

Matière : Alimentation et Rationnement

Crédits : 6

Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement :

Apprendre à l'étudiant les bases de la détermination des besoins nutritionnels et de l'établissement des rations alimentaires. A l'issue de cet enseignement l'étudiant doit être sensibilisé sur les répercussions de la conduite alimentaire sur l'entretien des animaux d'élevage et sur la qualité de leurs productions.

1- Les objectifs et la place des filières des productions animales

-Production animale.

Définition :

La production animale correspond à une activité de transformation de ressources alimentaires, qui sont pour la plupart des végétaux non valorisables directement par l'homme, en produits animaux qui se caractérisent par des valeurs nutritives énergétique et surtout azotée élevées pour l'homme. Ainsi, les protéines des produits animaux contiennent de 30 à 40% d'acides aminés essentiels alors que la plupart des protéines végétales en contiennent moins de 30, voire de 20 %.

La **zootechnie est** définie comme l'intégration de plusieurs sciences appliquées et techniques (nutrition, génétique, reproduction, pathologie...) en vue d'améliorer les conditions et la rentabilité des activités d'élevage.

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

retrouve également à une échelle dynamique. Ainsi la consommation de protéines animales s'est régulièrement accrue en Europe au cours du dernier siècle avec une saturation sur les dernières années.

I.1. Les défis et contraintes des filières animales

La nécessité de produire plus pour nourrir une population urbaine croissante qui, en raison de l'augmentation du niveau de vie, exprimait une demande individuelle accrue en protéines animales a été la problématique dominante des filières des productions animales du début du 20^{ème} siècle. Récemment, en raison de l'apparition d'un plafonnement de certaines consommations, une politique de contrôle quantitatif de certaines productions (cf. les quotas laitiers) a été mise en place à l'échelle européenne. Après la dernière guerre mondiale, les progrès de la recherche, en économie rurale en particulier, ont fait émerger la préoccupation de productivité et, de ce fait, d'efficacité biologique de la transformation des matières premières en produits animaux commercialisés. A cet objectif s'est ajouté, à partir des années 65-70, un intérêt croissant vis-à-vis de la composition du produit élaboré. Cette préoccupation a évolué vers la notion de qualité des produits qui a pris de nos jours une importance considérable tout en se diversifiant : qualité diététique, sécurité alimentaire... Plus récemment l'intensification et la forte densité agricole de certaines régions a entraîné des problèmes de pollution du milieu environnant qui oblige à mettre en place des recherches et prendre des mesures appropriées. A l'opposé, l'apparition récente de zones de déprise agricole soulève le problème de leur entretien, du maintien du paysage rural et la question de la place de l'animal dans ce processus.

I.2. Utilisation et constitution des aliments

I.2.1 La composition des aliments : Lorsqu'on place un aliment dans une étuve, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il subsiste un résidu sec, appelé matière sèche (MS). La MS comprend d'une part la matière organique : glucides pariétaux (communément 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 matière minérale macroéléments et oligo-éléments, Figures 1.

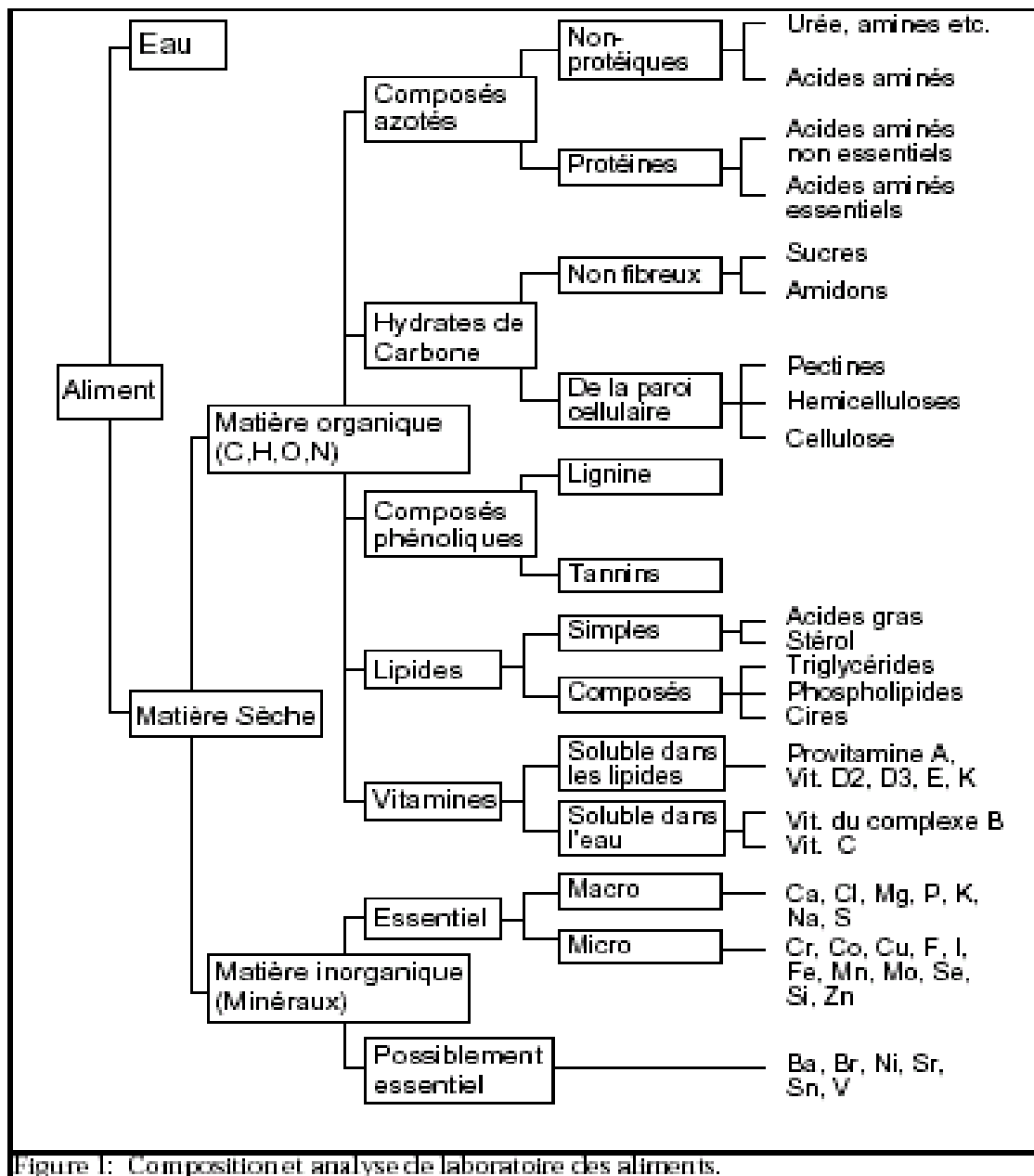


Figure.1. Composition des aliments.

1.2.2. Schéma de l'utilisation des aliments,

• 1.2.2.1- Constituants glucidiques

1.2.2.2. Classification biochimique des glucides

• 1- Monosaccharides (oses) (1 unité de glycose)

A- Trioses ($C_3H_6O_3$)

B- Tetroses ($C_4H_8O_4$)

C- Pentoses ($C_5H_{10}O_5$) : Ribose, Arabinose, Xylose, Xylulose

D- Hexoses ($C_6H_{12}O_6$) : Glucose, Galactose, Mannose, Fructose

- **2- Oligosaccharides (2-10 unités de glucose)**
 - A- Disaccharides (C₁₂H₂₂O₁₁): Sucrose, Maltose, Cellobiose, Lactose
 - B- Trisaccharides (C₁₈H₃₂O₁₆): Raffinose
 - C- Tetrasaccharides (C₂₄H₄₂O₂₁): Stachyose
 - D- Pentasaccharides (C₃₀H₅₂O₂₆): Verbascose

- **3- Polysaccharides(Polyosides) (>10 unités de glucose)**
 - A- Homoglycanes (même unité de glucose)
 - A1- Pentosanes (C₅H₈O₄)_n : Arabans, Xylans
 - A2- Hexosanes (C₆H₁₀O₅)_n
 - a- Glucanes
 - Amidon: liaison alpha
 - Dextrines: liaison alpha
 - Glycogène: liaison alpha
 - Cellulose: liaison bêta
 - b- Fructanes
 - c- Galactanes
 - d- Mannanes
 - B- Hétéroglycanes (2-6 unités de glucose différentes)
 - B1- Pectines : liaison alpha
 - B2- Hémicelluloses : liaison bêta
 - etc

- **4- Composantes spéciales**
 - A. Cutines
 - B. **Lignine** (n'est pas un hydrate de Carbone)

I.3. Classification selon la localisation dans la cellule

- On distingue 2 grandes catégories de glucides selon leur localisation dans la cellule végétale (figure 3):
 - Les glucides cytoplasmiques ou intracellulaires,
 - Les glucides pariétaux.

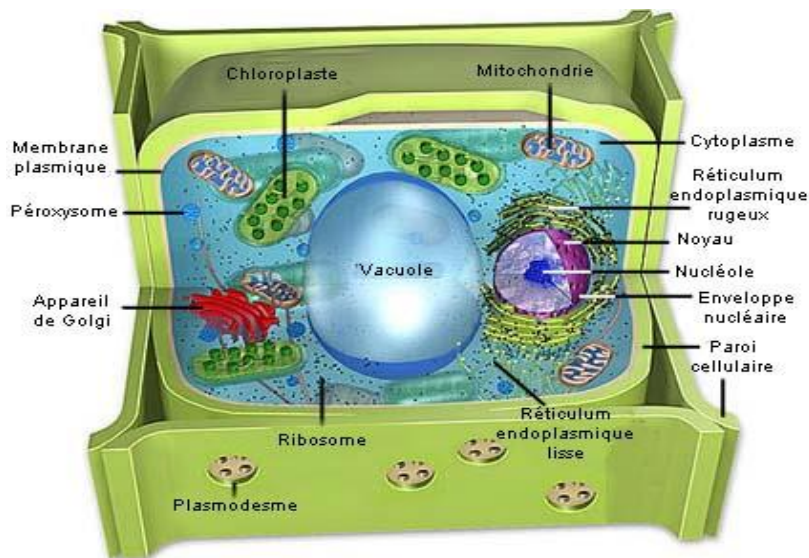


Figure 3. Constituants d'une cellule végétale.

I.3.1. Les glucides intracellulaires :

Sont constitués des sucres hydrosolubles, des grains d'amidon et des fructosanes:

- Sucres hydrosolubles : <10% de la MS des aliments d'origine végétale, sauf quelques graminées jeunes, betterave, mélasse qui st ++ riches.

La concentration max est atteinte avant le début de l'épiaison des graminées et peu avant le début du bourgeonnement des légumineuses.

- Amidons: abondants dans les grains, tubercules, leurs sous-produits.
- Fructosanes: s'accumulent à la base des tiges des graminées.

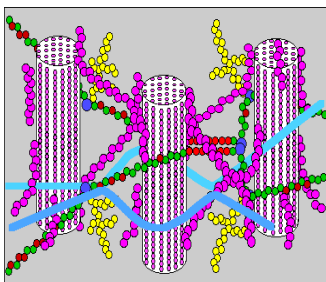
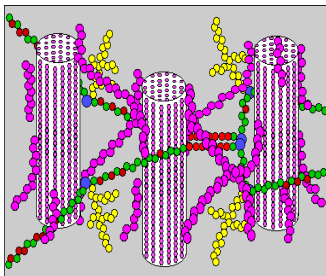
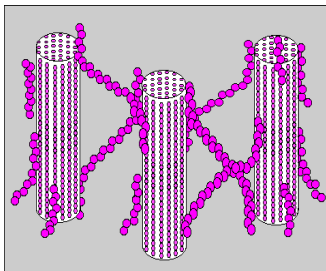
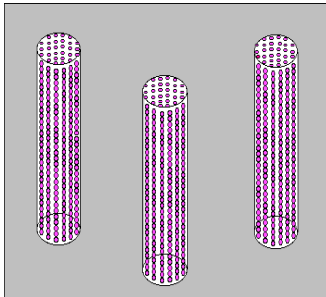
I.3.2. Les glucides pariétaux :

Sont les constituants des parois cellulaires:

- Les glucides proprement dits (polyosides):
 - la cellulose,
 - les hémicelluloses,
 - les substances pectiques.
- Les constituants non glucidiques qui leur sont associés:
 - la lignine

I.3.4. La cellulose :

- Est le principal constituant de la paroi des cellules végétales, des tissus de soutien et des vaisseaux du bois (xylème)
- Est formée de longues chaînes de molécules de glucoses dont les liaisons osidiques ne peuvent être rompues au cours de la digestion que par les enzymes bactériennes.



La paroi ne contient pas que des polysaccharides. Les autres constituants les plus importants sont :

I.3.5. La lignine: formée d'alcools, incruste progressivement les fibres polysidiques des tissus de soutien et des vaisseaux ligneux.

C'est une substance totalement indigestible.

L'eau : les constituants polysaccharidiques sont hydrophiles et la paroi contient un très fort pourcentage d'eau

I.3.6- Constituants azotés

- MAT: calculée à partir du dosage de N,
- Ils sont surtout dans le cytoplasme des cellules,
- Leur classification est fondée sur leur nature chimique ou sur leur solubilité.

Classification des matières azotées

| | | Classification | | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------|
| | | Chimique | Selon Solubilité | |
| Matières Azotées Totales (MAT) (Prot. Brutes) | Protéines (+ de 100 AA) -hétéroprotéines -holoprotéines Polypeptides complexes (de 10 à + de 100 AA) Acides aminés | Mat Azotées Protidiques | Mat Azotées Protéiques ou Protéiniques | Non solubilisées |
| | Bases azotées (formes cycliques, constituants des ac. nucléiques) Amines – Amides Formes azotées simples (NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺) | Mat Azotées Non Protidiques | Mat Azotées Non Protéiques ou Non Protéiniques | |

Classification chimique

- Les MA protidiques donnent par hydrolyse des AA. Elles comportent les protéines, les peptides et les AA libres.
- Les MA non protidiques ne sont pas constituées d'AA. Ce st: bases azotées des ac. nucléiques, amines, amides (urée), formes azotées simples.

Classification selon la solubilité

Solvants utilisés : Ethanol à 80% ou ac. Trichloroacétique à 10%.

- Les MA protéiques, non solubilisées dans ces solvants, st constituées essentiellement de protéines.
- Les MA non protéiques sont solubles dans ces solvants.

St localisées dans les vacuoles des cellules => sont rapidement accessibles lors de la digestion.

Une teneur élevée en MA non protéiques reflète l'intensité de la protéolyse réalisée dans certains aliments comme les ensilages

• I.3.7.- Constituants lipidiques

- Chez végétaux, localisés dans:
 - les chloroplastes des cellules,
 - les germes des grains,
 - la cuticule des feuilles.
- Ce st des triglycérides (esters d'AG et de glycérol)

- Une MG est caractérisée par les † AG qui la composent.
Les AG sont classés selon le nombre de C :
 - AG courts ou volatils: C1-C4,
 - AG moyens: C6-C14,
 - AG longs: C16-C22

et du nombre de doubles liaisons (degré d'insaturation).

Solvants utilisés: Ethanol à 80% ou acide trichloracétique à 10%.

- Les MA protéiques, non solubilisées dans ces solvants, st constituées essentiellement de protéines.
- Les MA non protéiques sont solubles dans ces solvants.

St localisées dans les vacuoles des cellules => st rapidement accessibles lors de la digestion.

Une teneur élevée en MA non protéiques reflète l'intensité de la protéolyse réalisée ds certains aliments comme les ensilages.

I.4.- Analyse des aliments

1- Matière sèche (ou humidité):Perte d'eau par dessiccation jusqu'à poids constant, pendant environ 48 h, à 50-70 °C.

2- Matière minérale (cendres):Echantillon mis dans un four, pendant 12 h, à 550 °C.

3- Matière grasse (extrait étheré):L'extraction à l'éther peut surestimer le taux de MG, car peut aussi extraire certains pigments liposolubles.

4- Matières azotées (MAT):L'azote est dosé par la méthode de Kjeldhal:

- Attaque par un acide (H₂SO₄)
- Distillation en présence d'une base (NaOH) -> libération de NH₃ (base)
- Titration par une solution acide (HCl) de normalité connue
- $MAT = N_t \times 6.25$

5- Cellulose brute (CB Weende):

Echantillon broyé
Hydrolyse acide (H₂SO₄ à chaud)
Hydrolyse alcaline (NaOH à chaud)

Résidu P1 : MM, CB

Four

Résidu P2 : MM

6- Extractif Non Azoté (ENA)

ENA=MO-(MG+MAT+CB), calculé par différence

1- Fibres de Van Soest: NDF, ADF, ADL

Constituants cytoplasmiques:

MM + MG + MAT + Vit + Glucides hydrosolubles + Amidon

Constituants pariétaux:

Cellulose + Hémicellulose + Lignine + Substances pectiques

L'analyse de Van Soest repose sur 3 déterminations:

- NDF=Cellulose+HC+Lignine
- ADF=Cellulose+Lignine (Lignocellulose)
- ADL=Lignine
- Hémicellulose=NDF-ADF
- Cellulose=ADF-ADL

○ **B- Fourrages**

- Les fourrages (F): souvent riches en glucides pariétaux,
- Ils sont nécessaires dans la ration sf de longues particules (+ 2,5 cm) pour un bon fonctionnement du rumen.
- Diverses familles botaniques: graminées, légumineuses, crucifères.
- On distingue:
 - F verts contenant 10-30% de MS,
 - Ensilages contenant 30-40% MS,
 - F secs (foins et F déshydratés): 85-95% MS.

Fourrages verts

- Les ≠ parties constitutives d'un F ne présentent pas les mêmes caractéristiques.
- Chez graminées: 1er cycle de végétation- la proportion de limbes décroît vite; celle des tiges, des gaines et des épis s'accroît.
- Chez légumineuses:
 - au cours d'un cycle donné: la proportion de feuilles diminue moins vite que chez les graminées.
 - au cours des cycles successifs, la part des feuilles s'accroît.
 - les inflorescences sont moins importantes que chez graminées.

Stade de coupe optimal:

- Début épiaison chez graminées,
- Milieu floraison chez légumineuses

Ensilages

Méthode de conservation qui met en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies, notamment les bactéries lactiques

- Valeur alimentaire d'un F conservé = ou < F vert
- L'ac. lactique élaboré fait baisser le pH, ce qui inhibe tout autre développement bactérien et assure ainsi la stabilisation de l'alt.
- La bonne conservation, quand $\text{pH} \leq 4$.

Excellent ensilage si: installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique. Il faut donc :

- Une bonne et rapide anaérobiose (fort tassement, étanchéité des parois et de la couverture du silo).
- Le pH doit être abaissé le + vite possible (l'aliment doit contenir des sucres solubles utilisables par la flore lactique, les aliments ne doivent pas présenter de fort pouvoir-tampon).
- Pas de contamination par des spores de clostridies

Foins

- Le fanage réalisé grâce: chaleur, ensoleillement, vent.
- Qualité d'un foin fonction de: qualité de la plante coupée, conditions météo, techniques de fenaison (pertes).

Pailles

- Caractérisées par leur forte teneur en parois lignifiées, leur faible teneur en MAT et en sucres.
- Ce sont des « Fourrages » pauvres. Leur utilisation nécessite une complémentation énergétique, azotée, minérale et vitaminique.

II – LES ALIMENTS DES ANIMAUX

Les aliments destinés à être transformés en produits animaux présentent une très grande diversité d'origine, de nature, de traitement technologique. Ils sont caractérisés par les résultats de leur analyse chimique et par leur groupe d'appartenance typologique.

II.1. Analyse des aliments

La caractérisation d'un aliment se fait à l'aide d'analyses chimiques destinées à en connaître la composition. L'analyse classique d'un aliment consiste à mesurer ses teneurs en

- Eau (\square par différence matière sèche ou MS)
- Cendres ou matières minérales (\square matières organiques par différence)
- Matières azotées totales (= N x 6.25)
- Extrait éthéré ou matières grasses brutes
- Cellulose brute (= résidu de substances pariétales)
- Extractif non azoté (= autres glucides cellulaires ou pariétaux, résidu non dosé)

D'autres analyses sont applicables :

Paroi végétale (N.D.F. = neutral detergent fibre), Lignocellulose (A.D.F. = acid detergent fibre), Lignine, Amidon, Acides aminés, ... par exemple, les larges variations entre aliments des teneurs en protéines brutes, ou matières azotées totales, et en parois végétales.

II.2. Les différents types d'aliments

On peut classer les aliments qui entrent dans l'alimentation animale de différentes façons :
Selon leur composition ou intérêt nutritif

-Selon leur mode de conservation

- Selon leur utilisation dans l'alimentation animale

Mais le classement le plus courant consiste d'abord à séparer deux catégories :

- Les aliments **grossiers** (foins et pailles..)
- Les aliments **concentrés** (maïs, blé, orge..)

Un aliment concentré est un aliment qui occupe peu de volume pour une valeur nutritive relativement élevée (céréales, tourteaux, aliments concentré du commerce..). Il comprend généralement peu de cellulose et peu d'eau. Ces aliments constituent la ration des volailles et servent à compléter la ration des herbivores.

Les aliments concentrés sont classés selon leur composition en :- Aliments concentrés simples et aliments concentrés composés.

Aliments concentrés simples : Ils sont constitués d'un seul produit, on distingue

- Les céréales (orge, maïs, seigle, avoine,..)
- Les graines d'oléo protéagineux (pois, vesce, féverole..)
- Les sous-produits des IA (industries agro-alimentaires), les tourteaux (résidus de l'extraction des huiles des graines ou fruits oléo protéagineux).

II.2.1. Aliments composés : Ils sont constitués d'un mélange d'aliments simples

II.2.2 Aliments composés complets : A eux seuls ils apportent tous les éléments nécessaires à l'animal. Il n'est pas nécessaire d'ajouter un autre aliment. (lait en poudre pour jeunes animaux, aliments pour volailles..)

II.2.3. Aliments composés complémentaires : Ce sont des aliments dont la formulation est complexe, qui s'utilisent sous forme de poudre, granulés ou miettes. Ils complètent la ration de base constituée par des aliments grossiers.

C- Racines, tubercules et leurs sous-produits

- résultent de l'accumulation de réserves glucidiques dans leurs parties souterraines (racines de betteraves, carottes, manioc, pommes de terre)
- riches en eau (75-80% d'eau).
- riches en hydrates de carbone digestibles (énergie) mais pauvres en protéines (moins de 10%).
- ingestibles (++) palatabilité) et digestibles.
- Les sous produits ont les mêmes caractéristiques que les matières Ires.

• D- Aliments concentrés

- pauvres en fibre et riches en énergie
- variables en protéines: grains de céréales < 12%; tourteaux > 30%.
- grande palatabilité, donc ingérés rapidement.
- faible volume par unité de poids (densité élevée).

- ne stimulent pas la rumination.
- fermentent plus rapidement ds le rumen et donc ils augmentent l'acidité de son contenu, => effet négatif sur la fermentation des fibres, acidose.

Catégories

1. Céréales
2. Graines protéagineuses et oléagineuses
3. Sous produits de l'industrie:
 - i. Tourteaux
 - ii. ss produits de meunerie
 - iii. ss produits de l'industrie de sucre
 - iv. ss produits de brasserie
 - v. autres (pulpes d'agrumes, ...)
4. Aliments d'origine animale
5. Organismes unicellulaires (levures)
6. Matières grasses

1. Les grains de céréales

- riches en énergie, mais pauvres en protéines.
- augmentent la « densité énergétique » des rations.
- L'amidon des grains moulus est, en général, fermenté facilement dans le rumen et libère beaucoup d'énergie.
- Cependant si la quantité ++, le temps de rumination et la quantité de salive produite sont fortement réduits. Ceci perturbe le bon fonctionnement du rumen (acidose) et provoque une diminution de la MG du lait chez la vache laitière (ou chèvre).

2. Graines oléagineuses et protéagineuses

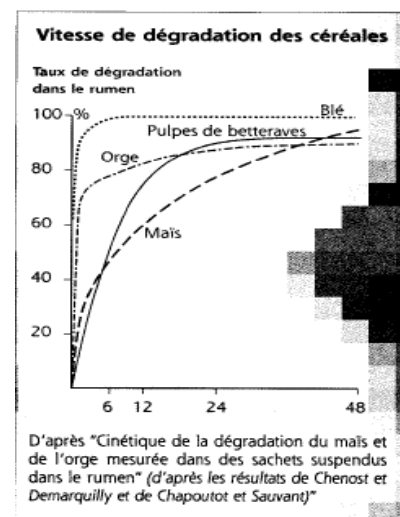
Graines oléagineuses (Protéines + Réserves lipidiques) : Soja, Arachide, Colza, Navette, Tournesol, Carthame, Lin, Coton, ...

Graines cultivées pour la production d'huile à destination humaine

↳ Tourteaux utilisés en alimentation animale

Utilisation anecdotique en alimentation animale des graines entières

↳ Soja, Lin



| Graine | MS | MAT | MG | CB | MM |
|-----------|----|-----|------|-----|----|
| Soja | 90 | 36 | 18 | 5.5 | 5 |
| Lin | 90 | 23 | 34.5 | 7 | 5 |
| Colza | 90 | 21 | 41 | 7 | 9 |
| Tournesol | 92 | 15 | 30 | 24 | 3 |

Graines protéagineuses (Protéines + Réserves amylacées) : Pois, Féverole, Vesce, Lupin doux, Haricot, Lentille, ...

Les Graines protéagineuses sont cultivées en Europe pour leur richesse en Protéines (MRP)

| Graine | MS | MAT | MG | CB | MM |
|----------|----|-----|-----|-----|----|
| Pois | 88 | 24 | 3 | 7 | 3 |
| Féverole | 88 | 26 | 1.5 | 7.5 | 3 |
| Lupin | 88 | 34 | 7 | 12 | 3 |
| Vesce | 88 | 25 | 1.5 | 6.5 | 3 |

Facteurs antinutritionnels :

- Facteurs antitrypsiques (Pois, Féverole, haricots)
 - ↳ inhibition des protéases digestives
 - ↳ inactivation par chauffage
- Tanins (Féverole brune, Pois foncé)
 - ↳ liaison insoluble avec protéines alimentaires
 - ↳ thermostables
- Vicine et Convicine (Vesce)
 - ↳ anémie hémolytique (favisme humain)
 - ↳ hétérosides à aglycone pyrimidique
 - ↳ cheval sensible
- Alcaloïdes (Lupin)
 - ↳ lupinose bovine (foie/rein)

3-Les sous-produits de l'Industrie Agro-alimentaire

Les sous-produits de l'industrie du sucre

- sont des aliments riches en fibres digestibles (les pulpes de betteraves)
- ou en sucres simples (la mélasse).
- Ce sont des aliments avec une grande palatabilité.

Tourteaux des oléagineux

- Les plantes oléagineuses: soja, arachide, coton, lin, colza et tournesol.
- Les tourteaux obtenus après extraction d'huile contiennent en général 30-50% de protéines.
- ce sont des sources typiques de suppléments protéiques pour animaux.

Les sous produits de Brasserie : les drêches de brasserie

- Enveloppes du grain d'orge récupérées après fermentation
- Valorisées fraîches ou déshydratées

- Riches en MAT (sources de PDIA)
- Valeur énergétique assez bonne
- Utilisation : vaches et chèvres laitières