



# COURS DE BROMATOLOGIE



**Professeur Simplicie B. AYSSIWEDE**  
**Vétérinaire Zootechnicien-Nutritionniste (DVM, DES, PhD)**  
**Agrégé en Alimentation et Nutrition Animales (CAMES)**  
**Professeur Titulaire des Universités, Espace CAMES**  
**Service de Zootechnie-Alimentation, EISMV de Dakar**



# Généralités & Définition

La poussée démographique actuelle dans les PEVD est accompagnée d'une hausse sans cesse de la demande des populations en protéines animales dont la satisfaction → de plus en plus une **intensification des productions animales**.

Mais !!!! +++difficultés d'exploitation des parcours naturels et de certaines ressources alimentaires en alimentation animale, surtout dues à:

- une **réduction des terres** traditionnellement dévolues au pâturage des animaux domestiques (urbanisation galopante, intensification de l'agriculture);
- ou la **concurrence homme-animal**, voire le détournement de certaines ressources vers la production de **biocarburants**;

# Généralités & Définition

**Une alimentation rationnelle** des animaux d'élevage de nos jours suppose donc:

- Une meilleure valorisation des ressources fourragères naturelles;
- Une amélioration de l'utilisation des parcours naturels associée à la culture fourragère;
- Une valorisation à grande échelle des produits et sous-produits agro-industriels encore peu connus et mal ou non utilisés.

**Mais une bonne valorisation** en alimentation animale des ressources alimentaires disponibles passe par la nécessité de pouvoir **bien les connaître et les identifier** à travers des caractéristiques morphologiques, physico-chimiques et toxicologiques; d'où l'intérêt de la **bromatologie**.

# Généralités & Définition

n Bromatos = aliment; logos = étude, discours. La **Bromatologie** est donc la science des aliments. Mais il existe aussi un rapport avec les bromates, car bromatos = « **odeur** », du fait qu'auparavant, il y avait un rapport direct odeur-aliment, ce qui fait que **l'odeur était le contrôle principal** pour apprécier si un aliment était altéré ou non.

n Considérée comme une science biologique habituellement exclue du champ de la nutrition, la bromatologie a pour **but** d'étudier tous les aspects techniques de l'alimentation, depuis la récolte ou l'abattage en passant par la transformation et la conservation éventuelle jusqu'à la consommation, c.-à-d. « du champ à la fourchette ».

n **Bromatologie** = *Science appliquée traitant du contrôle et de la qualité des aliments aussi bien du point de vue historique, agronomique, technologique ou biotechnologique que nutritionnel, analytique, toxicologique et législatif.*

# PLAN DU COURS DE BROMATOLOGIE

*II<sub>1</sub> Généralités et Définition*

*II<sub>2</sub> Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire.*

*II<sub>3</sub> Grains de céréales et leurs coproduits industriels*

*II<sub>4</sub> Canne à sucre et ses sous-produits*

*II<sub>5</sub> Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits*

*II<sub>6</sub> Racines, tubercules, fruits et leurs sous-produits*

*II<sub>7</sub> Aliments ou sous-produits d'origine animale*

*II<sub>8</sub> Organismes unicellulaires et algues*

*II<sub>9</sub> Urée (ANP) aliments d'origine minérale et additifs*

*II<sub>10</sub> Traitements particuliers appliqués à certains aliments :FAN*



**FOURRAGES ET RÉSIDUS DE RÉCOLTE:  
DIFFÉRENTS TYPES, TECHNIQUES DE CONSERVATION  
ET D'AMÉLIORATION DE LEUR VALEUR ALIMENTAIRE**

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## \* Fourrages

Ce sont des plantes ou mélange de plantes, naturels ou non (cultivés), utilisés pour leurs parties végétatives - feuilles, tiges, et éventuellement racines - (excepté les fruits et graines), soit à l'état frais, soit conservé, généralement par séchage pour l'alimentation des animaux (ruminants et omnivores, mais aussi porcs, canards etc.)

Ils constituent la base de alimentation des ruminants et peuvent être donc de pâturages naturels, améliorés ou artificiels (culture fourragère).

- **Pâturages naturels:** ils sont constitués essentiellement de graminées (+++) et à un moindre degré de légumineuses (+ ±) et ont une valeur alimentaire variable.

## \* Fourrages

- **Pâturages naturels:** leur valeur alimentaire varie en fonction:

- Des espèces fourragères présentes;
- L'âge de la repousse et le stade végétatif de l'espèce fourragère (avant ou après épiaison ou floraison);
- Des climats (pâturages sahéliens, nord et sud-soudaniens, guinéens) et des saisons (pluvieuse ou sèche);

Productivité et valeur alimentaire des pâturages → définir leur **capacité de charge** (nombre d'UBT supportable/ha de pâturage/an).

- **Pâturages améliorés:** PN dans lesquels sont aménagés des points d'eau, des pare-feux (déconcentration du cheptel), conscientisation des acteurs contre les feux de brousse, débroussaillage et introduction de plantes améliorantes.

## \* Fourrages

– **Cultures fourragères:** PA mis en place surtout dans les systèmes d'élevage intensifs par la culture d'un certain nombre d'espèces de graminées (*Andropogon gayanus*, ***Panicum maximum***, *Pennisetum purpureum*, *maïs fourrager*, *sorgho fourrager*, canne à sucre,...) et/ou de légumineuses (*Cajanus cajan*, *Stylosanthes guanensis*, *Leuceana sp*, etc.) dans le but de constituer des réserves fourragères pendant les périodes dites de soudure.

- En Côte d'Ivoire, pour un TR de 30 jours, *P. maximum* peut produire 4-5 tonnes de MS de fourrage /ha/an;
- Au Sénégal, *A. gayanus* peut donner 2-2,5 tonnes MS/ha la 1<sup>ère</sup> année et 6-10 tonnes MS de fourrage /ha en 2-3 coupes à partir de la 2<sup>ème</sup> année.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

\* **Fourrages** constituent la base de alimentation des ruminants et peuvent être de pâturages naturels ou artificiels (culture fourragère).

## - Cultures fourragères:



Maïs fourrager



Sorgho fourrager



Orge fourragère

## Différents types de fourrages

En *fonction de la durée de vie ou d'exploitation*, on distingue deux grands types de fourrages :

- ✓ **Les fourrages annuels:** Ce sont toutes les cultures fourragères occupant le sol au maximum un an, soit en **culture pure** (maïs fourrager, ray-grass italien, etc.), soit en **culture associée** (graminées-légumineuses). Ils demandent ainsi par définition, un labour chaque année et fournissent donc des UF qui sont en général plus chères que celles des prairies.
- ✓ **Les fourrages pluriannuels ou prairies** qui peuvent être:
  - permanentes ou naturelles;
  - temporaires;
  - artificielles.

## Différents types de fourrages

### \* Prairies ou fourrages pluriannuels

- ✓ **Prairie permanente (naturelle)** : surface engazonnée à flore complexe et de durée de vie illimitée, c.-à-d. non assolée depuis au moins 5 ans. Suivant la qualité et le niveau de productivité croissants, on distingue plusieurs catégories de prairies permanentes à savoir:
  - les pacages et parcours;
  - les prairies de fauche; les pâturages et/ou herbages.
- ✓ **Prairie temporaire**: assolée dès 18 mois à 5 ans, elle est une véritable culture d'herbe, composée soit d'une graminée pure, soit de l'association d'une ou +sieurs graminées (Panicum, Pennisetum, etc...) et d'une ou +sieurs légumineuses (Stylosanthes, etc...).

## Différents types de fourrages

### \* Prairies ou fourrages pluriannuels

✓ **Prairie temporaire:** Elle a une production beaucoup plus élevée par rapport à la prairie permanente, avec des UF à plus bas prix que les fourrages annuels.

✓ **Prairie artificielle:** Prairie temporaire à base exclusive de légumineuses (car ne vise pas à refaire une flore identique à celle des prairies permanentes), avec comme principal intérêt la richesse de son fourrage en protéines et l'accumulation gratuite d'azote (et d'humus) dans le sol (B<sup>ries</sup> symbiotiques). Cependant, son fourrage est souvent météorisant, mais également difficile à faner et à ensiler.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Mode de récolte et techniques de conservation des fourrages verts

Inadéquation du système traditionnel de gestion des parcours et la nécessité d'intensification des productions animales → **Conservation du fourrage**. D'une manière générale, il peut être utilisé directement en pâturage ou à l'auge à l'état frais ou conservé après la fauche.

**Fauche**: opération consistant à récolter par coupe le fourrage. La coupe doit être nette (pour faciliter la repousse), faite à une hauteur idéale (ni trop haut, ni trop bas). Le fourrage doit être récolté propre (éviter de salir ou d'altérer le fourrage fauché ou non) et déposé de manière aérée pour faciliter sa reprise.

La **Valeur alimentaire** du fourrage dépend de 3 principaux facteurs :

- les espèces (graminées, légumineuses),
- le stade végétatif (début épiaison, épiaison, début floraison, floraison),
- les conditions de récolte.

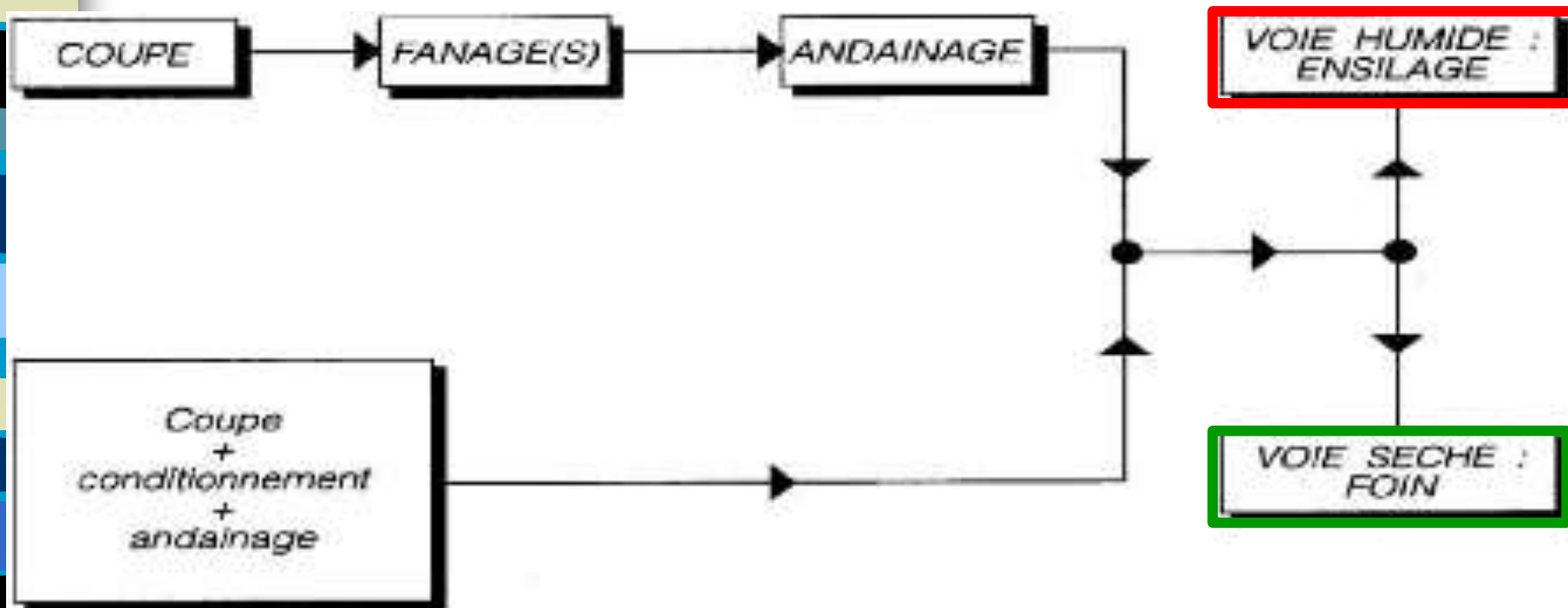
# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Mode de récolte et techniques de conservation des fourrages verts

De façon générale, il  $\exists$  2 techniques de conservation du fourrage:

- Conservation par voie sèche  $\rightarrow$  **Foins**;
- Conservation par voie humide  $\rightarrow$  **Ensilage ou enrubanné**

Qlq soit le Mode CON, la VA du Fourrage Conservé  $\leq$  VA du F Vert



# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

**Foin** = produit de dessiccation naturelle (fenaison par séchage sous l'action du soleil, de l'air et du vent) ou artificielle (séchage par ventilation en grange d'air ambiant ou réchauffé) des fourrages verts et frais obtenu en vrac ou en balles qui perdent plus de 90 % de l'eau qu'ils contiennent au moment de la récolte.

**Séchage en grange**: technique ancienne de séchage artificielle bien connue et originaire des zones de montagnes (Suisse, Autriche, Jura, Savoie où les hivers longs et rigoureux → besoins importants en stocks fourragers) qui permet de **maximiser la valeur nutritive du foin** (fourrage récolté au meilleur stade de sa valeur alimentaire), élément important pour une ration de qualité et le maintien d'une bonne productivité animale.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

n

## Mode de récolte et techniques de conservation des fourrages verts

- Conservation par voie sèche → Foins;



Faucheuse à rouleaux



Faneuse à toupies



Andaineur rotatif

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Le séchage s'intègre donc en complément du pâturage, qui reste le système d'utilisation des fourrages le moins onéreux et le plus fréquent.

Il ∃ 2 principales méthodes de séchage qu'il soit naturel ou par ventilation en grange:

- **Le séchage en vrac;**
- **Le séchage en balles ou en bottes.**

Le foin peut donc être présenté de +sieurs façons selon les conditions, le mode, le niveau de technologie utilisés:

- **foin long** (forme traditionnelle d'herbage, fauché, retourné et transporté);
- **foin haché** (mis en andain et conditionné dans les systèmes bien mécanisés, moins volumineux et meilleur pour la manutention mécanique);

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Le foin peut donc être présenté de +sieurs façons selon les conditions, le mode le niveau de technologie utilisés:

- **foin en balles** (bottes, balles rondes protégeant contre la pluie et qui sont les plus populaires et plus simples à fabriquer);
- **foin en paquets à la main** (un moyen pour réduire l'effritement dans la fenaison manuelle);
- **foin en bouchon ou pellet** (dense, facile à transporter, manipuler et à stocker, mais très coûteux);
- etc.

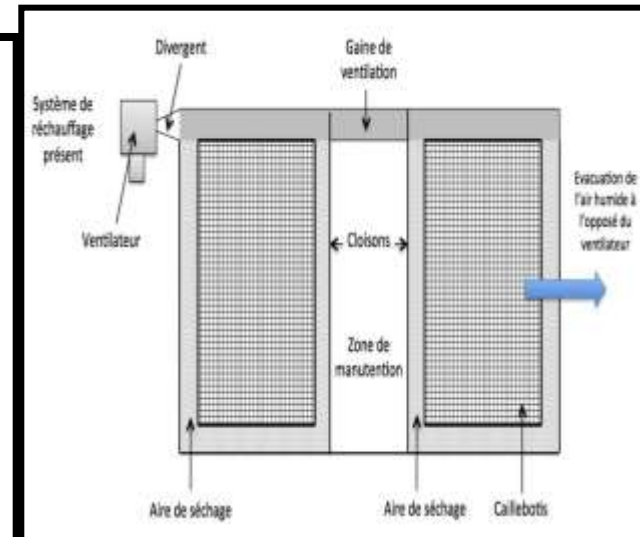
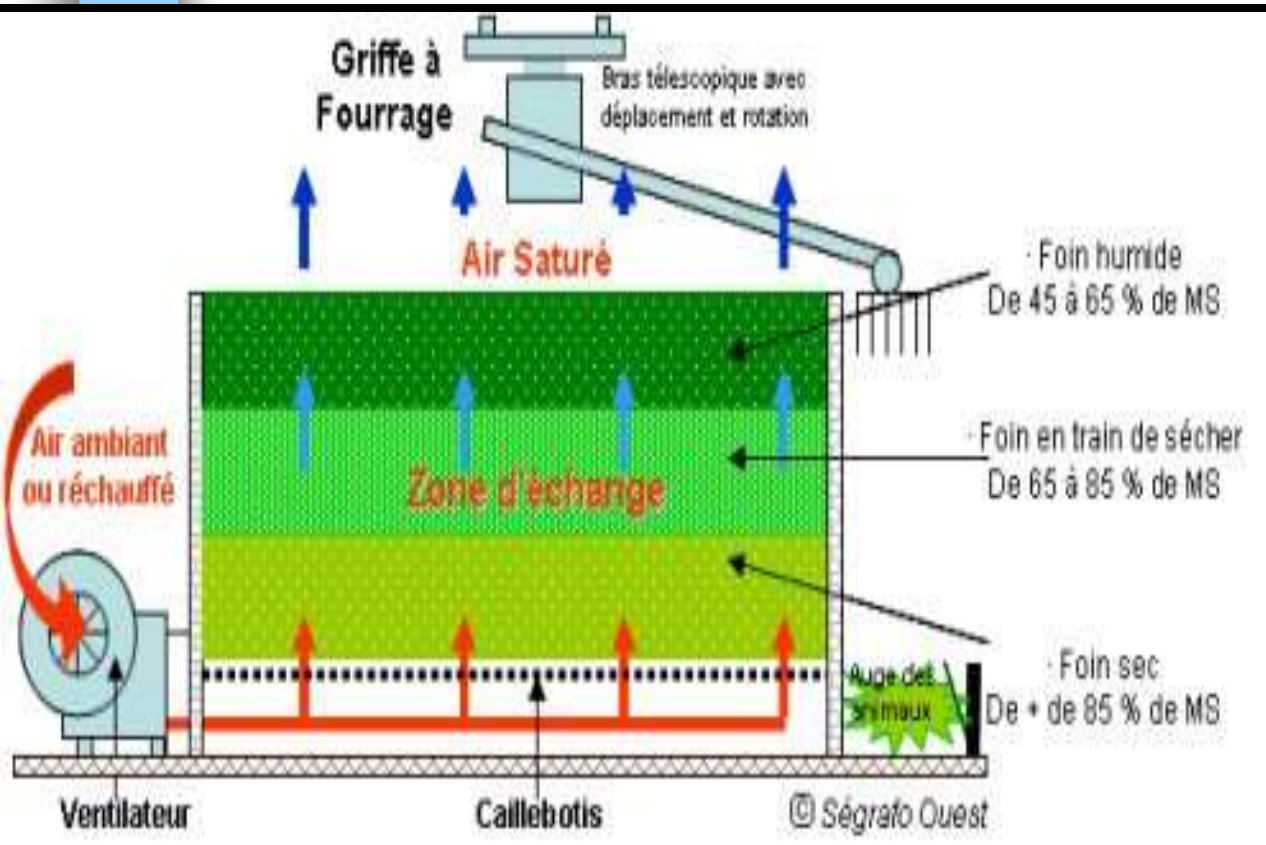
# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Il y a 2 principales méthodes de séchage qu'il soit naturel ou par ventilation en grange:

- Le séchage artificiel en vrac;



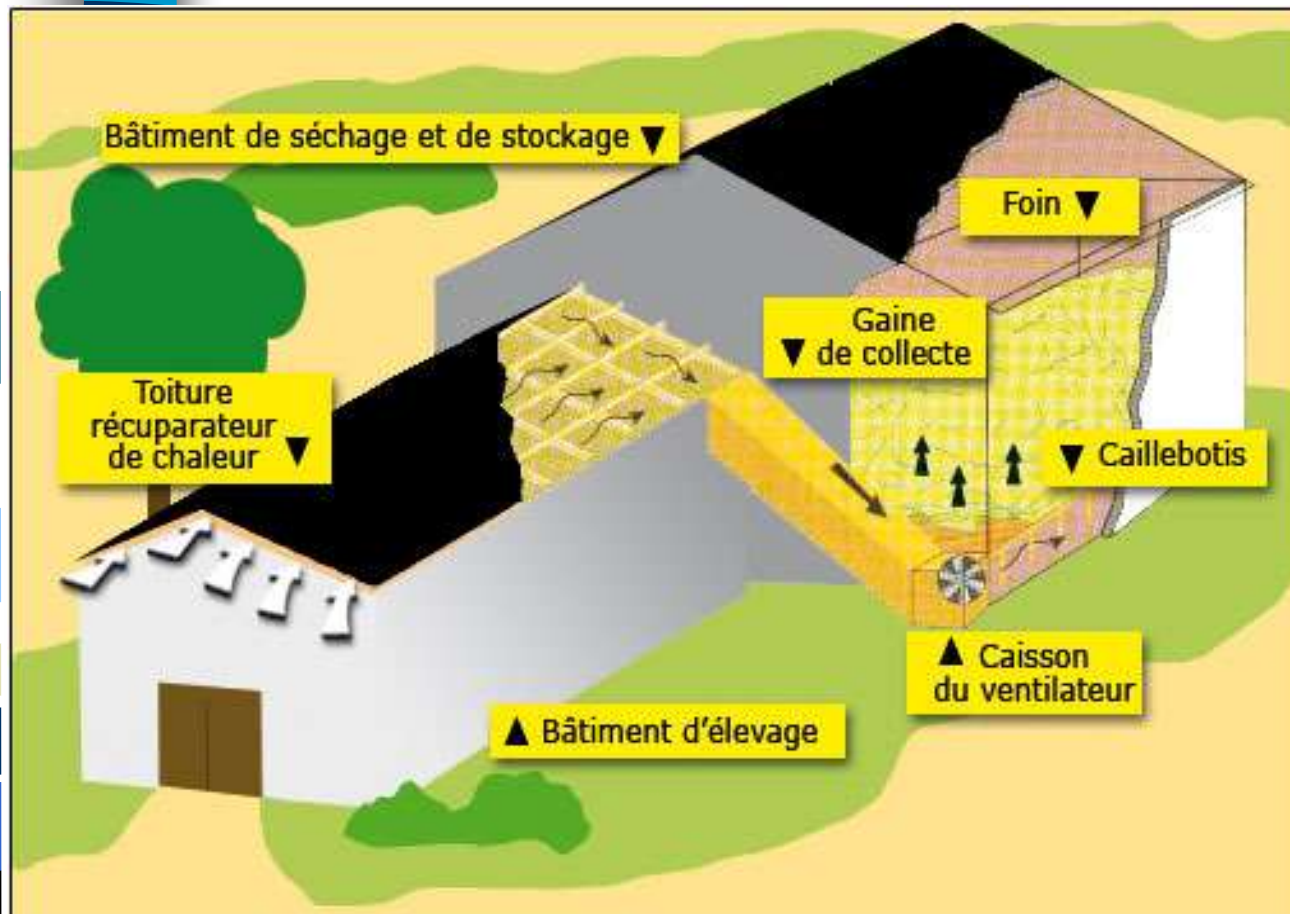
# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Il y a 2 principales méthodes de séchage qu'il soit naturel ou par ventilation en grange:

- Le séchage artificiel en vrac;



# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Il y a 2 principales méthodes de séchage qu'il soit naturel ou par ventilation en grange:

- Le séchage en balles



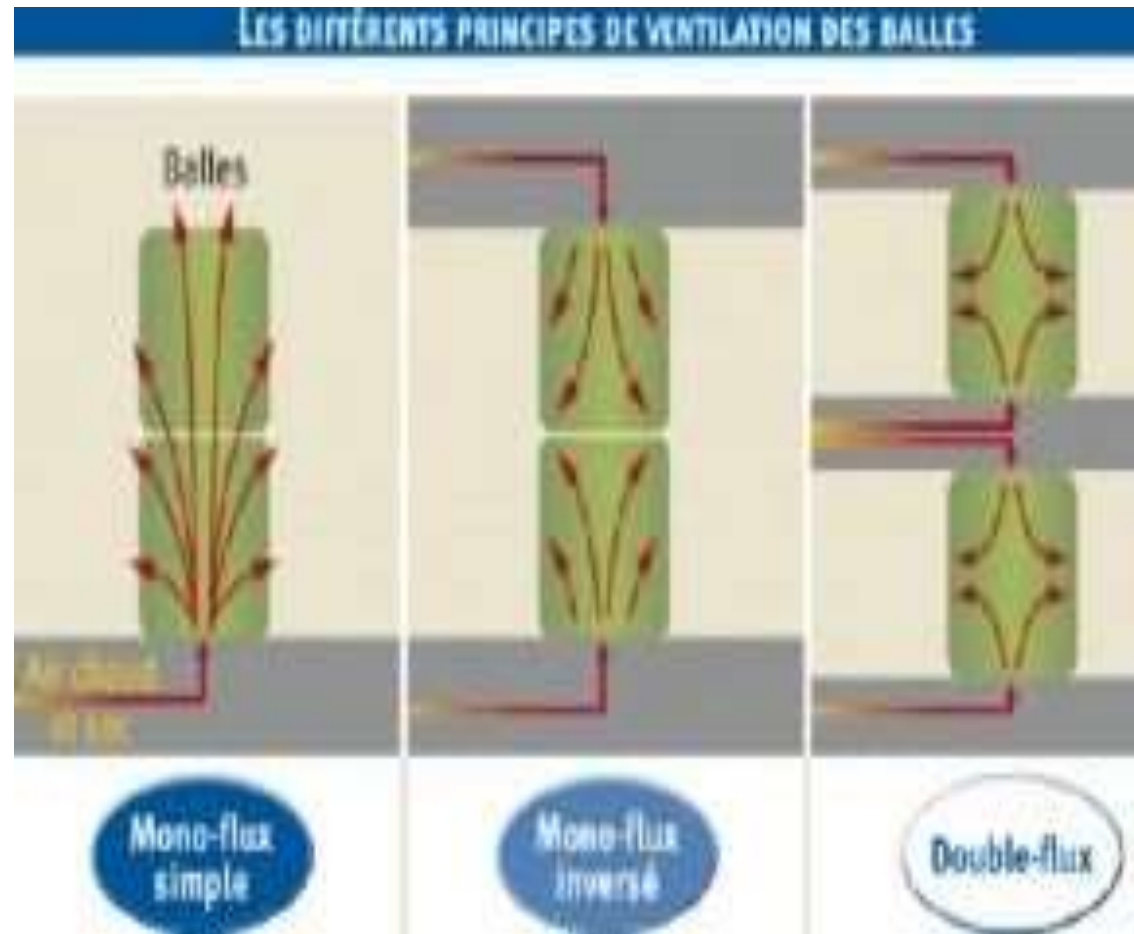
# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \* Conservation par voie sèche

Il y a 2 principales méthodes de séchage qu'il soit naturel ou par ventilation en grange:

- Le séchage en balles



## **Techniques de conservation des fourrages verts**

### **\* Conservation par voie sèche**

#### **• Facteurs de variation de la valeur alimentaire du foin**

Outre les facteurs (espèce végétale, stade végétatif, conditions de récolte), la VA du foin varie en fonction de:

- la **respiration du fourrage** après la coupe → perte des glucides ou sucres solubles;
- les **conditions météorologiques** (lessivage au sol par l'eau de pluie) → perte des sucres solubles, protéines et vitamines et rallonge le temps de fenaison;
- **Mode de fenaison** → pertes mécaniques de feuilles et folioles lors de la fauche, du ramassage, de la conservation → une baisse du ratio feuilles/tige, notamment chez les fabacées.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

**L'ensilage et l'enrubannage** sont les 2 méthodes de conservation humide qui mettent en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies lactiques. Dans les 2 cas = conservation d'un produit ayant **un taux de MS  $\approx$  25-30% pour les ensilages d'herbe, et 60-75% pour les fourrages enrubannés**, bien inférieur à **celui du foin (85-95%)** et supérieur à celui de l'herbe verte.

**L'ensilage** = produit issu d'une fermentation contrôlée du fourrage vert accompagné d'une production d'acide lactique par les B<sup>ies</sup>. Ce dernier fait vite baisser le pH  $\rightarrow$  inhibition du développement de toute autre bactérie, stabilisation et bonne conservation de l'aliment notamment lorsque le pH ultime  $\leq 4$ .

### Principe de l'ensilage:

- Le préalable à l'obtention d'un excellent ensilage = installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique dans le silo.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Principe de l'ensilage:

Le préalable à l'obtention d'un excellent ensilage = installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique dans le silo.

- **Le silo:** c'est enceinte dans laquelle se produit l'ensilage. Il existe différents types:

- **Silo vertical ou silo tour:** sous forme de château
- **Silo fosse :** fosse (2,5-4 m de large; 2-2,5 m profondeur et de Longueur variable) creusée dans un terrain ayant un bon niveau de drainage à parois éventuellement cimentées ou non.
- **Silo à ciel ouvert taupinière ou silo meule:** fait à même le sol meule de 4-8 m de diamètre sur 80 cm de profondeur creusé éventuellement dans la terre.
- **Silo couloir ou silo horizontal:** construit souvent à même le sol (4,5 m de large, 1,5 m de hauteur, longueur variable), il est le plus utilisé et offre la possibilité de faire un tassement motorisé, énergique favorable aux conditions d'anaérobiose.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## n Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Principe de l'ensilage:

Le préalable à l'obtention d'un excellent ensilage = installation précoce, rapide et intense de l'acidité lactique dans le silo.

- Silo tour, silo fosse, silo taupinière, et silo couloir.



## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Conditions de réalisation de l'ensilage

L'obtention d'un excellent ensilage se déroule spontanément dans les conditions suivantes:

- Une **bonne anaérobiose** qui doit s'instaurer le plus rapidement possible:
  - **Fort tassement** du fourrage (souvent par un tracteur) lors du remplissage du silo pour éliminer le maximum d'oxygène et limiter ainsi la phase aérobie (hachage du fourrage);
  - **Étanchéité des parois et de la couverture du silo** s'opposent à l'entrée d'air dans l'ensilage (pose des pneus de véhicule et d'objets lourds).

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Conditions de réalisation de l'ensilage

L'obtention d'un excellent ensilage se déroule spontanément dans les conditions suivantes:

- Une **baisse du pH du fourrage ensilé** qui doit commencer le plus rapidement possible:
  - le fourrage doit contenir **une quantité suffisante de sucres solubles** ( $SS > 12\% MS$ ; à défaut: ajout de sucre tel la mélasse à raison de 4 kg/100 kg fourrage) pour alimenter correctement la flore lactique: !!! **stade idéal de coupe**; **Inclusion de ferments lactiques**
  - le fourrage **ne doit pas avoir un fort pouvoir tampon** (fabacées  $\neq$  poacées) dû surtout aux sels minéraux et aux protéines qui s'opposent au  $\Delta^\circ$  brutales d'acidité. Les poacées s'y prêtent donc bien car elles en contiennent peu. **Ajout d'acides organiques (formique)  $\rightarrow$  acidification immédiate**

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Conditions de réalisation de l'ensilage

L'obtention d'un excellent ensilage se déroule spontanément dans les conditions suivantes:

- le fourrage ne doit pas être trop riche en eau ni contaminé par les clostridies de la terre, responsable du développement de la flore butyrique putréfiante:

Si le fourrage est riche en eau et l'acidité du silage insuffisante, les clostridies provenant de la souillure du fourrage et/ou du silo se développent → dégradation de l'acide lactique en C4 (butyrique) et des protéines en NH<sub>3</sub> accompagnée d'une remontée de pH défavorable à la conservation: !!! Faire le préfanage des fourrages verts et le surpressage des pulpes pour limiter l'humidité et les pertes par jus.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Etapes de l'ensilage (4 grandes étapes)

- i- une **phase aérobie** caractérisée par l'activité enzymatique de la plante et la prolifération des microorganismes aérobies;
  - débute dès la fauche de l'herbe jusqu'à l'épuisement de l'air après la fermeture du silo et se caractérise par la respiration et la protéolyse;
  - La respiration utilise l'O<sub>2</sub> pour transformer les sucres en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et de la chaleur → augmentation de la température du silo (20-32°C) favorable à la protéolyse.
  - Cette tranche de température (30°C en moyenne) favorise le développement des b<sup>ies</sup> lactiques utiles à la fermentation;
  - T > 32°C → prolifération importante des b<sup>ies</sup> butyriques (37°C) et des entérob<sup>ies</sup> (problèmes de conservation), voire la réaction de maillage (48°C) liant les protéines aux fibres: **baisse de la VA du silage**

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Etapes de l'ensilage (4 grandes étapes)

- ii- une **phase de fermentation** où la domination des bactéries lactiques permet d'inhiber le développement et la croissance des autres microorganismes.
  - débute lorsque les conditions anaérobies sont atteintes (→ un développement rapide et précoce des b<sup>ies</sup> lactiques) et se poursuit par l'éclatement des cellules végétales pour augmenter la disponibilité des sucres solubles à ces microorganismes;
  - Forte production d'acide lactique → baisse du pH dans le silo.
- iii- une **phase de stabilité anaérobie** où l'activité microbienne est minimale dans le silo surtout lorsque les conditions d'étanchéité sont maintenues.

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Etapes de l'ensilage (4 grandes étapes)

- iii- une **phase de stabilité anaérobie** où l'activité microbienne est minimale dans le silo surtout lorsque les conditions d'étanchéité sont maintenues;
  - Phase pendant laquelle le pH dit de stabilité anaérobie est atteint.
  - Si ce pH non atteint: → utilisation de l'acide lactique par les *bies* butyriques saccharolytiques pour produire de C4 et une augmentation du pH.
  - Si pH plus élevé: → prolifération des *bies* butyriques protéolytiques qui utilisant les acides aminés pour donner de l'azote ammoniacal et d'amines responsables des odeurs particulières de certains ensilages. Il peut aussi y avoir production d'acide C2, C3 et un développement possible des levures d'autant plus que le pH ne permet pas d'inhiber le développement de ces microorganismes.

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Etapes de l'ensilage (4 grandes étapes)

iv- une **phase d'alimentation** correspondant à l'ouverture et utilisation de l'ensilage du silo (**3-4 semaines après la fermeture**) permettant de nouveau la croissance des microorganismes aérobies.

- un **bon ensilage** peut être **gardé pendant longtemps**, mais durant cette phase, une partie ± importante du silo est exposée à l'action de l'air.
- **période critique pour la stabilité aérobie** (chauffage), principalement dépendante du nombre d'organismes aérobies présents dans l'ensilage au moment de la reprise.
- Intervalle entre ouverture et observation chauffage est grandement influencé par les conditions environnementales, la stabilité aérobie reste souvent réduite dans nos conditions, c.-à-d. que les ensilages chauffent plus rapidement.
- Mieux vaut donc fermer le silo aussitôt après le prélèvement de la quantité quotidienne d'ensilage pour limiter l'action de l'air.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Appréciation de la qualité des ensilages

- Quelles que soient les précautions prises lors des différentes opérations du processus d'ensilage, des pertes interviennent:

- pendant la *phase aérobie* affectant les sucres et protéines du fourrage;
- pendant la *phase anaérobie* affectant les gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) et les liquides (jus chargés de substances solubles);
- et dans les *zones périphériques du silo* où l'étanchéité est imparfaite.

- Outre les méthodes subjectives (*couleur, odeur, structure de l'ensilage*) l'appréciation de la qualité des ensilages se fonde surtout sur *l'importance des produits indésirables* ( $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_4$ ,  $\text{NH}_3$  et N soluble) élaborés pendant l'ensilage (voir tableau).

- Le *pH dit de stabilité* n'a pas été retenu en tant que critère d'appréciation car il varie (c.-à-d. augmente) avec la teneur en MS de l'ensilage.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

### Qualité des ensilages

Barème d'appréciation de la qualité des ensilages (Demarquilly C., INRA, 1984)

| Classe Ensilage     | AGV C <sub>2</sub> | AGV C <sub>4</sub> | N-NH <sub>3</sub> (% N total) |         |        | N soluble (% Nt) |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|---------|--------|------------------|
|                     | (g/kg MS)          |                    | Maïs                          | Luzerne | Autres |                  |
| <b>Excellent</b>    | < 20               | 0                  | < 5                           | < 8     | < 7    | < 50             |
| <b>Bon</b>          | 20-40              | < 5                | 5-10                          | 8-12    | 7-10   | 50-60            |
| <b>Médiocre</b>     | 40-55              | > 5                | 10-15                         | 12-15   | 10-12  | 60-70            |
| <b>Mauvais</b>      | 55-75              | > 5                | 15-20                         | 16-20   | 15-20  | > 65             |
| <b>Très mauvais</b> | > 75               | > 5                | > 20                          | > 20    | > 20   | > 75             |

|                     |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>PH stabilité</b> | < 4   | < 4,2 | < 4,4 | < 4,6 | < 4,8 |
| <b>MS (%)</b>       | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 |

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

✓ **Appréciation de la quantité d'ensilage d'un silo**

- La quantité peut être estimée à partir:

- du volume du silo calculé en fonction des dimensions (longueur, largeur et hauteur ou profondeur) du silo:  $V_s = L * l * h$ ;
- la **densité** (quantité MS/m<sup>3</sup>) variable en fonction de la hauteur du silo et du taux de matière sèche de l'ensilage;

| Hauteur du silo (m) | % MS de l'ensilage |     |     |     |     |
|---------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|
|                     | 15                 | 20  | 25  | 30  | 35  |
| 1                   | 122                | 160 | 192 | 213 | 227 |
| 1,5                 | 127                | 166 | 202 | 225 | 238 |
| 2                   | 133                | 174 | 210 | 235 | 252 |

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

#### Appréciation de la quantité d'ensilage d'un silo

- La quantité peut être estimée à partir:

- Et du taux de perte (%) associé au silo variable en fonction de la teneur en MS de l'ensilage

| % MS de l'ensilage | < 18 | 18-27 | > 27 |
|--------------------|------|-------|------|
| % ou taux de perte | 21   | 11    | 9    |

- **Q totale d'ensilage (kg MS) = Vs \* Densité;**

- **Q.ens utilisable (kg MS) = [QTens - (QTens \* Tperte)]**

- La Q brute d'ensilage disponible pourrait être déterminée en considérant la teneur en MS de cet ensilage.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

L'enrubannage et l'ensilage sont les deux (2) méthodes de conservation qui mettent en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies lactiques. Il s'agit dans les 2 cas de conserver un produit ayant **un taux de MS** (25-30% pour les ensilages d'herbe, et **60-75 % pour les fourrages enrubannés**) bien inférieur à celui du foin (85-95%) et supérieur à celui de l'herbe verte.

**L'enrubannage:** technique consistant à conserver l'herbe (fabacées et/ou poacées) fauchée, **fanée** et pressée sous forme de balles rondes ou rectangulaires, etc. dans un film plastique étanche étiré où elle subit la fermentation.

**Ensilage à petite échelle** ± simple et très économique, utilisant donc comme silo des sacs plastiques de capacité variable. Le tassement peut se faire en couches successives avec les pieds ou à la machine.

Une fois ouverte, la balle de fourrage (l'enrubanné) doit être consommée dans les 2-3 jours suivants.

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Techniques de conservation des fourrages verts

### \*\* Conservation par voie humide: la fermentation

L'enrubannage et l'ensilage sont les deux méthodes de conservation qui mettent en œuvre la fermentation des glucides solubles par des bactéries anaérobies lactiques.



[Voir aussi Vidéo Ensilage](#)



## Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

**\*\* Les Résidus de récolte:** Restes ou déchets de plantes (ensemble tiges + feuilles) obtenus après la récolte des épis chez les **graminées** (**pailles:** de riz, de sorgho, de blé, etc.) ou des fruits chez les **oléo-protéagineuses** (**fanes:** d'arachide, de niébé, de soja, etc.). Encore appelés coproduits de cultures végétales, les RDR sont des aliments grossiers généralement riches en cellulose et en lignine.

Les **pailles** sont plus pauvres en énergie, MA, en minéraux et vitamines et sont moins digestes que les **fanes** qui elles, sont mieux ingérées et ont une valeur alimentaire relativement bonne.

Du fait de leur faibles VA et CUD (en liaison avec leur taux de fibres), les **pailles** sont utilisées comme aliment de lest et sont faiblement ingérées par les animaux.

**!!!** Possibilité d'amélioration de la VA et du CUD des pailles par l'usage de procédés technologiques (physiques et chimiques).

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## \*\*\* Les Résidus de récolte



Pailles de graminées (riz)

Fanés d'arachide

## n Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés physiques

- Hachage ou broyage des pailles pour réduire leur taille et faciliter la préhension et la destruction par l'animal;
- Lacération ou éclatement des tiges pour obtenir des brins de taille variable;
- Broyage + agglomération de la paille en bouchons par utilisation d'un aliment liant (mélasse et autres);
- Traitement à la vapeur;
- Traitements par irradiation aux rayons, etc... mais qui sont très coûteux.

# Procédés physiques de traitement des fourrages pauvres



Broyage-  
agglomération en  
blocs multi-  
nutritionnels



## Différents procédés de traitement de la paille

– Procédés physiques

### Procédés chimiques

Procédés faisant appel à des agents chimiques forts (oxydants, acides ou bases) qui ont pour rôle de réduire la rigidité des liaisons des structures végétales et faciliter leur attaque par les électrolytes et les enzymes digestifs ou cellulolytiques du rumen. Il s'agit:

- ✓ traitement à l'urée;
- ✓ traitement à l'ammoniac;
- ✓ traitement à la soude, etc.

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée

#### Principe:

Produire en milieu étanche (silo en parpaing ou ciment) en présence de chaleur, du  $\text{NH}_3$  en arrosant la paille avec une solution contenant de l'urée (4-5 kg  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  dans 100 litres d'eau/100 kg MS de paille):  
$$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$$
, ce dernier agissant sur la paille pour améliorer son ingestion et sa digestibilité.

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

#### • Traitement de la paille à l'urée

#### Principe:

#### Facteurs de variation ou de réussite du traitement:

- **l'uréase**, normalement présente dans la paille, mais se produit aussi par les bactéries uréolytiques; celles-ci se développent en fonction de la température ambiante, de l'humidité du milieu et de la durée du traitement (qlques jours à 1 semaine si  $T \geq 30^{\circ}\text{C}$ , 2-4 semaines si  $15^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$  et 4-8 semaines si  $T < 15^{\circ}\text{C}$ )
- La **dose d'urée** et la **quantité d'eau à ajouter**: l'objectif étant d'obtenir un produit final dont l'humidité serait de l'ordre de 30%
- Le **silo utilisé** pour le traitement (normalement 100 kg paille/m<sup>3</sup>).

# Procédés chimiques de traitement des fourrages pauvres

## 3 - Traitement de la paille à l'urée



**Produits et matériels nécessaires**

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée



# Procédés chimiques de traitement des fourrages pauvres

## 3- Traitement de la paille à l'urée: grandes étapes



Préparation du silo de traitement, mensuration et détermination de son volume

# Procédés chimiques de traitement des fourrages pauvres

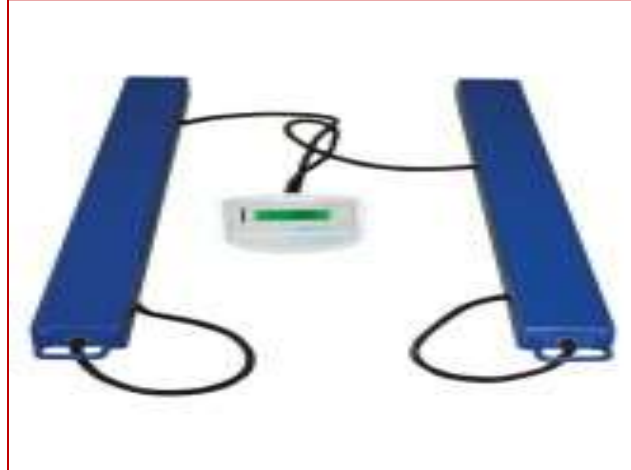
## 3- Traitement de la paille à l'urée: grandes étapes



**Pesée de la quantité de paille  
nécessaire à traiter**

**en fonction de la capacité du silo:**

**100 - 120 kg paille/m<sup>3</sup>**



# Procédés chimiques de traitement des fourrages pauvres

## 3- Traitement de la paille à l'urée: grandes étapes



**Préparation de la solution d'urée: 4-5%,  
soit 4-5 kg d'urée dans 100 litres d'eau/100 kg paille**

# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée



# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée



# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée



# Fourrages et résidus de récolte: Différents types, techniques de conservation et d'amélioration de leur valeur alimentaire

## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l'urée



## Différents procédés de traitement de la paille

### - Procédés chimiques

- Traitement de la paille à l' $\text{NH}_3$  anhydre

- **Principe:** Faire agir en enceinte hermétique, de l' $\text{NH}_3$  anhydre (3-5 kg /100 kg MS de paille) sur de la paille contenant au moins 15-20% d'eau (si humidité plus faible → bien mouiller la paille par l'ajout d'eau) grâce à l'aide de techniciens bien avertis (l' $\text{NH}_3$  étant un produit très toxique) pour améliorer son ingestion et sa digestibilité.

- **Durée du traitement:** variable en fonction de la température ambiante (quelques jours à 1 semaine si  $T \geq 30^\circ\text{C}$ , 2-4 semaines si  $15^\circ\text{C} < T < 30^\circ\text{C}$  et 4-8 semaines si  $T < 15^\circ\text{C}$ )

- Cependant, ce procédé est très rarement utilisé: traitement coûteux, technicité certaine et élevée, l' $\text{NH}_3$  est toxique et très peu disponible sur le marché africain.

# Impacts des différents procédés de traitement sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres

*Effets du procédé physique de traitement (hachage) sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres*

|                                   | <b>MS (%)</b> | <b>MAT (%)</b> | <b>Cendres (%)</b> | <b>CB (%)</b> |
|-----------------------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|
| <b>Paille de blé simple (n=8)</b> | <b>89,57</b>  | <b>3,55</b>    | <b>9,80</b>        | <b>40,99</b>  |
| <b>Paille blé hachée (n=4)</b>    | <b>89,00</b>  | <b>3,22</b>    | <b>6,60</b>        | <b>40,15</b>  |
| <b>Paille de riz simple (n=6)</b> | <b>92,07</b>  | <b>3,80</b>    | <b>16,15</b>       | <b>35,02</b>  |
| <b>Paille de riz hachée (n=2)</b> | <b>90,97</b>  | <b>3,73</b>    | <b>18,20</b>       | <b>35,72</b>  |

*Le hachage de la paille augmente son ingestibilité mais n'améliore pas sa valeur nutritive*

# Impacts des différents procédés de traitement sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres

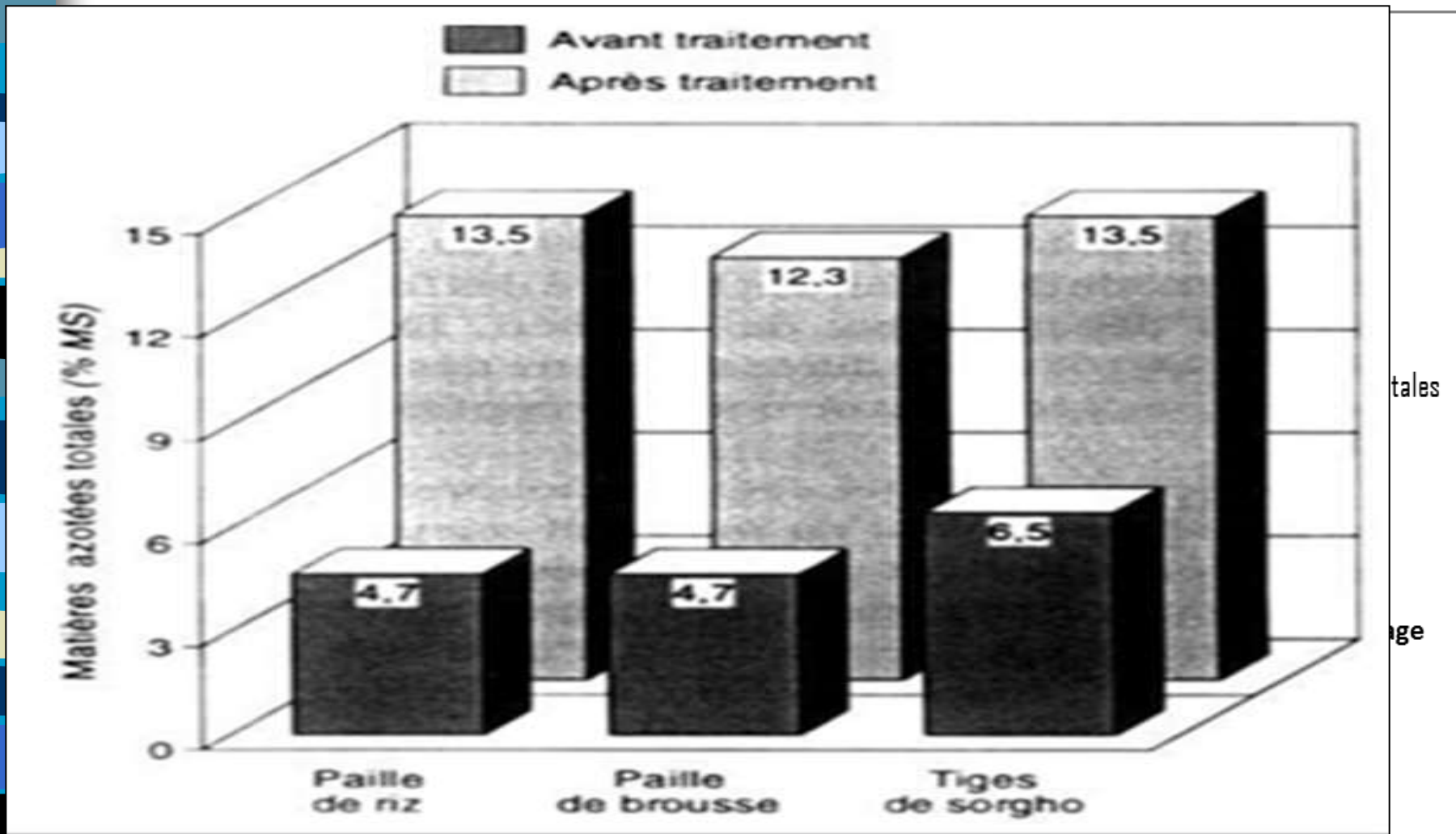
## Effets du traitement à l'urée sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres chez les ruminants

|                                   | <b>MS (%)</b> | <b>MAT (%)</b> | <b>Cendres (%)</b> | <b>CB (%)</b> |
|-----------------------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|
| <b>Paille de blé (n=8)</b>        | <b>89,57</b>  | <b>3,55</b>    | <b>9,80</b>        | <b>40,99</b>  |
| <b>Paille de blé à urée (n=3)</b> | <b>87,50</b>  | <b>11,10</b>   | <b>8,75</b>        | <b>41,15</b>  |
| <b>Paille de riz (n=6)</b>        | <b>92,07</b>  | <b>3,80</b>    | <b>16,15</b>       | <b>35,02</b>  |
| <b>Paille de riz à urée (n=3)</b> | <b>92,00</b>  | <b>9,62</b>    | <b>14,58</b>       | <b>36,90</b>  |

*Le traitement de la paille à l'urée améliore sa valeur en matière azotée totale (MAT)*

# Impacts des différents procédés de traitement sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres

*Effets du traitement à l' $\text{NH}_3$  ou à l'urée sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres chez les ruminants*



## Impacts du traitement à l'ANP sur l'utilisation des fourrages pauvres

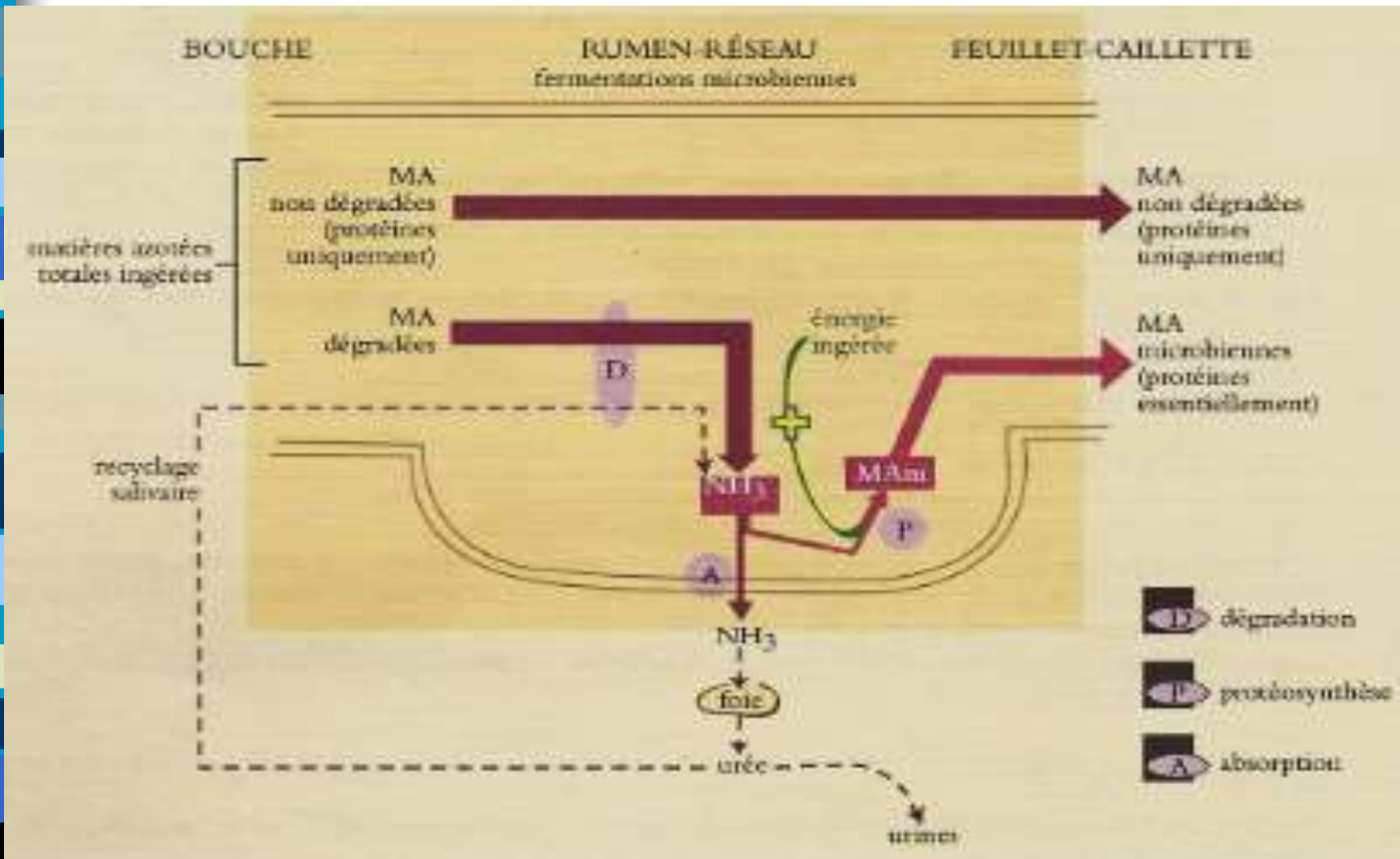
**L'urée** [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], du fait de sa richesse en azote (46,7%) et de son faible coût, est souvent valorisée de façon intensive seulement en alimentation des ruminants (surtout adultes) dans les pays à faibles production de protéines végétales.

Cette valorisation de ANP de l'urée chez les ruminants est rendue possible grâce à l'existence dans le rumen de bactéries capables de transformer l'urée en  $\text{NH}_3$  qu'elles utilisent pour leur propre multiplication (synthèse protéines microbiennes).

Mais, pour une bonne utilisation de l'urée, les bactéries du rumen ont besoin de **l'énergie et du soufre**, sans lesquels on assiste à une diffusion de l' $\text{NH}_3$  produit vers le milieu intérieur à travers la paroi du rumen entraînant souvent d'accident grave, voire mortel chez les animaux.

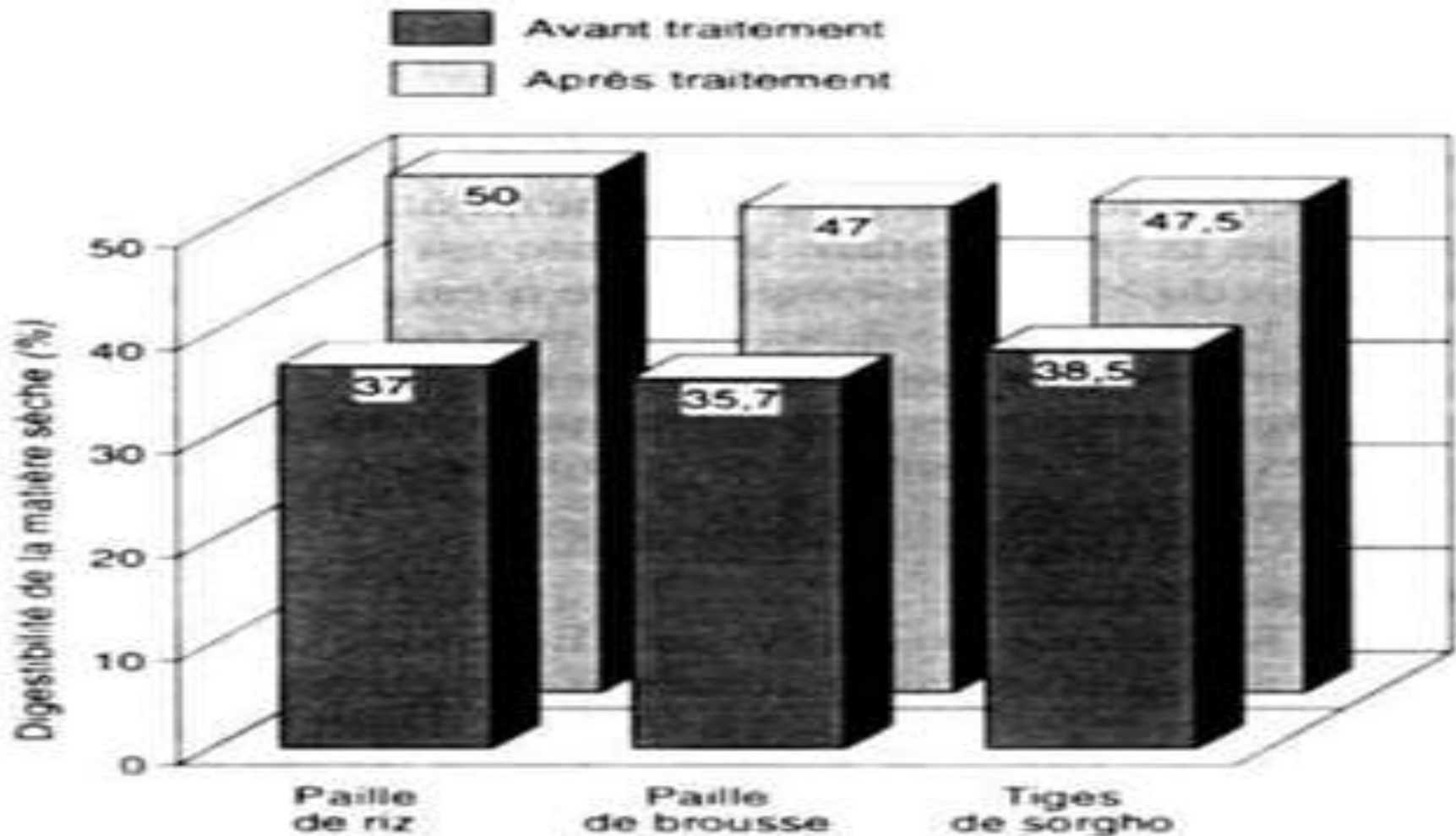
# Impacts du traitement à l'ANP sur l'utilisation des fourrages pauvres

## Utilisation des MAT par les ruminants



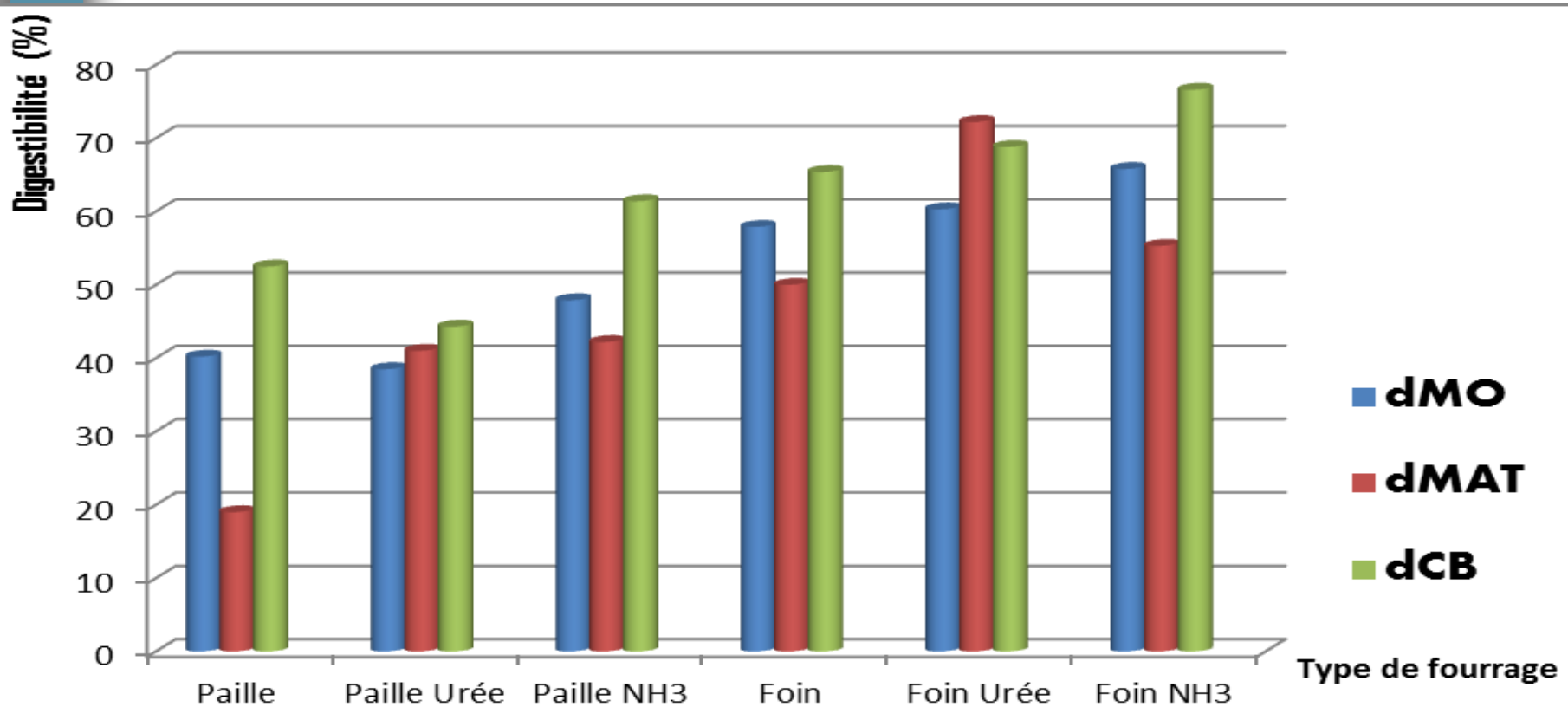
# Impacts du traitement à l'ANP sur l'utilisation des fourrages pauvres

*Effets du traitement à l'urée ou l' $\text{NH}_3$  sur l'utilisation digestive des fourrages pauvres chez les ruminants*



# Impacts du traitement à l'ANP sur l'utilisation des fourrages pauvres

*Effets du traitement à l'urée ou l' $\text{NH}_3$  sur l'utilisation digestive des fourrages pauvres chez les ruminants*



**Effet du traitement sur la digestibilité des fourrages pauvres**

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## *Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les ruminants*

Distribution de la paille traitée à l' $\text{NH}_3$  ou l'urée aux ruminants  
→ une amélioration de son ingestion d'environ 60% et des performances de croissance des bêtes: moutons et bovins d'embouche;

***Effets positifs du traitement:*** pas seulement dus au simple apport supplémentaire d'ANP (car un apport équivalent d'ANP dans une ration concentré n'a eu aucun effet bénéfique), mais aussi ***surtout au fait que ce traitement agit en améliorant la CUD et les quantités de paille volontairement ingérées → des croissances très modestes (faible GMQ).***

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les *ruminants*

Mais pour un objectif de GMQ élevé  $\approx$  réalisation d'une *importante supplémentation en aliment concentré*; et dans ce cas le traitement de la paille à l'ANP reste inutile (notamment lorsque  $C \geq 40\%$  du régime).

**L'utilisation** de fourrages traités à l'ANP reste donc beaucoup mieux **réserver aux ruminants en entretien ou à faible niveau de production** (*mais jamais aux sujets en période péri-partum*)

✓ D'où le **respect d'un certain nombre de règles** pour une utilisation optimale et rationnelle des fourrages pauvres traités à l'urée  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  chez les ruminants.

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Règles à respecter pour un usage rationnel de fourrages traités à l'azote non protéique ( $\text{NH}_3$ , urée):

- ✓ Eviter l'utilisation de fourrages traités à l'ANP chez les jeunes ruminants, et ne jamais dépasser chez les adultes un seuil de 30 - 40 g d'urée/100 kg PV;
- ✓ Eviter le surdosage et déterminer la quantité de paille à distribuer selon la dose d'urée appliquée et le seuil de tolérance acceptable pour l'animal en fonction de son poids vif ou stade physiologique;

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Règles à respecter pour un usage rationnel de fourrages traités à l'azote non protéique ( $\text{NH}_3$ , urée):

- Pour une paille traitée à l'urée à 4%, les quantités maximales à distribuer sont de de l'ordre de:
  - **375 - 500 g** à un **mouton** de 50 kg PV
  - **3,75 – 5 kg** à un **bovin** de 500 kg de PV
- Tandis que pour un traitement à 5%, les quantités maximales à distribuer deviennent respectivement:
  - **300 – 400 g**
  - **3 - 4 kg de paille** pour ces mêmes animaux.

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Règles à respecter pour un usage rationnel de fourrages traités à l'azote non protéique ( $\text{NH}_3$ , urée):

- ✓ Eviter les changements de rations alimentaires sans transition en observant une **période d'adaptation de 2 semaines** par la distribution de très petite quantité paille traitée pour permettre le développement progressif des bactéries uréolytiques dans le rumen des animaux;
- ✓ Etaler la distribution de la quantité de fourrages traités à l' $\text{NH}_3$  ou à l'urée normalement prévue par animal par jour en la fractionnant;

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Règles à respecter pour un usage rationnel de fourrages traités à l'azote non protéique ( $\text{NH}_3$ , urée):

Eviter les pailles du fonds de silo qui, souvent sont très humides avec un taux élevé en azote du fait qu'elles recueillent l'eau de condensation;

✓ Associer à l'usage de fourrages pauvres traités, la distribution de:

- Concentrés riches en **énergie fermentescible** (**céréales, voire la mélasse**) de façon à avoir des ratios  $[\text{ENA}/\text{ANP}] \approx 8-10\%$  et  $[\text{Urée}/\text{MAT}] \approx 30-35\%$ ;
- **Compléments minéraux (soufre), vitaminés**, adjuvants de CUD.

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Risques sanitaires liés à l'utilisation de l'ANP

### ○ **Alcalose** (intoxication ammoniacale)

Maladie métabolique caractérisée par une production excessive d'ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) dans le rumen, avec comme conséquence une élévation anormale du pH, le passage de l' $\text{NH}_3$  dans le sang (**alcalose sanguine**) vers le **foie** où il est transformé en urée. Mais l' $\text{NH}_3$  étant en excès, la capacité du foie à le transformer en urée est rapidement dépassée et il devient ainsi toxique pour les différents organes vitaux de l'organisme: **foie, reins et cœur**.

# Utilisation des fourrages traités à l'ANP chez les animaux

## Risques sanitaires liés à l'utilisation de l'ANP

### ○ **Alcalose** (*intoxication ammoniacale*)

**Causes:** Excès ou mauvaise répartition des apports d'azote rapidement dégradable, associés à un déficit d'énergie fermentescible et consécutifs à la consommation en quantité importante d'urée, d'herbes trop jeunes ou d'ensilage d'herbe de mauvaise qualité.

**Symptômes:** troubles digestifs et nerveux: météorisation, ventre contracté, convulsions et tremblements musculaires.

**Traitement:** Administration par voie orale d'une quantité relativement importante de vinaigre afin d'abaisser le pH du rumen.

## Différents procédés chimiques de traitement de la paille

### ✓ **Traitement de la paille à la soude (NaOH)**

- ❑ **Principe:** Faire agir à l'aide d'équipement  $\pm$  automatisé, une solution de soude à 1,6-6% (**1-3 litres de solution/100 kg MS de paille**) sur de la paille afin d'améliorer son ingestion et sa digestibilité par le bétail.
- ❑ **Durée du traitement:** 1-3 jours; mais la paille ainsi traitée peut être =ment conservée assez longtemps sous forme d'ensilage.
- ❑ **Traitement rarement utilisé,** car c'est un procédé coûteux, nécessitant une grande technicité. Aussi, la soude est un produit chimique dangereux et toxique



# GRAINS DE CÉRÉALES ET LEURS COPRODUITS INDUSTRIELS

# Grains de céréales et leurs coproduits industriels

## Grains de céréales

Ils représentent les principales matières 1<sup>ères</sup> énergétiques les plus utilisées dans les aliments composés, notamment chez les monogastriques. Ils peuvent être utilisés jusqu'à 60% dans la ration. Chez les ruminants, ils constituent en plus des fourrages, un complément énergétique.

Très riches en amidon avec une quantité satisfaisante de P (dont les 2/3 sous forme de P phytique non utilisable par les monogastriques), ils sont généralement pauvres en cellulose, en protéines, en Ca et en vit A (sauf le maïs jaune) et D. **Ce sont:**

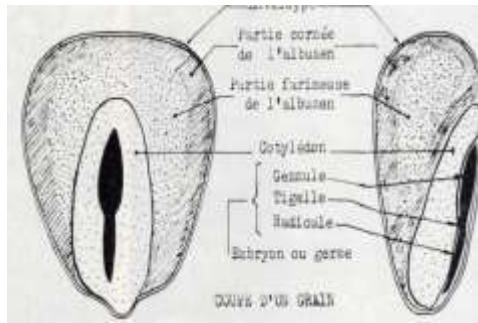
**Maïs** (blanc, jaune, rouge) qui peut accidentellement présenter quelquefois des toxines fongiques: zéaralénone, aflatoxine, ochratoxine;

**Sorgho** (blanc et rouge qui est très riche en tannins responsables de la baisse de la digestibilité des protéines et l'utilisation de l'énergie);

**Blé, riz, mil, orge, avoine**, etc.

# Grains de céréales et leurs coproduits industriels

**Grains de céréales:** Blé, Maïs, Sorgho, Mil, Riz, Orge, Avoine



# Grains de céréales et leurs coproduits industriels

## Issues ou coproduits de céréales

Ce sont des produits issus des meunerie, amidonnerie, semoulerie ou des industries de fermentation (brasseries). Les issues de blé, de riz (**farines basses, remoulages et sons**) sont fréquemment utilisées dans l'alimentation animale alors que celles de maïs et d'orge sont d'usage moins courant. Elles présentent par rapport aux céréales dont elles proviennent des valeurs importantes en CB et en PB et un meilleur équilibre en AA indispensables.

La **VA** des issues varie suivant leur finesse. Elles sont riches en vit B et D et contiennent en moyenne 8-16% protéines brutes, 6-20% cellulose brute et 0,5-0,9 UF/kg MS.

**Les farines basses**, riches en amidon et en lipides, sont une excellente source d'énergie qui peuvent remplacer une fraction importante, sinon la totalité des céréales dans une ration.

# Grains de céréales et leurs coproduits industriels

## Issues ou coproduits de céréales

Les **remoulages** (blancs et bis), sous produits de semoulerie riche aussi en amidon, mais avec une teneur plus élevée en cellulose brute (4% pour le remoulages blancs et 7-8% pour les remoulages bis).

Les **sons** (fins et grossiers) sont une importante source de lest du fait de leur richesse en composés pariétaux. Leur teneur en cellulose brute reste la plus élevée et ils ont par conséquent la plus faible valeur énergétique.

La **drêche**: principal résidu des brasseries constituée de la partie cellulosique du malt (grain germé) concassé à laquelle adhèrent des substances non solubilisées lors de l'opération de brassage.

- Bien qu'elle soit **très humide** (70-80% d'eau) avec une teneur relativement élevée en CB, elle est de bonnes valeurs énergétique (0,7-0,8UF/kg MS) et protéique (24-27%) même si elle est pauvre en vit A et B. Elle peut être distribuée à l'état frais ou même ensilée, mais le séchage reste le mode de conservation le plus courant.

# Grains de céréales et leurs coproduits industriels

n

## Coproduits de céréales: sons de blé, de riz et drêche de brasserie





# **CANNE A SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS AGRO-INDUSTRIELS**

# CANNE À SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS

La **CAS** (*Saccharum officinarum*) est une graminée cultivée et utilisée dans les pays tropicaux essentiellement pour la production du sucre. Sa récolte et son traitement industriel par les complexes sucriers en Afrique laissent de nombreux sous-produits au rang desquels:

- Les **têtes de canne à sucre** (bouts blancs et feuilles) à teneur relativement élevée en énergie mais pauvres en protéines, et qui peuvent être utilisées à l'état frais ou ensilé;

La **bagasse**, un résidu cellulosique de faible valeur alimentaire mais surtout utilisée par les bovins et aussi comme combustible dans les chaudières des industries (sucreries);

- Les **écumes de défécation**, qui sont des résidus pâteux, utilisés essentiellement comme fertilisant en agriculture, mais aussi dans l'alimentation animale lorsqu'ils sont séchés;

- La **mélasse** de canne à sucre, un produit sirupeux très digestible et énergétique (1 UF/kg MS car riche en saccharose) avec une teneur élevée en potassium, mais pauvre en CB, PB, MG et vitamines.

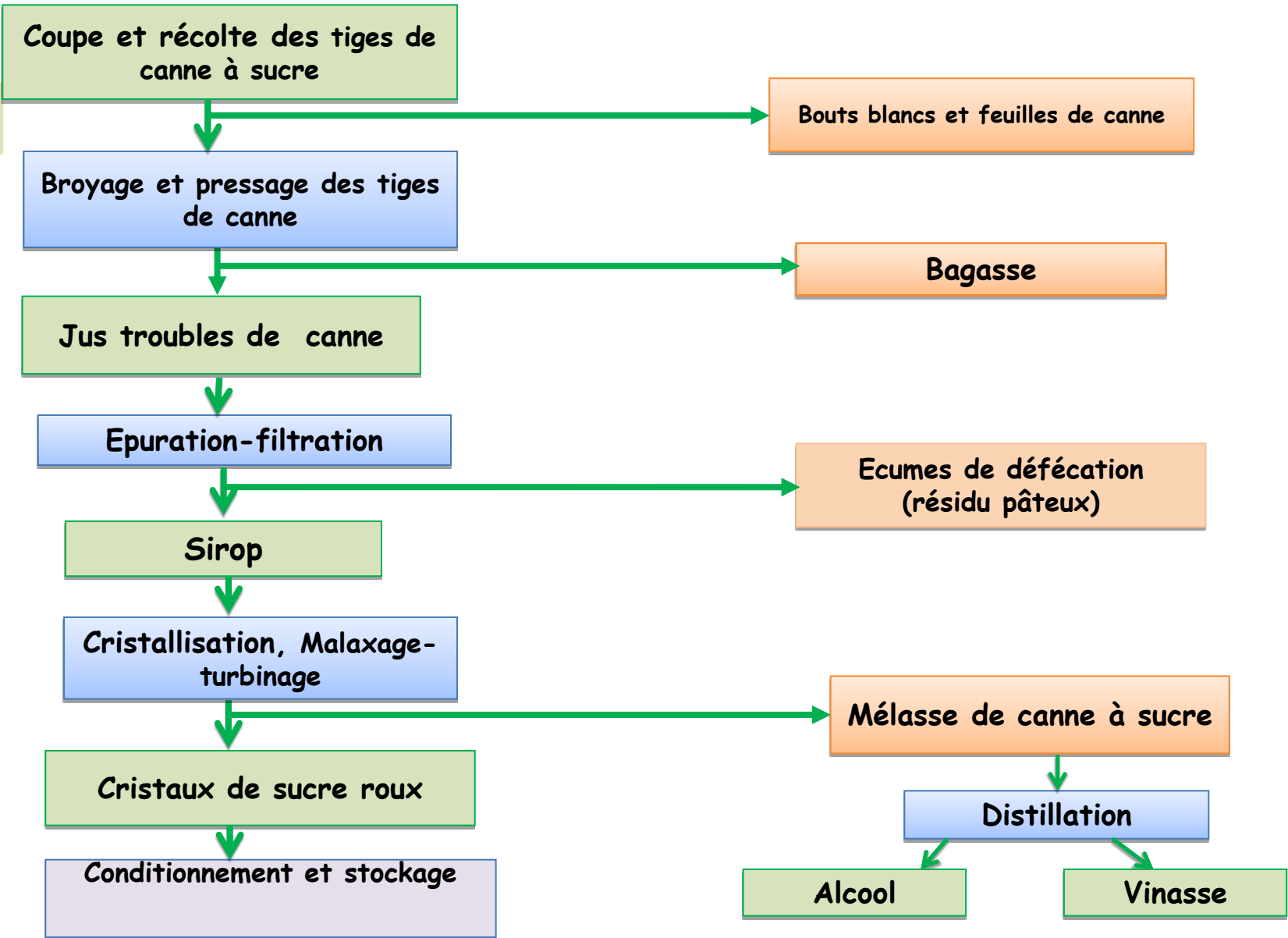
# CANNE À SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS

La CAS (*Saccharum officinarum*) est une graminée cultivée et utilisée dans les pays tropicaux essentiellement pour la production du sucre. Sa récolte et son traitement industriel par les complexes sucriers en Afrique laissent de nombreux sous-produits au premier rang desquels:

La **mélasse** de canne à sucre est,

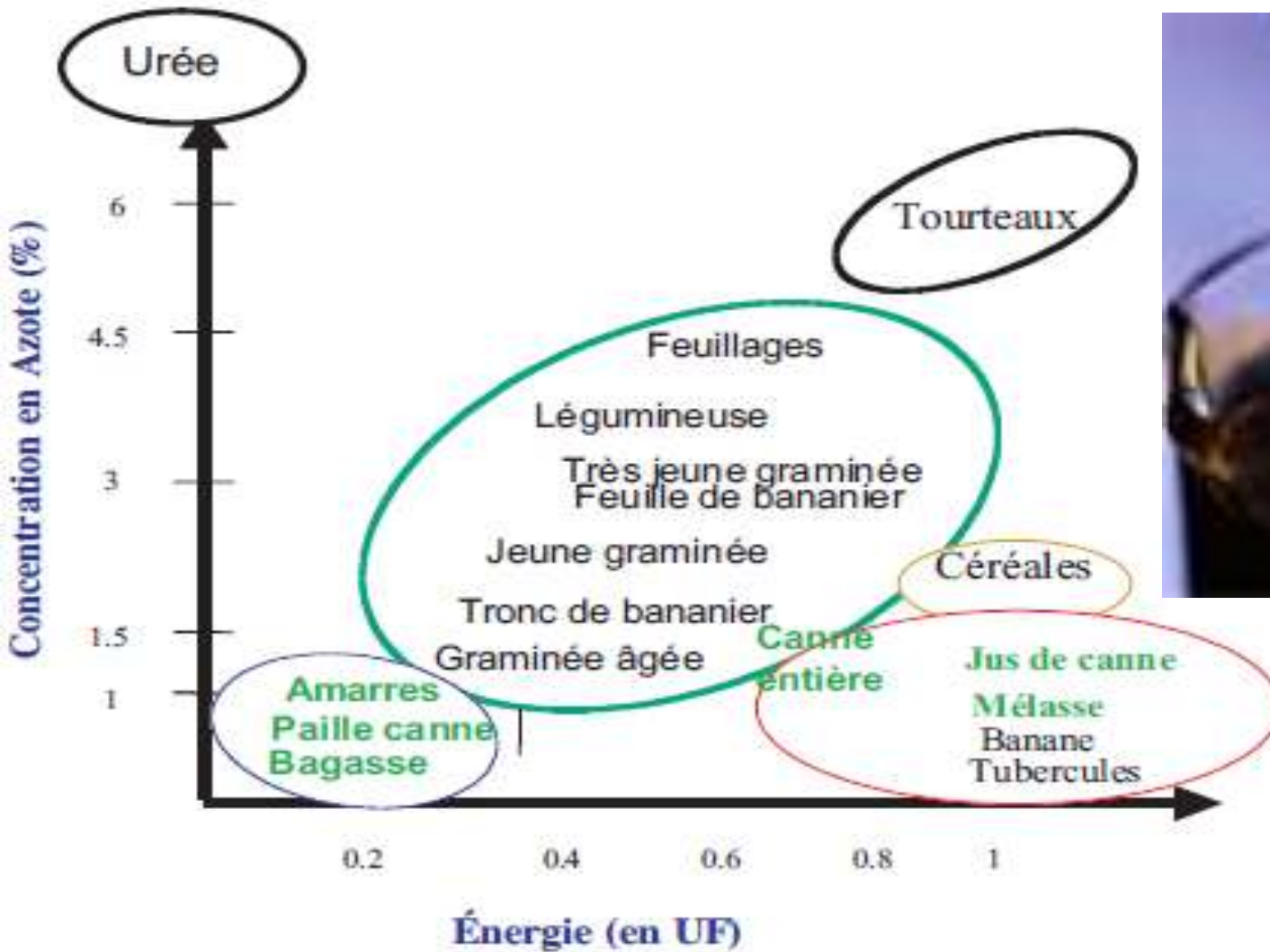
- très appréciée des animaux, et peut être directement incorporée dans l'eau de boisson ou ajoutée aux aliments grossiers (paille, sons grossiers, coque d'arachide, etc.) pour accroître leur appétibilité et leur valeur alimentaire;
- utilisée comme complément des aliments riches en protéines (tourteaux, drêche, etc.), et peut servir de liant à des produits pulvérisants pour la fabrication ou la production des aliments agglomérés sous forme de bouchons ou blocs nutritionnels (mélasse+urée+drêche+ciment);
- utilisable chez toutes les espèces animales, surtout lorsqu'elle est complétementée en azote et en minéraux (P, NaCl);
- mais !!! sa teneur élevée en K → diurèse, diarrhée importante associée à une gastro-entérite, voire une néphrite lorsqu'elle est distribuée seule en grande quantité (c.-à-d.  $\geq 0,5\%$  du PV de l'animal).

# CANNE À SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS



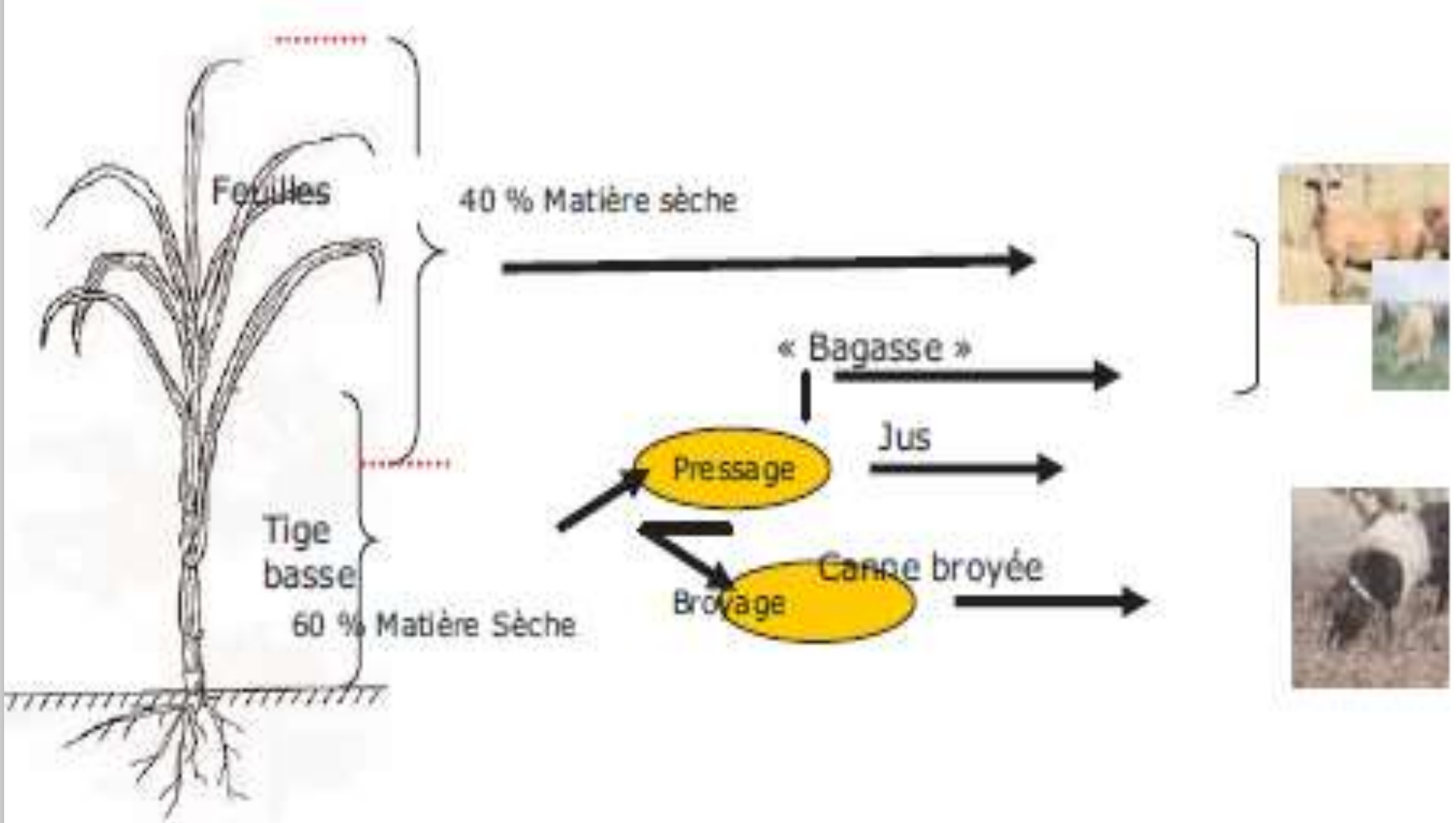
Sous-produits issus du procédé de traitement industriel de la canne à sucre

# CANNE À SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS



Valeur alimentaire relative de la canne à sucre et de ses coproduits

# CANNE À SUCRE ET SES SOUS-PRODUITS



Utilisation des différentes parties et coproduits de la canne à sucre par les animaux



**RACINES/TUBERCULES, FRUITS ET LÉGUMES  
ET LEURS COPRODUITS AGRO-INDUSTRIELS**

# Racines, tubercules et leurs coproduits agro-industriels

Les **racines** (manioc, betterave, carotte, taro) et tubercules (igname, pomme de terre, patate douce, topinambour) sont des matières ou ressources résultant de l'accumulation de réserves glucidiques dans les parties souterraines des végétaux.

Les racines et tubercules sont des aliments aqueux, c.-à-d. très riches en eau (70-90%), riches en glucides, en particulier l'amidon (60-75% MS). Très ingestibles et digestibles, elles sont pauvres en protéines, mais intéressantes surtout pour leur apport énergétique.

Utilisées à l'état **déshydraté** (pulpe séchée, farine ou cossette), elles peuvent remplacer 30-40% des céréales d'une ration classique. En absence de **facteurs toxiques** (HCN, solanine, etc.), elles peuvent être utilisées à l'état frais, surtout chez les porcs.

Les principaux coproduits ont les mêmes caractéristiques générales que leurs matières 1<sup>ères</sup>; mais les **épluchures** (peau ou écorces), les **feuilles** et **parties aériennes** sont plus riches en matières azotées en parois cellulaires que les racines et tubercules correspondants.

# Racines, tubercules et leurs coproduits agro-industriels



Deux variétés de manioc existent suivant leur teneur en composés cyanogènes (manihotoxine, HCN), facteur antinutritionnel pouvant être réduit par **séchage** ou **trempage**:

- les **variétés douces** dans lesquelles le toxique est limité dans l'écorce;
- les **variétés amères** dans lesquelles le toxique se retrouve aussi dans l'écorce que le bois

**Manioc, igname, pomme de terre, patate douce, taro, betteraves, carotte, etc.**

# Coproduits agroindustriels de fruits et légumes

Les **CAFL** sont des matières premières issues de cultures ou de transformations agroalimentaires des fruits et légumes, qui sont susceptibles, de par leurs qualités alimentaires et hygiéniques prouvées et reconnues, d'être valorisées en alimentation animale.

Les **Coproduits de fruits et légumes** sont très diversifiées, aux caractéristiques très hétérogènes et dépendant non seulement des matières premières d'origine (**ananas, banane, mangue, papaye, melon, tomate, pomme, goyave, haricot vert, agrumes, pois, raisin, café, etc.**) mais aussi du traitement technologique qu'ils ont subi.

Du point de vue valeur alimentaire, les **CAFL** sont **souvent déséquilibrés** et ne rentrent dans la ration animale que **comme compléments**, soit à l'état **déshydraté**, ou soit à l'état **frais** (surtout chez les porcs).

# Coproduits agroindustriels de fruits et légumes



**Exemple de bovins consommant les écarts de triage de bananes**

# Coproduits agroindustriels de fruits et légumes



Les **CAFL** comprennent donc:

- les fruits et légumes **excédentaires** (surproduction);
- les **fruits et légumes pourris, avariés ou immatures**;
- les **écarts de triage** (fruits et légumes non conformes aux normes d'exportation ou de transformation);
- les coproduits de nettoyage et de préparation des fruits et légumes de conserverie: **déchets de parage et de triage** (tiges, feuilles, gousses, déchets d'éboutage, peaux de fruits, etc.);
- les **coproduits de transformation des fruits en jus** ou en alcool: drèches ou pulpes d'agrumes, de tomates, de mangues, de café, de raisins, etc.;
- les pépins secs de raisins qui sont riches en AGI longs, etc..



# **GRAINES DES OLÉO-PROTÉAGINEUSES LEURS COPRODUITS INDUSTRIELS**

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits

Les **oléagineux** sont des plantes dont les graines très riches en matière grasse (20-45% de produit brut) sont utilisées pour produire des huiles comestibles, industrielles ou pharmaceutiques. Les graines oléagineuses (soja, arachide, coton, colza, tournesol, etc.) allient une forte valeur énergétique à une bonne valeur protéique, d'où l'appellation **d'oléo-protéagineux**.

Les **graines protéagineuses** (niébé ou haricot, pois, féverole, lupin) produites par les fabacées (légumineuses) sont surtout utilisées pour leur richesse en protéines bien pourvues en lysine mais déficitaires en acides aminés soufrés. Mais bien qu'elles soient aussi de bonne valeur énergétique (teneur relativement importante en MG et en glucides), leur incorporation dans les régimes reste souvent limitée par l'absence de facteurs antinutritionnels.

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits



Graines de soja, d'arachide, de coton, de colza, de tournesol, de niébé ou d'haricot, de pois, de féverole et de lupin, noix de palme, graines de baobab

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits

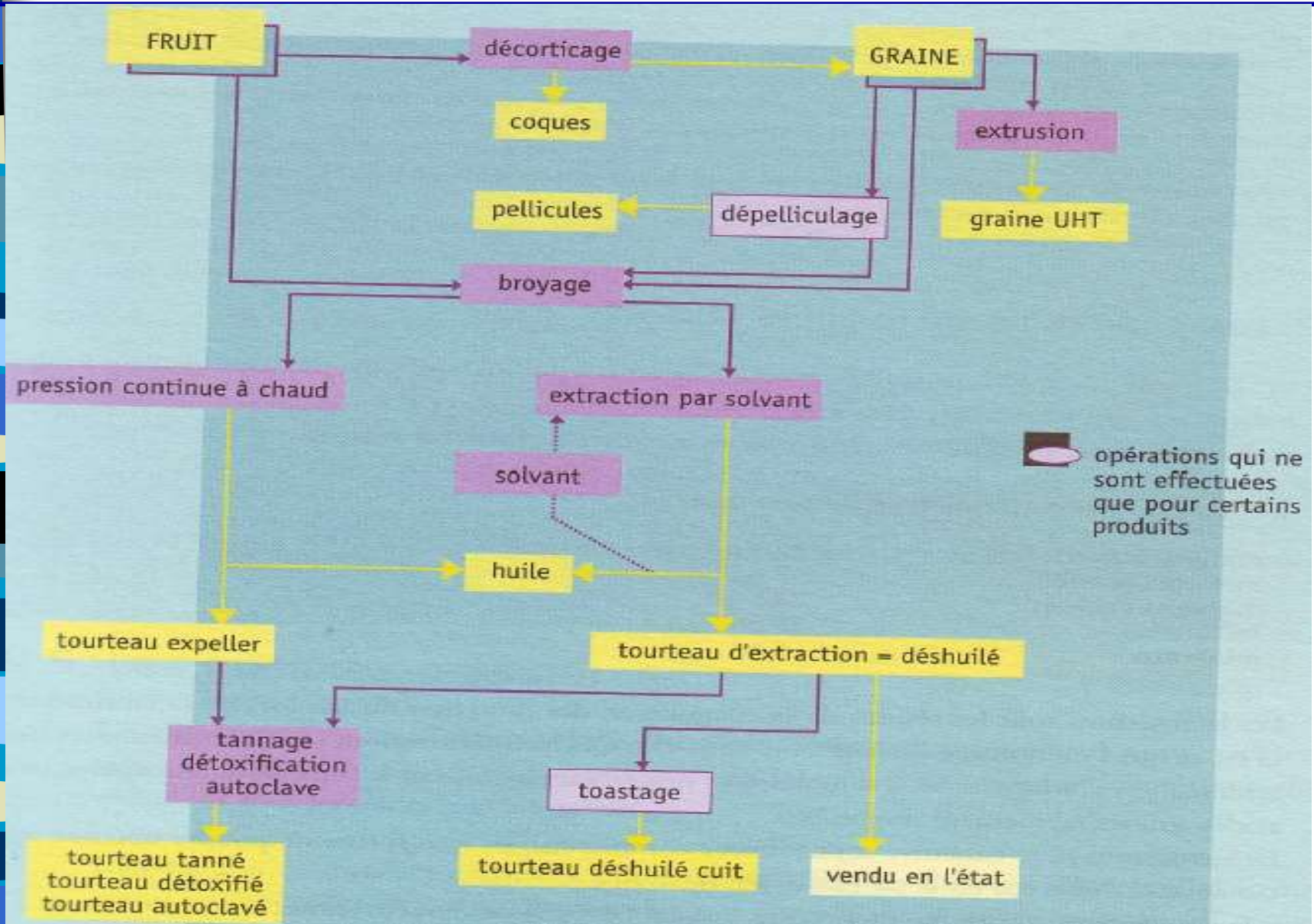
pendant, les handicaps à leur usage (notamment l'existence de coque entourant la graine des oléo-protéagineux ou la présence de substances antinutritionnelles) sont souvent réduits par des traitements technologiques ou industriels (dépelliculage, traitement hydro-thermique).

Ces traitements industriels de graines oléo-protéagineuses laissent des coproduits d'huileries ou résidus d'extraction d'huile communément appelés **tourteaux** et qui, généralement sont riches en énergie et en matières azotées (30-50% du produit brut).

**Composition des tourteaux:** elle varie suivant leur origine, le niveau d'altération subie et le procédé d'extraction d'huile:

- Extraction **par pression continue** → tourteaux expellers (5-10% MG);
- Extraction **par solvant** → tourteaux déshuilés (moins de 4% MG)
- Extraction par pression artisanale → **tourteaux artisanaux** extrêmement énergétiques (15-20% MG), mais difficiles à conserver car rapidement sujets à de rancissement.

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits



Coproduits issus du procédé industriel d'extraction d'huile des graines oléo-protéagineuses

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits

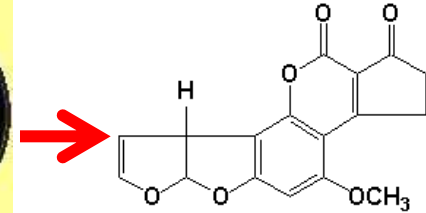


Figure 2 : Aflatoxine B1

**Tourteau de soja:** meilleure source de protéines végétales bien adapté à l'alimentation du bétail (monogastres), il est relativement pauvre en AA soufrés, en zinc et en P disponibles. Il contient à l'état cru des facteurs antinutritionnels (ex: antitrypsine) très nocifs, mais qui peuvent être éliminés par cuisson ou torréfaction.

**Tourteau d'arachide:** légèrement pauvre en AAI (cyst, tryp, lysine), il est aussi une bonne source de protéines. Mais il peut:

- facilement rancir (surtout quand il est riche en MG) → production de peroxydes destructeurs d'AA et de vitamines et une baisse de l'appétibilité;
- Contenir des toxines (**aflatoxine**) ou favoriser le développement des moisissures (*Aspergillus flavus*) productrices de toxines très toxiques surtout pour les animaux monogastriques.

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits



**Tourteau de coton:** il constitue une source relativement bonne de protéines mais =ment pauvre en AAI avec une teneur assez élevée en cellulose brute suivant le niveau de décorticage des graines. Contrairement aux ruminants qui sont assez tolérants, son utilisation reste assez limitée chez les monogastriques qui sont plus sensibles au **gossypol** (facteur antinutritionnel) qu'il contient.

**Tourteaux de palmiste et de coprah:** provenant respectivement de l'albumen des graines ou noix de palmiers et de cocotiers, ils ont une teneur relativement faible en protéines brutes contre un taux relativement important en cellulose brute, ce qui limite leur incorporation dans les régimes. Ils sont assez utilisés en alimentation des porcs dans les zones tropicales où ils existent.

# Graines des oléo-protéagineuses et leurs coproduits



**Tourteau de tournesol:** De valeur énergétique médiocre, il constitue une source de protéines végétales très digestes mais déficientes en lysine. Toutefois, lorsque ses déficits sont compensés, il représente une excellente matière première pour l'alimentation animale.

**Tourteau de colza:** Assez bien utilisé par le porc, il est de valeur énergétique relativement bonne et variable et renferme des protéines incontestablement très équilibrées. Cependant, il a malheureusement certains défauts notoires dont:

la présence de **glucosinolates**, qui sous l'action de la myrosinase → composés goitrogènes ou amers, responsables d'inappétence chez les mammifères (porc), de retard de croissance chez toutes les espèces et de mortalité par foie gras hémorragique chez les poules pondeuses;

la présence de **sinapine** → accumulation de triméthylamine dans le jaune des œufs à coquille colorée et dans certaines viandes de volailles, leur conférant un goût de poisson lorsque le taux d'incorporation du TC > 5% dans la ration.

**Tourteaux de baobab, de cacao, de sésame, etc.**



**ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE: FARINES  
ANIMALES ET COPRODUITS DU LAIT**

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

Les **farines animales** sont essentiellement obtenues à partir de produits ou coproduits d'industries variées (abattoirs de ruminants, de porcs, de volailles, industries de viande, pêcheries, conserveries, etc.) très différentes les unes des autres du fait de l'hétérogénéité des matières premières et des technologies de traitement utilisées.

- Les **farines de viande**: très riches en **protéines** (60-75% pour celles préparées à partir de carcasses désossées; 40-55% pour celles issues de carcasses entières d'animaux morts ou impropres à la consommation humaine) et en **minéraux** (15-30%), elles peuvent être incluses dans l'ordre de 2-5% dans la ration, surtout chez les monogastriques. Toutefois, elles sont très rarement disponibles en Afrique, et leur coût aussi très élevé. **Mais !!!!**, les **farines de viande** sont **interdites** d'utilisation dans l'alimentation des monogastriques et des ruminants en **Europe depuis 2000** à la suite des crises de la maladie de vache folle (ESB).

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

Les **farines animales** sont essentiellement obtenues à partir de produits ou coproduits industries variées (pêcheries, conserveries, abattoirs de ruminants, de porcs, de volailles, etc.) très différentes les unes des autres du fait de l'hétérogénéité des matières 1<sup>ères</sup> et des technologies de traitement utilisées.

- Les **farines de sang**: obtenues après dessèchement du sang récupéré à l'abattage des animaux (5-6 litres de sang → 1 kg de farine), elles sont =ment très riches en protéines (80%), mais qui sont déséquilibrées en AAI tels que isoleucine, gly. et méthionine.

- Les **farines d'os**: obtenues après calcination des os, des cornes ou des onglons, elles sont **essentiellement riches en éléments minéraux**, particulièrement en **calcium** et **phosphore**. Si les os sont broyés à l'état après extraction de la graisse, on parle de **farines d'os verts**; alors que leur broyage après extraction de la gélatine conduit aux **farines d'os dégelatinés**.

- Les **farines de coproduits de couvoir ou de coquilles d'œufs** : obtenues à partir déchets de couvoirs, elles sont d'excellentes sources de **minéraux (40-80%)**, plus particulièrement du calcium (15-40%), mais très peu pourvues en **protéines** et en énergie.

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

Les **farines animales** sont essentiellement obtenues à partir de produits ou coproduits industries variées (pêcheries, conserveries, abattoirs de ruminants, de porcs, de volailles, etc.) très différentes les unes des autres du fait de l'hétérogénéité des matières 1<sup>ères</sup> et des technologies de traitement utilisées.

- Les **farines de poisson**: obtenues à partir de poissons entiers ou des déchets de poissons de pêches et des conserveries, elles sont d'excellentes sources de **protéines** et de **minéraux**, voire de l'énergie (celle-ci étant variable suivant les taux de matières grasses résiduelles et de minéraux) bien indiquées pour l'alimentation des monogastriques. .
- Les farines de poisson ont une composition variable non seulement en fonction de la nature et de la qualité des intrants utilisés, mais aussi du procédé de transformation appliqué (industriel ou artisanal);
- Elles peuvent titrer jusqu'à **65% de protéines brutes** bien riches en lysine et en tryptophane, **21% de matières minérales brutes** dont 8% de Ca et 3,5% de Phosphore.

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

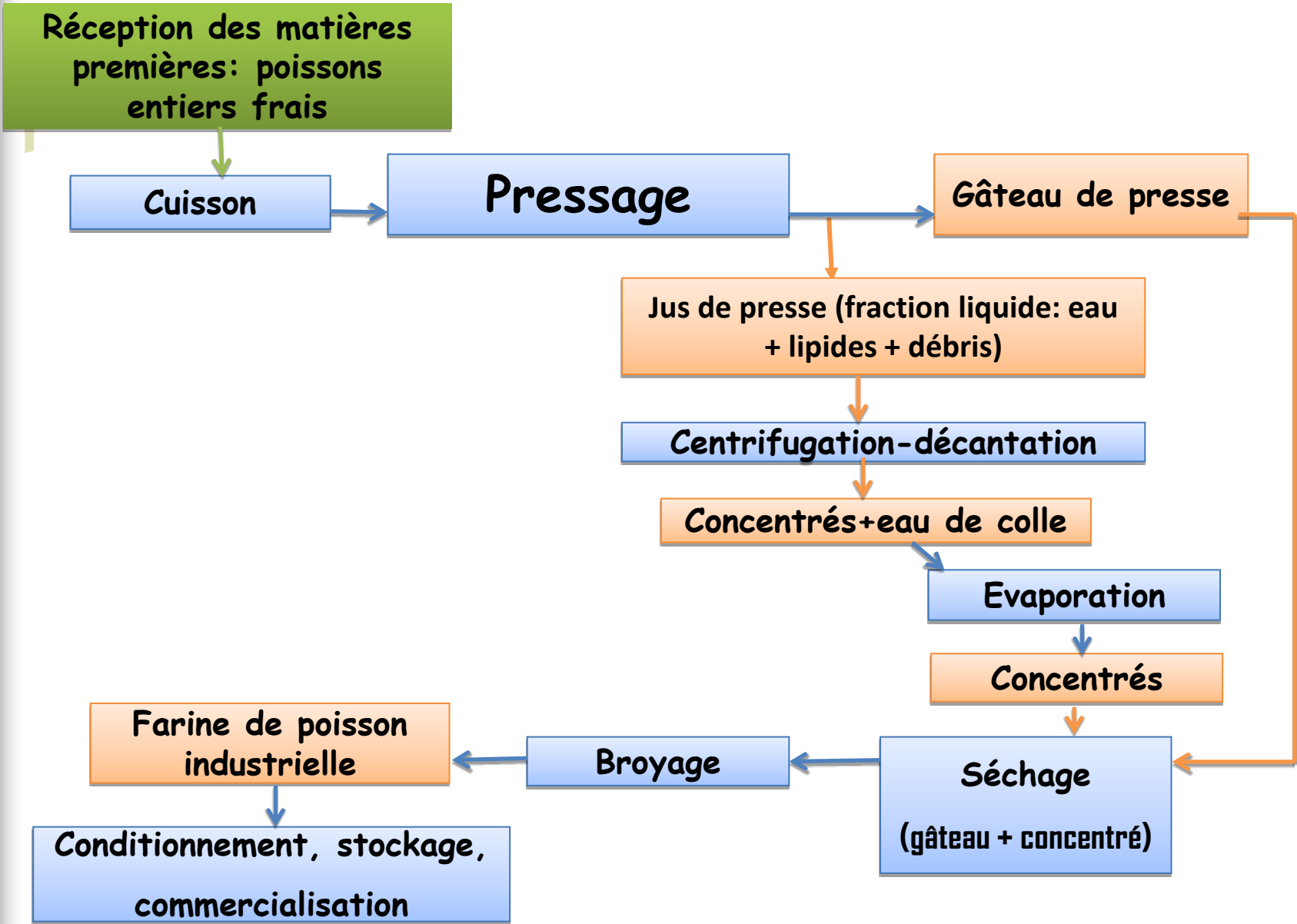


Diagramme adapté de fabrication industrielle de farine de poisson (IFREMER, 2010)

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

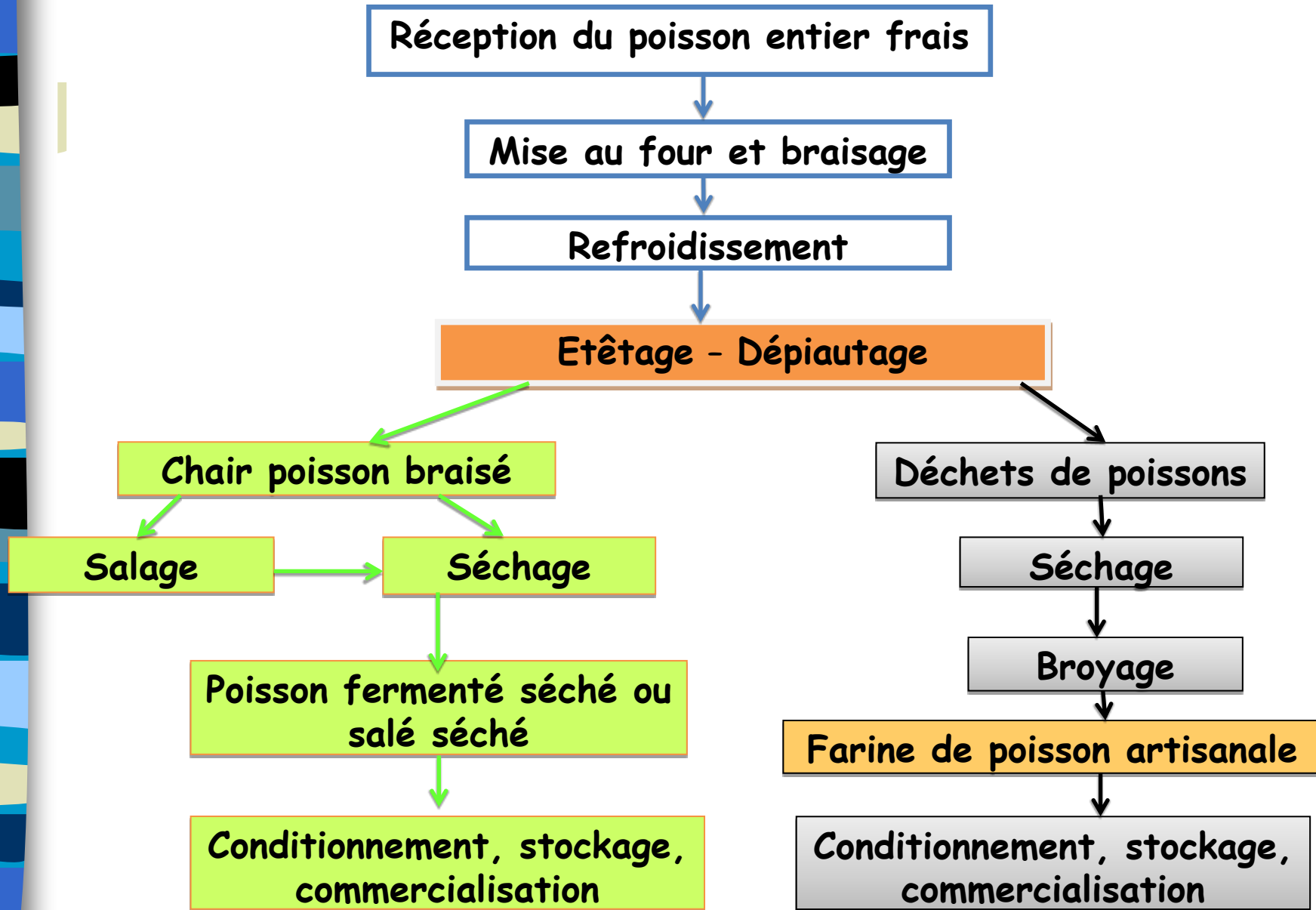


Diagramme de fabrication artisanale de farine de poisson au Sénégal (DPM, 2012)

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

Les **farines animales** sont essentiellement obtenues à partir de produits ou coproduits industries variées (pêcheries, conserveries, abattoirs de ruminants, de porcs, de volailles, etc.) très différentes les unes des autres du fait de l'hétérogénéité des matières 1<sup>ères</sup> et des technologies de traitement utilisées.

- Cependant **l'incorporation** des farines de poisson dans la ration des monogastriques reste souvent **limitée autour de 5-12% maximum**, car l'usage d'un taux plus élevé peut conférer au plan organoleptique, à la viande produite une « odeur de poisson », notamment lorsque ces farines ne sont pas de bonne qualité.
- **Farines de coquilles d'huîtres ou coquillages marins** qui sont utilisées en alimentation animale du fait surtout de leur excellent apport en minéraux, surtout en calcium, dont elles peuvent contenir autour de 35-40%.
- **Farines de larves et d'insectes:** larves de MSN, asticots, vers de terre

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

\*\* Les **coproduits laitiers** sont liquides, c.-à-d. très riches en eau et instables. Très habituellement utilisés en alimentation porcine, ils sont essentiellement représentés par le lait écrémé, le babeurre, les lactosérums et les ultrafiltrats de lait et de lactosérum.

- Le **lait écrémé** et le **babeurre**: coproduits obtenus après prélèvement des matières grasses du lait et de la crème, ils sont des aliments protéiques équilibrés pouvant constituer la seule source protéique complémentaire des céréales en alimentation des porcs quel que soit leur âge.

- Les **lactosérums** (ou petit lait), sont des résidus de la coagulation des protéines du lait obtenus lors de la fabrication fromagère. Ils sont essentiellement énergétiques (riches en lactose), mais aussi très riches en albumines (contenant des AA indispensables) solubles susceptibles de franchir la caillette du TD sans coaguler.

# Aliments d'origine animale: farines et coproduits du lait

Les **coproduits laitiers** sont liquides, c.-à-d. très riches en eau et instables. Très habituellement utilisés en alimentation porcine, ils sont essentiellement représentés par le lait écrémé, le babeurre, les lactosérums et les ultrafiltrats de lait et de lactosérum.

- Les **lactosérums**, sont de nature variée, mais peuvent être différenciés en deux (2) grands types suivant leurs origines technologiques:

- les **lactosérums doux** provenant du caillage du lait par la présure;
- les **lactosérums acides** issus du caillage lactique ou de la caséine du lait produite par les acides minéraux;
- Au plan nutritionnel, le principal facteur limitant l'utilisation des lactosérums en alimentation porcine est la baisse de leur valorisation avec l'âge (les jeunes disposant plus de lactase que les adultes). Ainsi la limite moyenne de leur incorporation dans la ration, à moduler en fonction de l'âge des animaux et de l'intérêt économique, est de l'ordre de 30% de la MS totale.

- **Ultrafiltrats** de lait et de lactosérum, ainsi que les **sérums déprotéinés, délactosés** et les **eaux-mères de lactoserie** sont des solutions simples de lactose et de minéraux, mais de faible valeur protéique suivant les traitements subis. Limite d'inclusion = 20% maxi



**ORGANISMES UNICELLULAIRES  
ET ALGUES**

# Organismes unicellulaires et algues

Les Organismes unicellulaires (**levures, bactéries**) et les **algues** sont surtout caractérisées par leur richesse en matières azotées comportant des protéines de bonne qualité, c.-à-d. de haute valeur biologique.

- Les **levures** sont classées en deux (2) grandes catégories selon qu'elles sont spécialement cultivées (**levures alimentaires**) ou non (**levures de récupération** issues des brasseries et distilleries) pour l'alimentation animale, en particulier des porcs comme seule complémentation aux céréales.
- Les **levures de récupération** du fait des risques liés à l'irrégularité de leur qualité (composition très variable, hétérogène), aux difficultés de séchage et à la présence de résidus (alcool), sont parfois **d'emploi limité** en alimentation animale, contrairement aux **levures alimentaires** qui elles, ont une origine bien précise, une composition stable et sans résidu toxique.

# Organismes unicellulaires et algues

Les Organismes unicellulaires (levures, bactéries) et les algues sont surtout caractérisées par leur richesse en matières azotées comportant des protéines de bonne qualité, c.-à-d. de haute valeur biologique.

- Les **bactéries** (**Pruteen ICI**) comme les levures cultivées en fermentateurs sur divers substrats, sont riches en protéines et acides nucléiques et de composition très régulière. Elles sont bien tolérées par les porcs et les oiseaux en croissance chez lesquels elles peuvent être incorporées autour de 5-15% MS de la ration, même si des apports plus élevés sont parfois préjudiciables aux animaux.

- Les **algues** ont une diversité de composition encore plus grande que celle des levures et bactéries. Souvent riches aussi en pigments et en constituants pariétaux, elles peuvent être incorporées jusqu'à 10% MS de la ration des porcs. Les **Chorelles** et les **Scenedesmus** paraissent avoir aujourd'hui un avenir certain en rapport avec le traitement des eaux résiduaires.



# **ALIMENTS D'ORIGINE MINÉRALE ET ADDITIFS ALIMENTAIRES**

# Aliments d'origine minérale et additifs alimentaires

Parmi les **aliments d'origine minérale**, on peut citer:

- Ceux qui sont **riches en calcium, Ca (31-40%)**: carbonate de calcium, carbonate de sucrerie, calcaires naturels, etc.

Ceux qui sont **riches en phosphore (P)**

- **hydrosolubles (9-28%)**: phosphates mono et disodique anhydres ou hydratés, phosphates mono et dipotassique, phosphates mono et diammonique, Tri-polyphosphate de sodium, phosphate monocalcique hydraté;

- **Non hydrosolubles (13-21%)**: phosphates naturels de roche, phosphates défluorés de roche, phosphates mono, bi et tricalcique, phosphate bicalcique anhydre ou dihydraté, phosphate calcique de Magnésium et de sodium;

- Ceux qui sont **riches en sodium (Na: 27-40%)** ou **en chlorure, (Cl: 4-60%)**: bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), sel marin et le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ).

# Aliments d'origine minérale et additifs alimentaires

**Additifs:** En alimentation animale, ils désignent toute substance dotée ou non de valeur nutritionnelle, qui est ajoutée intentionnellement aux aliments des animaux dans un but nutritionnel, sensoriel, technologique, zootechnique ou prophylactique. D'origine minérale ou végétale, ils peuvent exister à l'état naturel ou artificiel par synthèse ou par fermentation.

On distingue selon le but visé, des additifs:

- **Technologiques** (substances ajoutées aux aliments pour animaux pour des raisons technologiques);
- **Sensoriels** (substances pour améliorer ou modifier la couleur ou le goût d'un aliment pour animaux ou de produits animaux);
- **Nutritionnels** (substances ajoutées aux aliments dans le but d'améliorer leur incidence nutritionnelle);
- **Zootechniques et prophylactiques** (substances utilisées pour améliorer les performances d'animaux, empêcher l'apparition de maladies ou influencer favorablement l'environnement digestifs des sujets pour leur bonne santé).

## **Additifs technologiques :**

- ❑ **Conservateurs:** substances ou, le cas échéant, micro-organismes qui protègent les aliments pour animaux des altérations dues aux micro-organismes ou à leurs métabolites;
- ❑ **Antioxygènes:** substances prolongeant la durée de conservation des matières premières et des aliments pour animaux en les protégeant des altérations provoquées par l'oxydation;
- ❑ **Emulsifiants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, permettent de réaliser ou de maintenir le mélange homogène de deux ou plusieurs phases non miscibles;
- ❑ **Stabilisants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, permettent de maintenir son état physicochimique;
- ❑ **Epaississants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent la viscosité;

## **Additifs technologiques :**

- Gélifiants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, lui confèrent de la consistance par la formation d'un gel;
- Liants:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, augmentent l'agglutination des particules;
- Contrôleurs de contamination de radionucléides:** substances qui suppriment l'absorption des radionucléides ou en favorisent l'excrétion;
- Antiagglomérants:** substances qui, dans un aliment pour animaux, limitent l'agglutination des particules;
- Correcteurs d'acidité:** substances qui modifient le pH d'un aliment pour animaux;
- Additifs pour ensilage:** substances, y compris les enzymes ou micro-organismes, destinés à être incorporées au fourrage pour d'améliorer la production d'ensilage pour bétail;

# Aliments d'origine minérale et additifs alimentaires

## Additifs technologiques :

- ❑ **Dénaturants:** substances permettant de déterminer l'origine des matières premières pour denrées alimentaires ou aliments spécifiques pour animaux lorsqu'elles sont utilisées dans la fabrication d'aliments transformés pour animaux;
- ❑ **Réducteurs de contamination d'aliments pour animaux par les mycotoxines :** substances permettant de supprimer ou de réduire l'absorption des mycotoxines, d'en favoriser l'excrétion ou d'en modifier le mode action.

## Additifs sensoriels :

- ❑ **Colorants:** substances qui, utilisées dans les aliments pour animaux, leur redonnent de la couleur susceptible de favoriser leur ingestion par l'animal;
- ❑ **Exhausteurs de goût:** substances qui, utilisées dans les aliments pour animaux, leur redonnent du goût favorable à leur consommation par l'animal (ex: la mélasse);
- ❑ **Substances aromatiques:** substances qui, ajoutées à un aliment pour animaux, en augmentent l'odeur et la palatabilité.

# Aliments d'origine minérale et additifs alimentaires

## Additifs nutritionnels:

- Vitamines, provitamines et substances à effet analogue chimiquement bien définies;
- Composés d'oligo-éléments (Fe, Cu, Zn,...), mélasse, urée et dérivés;
- Acides aminés de synthèse (lys., méth., cyst.), leurs sels et produits analogues.

## Additifs Zootechniques et prophylactiques:

- Améliorateurs de digestibilité:** substances utilisées dans l'alimentation animale pour renforcer la digestibilité du régime alimentaire de par leur action sur certains constituants des aliments pour animaux (**exemples des enzymes:** amylase, cellulase, phytase, lipase.....);
- Stabilisateurs de microflore intestinale:** micro-organismes ou autres substances chimiquement définies qui, utilisés dans l'alimentation animale, ont un effet bénéfique sur la microflore intestinale.
- Coccidio et histomonostatiques, antibiotiques et autres mais !!!?? RAM**



# FACTEURS ANTINUTRITIONNELS: TRAITEMENTS PARTICULIERS APPLIQUÉS À CERTAINS ALIMENTS

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

Les **FAN** sont des composés organiques aux propriétés toxiques ou anti-nutritionnelles naturellement présentes (lignine, antitrypsines, gossypol, tannins, flavonoïdes, etc.) ou résultant de la présence et du développement dans des conditions spécifiques de microorganismes - champignons, bactéries - dans les aliments (mycotoxines).

Ce sont généralement de grosses molécules qui agissent, soit en se fixant de préférence sur certains groupements fonctionnels des nutriments et des enzymes, soit sur l'ADN elle-même pour inhiber les synthèses organiques : baisse de la croissance, de la reproduction et de la production et parfois des cas de mortalités.

Les **FAN** provoquent des effets divers selon leur nature et les espèces animales, effets qui sont parfois **± atténués** par l'application de certains **traitements technologiques**.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

**Facteurs anti-trypsiques:** présents surtout dans les légumineuses (soja, niébé ou haricot, etc.), ils sont généralement des molécules protéiques inhibitrices de protéases généralement la trypsine. Possédant des sites spécifiques, ils se fixent sur les molécules de trypsine et réduisent fortement leur disponibilité chez la volaille qui voit sa vitesse de croissance baissée. On peut citer :

*la vicine et la convicine*, petites molécules thermorésistantes constituées d'un cycle d'oxypyrimidine aminés et glycosylé;

- *la concanavaleine A* (protéine hémolytique);
- *la canavine et la canaline* (deux acides aminés libres);
- et la *lypoxygénase* du niébé.

Mais, les **effets néfastes** de ces facteurs anti-trypsiques sont dans la plupart des cas **neutralisés par la chaleur**: toastage, torréfaction des graines de soja; extraction d'huile de soja par pressage à chaud des graines de soja (tourteau de soja).

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

**Gossypol:** pigment jaune poly-phénolique, il est une substance alcaloïde toxique (à 2 noyaux naphthalènes, 2 fonctions aldéhydiques et 6 fonctions alcools) retrouvée sous forme libre dans les graines de coton, notamment dans les petites glandes présentes dans l'amande et le tégument (4500-10000 ppm contre 200-5000 ppm pour les tourteaux). Capable de se fixer sur les MO, en l'occurrence les protéines (par exemple → coloration vert-noirâtre avec les protéines au jaune d'œuf), il inhibe la croissance chez les jeunes monogastriques (notamment des oiseaux) contrairement aux ruminants qui n'y sont presque pas sensibles.

Cependant, des essais ont montré que le **traitement prolongé à la chaleur** (température élevée en présence de vapeur d'eau) aboutit à **l'inactivation de cette molécule**. Ainsi le tourteau de coton est moins offensif que les graines.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

**Gossypol:** substance alcaloïde toxique (à 2 fonctions naphthalènes et aldéhydiques et 6 fonctions alcools) retrouvée dans les graines de coton. Capable de se fixer sur les MO, en l'occurrence les protéines (coloration vert-noirâtre avec les protéines du jaune d'œuf par exemple), il inhibe la croissance chez les jeunes monogastriques (notamment des oiseaux) contrairement aux ruminants qui n'y sont presque pas sensibles .

Toutefois, le **chauffage altère la VB des protéines** (formation d'un complexe gossypol-protéine non assimilable par l'organisme), qui perdent une partie de leur valeur nutritive. L'usage d'un procédé chimique consistant à **extraire la totalité du gossypol libre avec un solvant organique (acétone) reste plus efficace.**

Le gossypol pouvant se complexer avec le fer (coloration rouge), **l'ajout de sels de fer** (sulfate de fer) dans la ration alimentaire des monogastriques est **une autre technique de détoxification sans altération de la valeur nutritive du produit** par la formation dans l'intestin d'un complexe fer-gossypol non absorbé au cours de la digestion.

La **sélection génétique** a permis d'obtenir des variétés de coton dites "**glandless**" qui sont des cotons dont les **graines sont sans glandes à gossypol.**

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

**Lectines ou hémagglutinines ou phyto-hémagglutinines:** ce sont des glyco-protéines assez répandues chez les végétaux et caractérisées par leur affinité pour les sucres. Ainsi, elles ont la propriété d'agglutiner les GR ou hématies *in vitro* en se combinant aux résidus glycosyl présents sur les parois des globules rouges (d'où leur nom de phyto-hémagglutinines). Elles provoquent : des retards de croissance et une inflammation des cellules épithéliales de l'intestin. Cependant, elles sont très sensibles (inactivables) à la chaleur.

**Saponines:** Esters d'acide sinapique et de choline présents dans les graines et tourteau de colza (TC), elles inhiberaient les enzymes hépatiques responsables de l'oxydation de la triméthylamine. Cette dernière passerait dans le jaune d'œuf chez certaines poules pondeuses (sauf la Leghorn) et serait responsable du goût de poisson des œufs obtenu lorsque les poules sont nourries avec une ration contenant plus de 5% du TC.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Composés phénoliques et tannins (hydrosolubles et condensés):

Dérivés de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique, ils précipitent grâce à leur force électronégative les protéines et les enzymes formant des complexes non absorbables par le tube digestif à l'origine de la baisse de la disponibilité des protéines. La forte fixation de ces composés avec les protéines et les enzymes dans le TD de l'animal résulte de la formation de liaisons esters entre les groupements phénoliques et les différentes fonctions des acides aminés.

- Les **tannins hydrosolubles** sont des molécules complexes avec des liaisons de type ester donnant par hydrolyse, une fraction glucidique et une fraction phénolique constituée elle-même, soit de l'acide gallique (gallotannins), soit de l'acide ellagique, dimère du précédent (ellagitannins).
- Les **tannins condensés** (encore appelés anthocyanidines) sont des composés ± polymérisés de 4 à 6 flavines hydroxylées qui libèrent par hydrolyse acide des anthocyanidines.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Composés phénoliques et tannins (hydrosolubles et condensés):

- On les retrouve dans divers aliments. Dans le sorgho, ils sont combinés avec les flavonoïdes et les lignines qui sont des polymères d'alcools phénylpropénoïques.
- Le traitement utilisant un trempage (en eau fraîche ou chaude) permet d'éliminer des matières concernées, une bonne partie des tannins hydrosolubles qu'elles renferment **contrairement aux tannins condensés.**

**Glucosinolates:** Ce sont des hétérosides soufrés présents dans certains végétaux, particulièrement le colza et qui se concentrent dans les tourteaux. Ils sont goitrigènes et sont par conséquent responsables du retard ou d'arrêt de croissance chez les animaux qui consomment ces tourteaux. Conférant un **goût amer au tourteau de colza** (et de navette), ils peuvent être **partiellement détruits par la chaleur**; raison pour laquelle les <sup>1ers</sup> tourteaux de colza subissaient un **toastage** (cuisson).

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Mimosine:

- Acide aminé aromatique toxique présent surtout dans les légumineuses, plus particulièrement et par ordre de teneur décroissante dans *Leuceana leucocephala*, *Lathyrus sp*, *Carnavalia ensiformis*, *Gliricidia sepium* et autres. Alors que ses effets néfastes chez les monogastriques restent encore controversés, la mimosine est reconnue pour provoquer chez les ruminants l'alopecie, hyper-salivation, baisse de l'activité thyroïdienne, de l'appétit et de la croissance, l'altération des organes, voire la mort des sujets.
- Les **traitements** tels que: trempage en eau fraîche ou chaude, le séchage au soleil ou étuvage, l'ajout de Polyéthylène glycol (PEG) ou de sels métallique (sulfate de fer ou d'aluminium, etc.) permettent **d'éliminer ou de complexer** des matières concernées une bonne partie de la mimosine qu'elles renferment.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Hétérosides cyanogénétiques

- Ils sont surtout présents dans les tubercules et racines (HCN, manihotoxine dans le manioc, solanine dans la pomme de terre, etc.) auxquelles ils confèrent un goût amer.
- Ils peuvent être partiellement éliminés par le séchage ou par la chaleur (la cuisson de la pomme de terre par exemple, lessive la solanine et améliore la digestibilité de ses constituants).

Phytates et oxalates,

Antraquinones;

Nitrates-nitrites;

Etc...

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## FAN endogènes présents dans certaines ressources

1. Anti-protéase (anti-trypsine); 2. Phyto-hémagglutinines; 3. Glucosinolates; 4. Cyanogènes; 5. Phytates; 6. Saponines; 7. Tannins; 8. Facteurs oestrogènes; 9. Lathyrogyènes; 10. Gossypol ; 11. Facteur de flatulence; 12. Anti-vit E; 13. Anti-thiamine; 14. Anti-vit A; 15. Anti-pyridoxine; 16. Anti-vit D; 17. Anti-vit B12; 18. Anti-amylase; 19. Anti-invertase; 20. Anti-arginase; 21. Anti-cholinestérase; 22. Dihydroxyphénylalanine; 23. Mimosine; 24. Acide cyclopropénoïque.

| Ressources alimentaires                      | Facteurs antinutritionnels |
|--|----------------------------|
| Orge ( <i>Hordeum vulgare</i> )              | 1, 2, 5, 8                 |
| Riz ( <i>Oryza sativum</i> )                 | 1, 2, 5, 8, 13             |
| Sorgho ( <i>Sorghum bicolor</i> )            | 1, 4, 5, 7, 18             |
| Blé ( <i>Triticum vulgare</i> )              | 1, 2, 5, 8, 11, 18, 22     |
| Mais ( <i>Zea mays</i> )                     | 1, 5, 8, 19                |
| Pomme douce ( <i>Ipomoea batata</i> )        | 1, 19                      |
| Manioc ( <i>Manihot utilissima</i> )         | 1, 4                       |
| Pomme de terre ( <i>Solanum tuberosum</i> )  | 1, 2, 4, 8, 18, 19         |
| Fève ( <i>Vicia faba</i> )                   | 1, 2, 5, 7, 22             |
| Dolique ( <i>Vigna unguiculata</i> )         | 1, 2, 5, 11                |
| Haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )        | 1, 2, 4, 5, 6, 11, 12, 18  |
| Dolique lablab ( <i>Dolichus lablab</i> )    | 1, 2, 4                    |
| Lentille ( <i>Lens culinaris</i> )           | 1, 2, 6                    |
| Pois chiche ( <i>Cicer arietinum</i> )       | 1, 4, 5, 8, 11             |
| Pois cajan ( <i>Cajanus cajan</i> )          | 1, 2, 4, 5                 |
| Petit pois ( <i>Pisum sativum</i> )          | 1, 2, 4, 5, 6, 12          |
| Haricot de Lima ( <i>Phaseolus lunatus</i> ) | 1, 2, 4, 5, 7              |

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## FAN endogènes présents dans certaines ressources

1. Anti-protéase (anti-trypsine); 2. Phyto-hémagglutinines; 3. Glucosinolates; 4. Cyanogènes; 5. Phytates; 6. Saponines; 7. Tannins; 8. Facteurs oestrogènes; 9. Lathyrogènes; 10. Gossypol ; 11. Facteur de flatulence; 12. Anti-vit E; 13. Anti-thiamine; 14. Anti-vit A; 15. Anti-pyridoxine; 16. Anti-vit D; 17. Anti-vit B12; 18. Anti-amylase; 19. Anti-invertase; 20. Anti-arginase; 21. Anti-cholinestérase; 22. Dihydroxyphénylalanine; 23. Mimosine; 24. Acide cyclopropénoïque

| Ressources alimentaires   | Facteurs antinutritionnels                                    |
|---|---|
| Haricot velu de Nubie ( <i>Phaseolus aureus</i> )   | 1, 5, 6, 11, 13   |
| Haricot sabre ( <i>Canavalia gladiata</i> )   | 1, 2, 4, 6  |
| Haricot à rames ( <i>Phaseolus coccineus</i> ), H. de Floride ( <i>Stizobolium demissianum</i> ) et pois carré ( <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> ) | 1. Anti-protéase (anti-trypsine);<br>2. Phyto-hémagglutinines |
| Haricot mungo ( <i>Phaseolus mungo</i> )  | 1 et 5. Phytates  |
| Luzerne ( <i>Medicago sativa</i> )  | 1, 6, 8, 12   |
| Ipil ( <i>Leucaena leucocephala</i> )   | 23. Mimosine  |
| Arachide ( <i>Arachis hypogaea</i> )  | 1, 2, 5, 6, 8   |
| Colza ( <i>Brassica campestris napus</i> )  | 1, 3, 5, 7  |
| Soja ( <i>Glycine max</i> )   | 1, 3, 5, 6, 8, 11, 12, 14, 16, 17                             |
| Tournesol ( <i>Helianthus annuus</i> )  | 1, 7, 20  |
| Coton ( <i>Gossypium spp.</i> )   | 5, 8, 10, 12, 24  |
| Lin ( <i>Linum usitatissimum</i> )  | 4, 8, 13, 15  |
| Sésame ( <i>Sesamum indicum</i> )   | 5. Phytates   |

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Mycotoxines:

Englobant une grande famille de toxines, elles provoquent surtout comme principaux effets l'immunosuppression, la **carcinogénèse** et la **mutagenèse**. Elles atteignent aussi le foie, réduisent la croissance ou la production d'œufs et les performances animales en général. Elles sont aussi incriminées dans les **maladies métaboliques** chez les poulets de chair, comme le **syndrome de l'ascite** ou la **dyschondroplasie tibiale**. Il ∃ par ailleurs une interaction synergique importante entre les salmonelles et les mycotoxines.

Le développement des mycotoxines dans l'aliment peut se faire à différents niveaux de production (avant la moisson, entre la moisson et le séchage, pendant l'entreposage ou après le traitement et la fabrication).

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Mycotoxines:

Mais malgré leur forte toxicité, des méthodes pratiques et rentables à grande échelle pour détoxifier les aliments contenant des mycotoxines ne sont pas disponibles. La seule solution reste l'ajout à la ration d'adsorbants non-nutritifs (charbon ou bentonite hautement actifs) sensés minimiser l'absorption gastro-intestinale des mycotoxines et de leurs métabolites.

- **Aflatoxine**: provenant des champignons du genre *Aspergillus flavus* qui se développent dans les stocks défectueux de graines et tourteau d'arachide, elle est le principal facteur antinutritionnel de ces matières en région tropicale. Les aflatoxines du groupe B<sub>2</sub> et G<sub>2</sub> dérivent de la saturation de la liaison entre les C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub>. L'ajout d'adsorbants sodium-calcium aluminosilicates hydratés aux rations contaminées réduit sensiblement les effets adverses des aflatoxines .

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Mycotoxines:

- **Trichotécènes**: secrétées par un champignon du genre *Fusarium* (très présent dans le maïs récolté en condition humide et parfois dans le riz et le blé conservé dans de mauvaises conditions), les plus répandues de ces toxines sont la **toxine T2** et la **vomitoxine** faiblement concentrés (**0,1 à 10 ppm**) dans les matières 1<sup>ères</sup> mais dont les teneurs sont suffisantes pour provoquer des effets antinutritionnels.

Ainsi, une dose de **0,5 à 1 ppm** de ces toxines, est bien suffisante pour induire une baisse de la production: baisse de la croissance chez les poulets de chair, retard ou anomalies d'emplumement, baisse spectaculaire du rythme de ponte, troubles nerveux, etc.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## **Mycotoxines:**

### **- Onchratoxine A:**

produite par des champignons du genre *Aspergillus* et *Penicilium*, on la trouve généralement dans les céréales humides (maïs et blé) dont elle constitue en milieu tropical humide, la principale contrainte d'utilisation en alimentation avicole (la volaille y étant très sensible).

**Ainsi au-delà d'une dose de 1 ppm**, elle entraîne des troubles physiologiques avec une baisse de la concentration plasmatique en caroténoïdes, en calcium et en phosphore avec comme conséquences: diminution rapide de la croissance (chez le poulet de chair), du taux de ponte, renflement et grossissement des reins.

# Facteurs antinutritionnels: traitements particuliers appliqués à certains aliments

## Mycotoxines:

### - Zéaralénone:

toxine typique du maïs essentiellement secrétée par *Fusarium toseum* qui se développe surtout lorsque cette céréale est humide.

Mais contrairement à l'onchratoxine, la volaille reste peu sensible à cette toxine dont elle peut d'ailleurs supporter des doses allant jusqu'à 800 ppm. Et cette dose de zéaralénone selon Larbier et Leclercq (1992) favorisait le développement des ovaires chez les poulettes.



**ANALYSES BROMATOLOGIQUES:  
DÉTERMINATION DES CONSTITUANTS  
CHIMIQUES DES ALIMENTS**

# CONSTITUANTS CHIMIQUES DES ALIMENTS

**Aliments bruts**

**Substances minérales**

**Substances organiques**

**Eau**  
(Humidité)

**Matières  
Minérales**

**Glucides**

**Lipides**

**Matières  
azotées**

**Vitamines**

**Matière sèche**

# MO: Glucides et leur rôle en alimentation

| Catégories                                 | Types                                    | Nature        | Composants                                  |
|--|--|---------------|---|
| Glucides cytoplasmiques (intracellulaires) | Sucres libres ou hydrosolubles           | Hexoses       | Glucose, fructose, galactose                |
|  |  | Pentoses      | Xylose, ramnirose                           |
|  |  | Diholosides   | Sacharose, maltose, lactose, mélibiose      |
|  | Polyosides de réserve (Sucres complexes) | Amidon        | Polymère de glucose à liaison type $\alpha$ |
|  |  | Fructosanes   | Polymère de fructose                        |
| Glucides Pariétaux (paroi)                 | Polyosides pariétaux                     | Cellulose     | Polymère de glucose à liaison type $\beta$  |
|  |  | Hémicellulose | Pentoses+hexoses+ac. glucuronique           |
|  |  | Sub. pectique | Ac. galacturonique + Arabinose +galactose   |
|  | Substances non glucidiques               | Lignine       | Alcools coumary. + conifer.+ synapy-liques  |
|  |  | Cire (cutine) | Alcools et AG Longue chaines                |

# MO: Lipides et leur rôle en alimentation

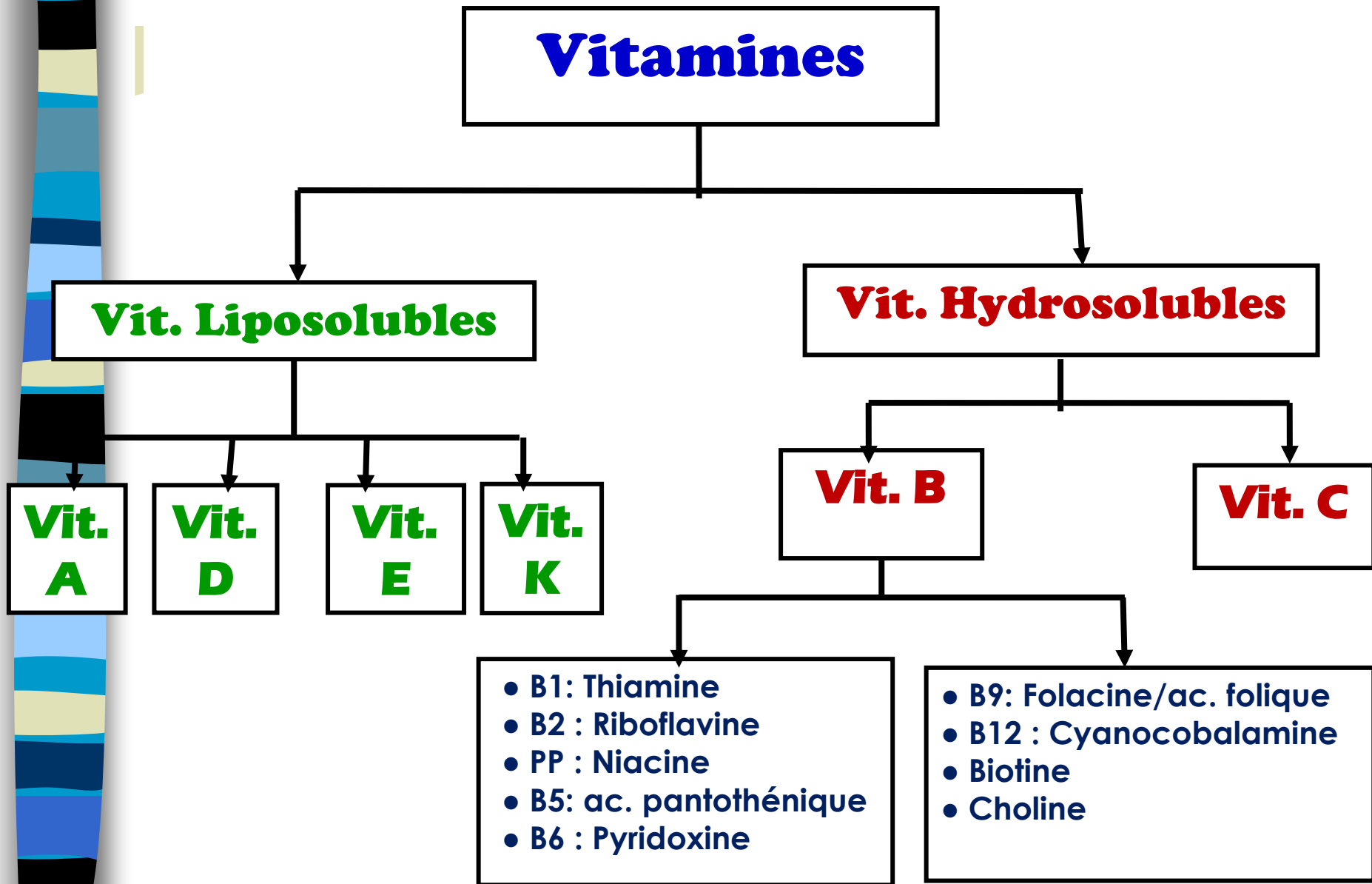
| Catégories                      | Types                        | Nbre de C des AG                                  | Nature liaisons | Exemple  |
|---------------------------------|------------------------------|---|-----------------|--|
| Lipides simples (alcool+AG)     | Glycérides (triglycérides)   | Lip. AG courts<br>Lip. AG moyens<br>Lip. AG longs | Lip. Saturés    | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ : acides acétique, propionique, butyrique, palmitique, stéarique, etc. |
|                                 |                              |   | Lip. Insaturés  | Mono, di, tri et polyinsaturés (acides oléique, linoléique et linoléique, arachidonique)                       |
|                                 | Stérides (stérol)<br>Cérides | -   | -               | -  |
| Lipides complexes (alcool+AG+R) |                              | -   | -               | Phospholipides, Glycolipides, Myéline, Lécithine, etc.   |

La nature des lipides formés dépend de la formule de l'AG et de celle de l'alcool qui lui est associé

# MO: **Matières azotées** et leur rôle en **alimentation**

| Catégories                | Types                          | S-type                      | Nature                    | Exemples  |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| <b>MA protidiques</b>     | <b>Acides aminés</b>           | Indispensables (essentiels) | AA                        | Gly, Lys, Meth, Tryp, Thréo, Leu, Isoleu, etc.  |
|                           |                                | Non indispensables          | AA                        |   |
|                           | <b>Peptides</b><br>(2-100 AA)  | Oligopeptides               | 2-10 AA                   |   |
|                           |                                | Polypeptides                | 10-100 AA                 | Sécrénine   |
|                           | <b>Protéines</b><br>(>100 AA)  | <b>Holoprotéines</b>        | Polym.AA                  | <b>Ovalbumine</b>   |
|                           |                                | <b>Hétéroprotéines</b>      | PolymAA + R. prosthétique | Glucosyl, Phospho, nucléo et chromo-protéines (Hémoglobine, cytochrome, chlorophylle) |
| <b>MA non protidiques</b> | Amides                         |                             |                           | Urée  |
|                           | Amines                         |                             |                           | Cadavérine, putrescine  |
|                           | M A simples                    |                             |                           | $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$                                   |
|                           | Bases azotées d'ac. Nucléiques |                             |                           | Adénine, Guanine, Cytosine, Thymine   |

# Vitamines et leur rôle en alimentation



# Substances minérales et leur rôle

**Substances minérales**

**Eau (Humidité)**

**Matières minérales**

**Macroéléments**

**Oligo-éléments**

- Calcium
- Phosphore
- Potassium
- Sodium

- Chlorure
- Magnésium
- Soufre
- Silice

- Fer & Cuivre
- Cobalt
- Manganèse
- Zinc & Iode
- Molybdate
- Sélénium
- Chrome

**Oligo-éléments non essentiels: Ni, Ti, Al, V, B, Pb, Sn**

# Constituants des aliments: comment les déterminer?

*Analyses bromatologiques normalisées (AOAC, AFNOR, etc.): méthodes d'analyses classiques divisent l'aliment en 6 fractions à savoir:*

- ✓ Humidité,
- ✓ Cendres ou matières minérales brutes,
- ✓ Protéines brutes,
- ✓ Extrait étheré ou matière grasse,
- ✓ Fibre ou cellulose brute,
- ✓ Extractifs non azotés (sucres  $\pm$  solubles)

# CONCLUSION

En alimentation animale, les RA (fourragères, concentrés et leurs coproduits agro-industriels) sont très **diversifiées** et peuvent bien trouver une valorisation efficace selon les espèces animales.

Leurs **caractéristiques** morphologiques et/ou physico-chimiques sont très **hétérogènes** et dépendent des matières premières et du traitement technologique qu'elles ont subi.

Certaines sont énergétiques et/ou protéiques, les unes très riches en éléments minéraux ou en vitamines et d'autres sont relativement pauvres et/ou déséquilibrées et ne peuvent entrer dans la ration que comme compléments.

Par ailleurs, l'application de certains **procédés physico-chimiques** et/ou l'ajout **d'additifs** permettent d'une part, de **réduire ou neutraliser l'impact négatif** de certains facteurs antinutritionnels présents dans certaines ressources, et d'autre part **d'améliorer la conservation, la qualité** nutritionnelle, technologique, zootechnique ou sensorielle des **aliments** qui sont ainsi **mieux valorisés** par les animaux.