

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

1. Composition des aliments

Les aliments distribués aux bovins sont composés d'eau et de divers nutriments : des glucides, des lipides, des matières azotées, des vitamines et des minéraux, ainsi que des substances totalement dépourvues de valeur nutritive, telle que la lignine. Lorsqu'un aliment est placé dans une étuve, l'eau contenue dans cet aliment s'évapore, on obtient une matière sèche (MS). Tous les aliments contiennent une certaine fraction de MS dont la teneur de l'herbe varie aux alentours de 20 %, alors que celle du foin et des céréales se situe plutôt respectivement aux environs de 85 et 90 %.

La MS comprend d'une part la matière organique (MO), caractérisée par la présence d'atomes de carbone, et d'autre part la matière minérale (MM). Les composants de la matière organique sont les glucides, les lipides, les matières azotées et les vitamines. La matière minérale comprend quant à elle, les minéraux.

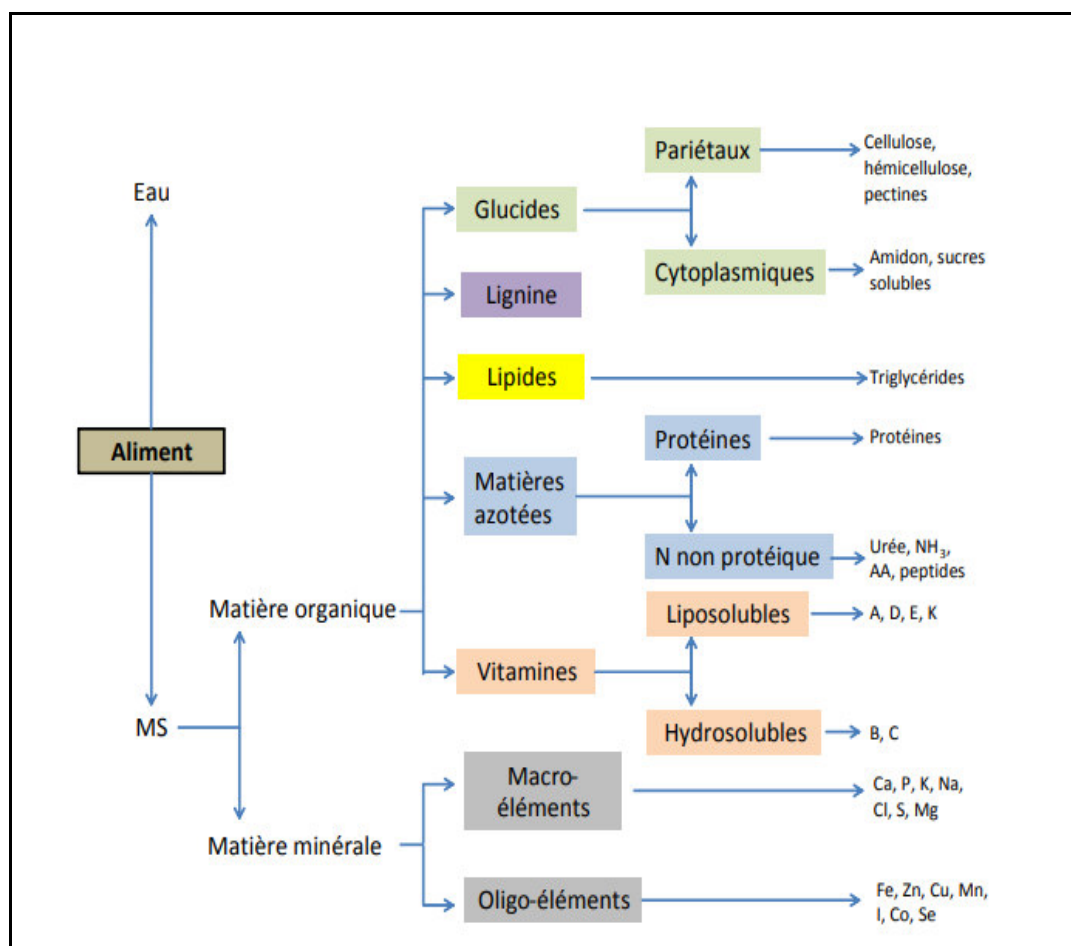


Figure 1: Composition des aliments

2. Apport hydrique

L'eau est le constituant le plus abondant de l'organisme. Sa proportion dans la masse corporelle totale diminue avec l'âge et l'état d'engraissement, 75% chez le veau à la naissance à 40% chez les bovins adultes très gras.

Les tissus des végétaux en pleine activité métabolique sont gorgés d'eau. Celle-ci forme normalement plus de 80% du poids de la matière végétale ; on y trouve deux types d'eaux, l'eau dissoute dont laquelle se trouve les substances hydrosolubles (protides, glucides, minéraux, vitamines et gaz), et l'eau fixe non mesurable. La première a un rôle fonctionnel et la deuxième un rôle plastique.

Chez les ruminants, l'eau du contenu digestif est importante 12-18% du poids vif. Le renouvellement rythmique de l'eau corporelle augmente avec l'intensité de la production, la température et la ration alimentaire (riche en Na Cl).

Les besoins en eau chez les ruminants sont couverts par l'eau totale ingérée (apport d'eau exogène) mais également par l'eau qui est produite dans l'organisme suite aux réactions métaboliques (oxydation des nutriments, polymérisation,...) ou suite aux catabolismes des glucides, lipides et protéines.

Dépenses en eau

Les animaux perdent de l'eau par cinq voies essentielles, il ya les dépenses liées à la :

***Digestion et au métabolisme**, ces dépenses augmentent avec la quantité de substances indigestibles et de déchets à éliminer dans les fèces et les urines

- Fèces : La quantité d'eau perdue par voie fécale est plus importante chez les ruminants que chez les monogastriques.
- Urines : La perte d'eau par voie urinaire augmente avec la quantité de produits de déchets du métabolisme que le rein doit éliminer (urée). L'excès d'eau ingéré (fourrage aqueux) est éliminé par l'urine.

***Thermorégulation**, ces dépenses dépendent de la température ambiante

- Poumons, peau: Les dépenses d'eau par vaporisation se fait par les poumons et la peau. La transpiration est absente chez certaines espèces (bovins).

* Production

- Chez la vache, le lait contient 87% d'eau

RQ : La mort de l'animal peut survenir si la perte d'eau dépasse 10% du poids du corps.

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

Fonction de l'eau dans l'organisme :

- Echanges nutritifs (absorption, transport, excrétion)
- Réactions métaboliques
- Régulation de la température (transport et élimination de la chaleur)
- Chez les ruminants suite à l'importance de la sécrétion digestive les échanges entre l'appareil digestif et le sang mettent en jeu des quantités d'eau considérables.

3. Constituants glucidiques

Les glucides peuvent se classer en deux catégories selon leur localisation ou répartition dans la cellule végétale. La première catégorie correspond aux glucides cytoplasmiques ou intracellulaires et la deuxième catégorie est celle des glucides pariétaux.

Tableau 1: Principaux glucides cytoplasmiques et constituants pariétaux d'une cellule végétale

Localisation	Dénomination		Unités constitutives
Contenu cellulaire	Sucres libres	Glucose Fructose Saccharose Mélbiose	Glucose, Fructose Glucose, Galactose
	Polyosides de réserve	Fructosanes Amidon	Fructose Glucose
Parois	Polyosides	Cellulose	Glucose
		Hémicellulose	Xylose, Arabinose, Galactose, Mannose, Glucose, Acide glucuronique
		Substances pectiques	Acide galacturonique, Arabinose, Galactose
	Substances non glucidiques	Lignine	Alcool coumarylique Alcool coniférylique Alcool synapylique
		Cires (cutine)	Alcools et acides gras à longue chaîne

3.1. Glucides cytoplasmiques

Ils sont contenus à l'intérieur de la cellule végétale. Ce sont des substrats ou des intermédiaires du métabolisme cellulaire des glucides, et des glucides de réserve. Les glucides cytoplasmiques comprennent donc :

- **Les glucides hydrosolubles :** Les glucides hydrosolubles (fructose, saccharose, glucose 3-8% de la MS) de digestibilité totale, ils représentent en général moins de 10% de la matière sèche des aliments d'origine végétale. Quelques graminées jeunes, des betteraves et de la mélasse sont beaucoup plus riches, leur concentration maximale est atteinte avant le début de l'épiaison des graminées et peu avant le début du bourgeonnement des légumineuses.

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

- **Les polyholosides de réserve (amidon) :** Le glucose produit lors de la photosynthèse peut être transformé en amidon. C'est sous cette forme qu'il est stocké dans le chloroplaste. Les amidons sont mis en réserve dans les plastes des cellules végétales. Chez l'animal, l'amidon est hydrolysé par une amylase. Les fructosanes sont accumulés à la base des tiges des graminées.

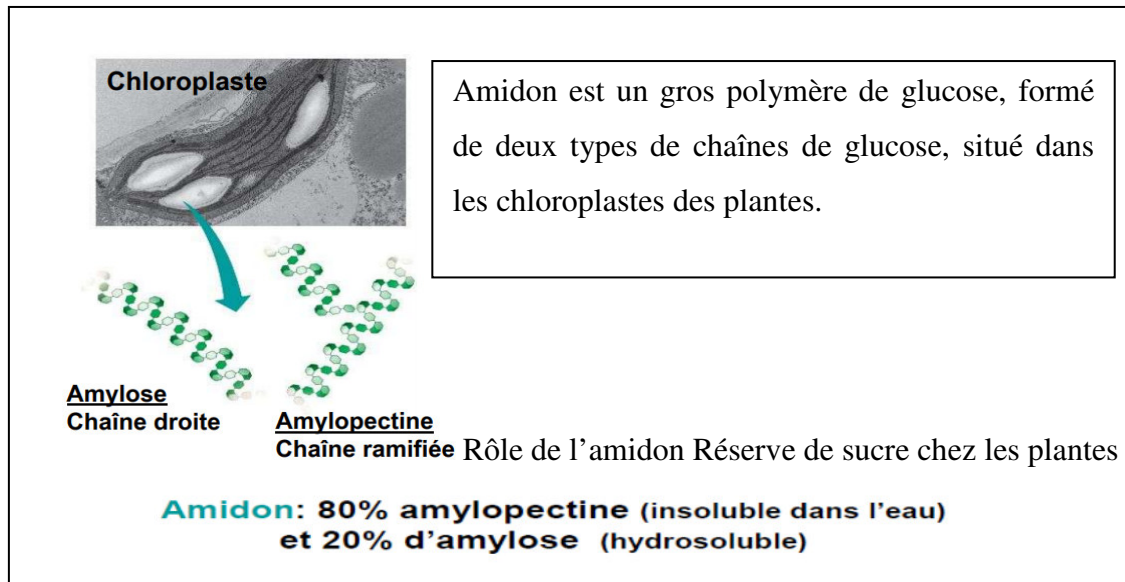


Figure 2 : Amidon sucre de réserve chez les plantes

3.2. Glucides pariétaux

Ceux sont les constituants des parois cellulaires, on distingue :

-Glucides proprement dits (polyosides), on dénombre 3 groupes de polyosides :

La cellulose, les hémicelluloses et substances pectiques : on ne les retrouve que dans les **aliments d'origine végétale** avec la lignine qui est un polymère phénolique. Les hémicelluloses et la cellulose sont systématiquement liées et enchevêtrées pour constituer la base de la paroi végétale. Les hémicelluloses sont moins résistantes à l'hydrolyse que la cellulose et elles ont une composition beaucoup plus variée

-Constituants non glucidiques, la lignine fait partie des constituants non glucidiques. Les pectines forment l'ensemble des fibres dites solubles.

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

Les glucides pariétaux ne peuvent pas être hydrolysés par les enzymes glycolytiques sécrétées par le tube digestif. Ces dernières ont une action α -glycosidase mais non β -glycosidase et ne sont pas capables d'hydrolyser les liaisons assemblant les polymères d'acide α -galacturonique composant les pectines.

3.2.1. Cellulose

C'est la principale molécule structurelle des plantes . C'est un polyholoside homogène de glucose (un polymère de glucose). De structure fibreuse, elle est constituée de longues chaînes de molécules de O-glucose, reliées les unes aux autres par des liaisons β -1,4-glucosidiques. La réunion de plusieurs de ces macromolécules linéaires, parallèles, forme une fibrille, ou micelle, dont la cohésion est assurée par les liaisons hydrogènes qui s'établissent d'une macromolécule à une autre, à partir des groupements hydroxyles. La réunion de ces fibrilles constitue les fibres, forme sous laquelle se présente la cellulose. Son aspect varie avec la plante, sa maturité et l'organe considéré.

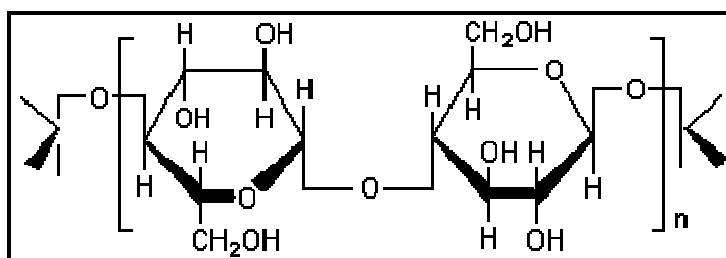


Figure 3 : Structure chimique de la cellulose

La cellulose est une molécule très longue et rigide de formule $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ (n compris entre 200 et 3000). Elle est formée de longues chaînes de molécules de glucose de B-D glucopyranose toutes reliées entre elles par des liaisons hydrogène (liaisons faibles) et dont les liaisons osidiques ne peuvent être rompues, au cours de la digestion, que par les enzymes bactériennes. La cellulose est le principal constituant de la paroi secondaire des cellules végétales, des tissus de soutien (collenchyme, sclérenchyme) et des vaisseaux du bois ou conducteur (xylème).

La cellulose ne peut être assimilée par l'être humain mais sa présence dans l'alimentation favorise le transit intestinal et protège l'organisme contre le cancer du côlon.

Les animaux herbivores utilisent en général des enzymes d'origine exogène, c'est-à-dire produites par les cellules de la flore intestinale pour digérer la cellulose.

Cellulose (paroi des végétaux)

polymère de β -glucose, non digestible
structure plane

....glc $\beta(1 \rightarrow 4)$ glc $\beta(1 \rightarrow 4)$ glc $\beta(1 \rightarrow 4)$

10 000 à 15 000 glc

**D-glucopyranoses
enchaînés via des
liaisons $\beta(1 \rightarrow 4)$**

Rôle de la cellulose

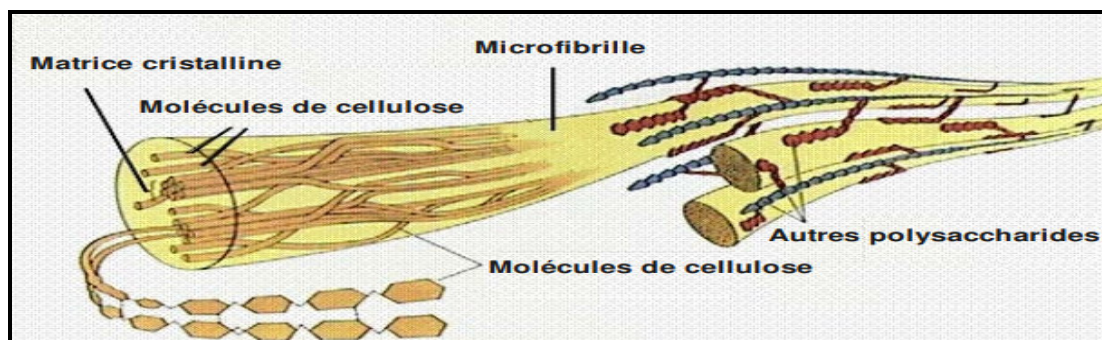
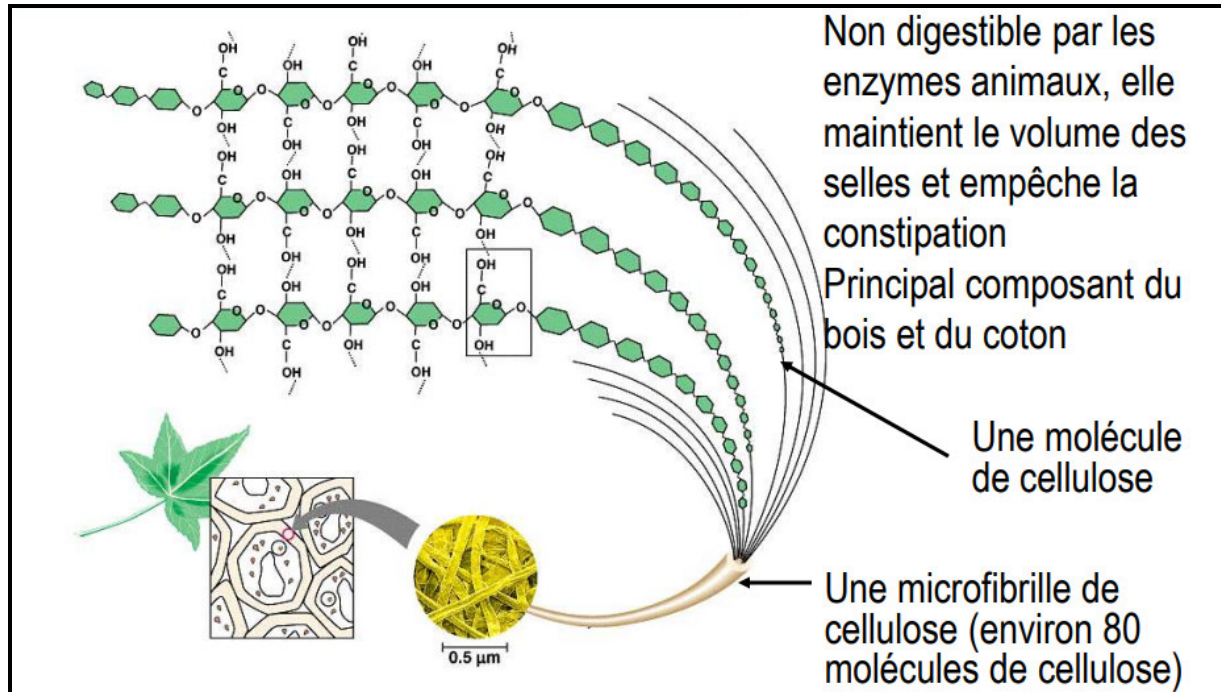


Figure 4 : Microfibrilles de cellulose.

Une microfibrille est composée de douzaines de molécules de cellulose qui s'assemblent en une matrice cristalline. Les microfibrilles peuvent interagir avec d'autres polysaccharides présents dans la paroi (hémicelluloses et, possiblement, pectines)

3.2.2. Hémicelluloses

Les hémicelluloses représentent, après la cellulose, le polysaccharide le plus abondant dans la nature. Elle constitue 30 à 45 % de la biomasse végétale terrestre formée essentiellement de chaînes de pentoses, qui sont les principaux constituants de la paroi primaire des cellules végétales (xylose, de quelques hexoses et d'acides uroniques).

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

Elles sont souvent associées à la lignine et sont moins digestibles que la cellulose vraie. Plus la plante vieillit, plus la teneur en hémicellulose augmente.

Les hémicelluloses sont un groupe de polysaccharides complexes qui se caractérisent par leur extractibilité de la paroi par des solutions alcalines. Elles diffèrent de la cellulose de par l'hétérogénéité de leur composition monosaccharidique. En général elles sont constituées de chaînes moléculaires plus courtes avec un degré de polymérisation souvent inférieur à 200.

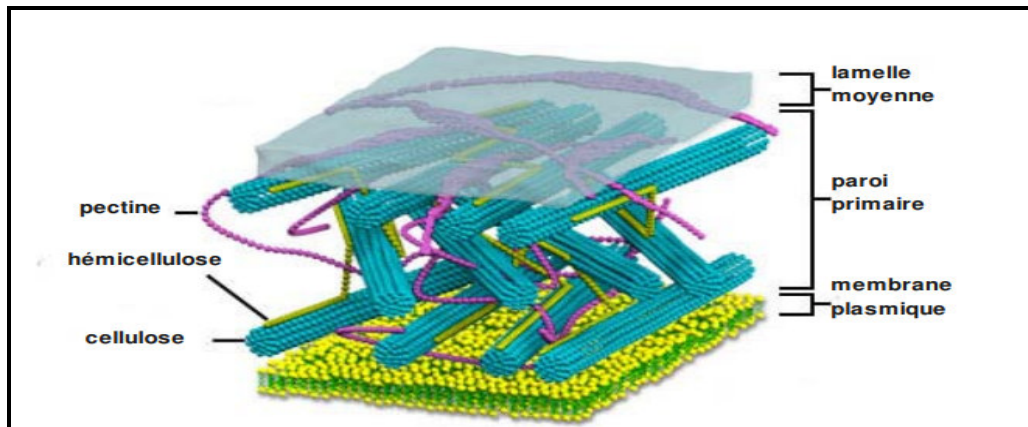


Figure 5 : Modèle simplifié de la paroi primaire.

La cellulose interagit avec les hémicelluloses, les pectines formant une matrice occupant le reste de l'espace.
. La zone de contact entre deux cellules est appelée lamelle moyenne.

3.2.3. Substances pectiques

Les pectines forment un groupe de polysaccharides complexes qui ont comme caractéristique d'être extraits de la paroi par de l'eau chaude, des acides dilués,... Ce sont les constituants essentiels de la lamelle moyenne à la base du « ciment » qui réunit les cellules entre elles. La structure principale des pectines est formée de chaînes faiblement polymérisées d'acides galacturoniques liés en α -(1→4), appelé acide polygalacturonique, sur lesquelles s'insèrent des résidus de L-rhamnose.

3.2.4. Lignine

La paroi des cellules végétales comprend également un composé non glucidique, la lignine. Cette substance, qui s'associe aux glucides pariétaux et dont la teneur augmente avec l'âge de la plante, est presque totalement non dégradable dans le tube digestif du ruminant.

Les **lignines** (dulatin *lignum* qui signifie bois), sont des polyphénols, tridimensionnelles hydrophobes de haut poids moléculaire. Leur structure résulte de la copolymérisation de trois monomères aromatiques de type phénylpropène : l'alcool coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique. **A la fin du développement cellulaire, la lignine incruste ainsi la cellulose et les hémicelluloses, ce qui assure la rigidité de la paroi.**

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

Les lignines sont difficilement dégradées, très résistantes à de nombreux agents chimiques et biochimiques; seules certaines bactéries et champignons, comme les Polyphores, sont capables d'assurer la lignolyse.

La lignine est un des principaux constituants du bois, le deuxième en importance après la cellulose. Surnommée la « colle naturelle du bois », elle est utilisée comme liant dans la composition de plusieurs produits. Une autre caractéristique de la lignine est qu'elle est tensioactive, c'est-à-dire qu'elle a la capacité de combiner et de stabiliser deux substances qu'on ne pourrait pas lier autrement.



Figure 6 : Séquoia géant résiste à la hauteur grâce à la lignine

3.2.5. Autres constituants

Les substrats lignocellulosiques renferment également des lipides, des protéines ainsi que des substances de faible poids moléculaire, tels que les extraits et minéraux, spécifiques à chaque essence.

La paroi contient généralement entre 3 et 6% de protéines, souvent sous forme de glycoprotéines, dont les extensines. Les autres sont des enzymes telles que la peroxydase ou diverses glycosidases.

4. Matières azotées

Les matières azotées sont représentées par des protéines et de l'azote non protéique. Une protéine est constituée d'une longue chaîne d'acides aminés (AA). En alimentation, 20 AA différents sont pris en considération, dont pratiquement la moitié d'entre eux sont considérés comme essentiels car ne pouvant être synthétisés par l'animal. Ils doivent donc être impérativement présents dans les aliments consommés.

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, la croissance, la reproduction et la lactation. Les animaux non-ruminants ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. Par contre, grâce aux microorganismes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non-protéique (ANP) une part substantielle de ces acides aminés sont digérés dans l'intestin. Des AA, tels que la méthionine et la lysine, sont cependant considérés comme « limitants » : leur synthèse via les microorganismes du rumen ne couvre pas toujours les besoins de la vache en production. L'azote non protéique comprend les peptides (chaînes d'AA limitées), les AA, l'urée et l'ammoniac (NH₃).

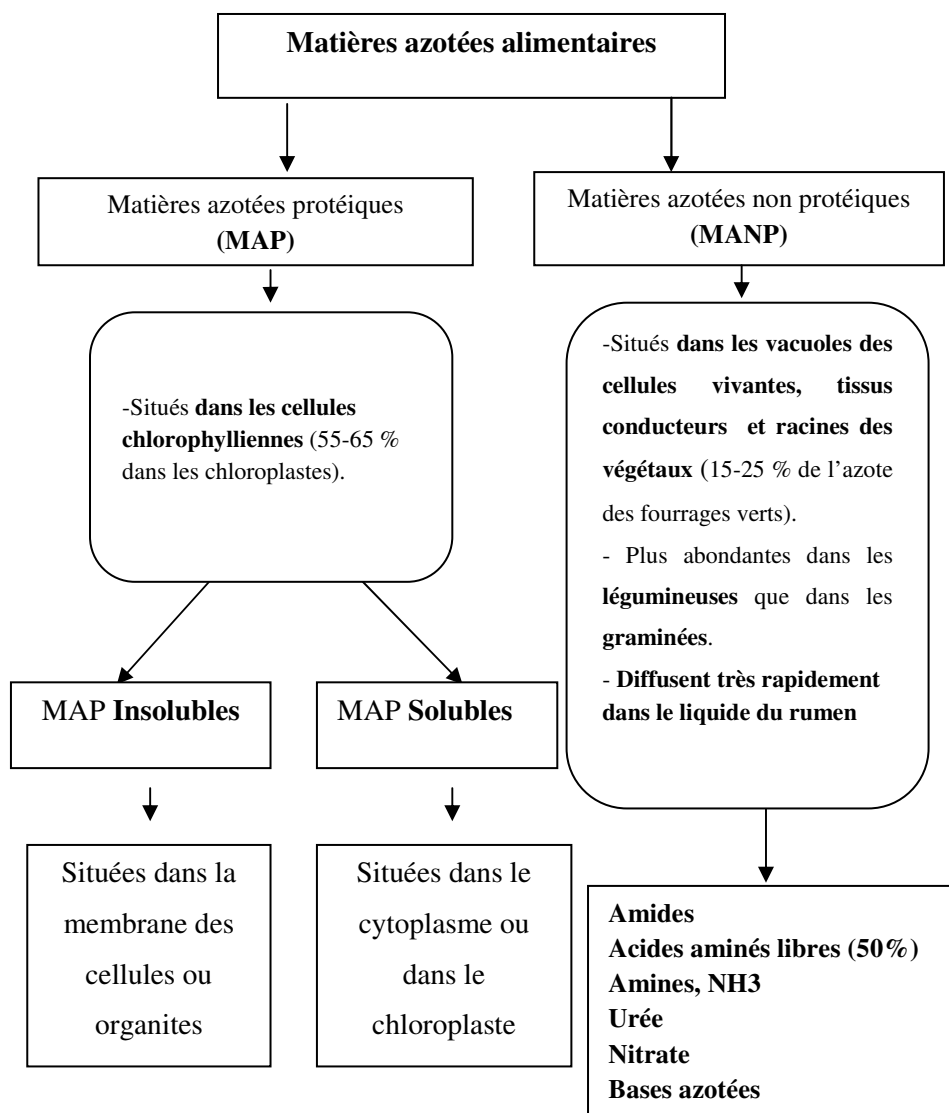


Figure 7 : Classification des matières azotées alimentaires

5. Lipides

Les lipides sont également appelés matières grasses. Les principaux constituants lipidiques des végétaux sont en général des triglycérides, c'est-à-dire des molécules comprenant :

1 glycérol + 3 acides gras. Les matières grasses sont caractérisées par la nature des acides gras qui les composent. Ainsi, on peut classer les acides gras selon leur longueur :

- Acides gras volatils (AGV) avec 2, 3 ou 4 atomes de C
- Acides gras à courte chaîne (entre 5 et 10 atomes de C)
- Acides gras à chaîne moyenne (12 à 16 atomes de C)
- Acides gras à longue chaîne (18 ou plus de 18 atomes de C)

Les acides gras sont des acides carboxyliques à chaîne aliphatique hydrophobe, saturés ou non saturés. Les acides gras se différencient par la longueur de leur chaîne carbonée, mais aussi par le nombre, la position et la configuration spatiale des doubles liaisons.



Figure 8 : Configuration spatiale en Cis et en Trans

On peut également les classer en fonction de la présence ou de l'absence de double liaison sur leur chaîne carbonée :

*Acides gras saturés (sans double liaison) :

*Acides gras insaturés (avec 1 double liaison ou plus) :

Acide gras mono insaturé : possède 1 double liaison

Acide gras poly insaturé : possède plus d'une double liaison

Certains acides gras sont considérés comme « essentiels » pour toutes les espèces animales, ils doivent impérativement être apportés par l'alimentation car l'animal ne peut les synthétiser. Ils peuvent par contre être synthétisés par les microorganismes hébergés dans leur tube digestif. Ainsi chez les ruminants, cette synthèse s'opérant dans le rumen, il n'est pas indispensable d'apporter ces acides gras dans leur alimentation (acides linoléique et oléique sont les principaux acides gras insaturés essentiels des céréales).

RQ : Les lipides représentent 2 à 5 % de la plupart des aliments des ruminants.

6. Matières minérales

Les éléments minéraux sont présents dans l'organisme soit sous forme de sels (chlorures, carbonates, phosphates, sulfates) soit inclus dans des molécules organiques (acides nucléiques, hormones, hémoglobine). L'organisme des animaux renferme de 3 à 5% d'éléments minéraux. Cette proportion varie avec l'espèce, l'âge, et l'état d'engraissement.

Les éléments minéraux sont classés en deux groupes selon leur concentration dans les organismes des animaux :

- **Les éléments minéraux majeurs ou macroéléments**, présents en quantités relativement importantes et pour lesquelles l'unité de mesure est le gramme, ils représentent 99% des éléments minéraux de l'organisme

Ce sont le calcium(Ca), phosphore(P), magnésium(Mg), Potassium(K), sodium(Na), chlore(Cl), soufre (S).

- **Les éléments traces ou oligoéléments** présents en quantités très faibles. Leur unité de mesure est le milligramme, leur teneur est généralement exprimée en ppm (parties par million).

Ce sont le fer (Fe), le cuivre (Cu), manganèse (Mn), zinc (Zn), cobalt (Co), l'iode (I), sélénium (Se), molybdène (Mo)

RQ : L'efficacité de l'alimentation minérale dépend du respect de certains équilibres entre minéraux ou entre minéraux et vitamines principalement.

6.1. Fonctions des éléments minéraux

6.1.1. Formation du squelette

L'os est le principal réservoir minéral de l'organisme. L'ostéolyse et l'ostéosynthèse coexistent. Le dépôt des minéraux permet l'ossification qui a lieu lorsque l'accrétion l'emporte. Tandis que lorsque la résorption l'emporte, l'os se déminéralise et devient fragile.

L'os adulte contient 25% de matières minérales (45% par rapport à la matière sèche) : 99% de Ca, 80% de P, 65% de Mg, 40% de Na et 5% du K de l'organisme

Régulation hormonale du métabolisme phosphocalcique de l'os

Le métabolisme phosphocalcique de l'os est régulé par des actions hormonales mettant en jeu trois éléments :

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

- Un dérivé de la vitamine D3, 1,25 dihydroxycholécalférol ($1,25 (\text{OH})_2 \text{D}_3$) est considérée comme une hormone dont sa production est contrôlée en fonction de la calcémie. Elle stimule la fixation de calcium et phosphore dans l'os.
- La parathormone (PTH) produite par les glandes parathyroïdes, favorise l'ostéolyse pour libérer le calcium osseux et stimule la production de $1,25 (\text{OH})_2 \text{D}_3$. L'hypocalcémie stimule sa production par contre l'hypercalcémie la freine.
- La calcitonine (CT) produite par la glande thyroïde est antagoniste de la PTH en s'opposant à l'ostéolyse en favorisant le dépôt de calcium dans l'os et protège le squelette de la déminéralisation.

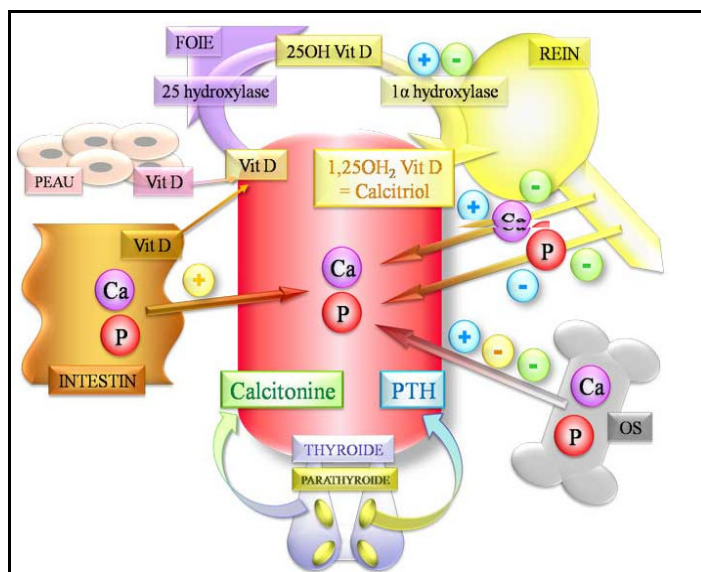


Figure 9 : Régulation hormonale du métabolisme phosphocalcique de l'os

6.1.2. Fonctionnement de la cellule

Plusieurs minéraux interviennent dans le fonctionnement de la cellule notamment dans :

- Le transport de l'énergie
- L'excitabilité neuromusculaire
- Les paramètres physico-chimiques

6.1.3. Réactions biochimiques

Les minéraux participent à la régulation des réactions biochimiques, ils interviennent comme constituants ou activateurs d'enzymes, d'hormones et de vitamines. Exemple : le calcium nécessaire à l'activation de plusieurs enzymes digestives.

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

6.1.4. Micro organismes du rumen

Les minéraux exercent dans le rumen deux rôles d'abord en agissant sur certaines propriétés physico-chimiques de l'environnement (pH, pouvoir tampon) et en intervenant dans le métabolisme propre des micro-organismes.

6.2. Effet de Carence des macroéléments :

Les carences peuvent se manifester de façons très différentes, elles peuvent affecter le fonctionnement de l'organisme, le squelette de l'animal ainsi que les niveaux de performances.

Tableau 2 : Répartition des macro-éléments dans l'organisme, rôles, carences

	Répartition/ organisme	Rôle	Symptômes
Calcium 1,3 à 1,8 % et Phosphore 0,8 à 1% (PV)	Ca : Squelette Plasma sanguin P : Abondant ⁺⁺⁺ tissus mous	- Formation du squelette et des dents - Constituant de molécules organiques surtout le phosphore (acides nucleiques, phospholipides, caséines, coenzymes)	-Diminution des productions -Perte d'appétit -Amaigrissement -Rachitisme -Ostéomalacie Baisse de fertilité Absence de chaleurs (non décelables) } Carence P
Magnésium 0,04 à 0,05% du PV	70 à 75% : Squelette	-Formation de l'os -L'excitabilité neuromusculaire -Réactions enzymatiques	- Les carences sont rares -Principalement nerveux (tétanie d'herbage chez la vache laitière) - Chez le veau (<0,11g/l de Mg dans le lait) provoque un ralentissement de croissance, tétanie, mortalité.
Sodium et Chlore	Localisation extracellulaire Na : 90% des cations du plasma sanguin ¼ du Na dans le squelette	-Régulation de la pression osmotique cellulaire. -Equilibres électrolytiques et acido-basiques -Synthèse de l'acide chlorhydrique du suc gastrique (chlore) -Absorption intestinale (Na)	Carence en Na : -Léchage -diminution de l'appétit -chute des productions
Potassium	Localisation intracellulaire Muscle : 300 à 400mg/100g (75% du P de l'organisme) Sang : 20mg/100g	-Contraction musculaire -Excitabilité neuromusculaire (antagoniste Ca et Mg)	Excès K/Na >10
Soufre	Constituant organique	-Constituant des acides aminés soufrés, cystine et méthionine, vitamine (biotine, thiamine) hormones (insuline) -synthèse protéique à partir de NH ₃ (microorganismes du rumen)	

Chapitre 1 : Constituants des aliments des ruminants

6.3. Oligoéléments

Ils jouent un rôle catalytique, notamment pour la synthèse de systèmes enzymatiques ou d'hormones.

Tableau 3 : Rôle de quelques oligo- éléments

Oligo éléments	Rôles essentiels
Fer	Constituant de l'hémoglobine et de la myoglobine
Cuivre	Intervient dans plusieurs systèmes enzymatiques
Cobalt	Constitue la vitamine B12
Manganèse	Formation du squelette
Iode	Constituant de la thyroxine (hormone de la glande thyroïde)
Zinc	Intervient dans plusieurs systèmes enzymatiques (respiration cellulaire)
Sélénium	Antioxydant

Tableau 4 : Proportions relatives des éléments minéraux dans un organisme de mammifère

Macroéléments	g/kg	Oligoéléments	mg/kg
Calcium	16	Fer	70
Phosphore	10	Zinc	30
Potassium	2,5	Manganèse	3
Soufre	2,0	Cuivre	2
Sodium	1,5	Iode	0,4
Chlore	1,0	Sélénium	0,2
Magnésium	0,5	Cobalt	0,02