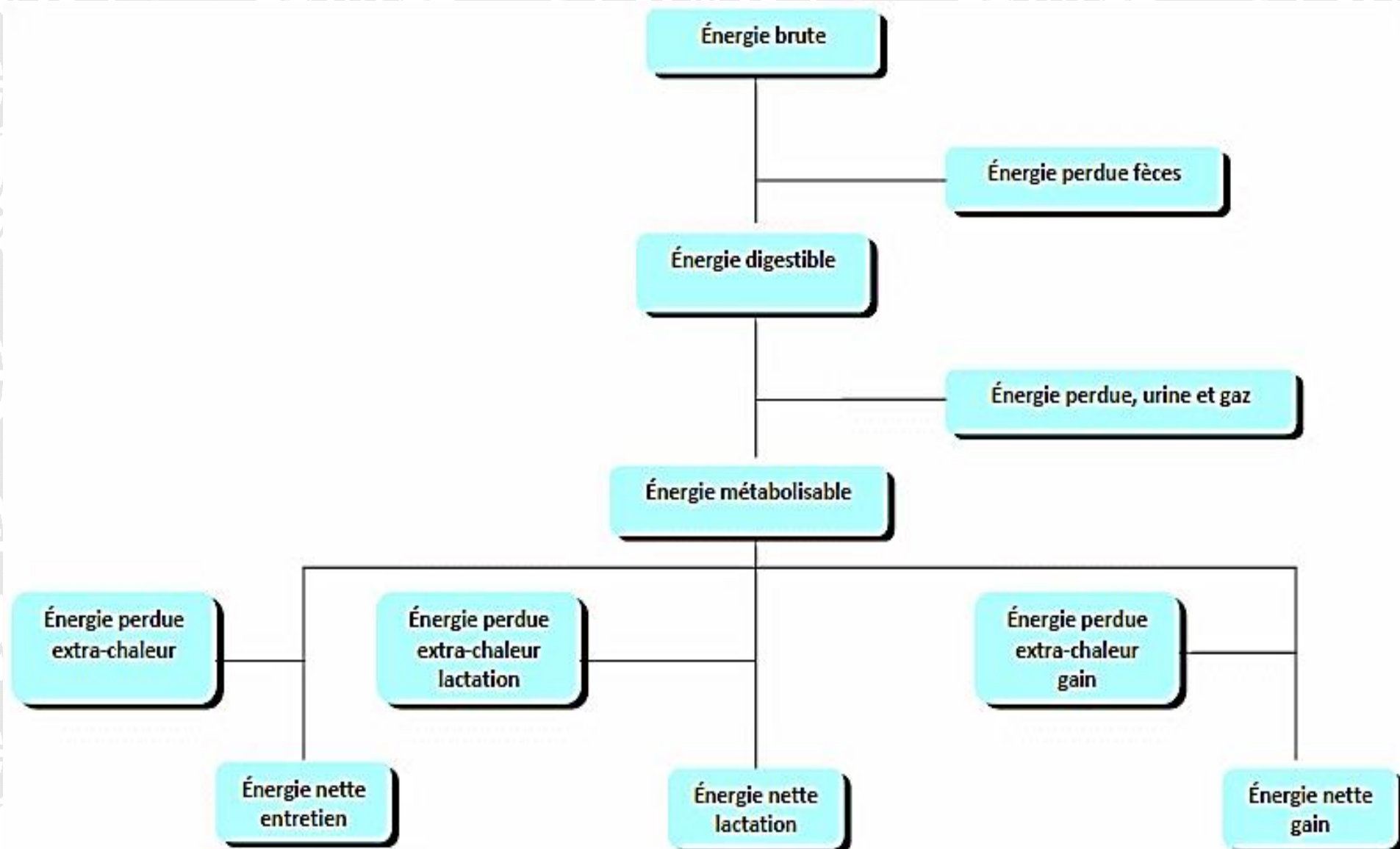
Les animaux évacuent de l'énergie de trois manières dans leur environnement :

- sous forme de chaleur,
- d'énergie chimique,
- ou de travail mécanique.

La dépense énergétique d'entretien des animaux est sous la dépendance de leur métabolisme de base bien corrélé avec le $P^{0,75}$. elle est aussi fonction de vie des animaux (l'activité en stabulation libre consomme 10% du métabolisme de base).

Les dépenses d'entretien et de production incluent les pertes sous forme de chaleur : fermentation dans le tube digestif et chaleur des réaction d'utilisation des nutriments (appelée extra-chaleur).

Transformation de l'énergie alimentaire



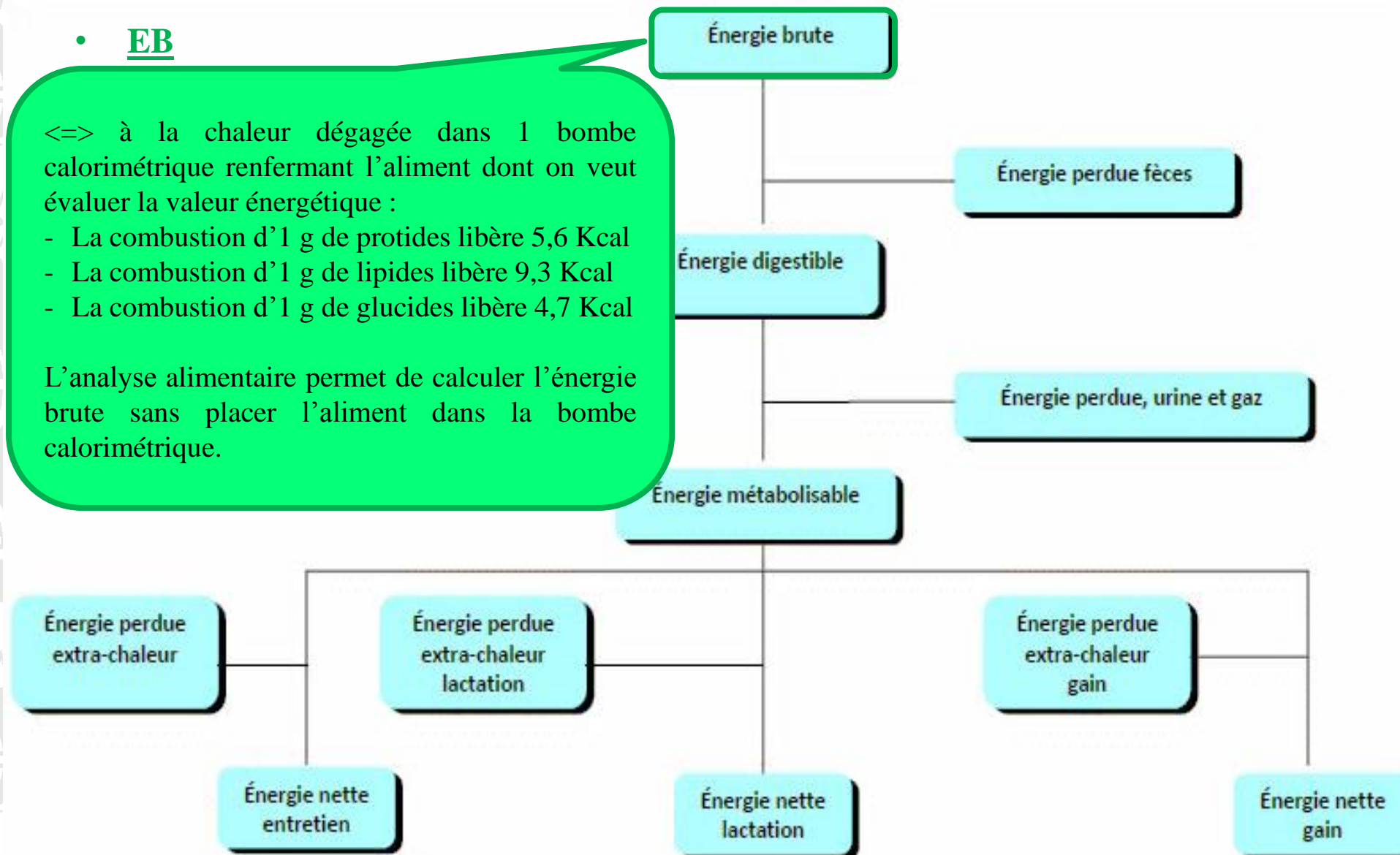
1. Transformation de l'énergie alimentaire

• EB

<=> à la chaleur dégagée dans 1 bombe calorimétrique renfermant l'aliment dont on veut évaluer la valeur énergétique :

- La combustion d'1 g de protides libère 5,6 Kcal
- La combustion d'1 g de lipides libère 9,3 Kcal
- La combustion d'1 g de glucides libère 4,7 Kcal

L'analyse alimentaire permet de calculer l'énergie brute sans placer l'aliment dans la bombe calorimétrique.

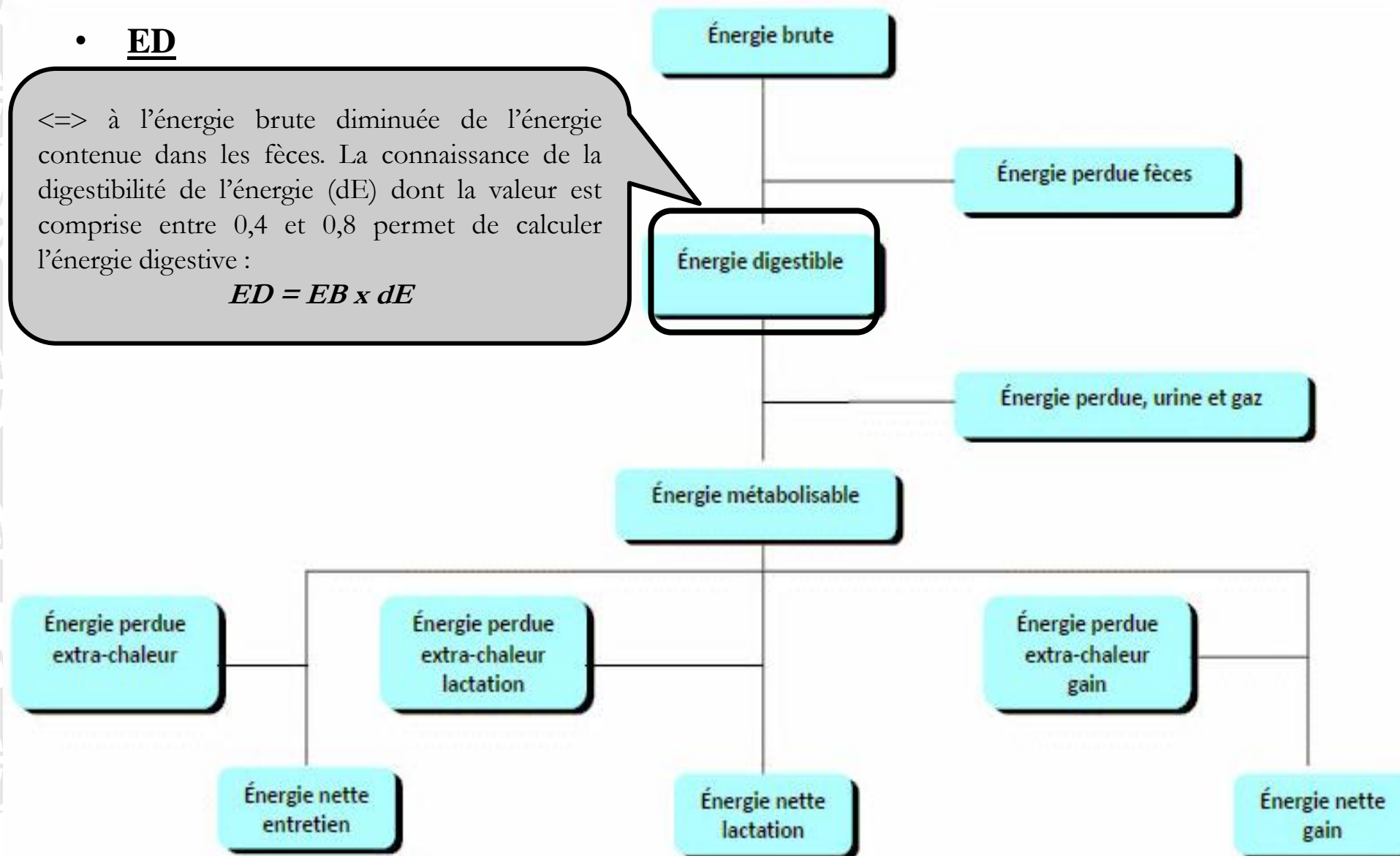


1. Transformation de l'énergie alimentaire

- **ED**

<=> à l'énergie brute diminuée de l'énergie contenue dans les fèces. La connaissance de la digestibilité de l'énergie (dE) dont la valeur est comprise entre 0,4 et 0,8 permet de calculer l'énergie digestive :

$$ED = EB \times dE$$

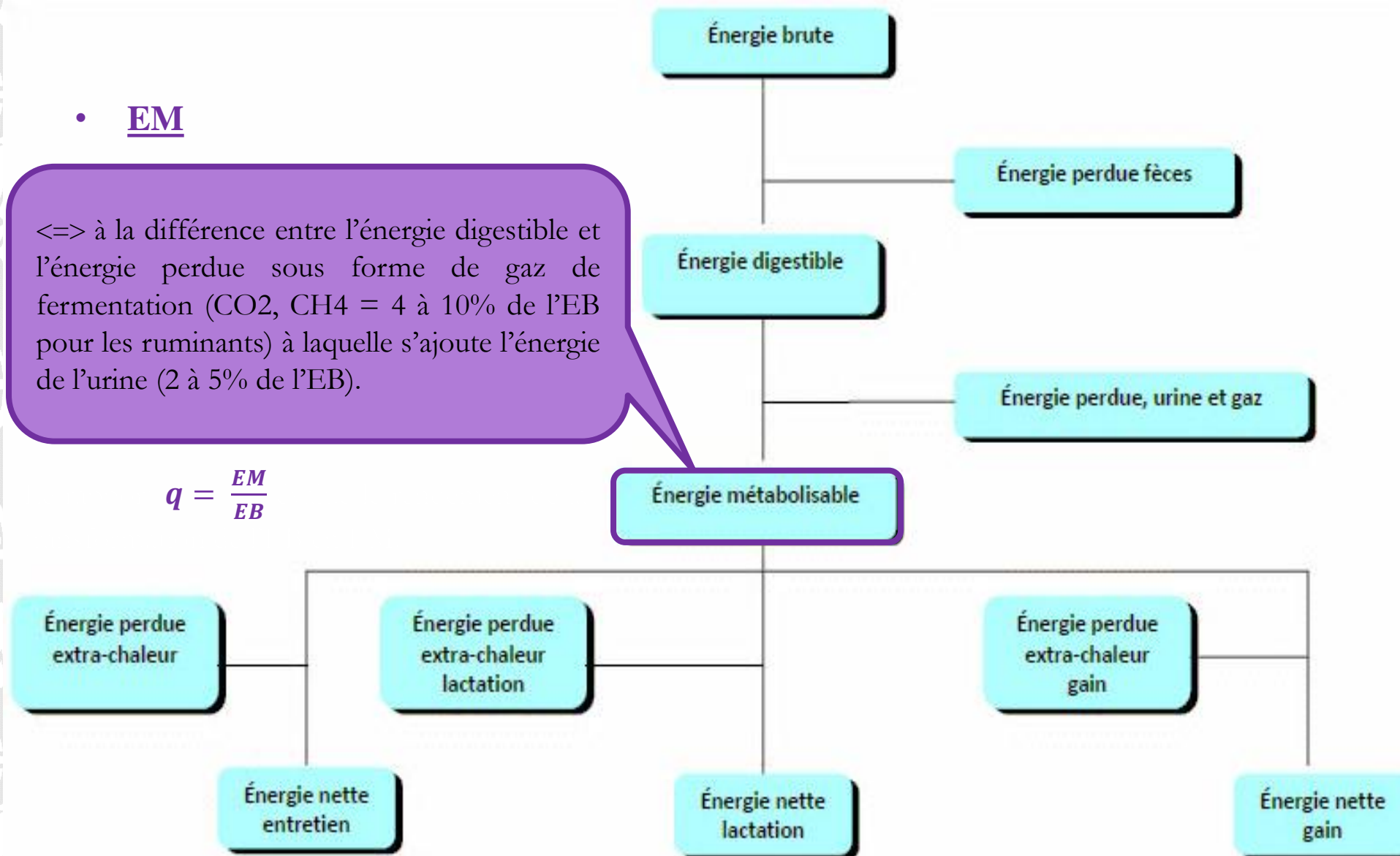


1. Transformation de l'énergie alimentaire

- EM

<=> à la différence entre l'énergie digestible et l'énergie perdue sous forme de gaz de fermentation (CO₂, CH₄ = 4 à 10% de l'EB pour les ruminants) à laquelle s'ajoute l'énergie de l'urine (2 à 5% de l'EB).

$$q = \frac{EM}{EB}$$



1. Transformation de l'énergie alimentaire

- EN

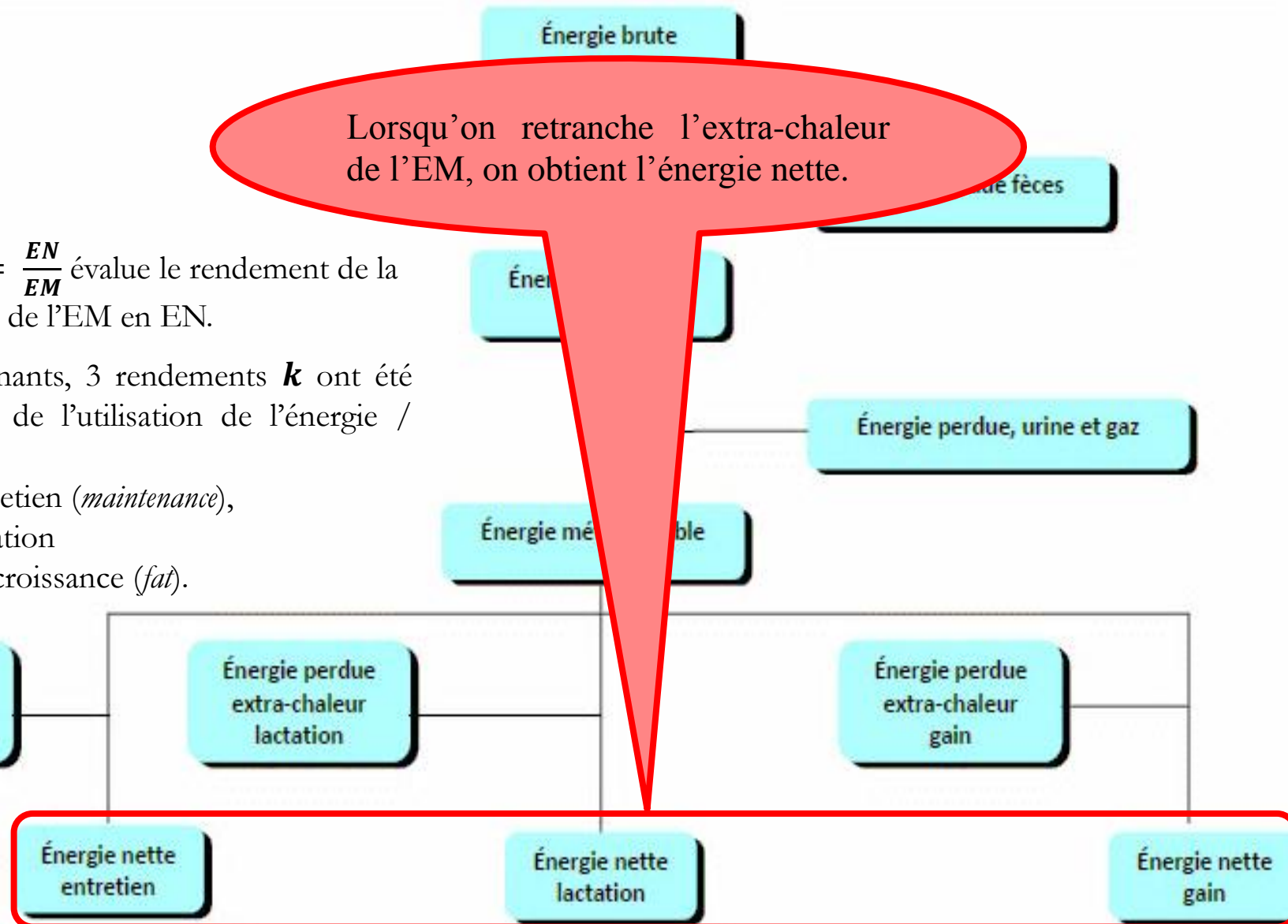
Le rapport $k = \frac{EN}{EM}$ évalue le rendement de la transformation de l'EM en EN.

Chez les ruminants, 3 rendements k ont été définis en fonction de l'utilisation de l'énergie / l'animal :

km pour l'entretien (*maintenance*),

kl pour la lactation

et kf pour la croissance (*fat*).



2. Système d'unités d'évaluation de l'apport énergétiques des ruminants

La valeur énergétique d'1 aliment = Quantité d'énergie d'1 Kg de cet aliment qui contribue à couvrir les dépenses d'entretien et de production des animaux

Normalement cette valeur est exprimée en *Kilocalories* / Kg d'aliment

Mais par commodité et depuis très longtemps, elle est rapportée à :

1 Kg d'orge à 87 % de MS
et exprimée en **UF**

1 Kg d'orge = 1 UF

2. Système d'unités d'évaluation de l'apport énergétiques des ruminants

L'efficacité énergétique des aliments est différente pour produire du lait ou de la viande. Donc ce système retient 2 unités :

- Unité Fourragère Lait (UFL);
- Unité Fourragère Viande (UFV).

1 Kg d'orge = 1 UFL = 1700 Kcal ou 7106 kj.

1 Kg d'orge = 1 UFV = 1820 Kcal ou 7608 kj.

→ **UFL** ♀ en lactation
 ♀ d'élevage, génisses, chevrettes, agnelles
 ♂ reproducteurs

→ **UFV** animaux en croissance rapide
 animaux à l'engrais
 (agneaux de boucherie - taurillons - bouvillons
 génisses viande - bœufs à l'engrais)

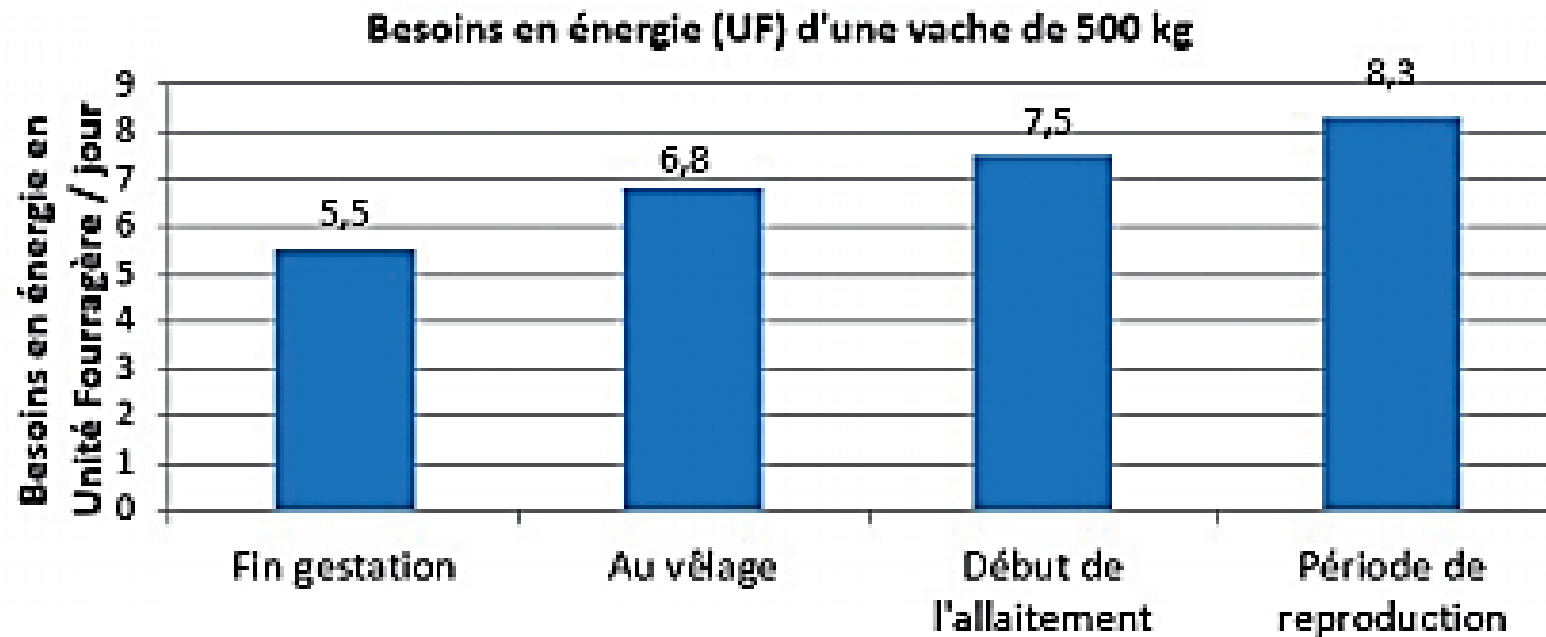


Figure 3 - Variations des besoins d'une vache de 500 kg en fonction de son stade physiologique (Source: INRA, 2010)

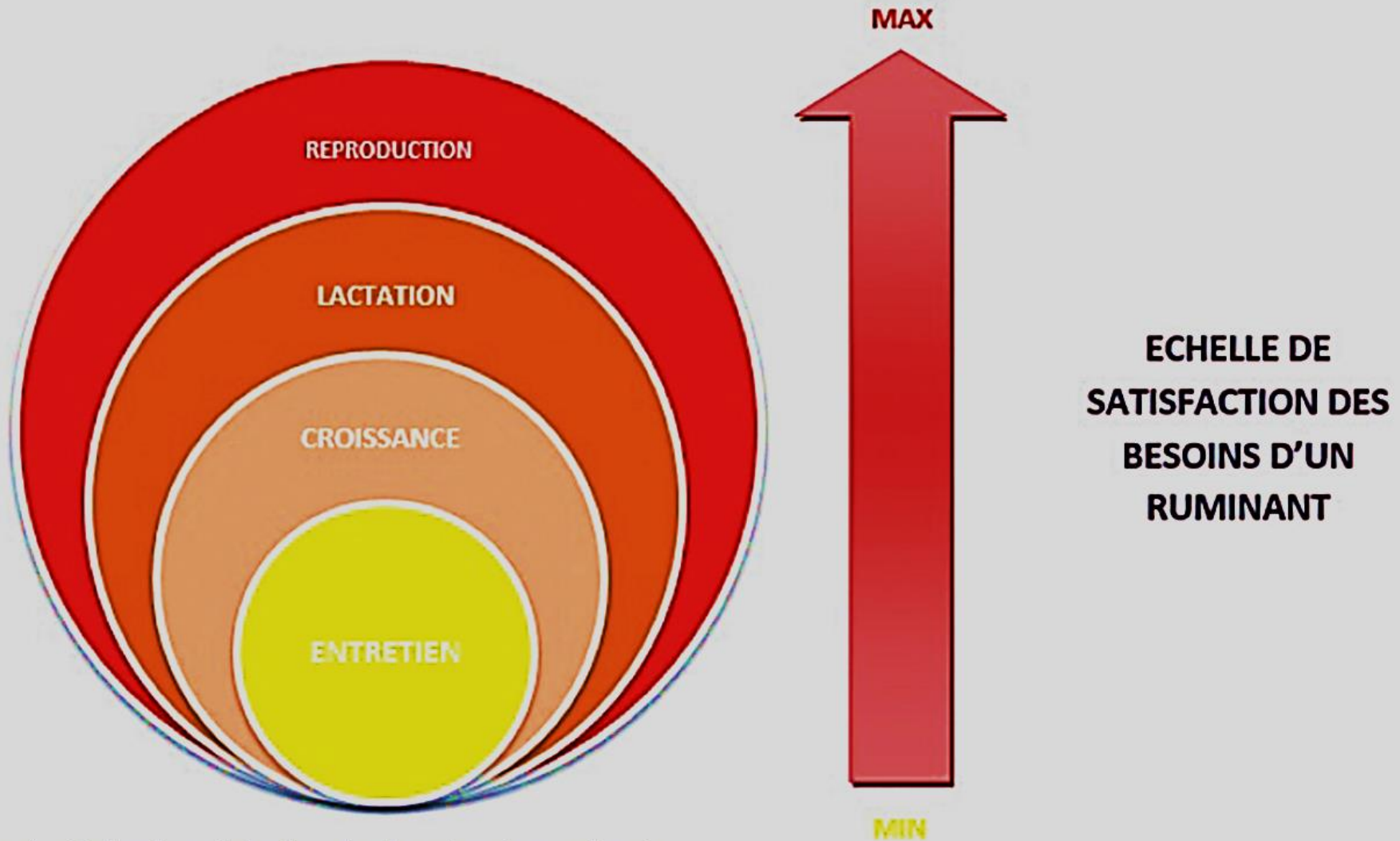


Figure 4 – Ordre de satisfaction des besoins des ruminants

Besoins énergétiques des animaux

Il est observé classiquement 03 niveaux de dépense énergétique :

- Métabolisme de base (M.B)
- Niveau d'entretien
- Niveau de production.

Besoins énergétiques des animaux

1- Métabolisme de base (M.B) :

le MB est défini comme étant la dépense énergétique minimale par 24h, qui permet l'intégrité de l'organisme.

75% de cette dépense s'explique par le maintien de la T° du corps et du tonus musculaire, les 25% par la respiration, la sécrétion, l'excrétion et la circulation du sang.

Condition de mesure de M.B : De façon obligatoire :

- L'animal doit se mettre dans une chambre respiratoire
- En position couchée ou éveillé
- L'animal doit être en neutralité thermique.
- L'animal doit être au repos
- A jeûne (post-absorption)
- L'animal doit être en relaxation physique et mentale

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

Facteur de variation du MB :

- ✓ Température : à neutralité thermique → pertes énergétiques minimales.
- ✓ Le sexe = important chez le male (♂) que chez la femelle (♀)
- ✓ L'espèce et la race = les oiseaux ont un MB supérieur à celui des mammifères.
Chez les races laitières le MB est supérieur de 7% à celui des races à viande.
- ✓ L'âge = MB des jeunes > à celui des adultes
- ✓ Rythme nycthéméral (variation du jour et de la nuit) : le MB de jour > MB de la nuit
- ✓ Poids = le MB varie en fonction de Poids métabolique.
 - chez les mammifères : **KLEIBER (1931) : $MB = 72 \times P^{0,75}$**
 - BRODY (1932) : $MB = 70,5 \times P^{0,75}$** (la plus utilisées.)
- ✓ Niveau alimentaire = Le MB augmente lorsque le NA augmente

$$N.A = B.T. / B.E. = \text{Besoins Totaux} / \text{Besoins d'Entretien}$$

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

2-Besoins énergétiques d'Entretien :

Le niveau d'entretien 1 une situation physiologique où l'animal ne produit rien, son poids vif est constant, il mène tout fois une activité obligatoire (mouvement, mastication...).

Les dépenses énergétiques sont supérieures dans l'entretien par rapport au MB.

Les besoins énergétiques d'entretien sont souvent appréciés par l'équation :

$$BE = 1.33 \times 70.5 \times P^{0.75}$$

1.33 : constant (coefficient d'entretien théorique) varie en fonction de l'activité de l'animal.

Chez les ruminants, les BE équivalent à : 107-110% de MB (stabilisation entravée).

130% de MB (Pâturage) ;

160% de MB (Chèvre en zone de montagne)

Chez les bovins, BE_e est calculé selon **FREDRIKSEN** :

$$BE_e = 1.5 + PV/200$$

En stabilisation entravée : Si PV = 600 kg → BE_e = 4.5 UF

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

3-Besoins énergétiques de production :

Les dépenses de production s'ajoutent à celle de l'entretien, il y'a autant les BP comme il y'a des catégories d'animaux (de production) : lait, viande, œufs, laine, gestation, travail, croissance....).

a. Croissance et engraissement : cet état présente une grande diversité liée à plusieurs facteurs :

- **Race :** chez les ovins est plus important que chez les bovins.
- **Sexe :** chez le ♂ > ♀.
- **Age :** augmente avec l'âge.
- **Poids Vif :** plus le poids augmente plus le MB augmente, plus les BP augmente

b. Production laitière (lactation) : la production laitière nécessite de l'énergie, cette dépense énergétique est en fonction de :

- Quantité et qualité de lait ;
- L'allure de la courbe de lait ;
- Pour synthétiser 01 L de lait, la mamelle d'une vache filtre environ 500 l du sang (le pouvoir calorifique est de 940 kcal, alors 1 L de lait nous donne 750 kcal → le rendement est de 80%).

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

3-Besoins énergétiques de production :

c. Gestation : dès la fixation de l'embryon sur la paroi de l'utérus, l'embryon reçoit des quantités de plus en plus importantes du sang qui véhicule les nutriments qui vont permettre son développement ; on estime qu'au dernier 1/3 de la gestation, les dépenses énergétique représentent environ 40% de celle du BET.

Sur le terrain on pratique « le Steaming » 03 semaines avant la mise-bas et 02 semaines après la mise-bas.

d. Production de la laine : la dépense énergétique est faible et varie avec la race :

Merinos : 10 kg/an ———— ~~27~~ g/j ———— ~~205~~ kcal/j \approx 17% BE

Ile de France : 4 kg/an ———— ~~11~~ g/j ———— ~~82~~ kcal/j \approx 7% BE

Ouled Djellal : 1.5 kg/an ———— ~~4~~ g/j ———— ~~30~~ kcal/j \approx 3% BE

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

3-Besoins énergétiques de production :

e. **Production des œufs:** en considérant un œuf moyen de 62 g :

- Vitellus (jaune) : les lipides (54.6 kcal) + protéines (17.7 kcal)
- Albumen (blanc) : protéines (22.3 kcal).

Un œuf de 62 g \longrightarrow 94.6 kcal \longrightarrow 1g d'œuf = 1.53 kcal

L'intensité de ponte, la taille de l'œuf et la composition constituent les facteurs principaux de variation des BE de cette production.

+ieurs modèles des besoins énergétique journalier de la ponte ont été établir :

➤ Équation de GRIMBER GEN (1988) :

$$EMi_{\text{kcal}} = 137 \times P^{0.75} + 1.68 Ee + 1.20 \Delta P$$

Ee = Énergie contenue dans l'œuf.

ΔP = Énergie contenue dans le gain du poids (kg)

➤ LECLERCQ (1995) : à (+ 20°C)

$$EMi = 75.8 \times P + 5.49 \Delta P + 2.35 e$$

P = poids vif

ΔP = gains de poids

e = poids de l'œuf exporté / j

Besoins énergétiques des animaux

Alimentation énergétique

3-Besoins énergétiques de production :

f. Production de chair : c'est le même principe :

$$EM \text{ kcal/j} = [105 + 4.6 (25 - T)] \times P_m^{0.75} + 10.4 L + 14 \times Pr$$

T°C : < 25°C

P_m : Poids moyen (kg)

L(g) : lipides de la carcasse

Pr (g) : protéines de la carcasse.

g. Production de travail : les facteurs de variation de ces besoins énergétiques sont liés aux : - poids de l'animal

- Poids de la charge
- Vitesse de déplacement
- Relief (pente)
- L'intensité de travail

Exemple : bovins de 450 kg qui exerce une forte activité physique de type traction de 63 kg à 2.5 km/h pendant 6 h, l'apport énergétique est de 8.1 UF



2.2.3. Alimentation azotée

La ration de l'animal doit être fournie par un apport azoté qui est équilibré du point de vue quantitatif et qualitatif.

✓ **Les besoins quantitatifs des matières azotées pour l'entretien et les productions.**

Les protéines synthétisées à partir des aliments azotés tirés de la digestion ont de multiples destinations :

- Certain renouvellent ou réparent les cellules de l'organisme dont l'usure est permanente, assurent la synthèse des hormones, des anticorps et enzyme (diastase) ; elle couvre les besoins azotés d'entretien.
- D'autre assurent la multiplication et la croissance de nouvelles cellules, elles représentent les Besoin Azotés de croissance.
- Une autre partie permet les mécanismes de reproduction et assure le développement du fœtus, elle satisfait aux Besoins Azotés de reproduction et de gestation.
- D'autre enfin employé à la synthèse des productions riche en protéines, le lait, les œufs, la laine. Elles s'expriment en Besoins Azotés de production.

✓ Les besoins qualitatifs :

on classe les 22 acides aminés selon la faculté (plus ou moins grande) de l'organisme de les remplacer lorsqu'ils manquent dans l'alimentation.

Les acides aminés indispensables et AA interchangeables

Acides aminés indispensables : où la synthèse est impossible ou difficile par l'organisme animal. Ils doivent obligatoirement se trouver dans la ration, leur carence entraîne des retards de croissance ou des troubles graves.

(arginine – histidine – isoleucine – leucine – méthionine – phénylalanine – tryptophane – valine)

AA interchangeables : où la synthèse est facile par l'organisme. Ils peuvent être élaborés aisément à partir d'acides aminés voisins.

✓ Les besoins qualitatifs (besoins en acides aminés) :

Les monogastriques exigent tous les AA indispensables et la plupart des autres.

Chez la volaille et le veau non ruminants, le rendement de la synthèse des protéines, destinées par exemples à la formation des muscles ou des œufs, dépend de la proportion optimale de chacun des AA nécessaires à la synthèse de ces protéines.

Le problème de l'alimentation N^{tée} des monogastriques commence donc par la détermination aussi précise que possible des proportions de chaque AA nécessaires à leur croissance.

Les ruminants, grâce à leur flore microbienne, sont moins sujets à des carences en AA indispensables. Sous réserve que les ruminants reçoivent la quantité suffisante de M.N^{tée}.

Ils ne manqueront d'aucun AA indispensable ou interchangeable : leur flore microbienne les leur fournit continuellement, les synthétisant à partir de l'ammoniac issu de la dégradation, dans le rumen, des M.N^{tée} protéiques et non protéiques.

Besoins alimentaires en matières azotées

Alimenter l'animal sur le plan Azoté revient à mettre en place une technique qui permet de couvrir les besoins d'entretien et de production, cette technique basé sur :

- Déterminer les besoins Azotés (dépense de l'animal).
- Évaluation du potentiel Azoté de l'aliment (apport de l'aliment).
- Couverture des besoins de l'animal par un apport (quantité) d'aliment donnée (rationnement).

Évaluation de la dépense Azotée : On considère deux types de dépenses :

- Renouvellement constant des tissus de l'organisme et les synthèses des substances liées à son fonctionnement : il s'agit des dépenses d'entretien.
- L'exportation des protéines, des produits : gain de poids, fœtus, lait, œufs,... (des dépenses de productions).

En ce qui concerne les dépenses de production, on évalue l'importance globale (quantitative) et la composition en acides aminés (aspects qualitatif).

Besoins alimentaires en matières azotées

Besoins d'entretien : on définit la dépense endogène spécifique comme étant la quantité minimale d'azote nécessaire en 24h pour l'entretien de l'animal (M.B).

Cette dépense se fait par les matières azotée fécales métabolique (NFm) et (N_{Um}), ou de matière azotée phanères (laine, sabot, ... etc)

NFm = il a comme origine les enzymes digestible, le mucus les pertes cellulaires de tube digestif et également les microorganismes.

$$\text{NFm} = \text{N endogène} + \text{N microbienne.}$$

L'azote fécale métabolisable est estimé entre :

0,6 – 0,9g/100g MS chez les bovins

Ovins : 0,6- 0,75 g / 100g MS

Caprins : 0,2 – 0,4 g / 100g de MS

Lapins : 0,25 g / 100g de MS I

Facteurs de variation : SP animal, âge, quantité de MSI, teneur en CB.

Besoins alimentaires en matières azotées

Besoins d'entretien :

NUM : il dérive de catabolisme des M.N^{tée} au niveau cellulaire, excrété dans les urines sous différentes formes :

Mammifères

Vertèbres aquatiques

Insectes

Oiseaux

Urée

NH₃

acide urique

acide urique

Facteur de variation : les dépenses azotées varient avec :

- SP,
- régime alimentaire,
- poids de l'animal,
- âge
- et métabolisme de l'animal.

Besoins alimentaires en matières azotées

Besoins d'entretien :

N de Phanères : il constitue une perte azotée qui se fait par, la laine, les poils, les ongles, desquamation de la peau, etc.

On estime en moyen pour BE (N) g :

	MAD/Kg P ^{0,75}	PDI/Kg de P ^{0,75}
Bovins	3	3,25
Ovins	2,62	2,64
Caprins	2,5	2,30

Chez les ruminants une formule simple pour le calcul des besoins d'entretien se base sur le poids de l'animal.

$$BE_N = 100 + 0,5 P \quad (\text{g de PDi/j})$$

Besoins alimentaires en matières azotées

Besoins azotés de production :

correspond à la quantité d'azote ingérée et qui entraîne la rétention maximale dans des conditions satisfaites.

$X \text{ g d'N} \rightarrow \text{maximum de rétention} \rightarrow \text{production.}$

Les BNP sont nécessaires à la production de viandes, œuf, lait, laine,...

Besoins Azotés pour la production de viande : c'est le type de production pour lequel les besoins sont les plus fastidieux (fatigant) à évaluer. De nombreux facteurs sont à l'origine de cette complexité, tels que ; le poids de l'animal, la nature de l'animal (lait, viande ou les deux) mais on considère pour un gain de poids ; le pourcentage de protéines en moyen est de 17%, et donc il faut apporter 280g PDI / 1Kg de croit.

Les besoins azotés pour la production du lait :

Les rendements de l'utilisation de l'azote pour la production du lait et dans le système MAD est de l'ordre de 62%, et dans le système PDI est de 65% à 67%.

Besoins alimentaires en matières azotées

Les besoins en protéine du poulet : Les besoins en protéine et en acides aminés du poulet, ont fait l'objet de nombreux travaux ; parmi les résultats obtenu :

$$\text{Besoins protéiques pour l'entretien} = 8 \times \text{Prot.max}^{-0.27} + \text{Prot} \quad (\text{g/j})$$

Prot.max : quantité de protéine corporelle à l'état mature (kg)

Prot : quantité de protéine corporelle de l'animal à l'état considéré

$$\text{Besoins protéiques pour la croissance} : \text{BNC} = \Delta P \times 1.25 \quad (\text{g/j})$$

ΔP : gain protéique (g)

Les besoins protéiques dépendent de niveau de rétention azotée

Tableau : Rétention azotée (g de
prot / j)
chez le poulet de chair

Age (semaines)	Rétention
1	1.0 – 1.4
2	2.3 – 3.2
3	3.2 – 4.3
4	4.1 – 5.4
5	5.8 – 7.2
6	6.7 – 8.4
7	7.2 – 8.9
8	7.3 -9.1

Sur le plan nutritionnel, les apports sont considérés en termes d'AA et plus précisément en termes d'AA indispensable.

Les besoins en AA dépendent de l'âge de l'animal (phase de croissance)

Le système de mesure PDI (protéines digestibles dans l'intestin)

Le système PDI détermine la valeur azotée de chaque aliment en terme de quantité d'acides aminés réellement absorbés par l'intestin.

Il est attribué 2 valeurs de PDI à chaque aliment :

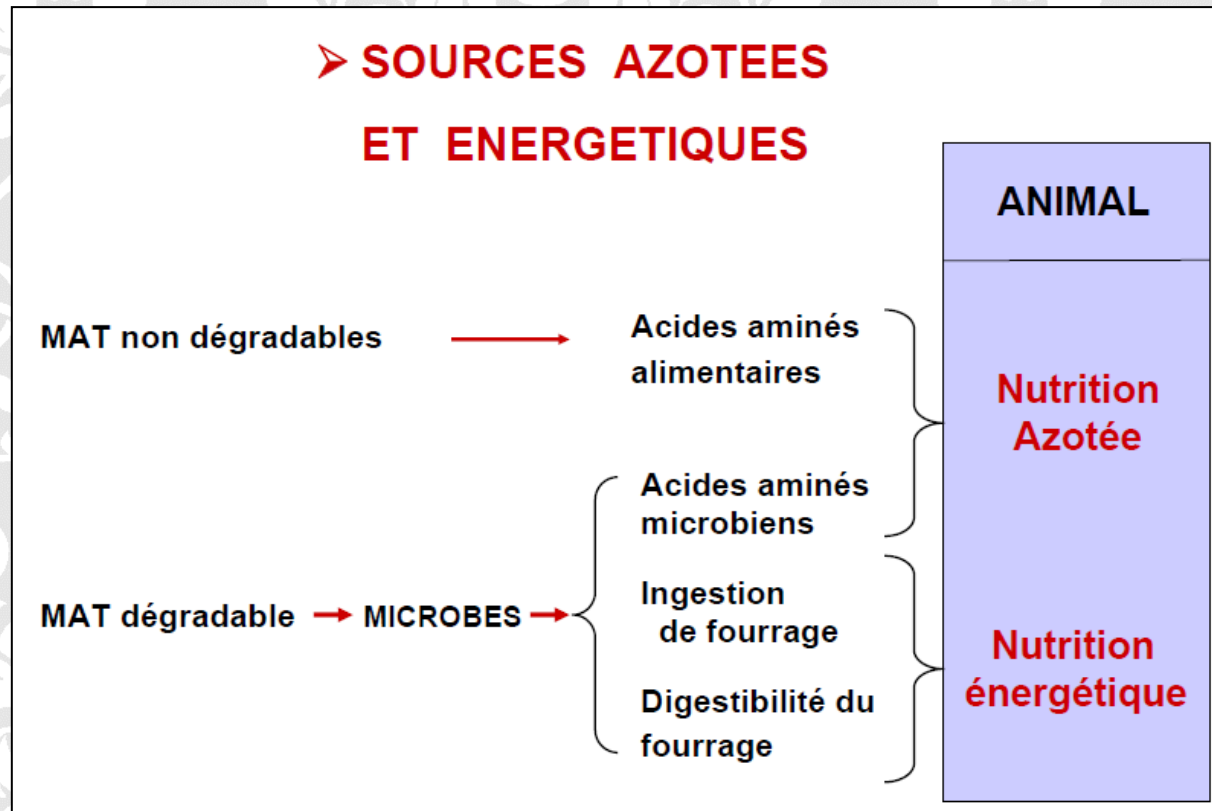
PDIN = Potentiel PDI permis par l'azote

Sa teneur est fonction de l'azote dégradable

PDIE = potentiel PDI permis par l'énergie

Sa teneur est fonction de l'énergie fermentescible

Le système de mesure PDI (protéines digestibles dans l'intestin)



Le système de mesure PDI (protéines digestibles dans l'intestin)

PDIN et PDIE sont la somme de 2 fractions :

➤ **PDIA** = protéines digestibles d'origine alimentaire
(non dégradées dans le rumen)

= protéines digestibles d'origine microbienne
(synthétisées dans le rumen)

➤ **PDIM** Les 2 facteurs principaux de cette synthèse ruminale = énergie et azote dégradables.

→ chaque aliment est défini par 2 valeurs parallèles :

1 qui est fonction de l'énergie fermentescible = PDIME

1 qui est fonction de l'azote dégradable = PDIMN

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

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

Lors de calcul de ration, on totalise les PDIN et les PDIE de chaque aliment.
C'est le total PDI le plus faible qui est le facteur limitant.

Le système de mesure PDI (protéines digestibles dans l'intestin)

Un déficit en PDIN (azote dégradable) dans le rumen entraîne une baisse de l'activité microbienne

- baisse de la digestibilité
- baisse des UF
- baisse de la consommation

Aussi pour une bonne activité microbienne :

Idéal : $PDIN = PDIE$

Cependant, le recyclage de l'urée par la salive augmente les PDIN du rumen, ce qui permet un léger déficit en PDIN alimentaires.

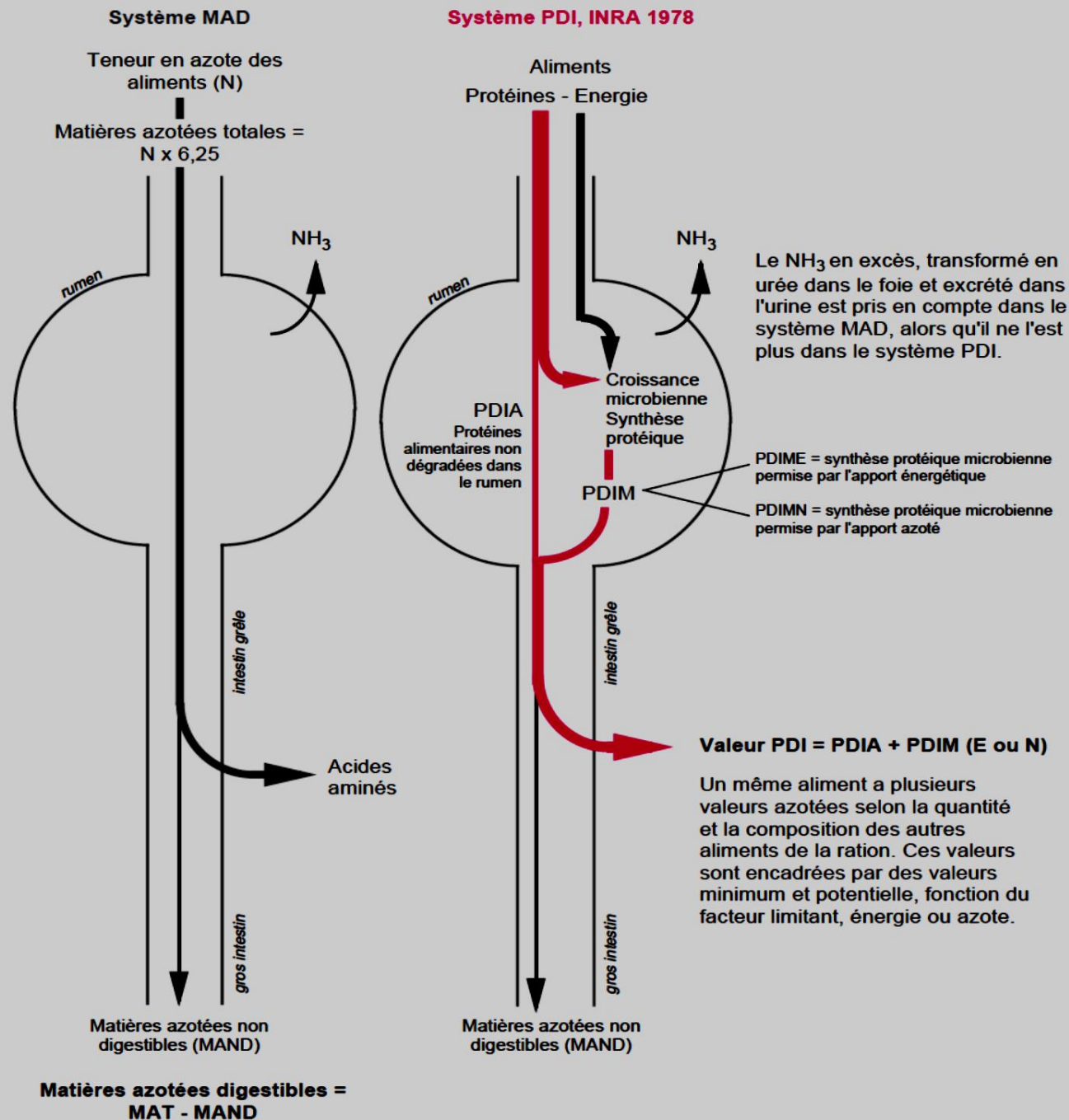
Chez les petits ruminants, on peut tolérer :

$PDIE - PDIN = 7 \text{ à } 14 \text{ grammes / UF}$

Selon que :

apports PDIE – besoins PDI
est normal ou élevé

Figure 2. *Systèmes d'évaluation de la nutrition azotée.*





2.2.4. Alimentation minérale et vitaminique

1. Importance de l'alimentation minérale et vitaminique

Les minéraux sont des constituants importants des tissus (ex : tissu osseux = 26% de minéraux) et des produits animaux (ex : calcium dans la coquille de l'œuf et dans le lait). Ils participent à la régulation des fonctions de l'organisme :

- régulation de la pression osmotique du sang (Na^+ et K^+) ;
- perméabilité cellulaire (Ca^{++} et Mg^{++}) ;
- excitabilité neuromusculaire (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) ;
- transport de l'énergie par les molécules phosphorylées,
- métabolisme des glucides impliquant le passage par des formes phosphorylées,
- métabolisme des lipides (soufre) ;
- transport de l'oxygène (fer) ;
- acidification du milieu gastrique.

On distingue les macroéléments représentant 99 % des minéraux (Ca, P, Mg, ...) et les oligo-éléments présents en très faibles quantités (Fr, Cu, Mn, Zn, ...). Une carence ou un excès en minéraux peut se traduire par une baisse des performances de l'animal (croissance, production, reproduction) ou par des troubles sanitaires (anémie, boiteries, troubles du pelage, ...).

1. Importance de l'alimentation minérale et vitaminique

Les vitamines, bien que présentes en très faible quantité dans l'organisme permettent le déroulement de nombreuses activités enzymatiques indispensables à la vie. Les vitamines les plus fréquemment apportées aux animaux sont les vitamines A, D et E. Comme pour les minéraux, une carence en vitamines entraîne une baisse des performances et si elle est sévère, des troubles sanitaires graves.

Les rations à base de fourrages conservés et de concentrés ne sont généralement pas suffisamment riches en minéraux et vitamines pour couvrir les besoins des animaux. Il est alors nécessaire de leur apporter un CMV pour couvrir leurs besoins. Celui-ci représente une faible part de l'alimentation des animaux (environ 2 %) mais essentiel au bon fonctionnement de leur organisme. Les CMV se présentent généralement sous forme de poudres ou semoulettes à incorporer à l'aliment.

Pour les animaux qui pâturent, il n'y a généralement pas besoin d'apporter de CMV sauf si les sols sont carencés en minéraux (manganèse, cobalt, sélénium,...). A l'herbe, le CMV peut être sous forme de pierres à lécher, mais il s'agit bien souvent d'un apport de sels pour stimuler l'appétit.

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les ruminants

a. Besoins d'entretien en éléments minéraux majeurs

Tableau : Prévision du besoin d'entretien en éléments minéraux majeurs absorbés (en g/j) (Meschy, 2007).

Catégories d'animaux	Phosphore	Calcium	Magnésium	Sodium	Chlore	Potassium
Bovins						
Croissance		0,663 MSI + 0,008PV		0,015PV	0,23PV	0,105PV
Gestation	0,83MSI +	0,015PV	0,007PV	0,015PV	0,023PV	0,105PV
Lactation	0,002PV	0,663 MSI + 0,008PV		0,023PV	0,035PV	0,150PV
Caprins						
Croissance		0,67 MSI + 0,01PV		0,015PV	0,23PV	0,105PV
Gestation	0,905MSI + 0,3	0,015PV	0,01PV	0,015PV	0,023PV	0,105PV
Lactation	+ 0,002PV	0,67 MSI + 0,01PV		0,023PV	0,035PV	0,150PV
Ovins						
Croissance		0,67 MSI + 0,01PV		0,015PV	0,23PV	0,105PV
Gestation	0,905MSI + 0,3	0,015PV	0,01PV	0,015PV	0,023PV	0,105PV
Lactation	+ 0,002PV	0,67 MSI + 0,01PV		0,023PV	0,035PV	0,150PV

PV : poids vif en kg.

MSI : matière sèche ingérée en kg/j.

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les ruminants

b. Besoins de production en éléments minéraux majeurs

Tableau : Prévision des besoins de production en éléments minéraux majeurs absorbés (en g/j.) (Meschy, 2007).

	Phosphore	Calcium	Magnésium	Sodium	Chlore	Potassium
Croissance(par kg de gain)						
Bovins	$1,2 + 4,66PVad^{0,22} \times PV^{-0,22}$	$9,83PVad^{0,22} \times PV^{-0,22}$	0,40	1,40	1,00	1,60
Caprins	$1,2 + 3,19PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$	$6,75PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$	0,40	1,20	1,00	1,80
Ovins	$1,2 + 3,19PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$	$6,75PVad^{0,28} \times PV^{-0,28}$	0,40	0,90	0,70	1,80
Gestation (derniers tiers)						
Bovins	$7,38/1 + e^{(19,1 - 5,46 \times \log (sg))}$	$23,5/1 + e^{(18,8 - 5,03 \times \log (sg))}$	0,30	1,30	1,00	1,00
Caprins	0,60 - 1,20*	1,00 – 2,00*	0,05	0,30	0,40	0,30
Ovins	0,40 – 0,90*	0,70 – 1,50*	0,03	0,30	0,40	0,20
Lactation (par kg de lait)						
Bovins	0,90	1,25	0,15	0,45	1,15	1,50
Caprins	0,95	1,25	0,15	0,45	1,30	1,80
Ovins	1,50	1,90	0,18	0,45	1,15	1,40

PVad : poids vif adulte en kg. PV : poids vif en kg.

sg : semaine de gestation.

* : selon la taille de la portée (simple-double).

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les ruminants

b. Besoins de production en éléments minéraux majeurs

Tableau : Apports journaliers recommandés globaux (entretien + production) de phosphore et de calcium basés sur le besoin énergétique (Meschy, 2007).

	Phosphore (g/j)	Calcium (g/j)
Vaches laitières		
En lactation	2,80 UFL – 5,65 (0,99)	3,51 UFL – 7,65 (0,99)
En gestation	0,80 UFL + 10,20 (0,66)	2,67 UFL – 4,20 (0,99)
Vaches allaitantes		
En lactation	2,30 UFL – 1,77 (0,99)	3,00 UFL – 3,47 (0,99)
En gestation	1,47 UFL + 3,35 (0,97)	2,38 UFL – 1,55 (0,99)
Chèvres laitières		
En lactation	2,80 UFL – 0,50 (0,99)	3,31 UFL – 1,07 (0,99)
En gestation, 1 chevreau	1,20 UFL + 1,10 (0,72)	1,66 UFL + 0,93 (0,85)
En gestation, 2 chevreaux	2,00 UFL + 1,50 (0,72)	1,66 UFL + 1,93 (0,84)

(entre parenthèses : coefficient de détermination R^2).

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les ruminants

Le soufre les oligoéléments minéraux

En ce qui concerne le soufre (S), il est essentiel pour les micro-organismes du rumen, la synthèse du cartilage et la production de fibres. Les besoins sont d'environ 2 g de S par kg de MS pour les ovins et les bovins, et entre 2,2 g (pour la croissance) et 2,7 g (pour les fibres textiles) pour les caprins.

Tableau : Apports journaliers recommandés (AJR) en oligo-éléments en mg/kg de MS de la ration (adapté par INRA 1988).

Élément	Seuil de carence	Apport journalier recommandé	Seuil de toxicité	Maximum réglementaire
Cuivre	7	10	Ovins : 15 Bovins et caprins : 30	Ovins : 15 Bovins et caprins : 25
Zinc	45	50	250	150
Manganèse	45	50	1000	-
Sélénium	0,1	0,1	0,5	0,5
Cobalt	0,07	0,3	10	2
Iode	0,15	0,2-0,8*	8	
Molybdène	-	0,1	3	-

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les ruminants

Les vitamines

Pour la vitamine A, la supplémentation recommandée (NRC., 2001) de 110 UI/kg PV correspond à des rations contenant 50 à 70% d'aliments concentrés. Pour ce type de régime, la destruction de la provitamine A dans le rumen est autour de 70 %, alors qu'elle n'est plus que de 20% pour des régimes à base fourragère. En fin gestation, l'apport de vitamine A peut être majoré de 50%.

Pour la vitamine D, compte tenu de sa très faible concentration dans les végétaux, il n'y a que peu de différence entre AJR et supplémentation. Pour la vitamine E en reprenant la même approche que pour la vitamine A on aboutit aux AJR pour des rations contenant des proportions modérées d'aliments concentrés.

Tableau : Apports journaliers recommandés en vitamines en UI/kg de MS selon la proportion d'aliments concentrés de la ration.

	Moins de 40 % de concentré	Plus de 40 % de concentré	Limite de toxicité
Vitamine A			
Lactation	4200	6600	
Gestation	6000	9000	66000
Vitamine D	1000	1000	10000
Vitamine E			
Lactation	15	40	
Gestation	25	-	2000

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les oiseaux

1. Oiseaux en croissance

Contenu des performances moyennes des diverses espèces d'oiseaux, on peut résumer les normes de besoins (exprimés comme recommandations en concentration par rapport à l'énergie métabolisable dans le tableau

Tableau : Recommandations en macroéléments des oiseaux en croissance (g/1000 kcal d'énergie métabolisable).

Age (j)	Calcium (CA)	Phosphore disponible (P)	Sodium (Na)	Potassium (K)	Chlore (Cl)
poulet					
0-21	3,14	1,35	0,46	0,63	0,38
22-42	2,50	1,25	0,46	0,63	0,38
43-abb.	2,30	1,05	0,46	0,63	0,38
Dindonneau					
0-28	3,76	1,80	0,46	0,75	0,38
28-84	3,35	1,67	0,46	0,70	0,38
Pintadeau					
0-28	3,14	1,35	0,42		0,36
29-56	3,12	1,20	0,38		0,34
57-abb.	3,10	1,00	0,38		0,34

2. Besoins alimentaires en minéraux et en vitamines

2.1. Besoins en minéraux et vitamines chez les oiseaux

2. Pondeuses

Parmi tous les minéraux, macro ou oligoéléments, le calcium doit être apporté en grande quantité à la poule lorsqu'elle assure la formation de la coquille. La teneur en calcium dans l'aliment doit être au moins égale à 3,5% pour obtenir des coquilles solides.

Les vitamines, qui doivent être apportés sous forme de pré-mélange dans l'aliment de la poule pondeuse sont indiqués dans le tableau.

Tableau : Addition recommandées de vitamines dans les aliments destinés aux pondeuses (en croissance ou en ponte) (UI ou ppm = g/tonne)

Vitamines	Unité de mesure	Croissance	Ponte
Vitamine A	UI/kg	10 000	8 000
Vitamine D3	UI/kg	2 000	1 600
Vitamine E	ppm	10	10
Vitamine K3	ppm	1	2
Vitamine B1	ppm	1,5	1,5
Vitamine B2	ppm	5	4
Ac. pantothénique	ppm	5	5
Vitamine B6	ppm	3	2
Vitamine B12	ppm	0,02	0,01
Vitamine PP	ppm	30	20
Acide folique	ppm	0,2	0,4
Biotine	ppm	-	-
Choline	ppm	500	500