

Université
de Liège



Alimentation azotée des animaux de rente

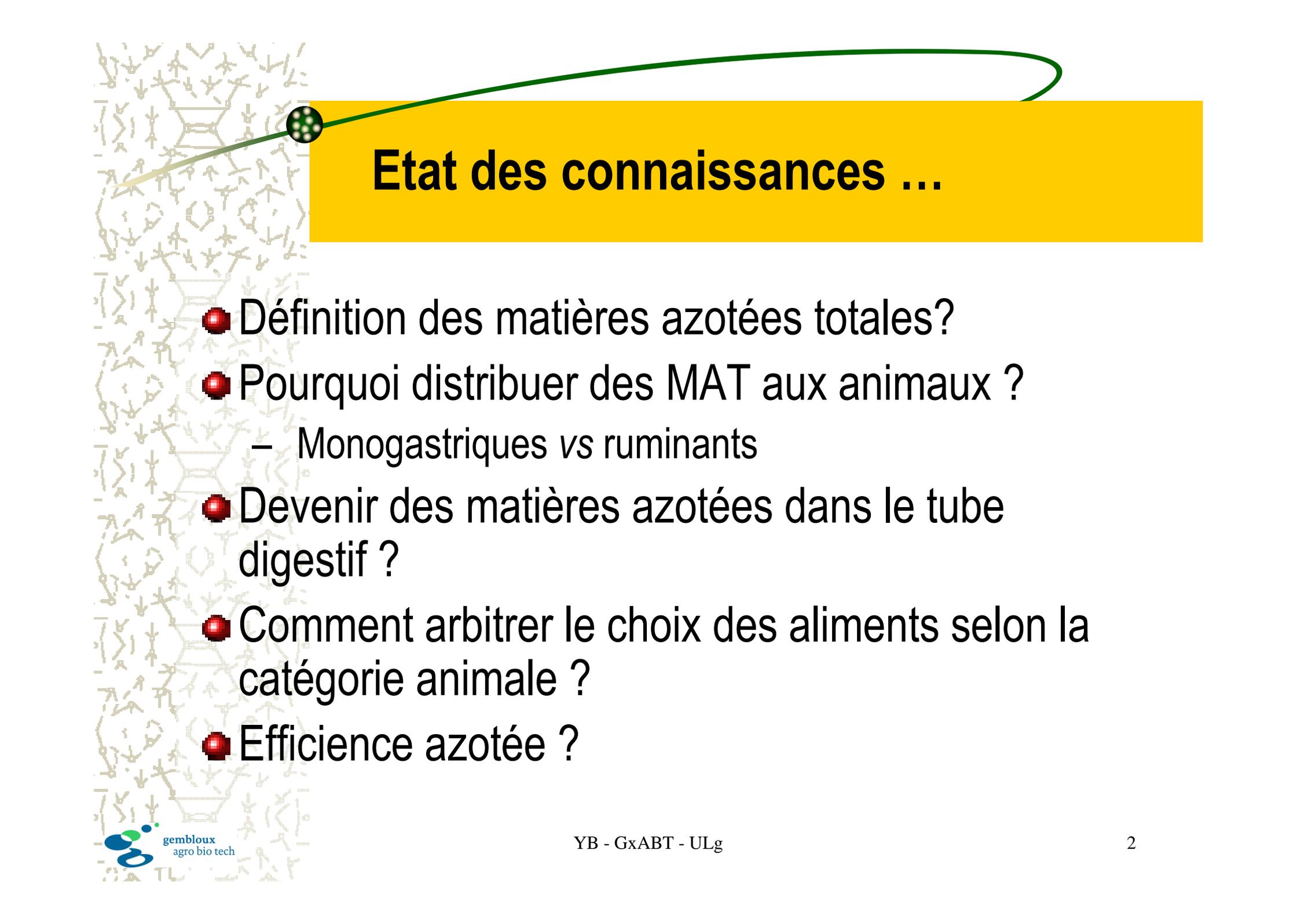
Dr. Ir. Yves Beckers

Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège

Unité Zootechnie – Département des Sciences agronomiques

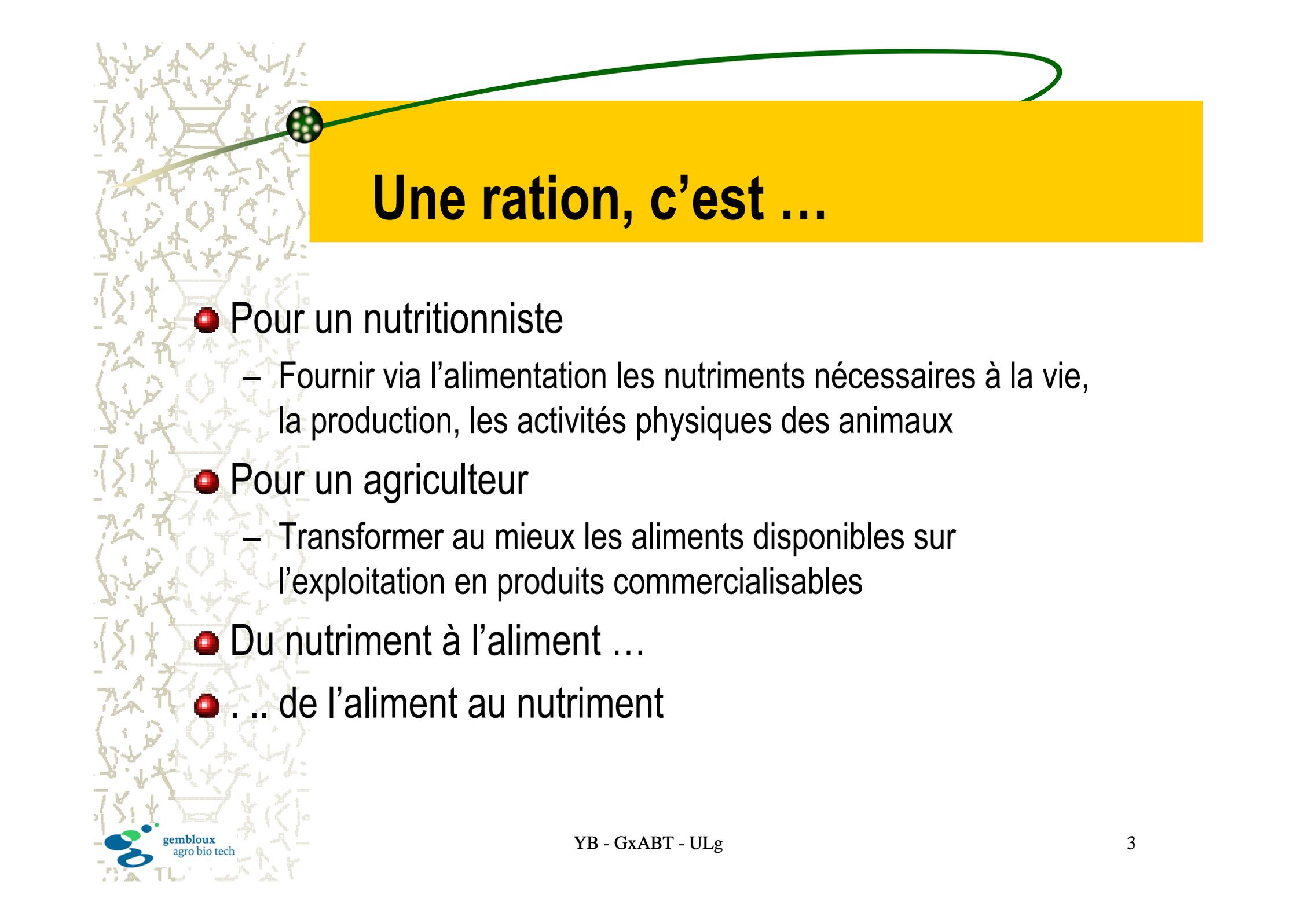
Yves.Beckers@ulg.ac.be

El Kef 8 au 11 avril 2013



Etat des connaissances ...

- Définition des matières azotées totales?
- Pourquoi distribuer des MAT aux animaux ?
 - Monogastriques vs ruminants
- Devenir des matières azotées dans le tube digestif ?
- Comment arbitrer le choix des aliments selon la catégorie animale ?
- Efficience azotée ?



Une ration, c'est ...

- Pour un nutritionniste

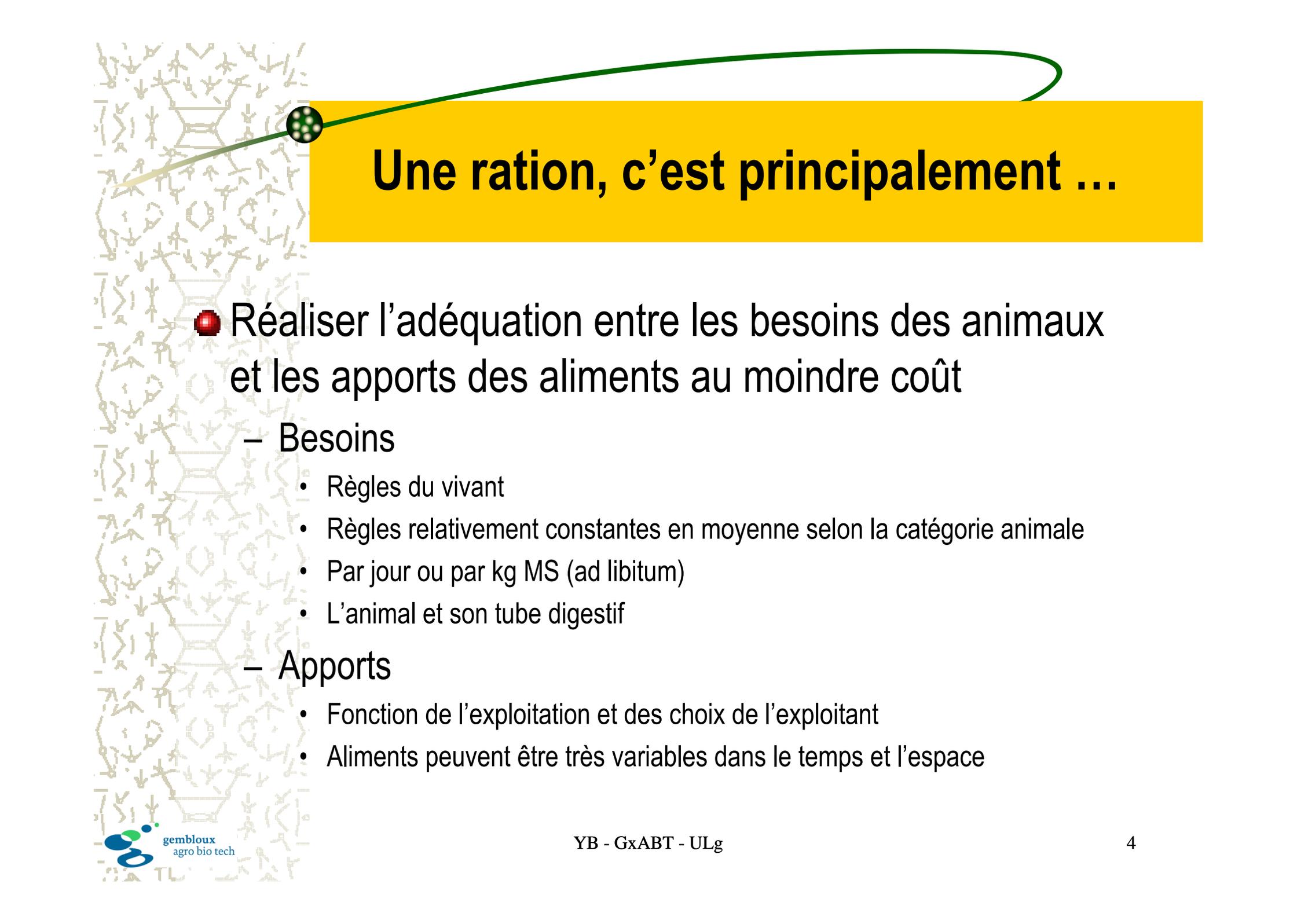
- Fournir via l'alimentation les nutriments nécessaires à la vie, la production, les activités physiques des animaux

- Pour un agriculteur

- Transformer au mieux les aliments disponibles sur l'exploitation en produits commercialisables

- Du nutriment à l'aliment ...

- ... de l'aliment au nutriment



Une ration, c'est principalement ...

● Réaliser l'adéquation entre les besoins des animaux et les apports des aliments au moindre coût

– Besoins

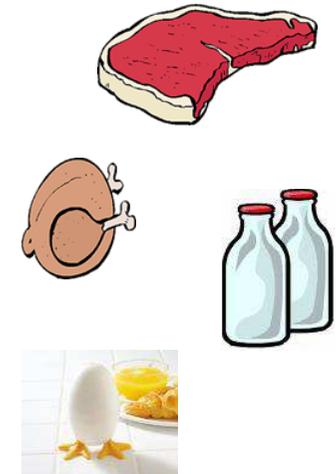
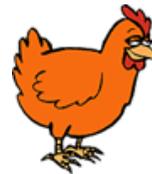
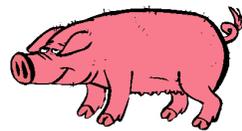
- Règles du vivant
- Règles relativement constantes en moyenne selon la catégorie animale
- Par jour ou par kg MS (ad libitum)
- L'animal et son tube digestif

– Apports

- Fonction de l'exploitation et des choix de l'exploitant
- Aliments peuvent être très variables dans le temps et l'espace

Nutrition animale

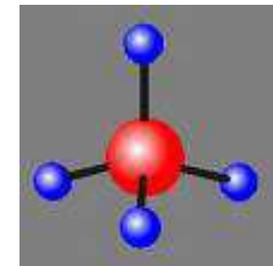
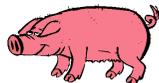
Cycle biologique de transformation



Nutriments
Besoins alimentaires
Valeur alimentaire

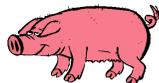
Nutrition animale

● Cycle biologique de transformation

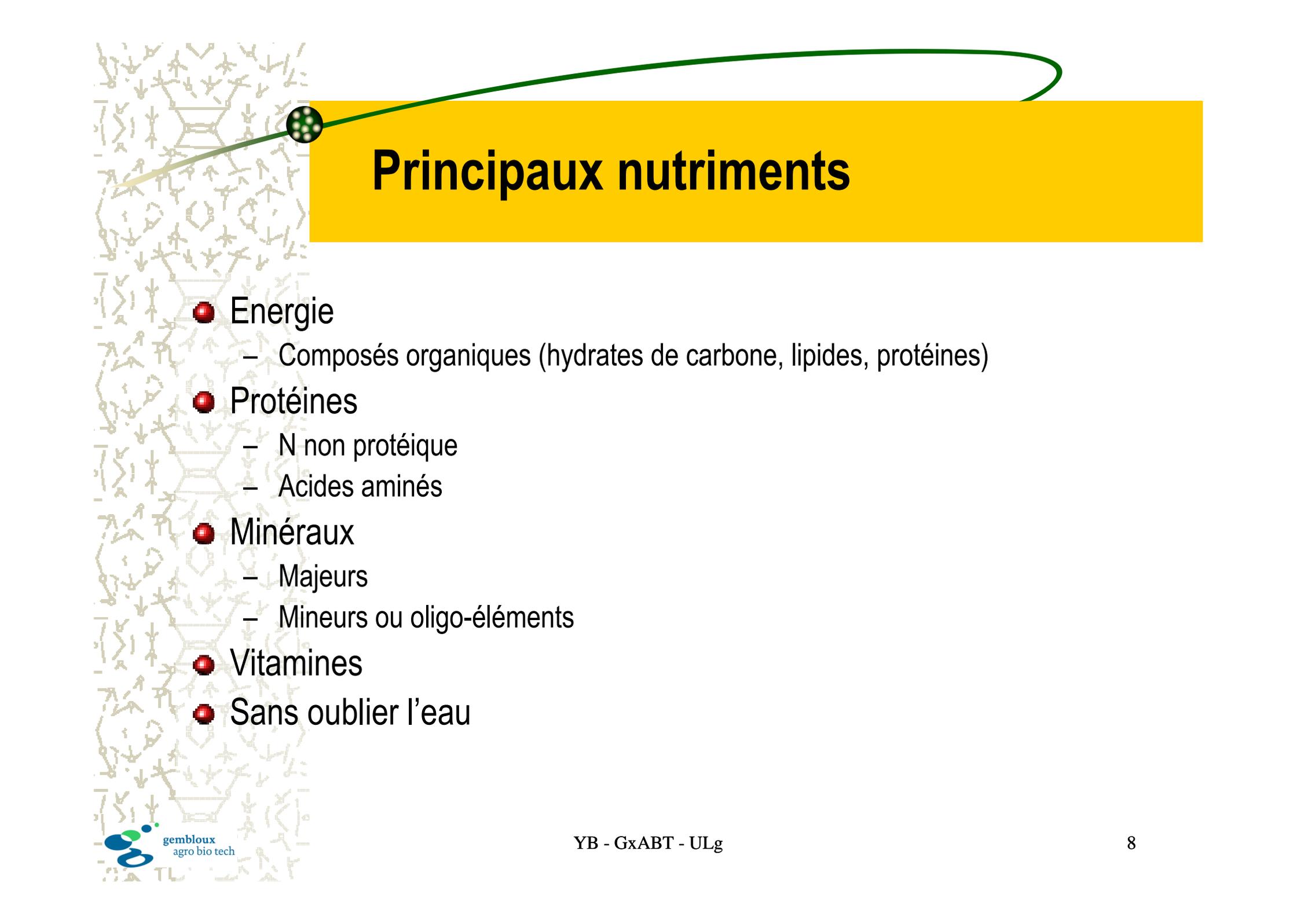


Nutrition animale

● Cycle biologique de transformation



Efficiéce
Rejets
Environnement



Principaux nutriments

- Energie

- Composés organiques (hydrates de carbone, lipides, protéines)

- Protéines

- N non protéique
- Acides aminés

- Minéraux

- Majeurs
- Mineurs ou oligo-éléments

- Vitamines

- Sans oublier l'eau

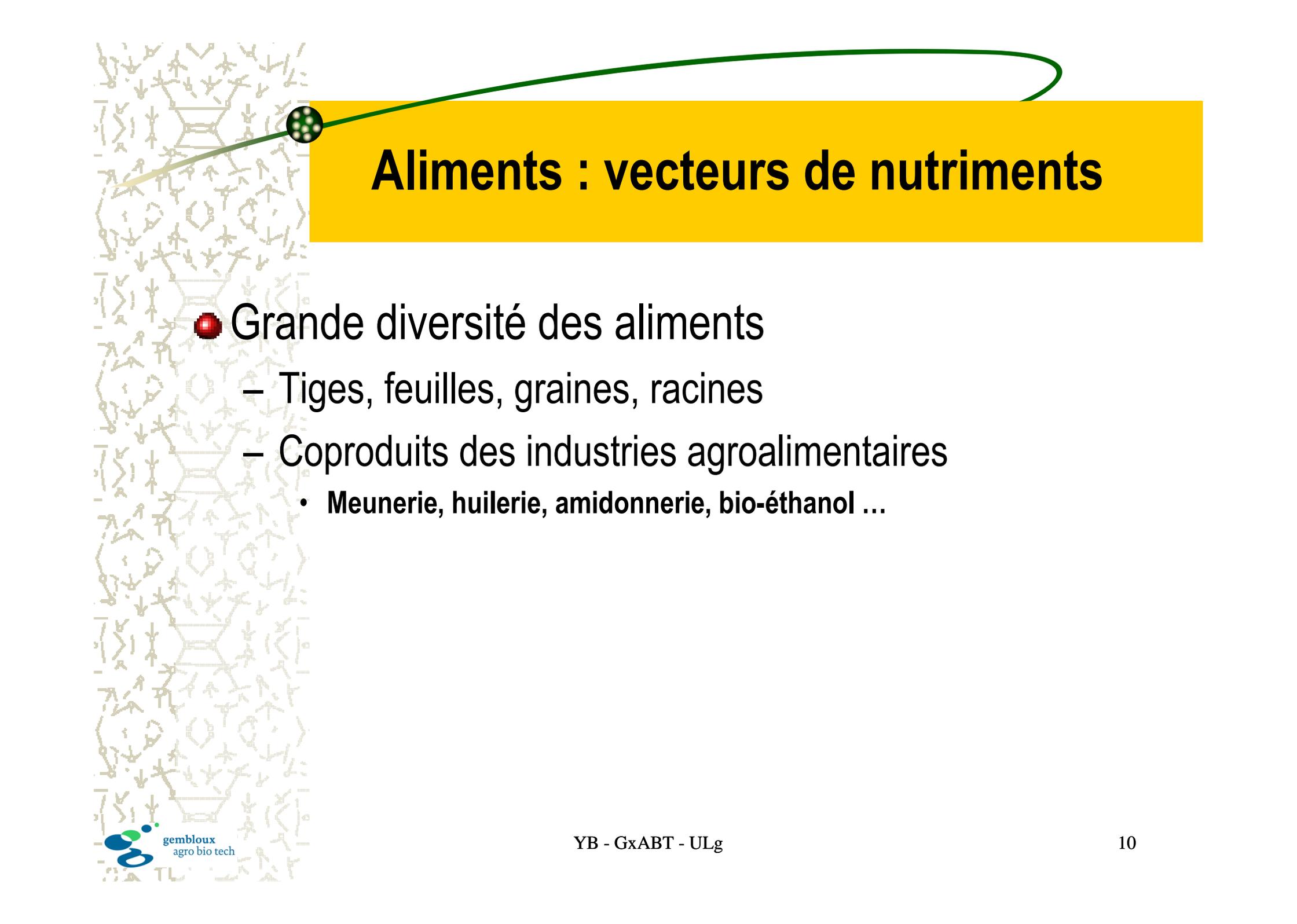
Définition des MAT

● MAT ou PBT

- Matières azotées totales ou protéines brutes totales
- Molécules contenant l'atome N

● Grandes diversités des molécules

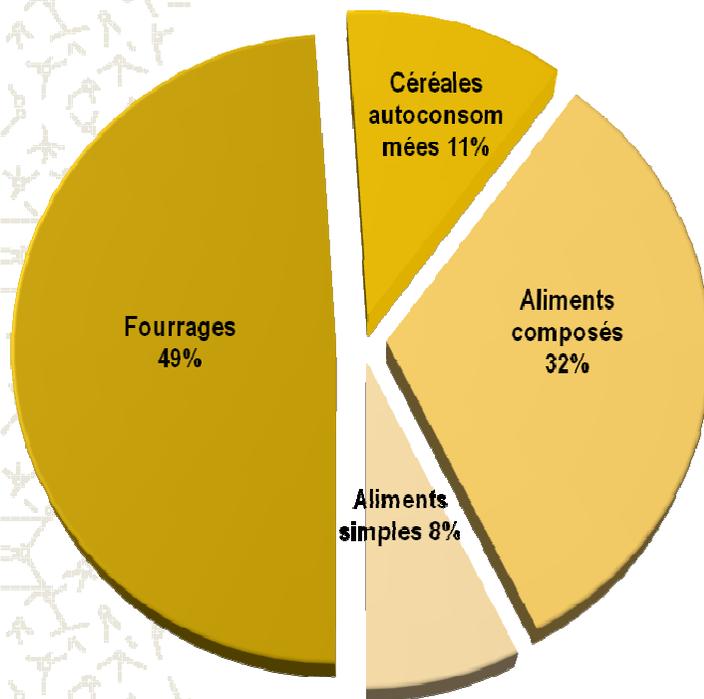
- Azote non protidique
 - **NH₄, urée, bases puriques, ...**
- Azote protidique
 - **Basé sur l'acide aminé : molécules H, C, O et N avec fonctions acide et amine**
- Protéines
 - **Chaîne d'acides aminés liés par la liaison protidique**
- Azote protéique
 - **Minimum 10 000 Daltons soit 50 acides aminés liés**
- Azote non protéique
 - **MM inférieure à 10 000 Daltons**



Aliments : vecteurs de nutriments

- Grande diversité des aliments
 - Tiges, feuilles, graines, racines
 - Coproduits des industries agroalimentaires
 - Meunerie, huilerie, amidonnerie, bio-éthanol ...

Que mangent les animaux de ferme ?

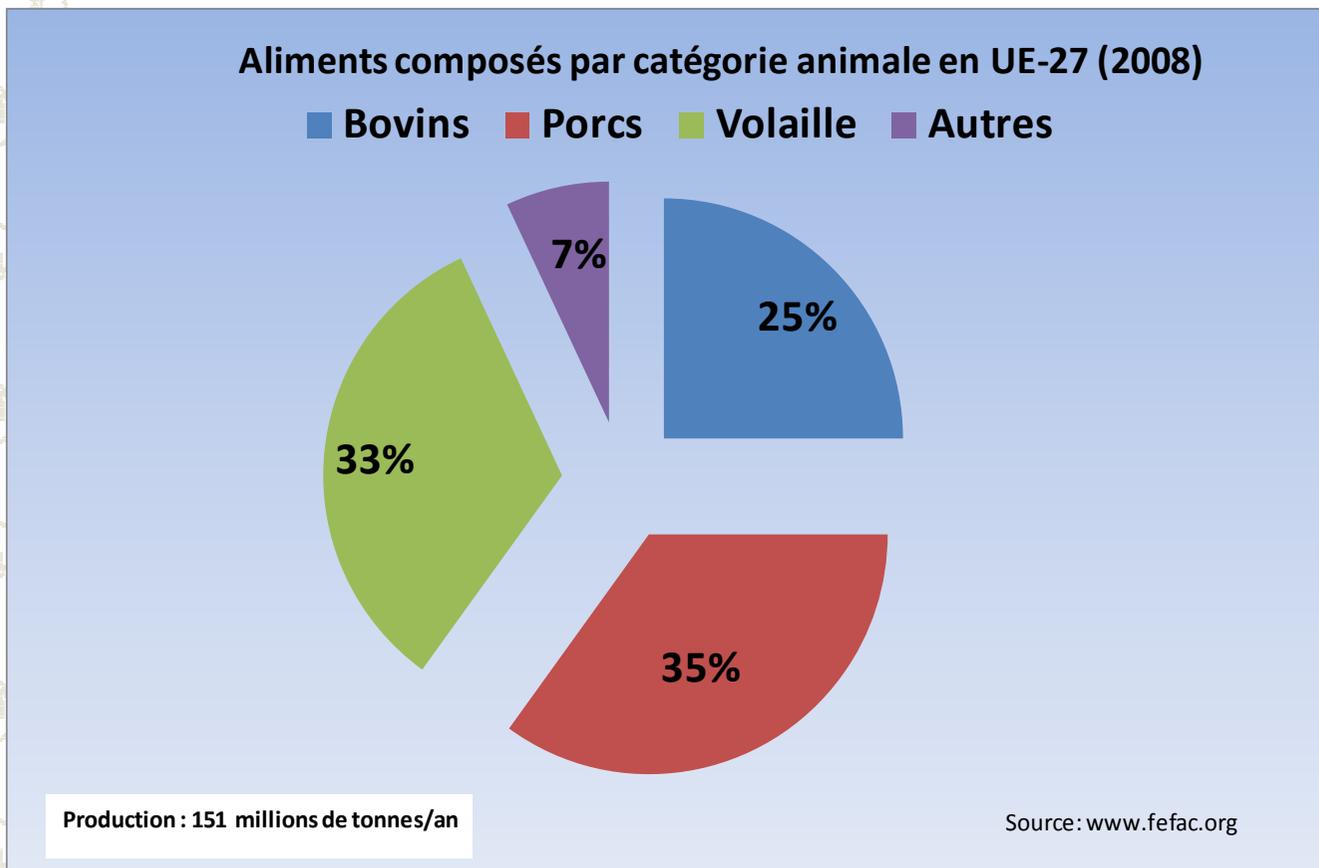


Source : www.fefac.eu

- EU-27 : 470 millions de tonnes
 - Fourrages : 230 millions de tonnes
 - Céréales autoconsommées : 53 millions de tonnes
 - Aliments achetés
 - Composés : 152 millions de tonnes
 - Simples : 35 millions de tonnes

● Autonomie : 60 %

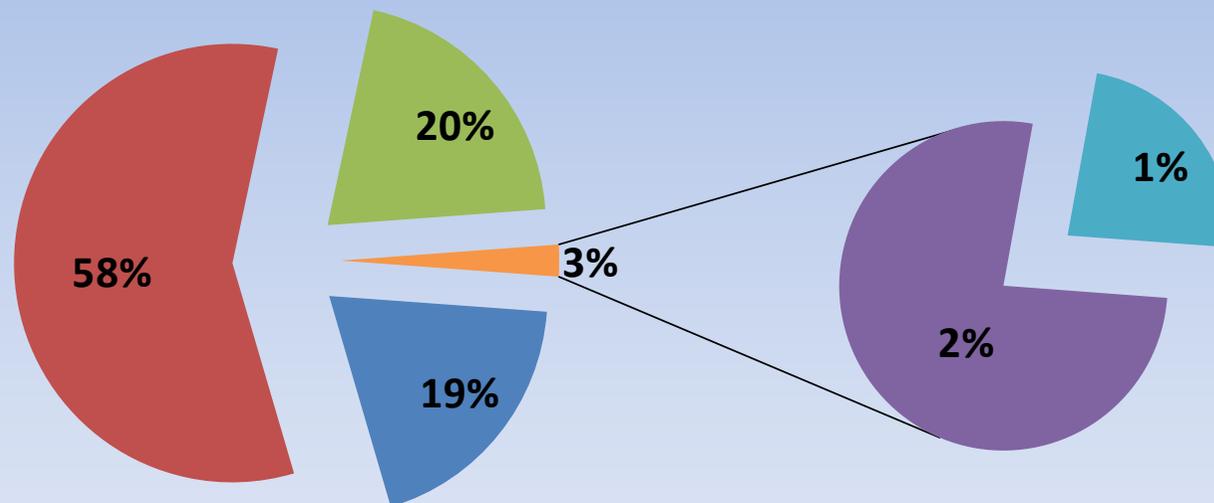
Aliments composés selon l'espèce animale



Aliments composés en Belgique

Aliments composés par catégorie animale en Belgique (2008)

■ Bovins ■ Porcs ■ Volailles ■ Chevaux ■ Autres

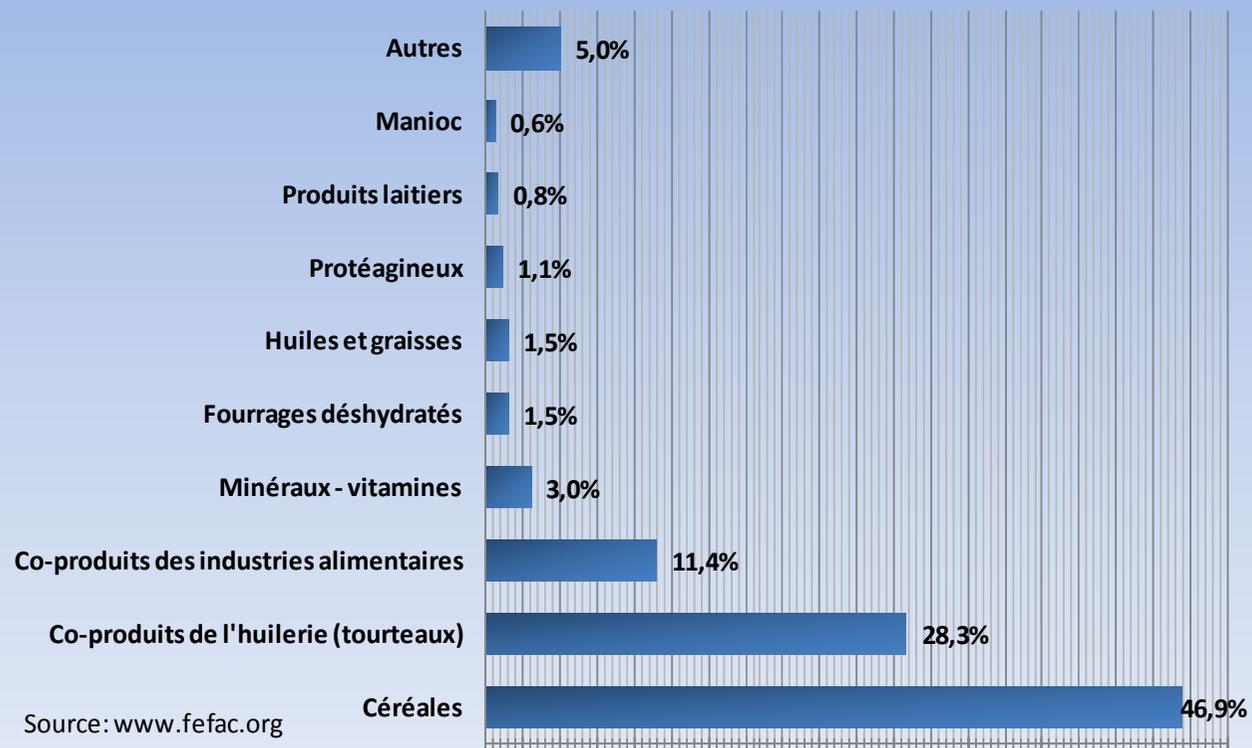


Production : 6 millions de tonnes/an

Source: www.bemefa.be

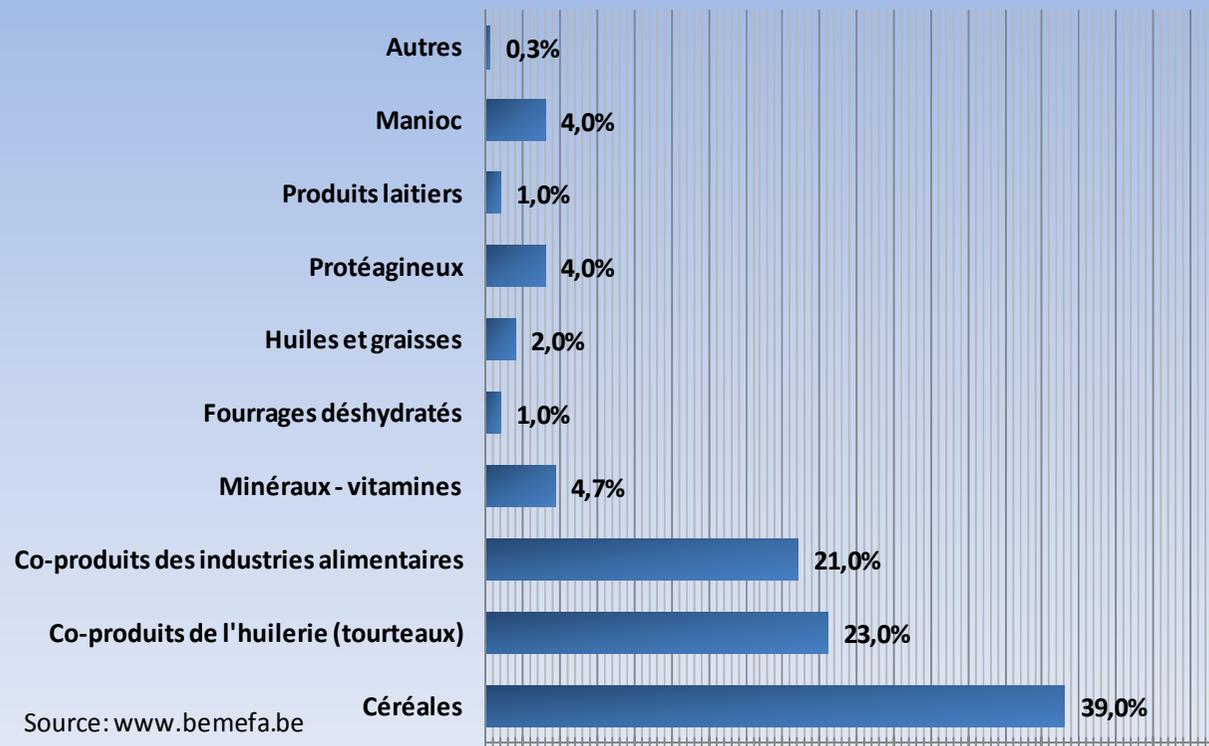
Aliments composés EU-27

Composition type des aliments composés en UE-27

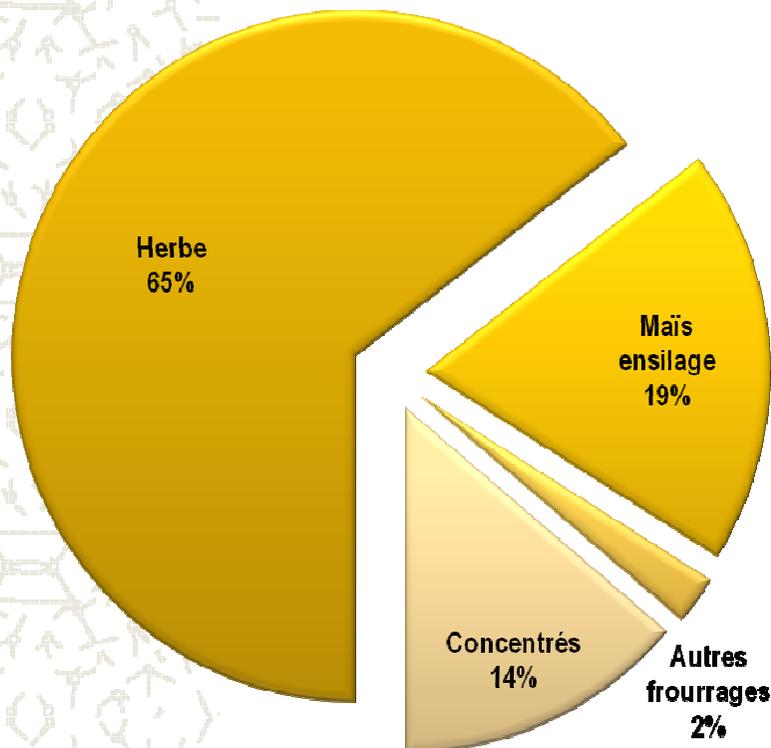


Aliments composés en Belgique

Composition type des aliments composés en Belgique



Ration type par UGB (Données françaises) ?



● Par UGB/an

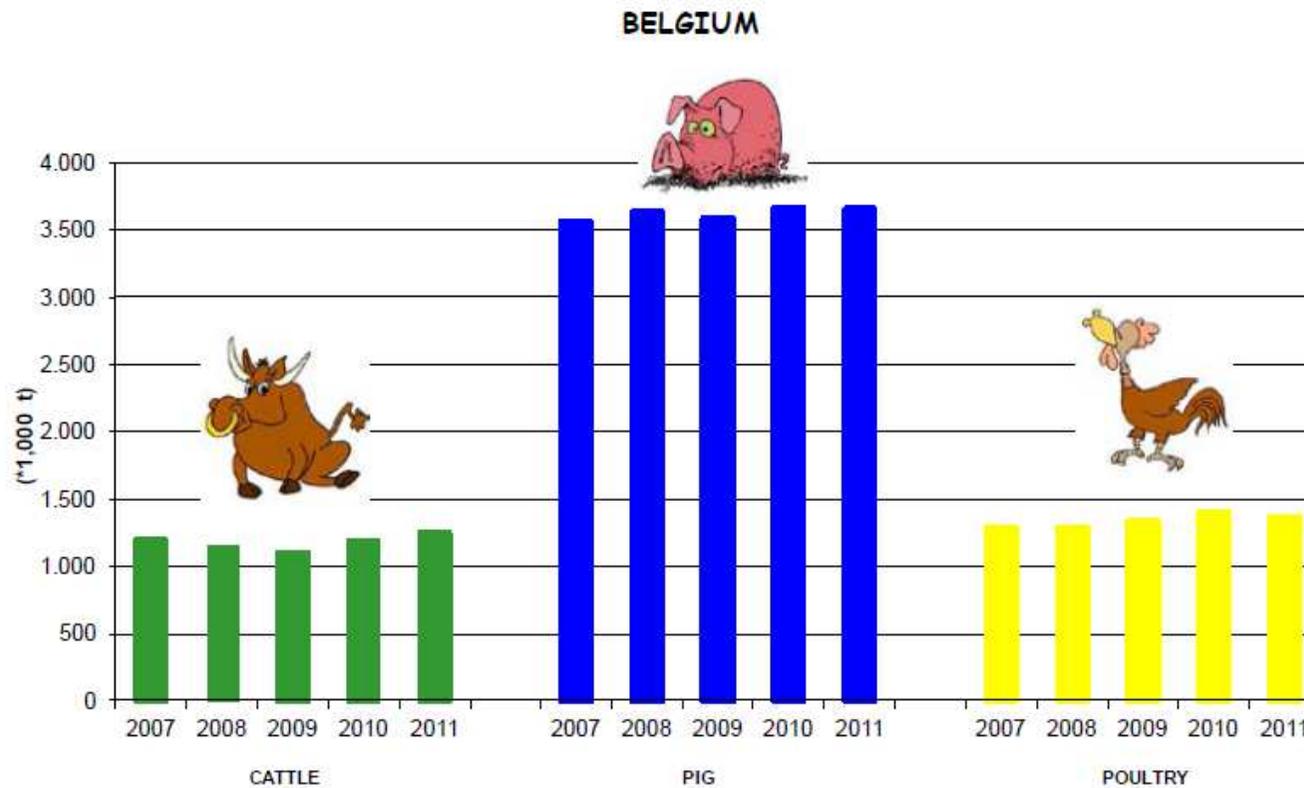
- 3,72 tonnes herbe
- 1,12 tonnes maïs ensilage
- 0,13 tonnes autres fourrages
- 0,795 tonnes concentrés
 - 0,572 tonnes achetées
 - 0,223 tonnes produites sur l'exploitation

● Autonomie alimentaire : 88 % !

- De 71 à 92 % selon l'exploitation
- De la marge pour certains !
- Mais moins pour d'autres ...

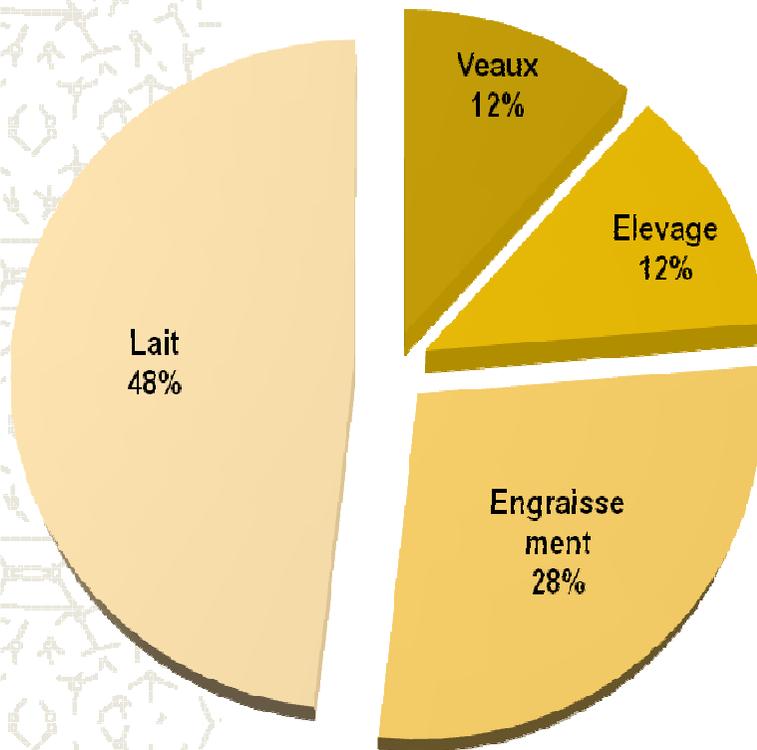
Source : Institut de l'Élevage, 2012

Que mangent les bovins en Belgique ? - Aliments composés



<http://www.fefac.eu/publications.aspx?CategoryID=2061>

Aliments composés par classe de bovins



● Consommation intérieure

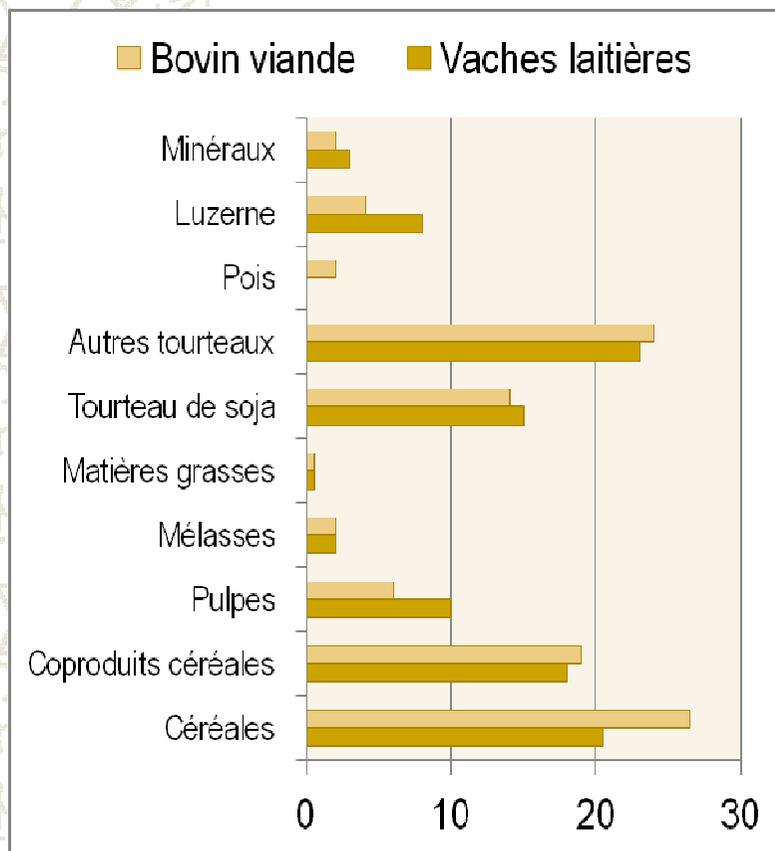
- Veaux : 126 619 T
- Elevage : 132 717 T
- Engraissement : 307 647 T
- Lait : 527 374 T

● Total = 1 094 357 T

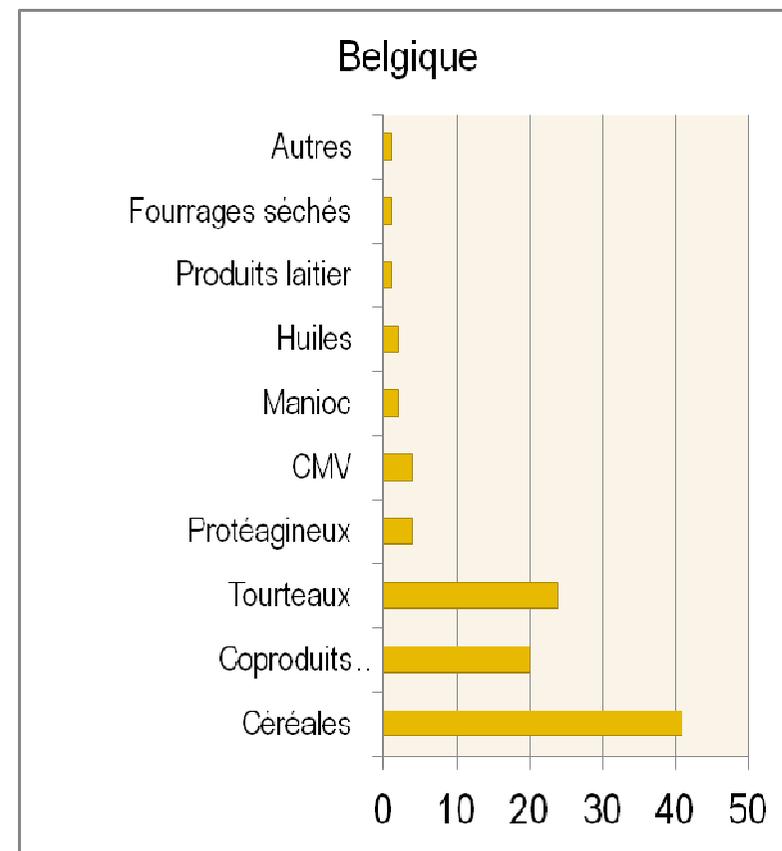
- Importation à ajouter

Source : BEMEFA, annuaire statistique 2011-2012

Composition type d'un aliment composé



Source : Institut de l'Élevage, 2012

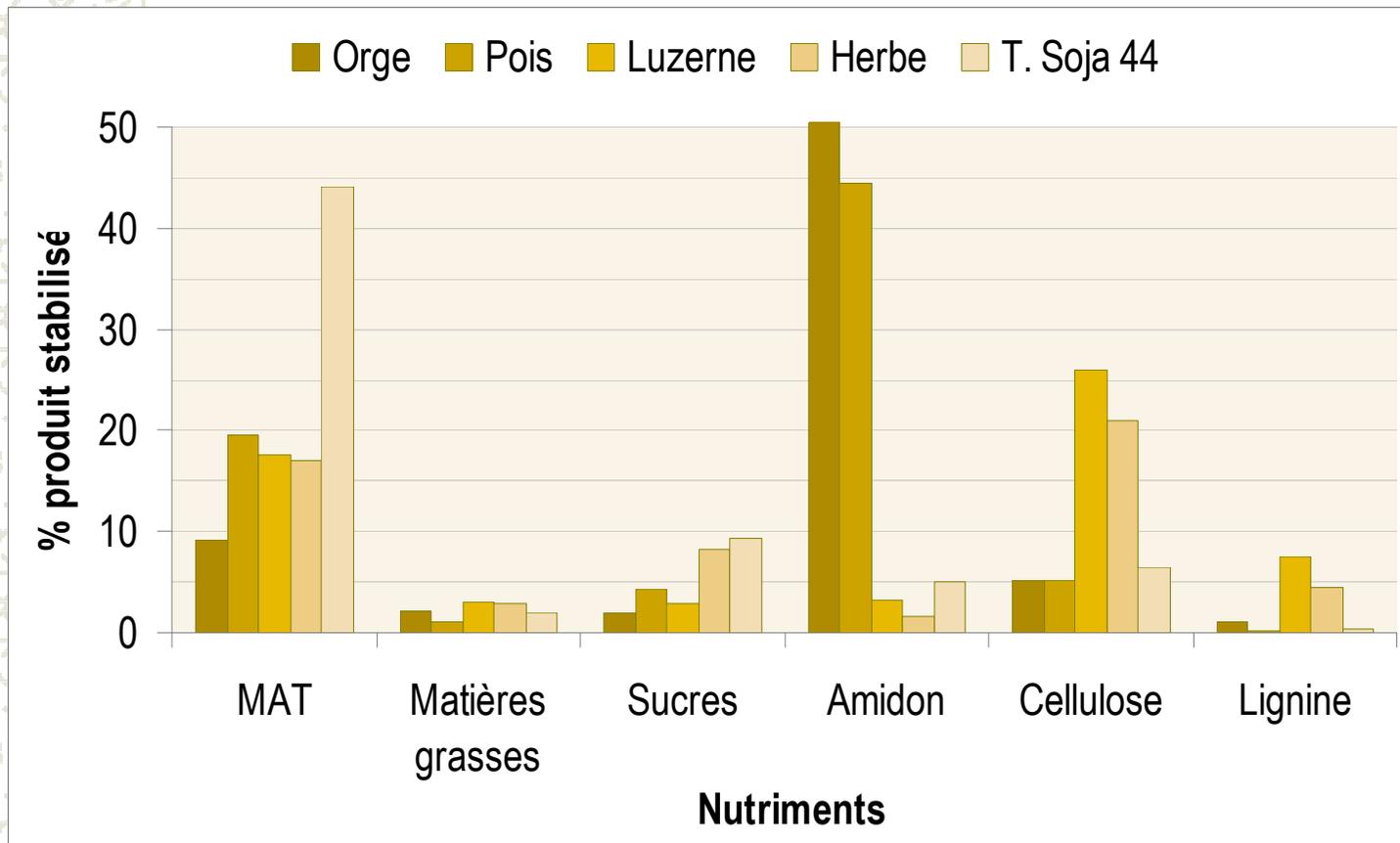


Source : BEMEFA, annuaire statistique 2011-2012

Aliments : vecteurs de nutriments

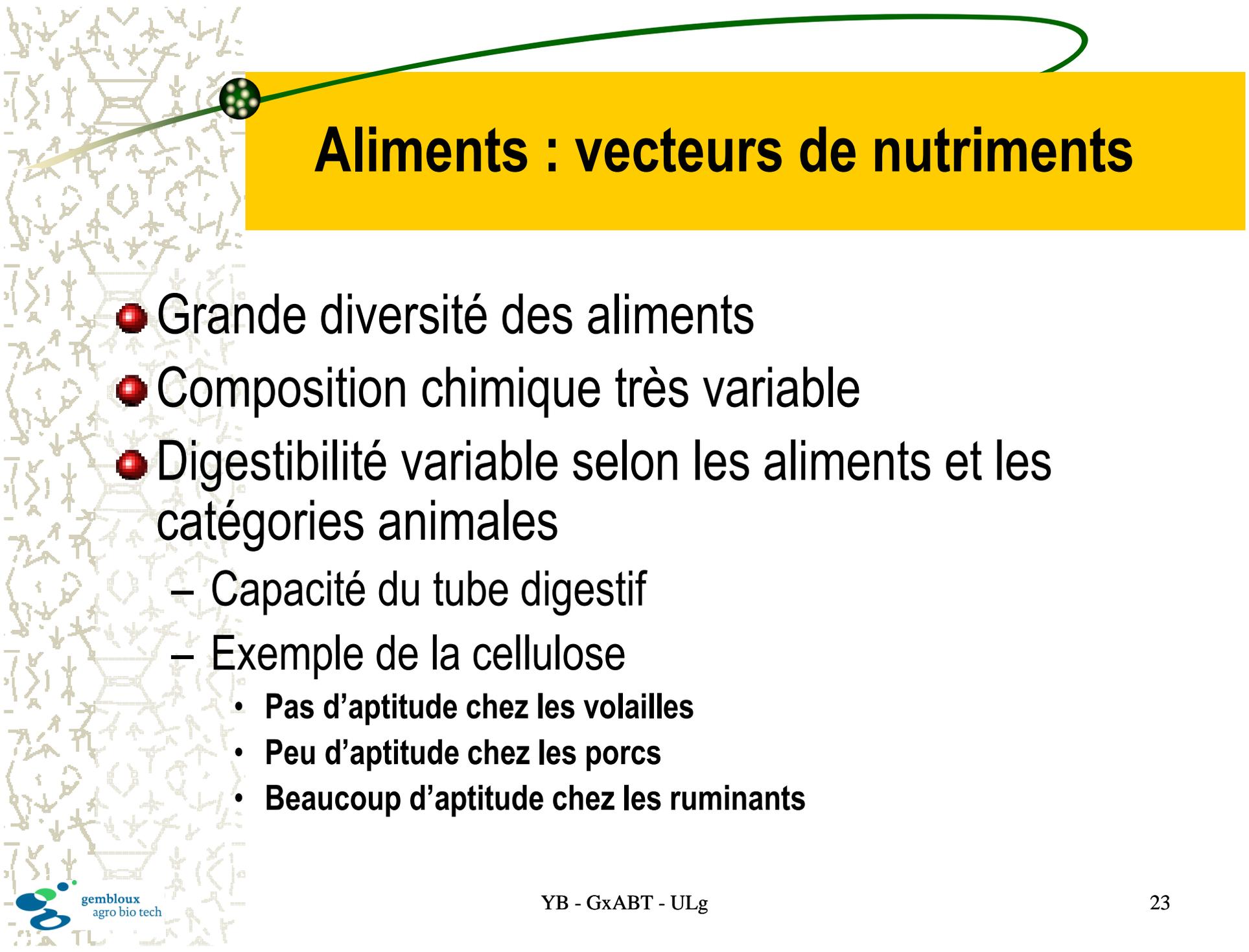
- Grande diversité des aliments
- Composition chimique très variable
 - Eau
 - Hydrates de carbone : sucre, amidon, cellulose, ...
 - Protéines : 20 acides aminés
 - Lipides : nombreux acides gras
 - Minéraux : majeurs et mineurs
 - Vitamines : A, B, C, D, E, K, ...

Composition chimique des aliments



Composition chimique des céréales (% MF)

| | CT | MAT | Amidon | MG | CB | NDF | ADF | ADL |
|-----------|-----|------|--------|-----|------|------|------|-----|
| Riz cargo | 1.0 | 8.0 | 75.9 | 1.2 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | ND |
| Mais | 1.2 | 8.1 | 64.1 | 3.7 | 2.2 | 10.4 | 2.6 | 0.5 |
| Sorgho | 1.4 | 9.4 | 64.1 | 2.9 | 2.4 | 9.4 | 3.8 | 1.1 |
| Froment | 1.6 | 10.5 | 60.5 | 1.5 | 2.2 | 12.4 | 3.1 | 1.0 |
| Triticale | 1.9 | 9.6 | 59.9 | 1.4 | 2.3 | 12.7 | 3.2 | 1.0 |
| Seigle | 1.8 | 9.0 | 53.8 | 1.2 | 1.9 | 14.1 | 3.1 | 0.9 |
| Orge | 2.2 | 10.1 | 52.2 | 1.8 | 4.6 | 18.7 | 5.5 | 1.0 |
| Avoine | 2.7 | 9.8 | 36.0 | 4.8 | 12.4 | 33.1 | 15.1 | 2.5 |
| Epeautre | 2.9 | 10.9 | 37.0 | 2.0 | 12.7 | 26.3 | 13.1 | 0.9 |

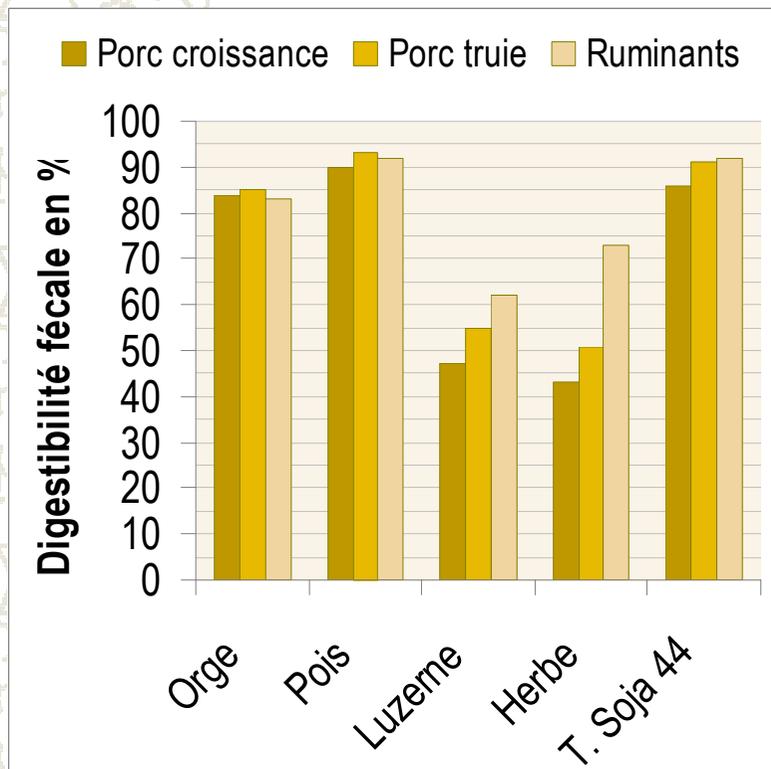


Aliments : vecteurs de nutriments

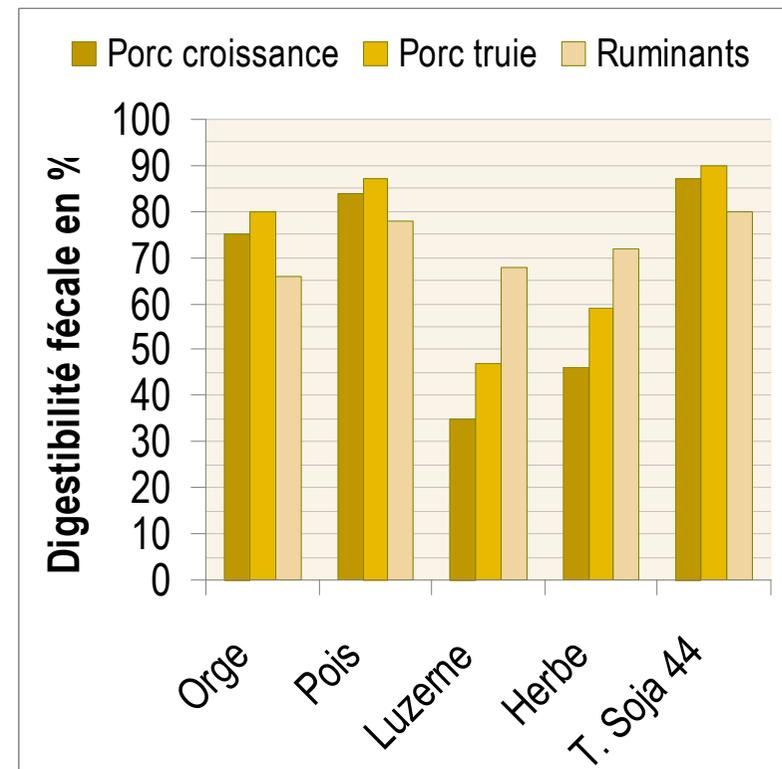
- Grande diversité des aliments
- Composition chimique très variable
- Digestibilité variable selon les aliments et les catégories animales
 - Capacité du tube digestif
 - Exemple de la cellulose
 - Pas d'appétit chez les volailles
 - Peu d'appétit chez les porcs
 - Beaucoup d'appétit chez les ruminants

Digestibilité des aliments

Digestibilité de la MO



Digestibilité de l'azote



Le choix des aliments

● Ruminant

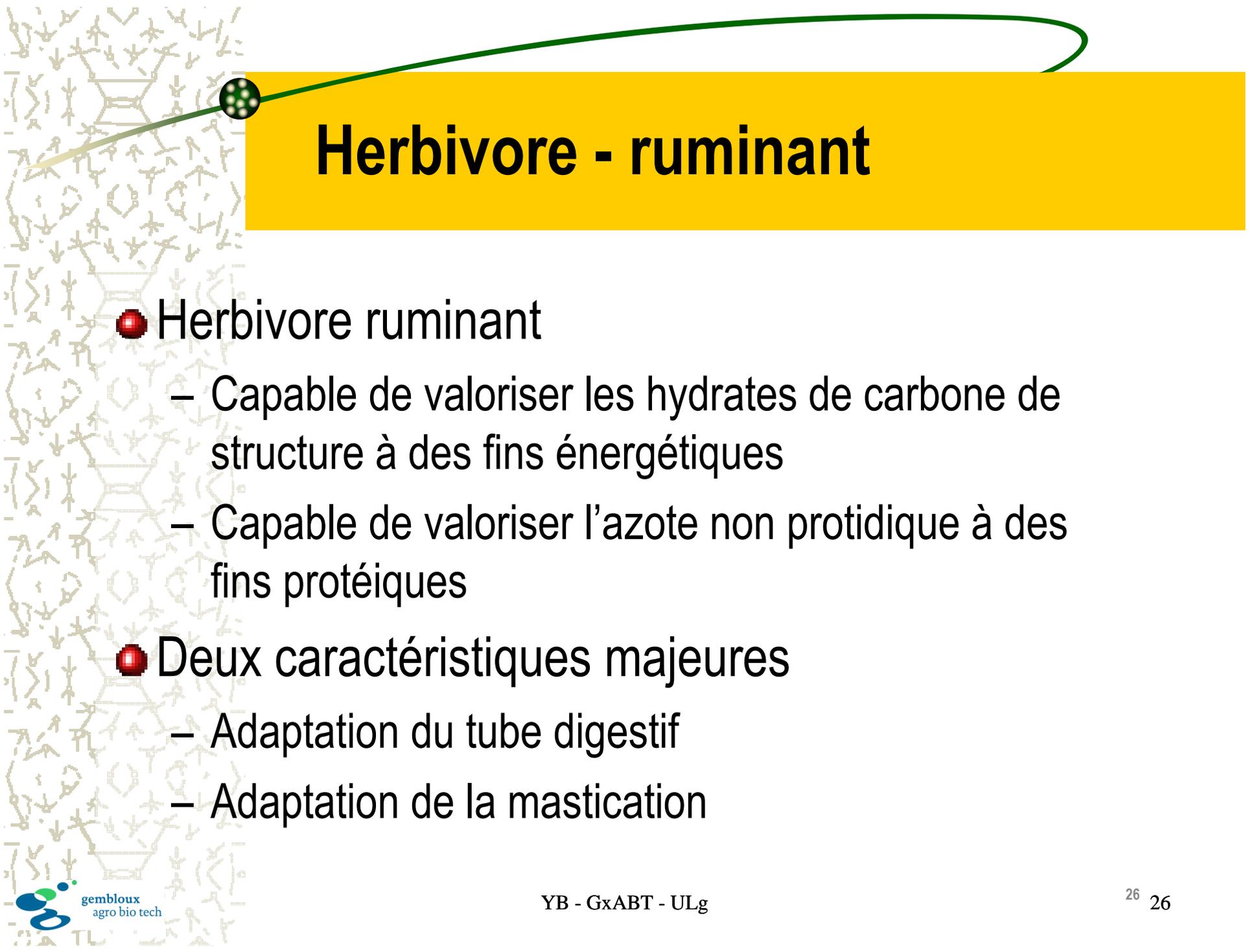
– Tube digestif capable

- De digérer la cellulose (i.e. hydrates de carbone de structure)
- Synthétiser des acides aminés
- Rôle crucial du rumen

– Peut satisfaire ses besoins avec un grand nombre d'aliments

- Fourrages (besoin minimum)
- Graines et tous les coproduits
- Racines

– Règles de fonctionnement



Herbivore - ruminant

● Herbivore ruminant

- Capable de valoriser les hydrates de carbone de structure à des fins énergétiques
- Capable de valoriser l'azote non protidique à des fins protéiques

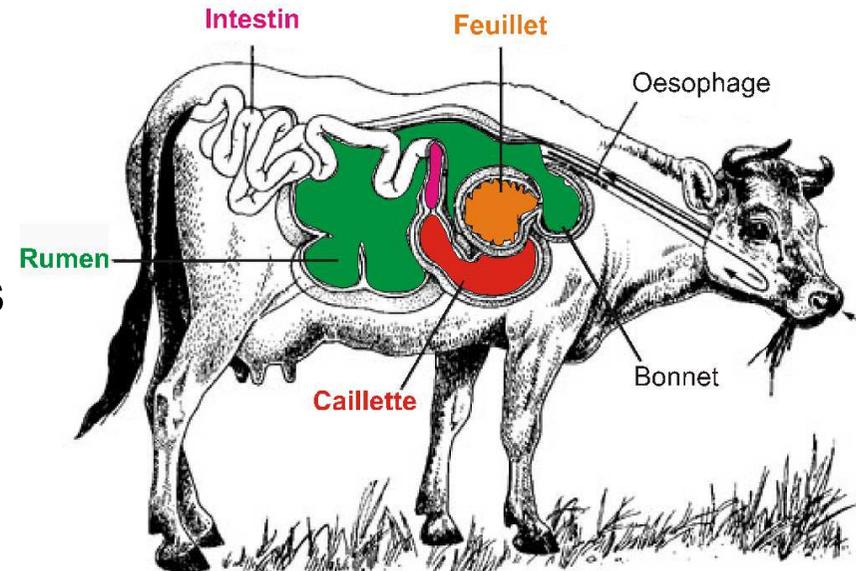
● Deux caractéristiques majeures

- Adaptation du tube digestif
- Adaptation de la mastication

Adaptation du tube digestif

● 3 pré-estomacs et 1 estomac vrai

- Un rumen volumineux
 - Séjour prolongé des aliments
 - Lieu d'intenses fermentations
- Colonisation du rumen par des microorganismes
- Motricité

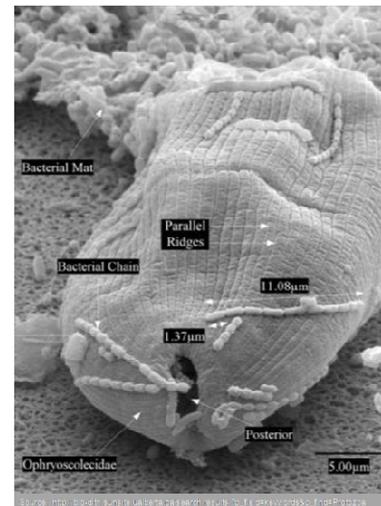
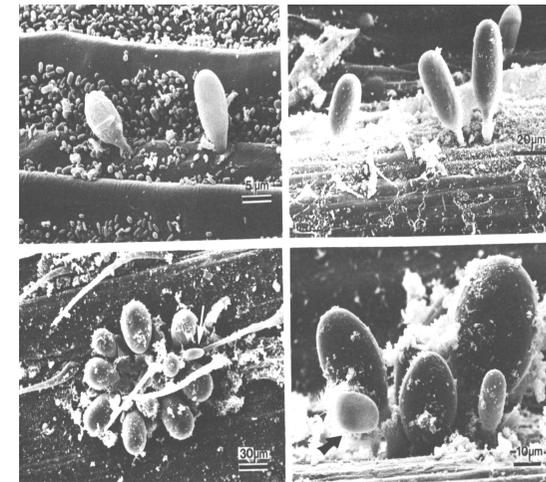


<http://blog-agricole.plwm.fr/rumen-des-ruminants-fonctionnement-et-efficience-digestive/>

Adaptation du tube digestif

- 3 pré-estomacs et 1 estomac vrai

- Un rumen volumineux
- Colonisation du rumen par des microorganismes
 - Bactéries ($10^9/\text{ml}$)
 - Protozoaires ($10^5/\text{ml}$)
 - Champignons



Adaptation du tube digestif

• 3 pré-estomacs et 1 estomac vrai

- Un rumen volumineux
- Colonisation du rumen par des microorganismes
- Motricité
 - 1 à 3 brassages - vidages/minute
 - Maximum 1 éructation/min durant la rumination

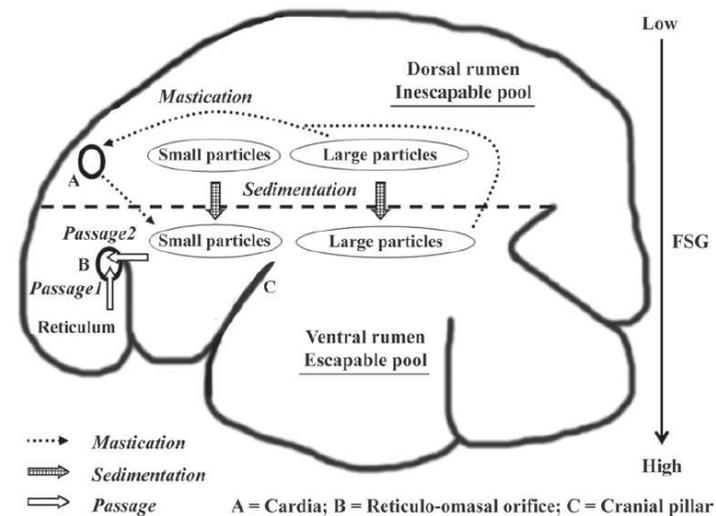


Figure 1. Spatial compartments and conceptual pools of feed particles in the reticulo-rumen. The dorsal rumen is defined as the inescapable pool and the ventral and cranial rumen and reticulum are defined as the escapable pool. Only particles that are in the reticulum can actually pass out of the rumen through the reticulo-omasal orifice (ROO). Functional specific gravity (FSG) of a particle determines its location. Three flows are presented in this diagram: 1) mastication during rumination and eating of large particle to small, 2) sedimentation of particles from the inescapable pool to the escapable pool, and 3) passage of particles out of the reticulum through the ROO. Particle selection for passage or retention occurs in passage 1 but not in passage 2. The basis for these assumptions is in the text.

Seo et al. J. Dairy Sci. 2009_92_3981-4000

Ingestion - rumination

● Ingestion

- 10 à 15 repas/jour dont 2 grands
- 5 à 9 heures/jour (pâturage >> stabulation)
- Arrêt du repas : encombrement du rumen

● Rumination

- 12 à 18 périodes de 20 à 50 minutes
- 6 à 10 h/jour
- ↓ durée si durée ingestion ↑ (total max 10 à 17 h)
- 2 à 3 fois la MS ingérée
- Réduction de la taille des particules

● Mastication → 60 % du temps (50 000 coups/jour)

Le choix des aliments

● Porcs et volailles

– Tube digestif

- Ne peut pas ou peu digérer la cellulose
- Ne peut synthétiser des acides aminés

– Le choix des aliments est limité

- Graines
- Coproduits des graines pauvres en cellulose

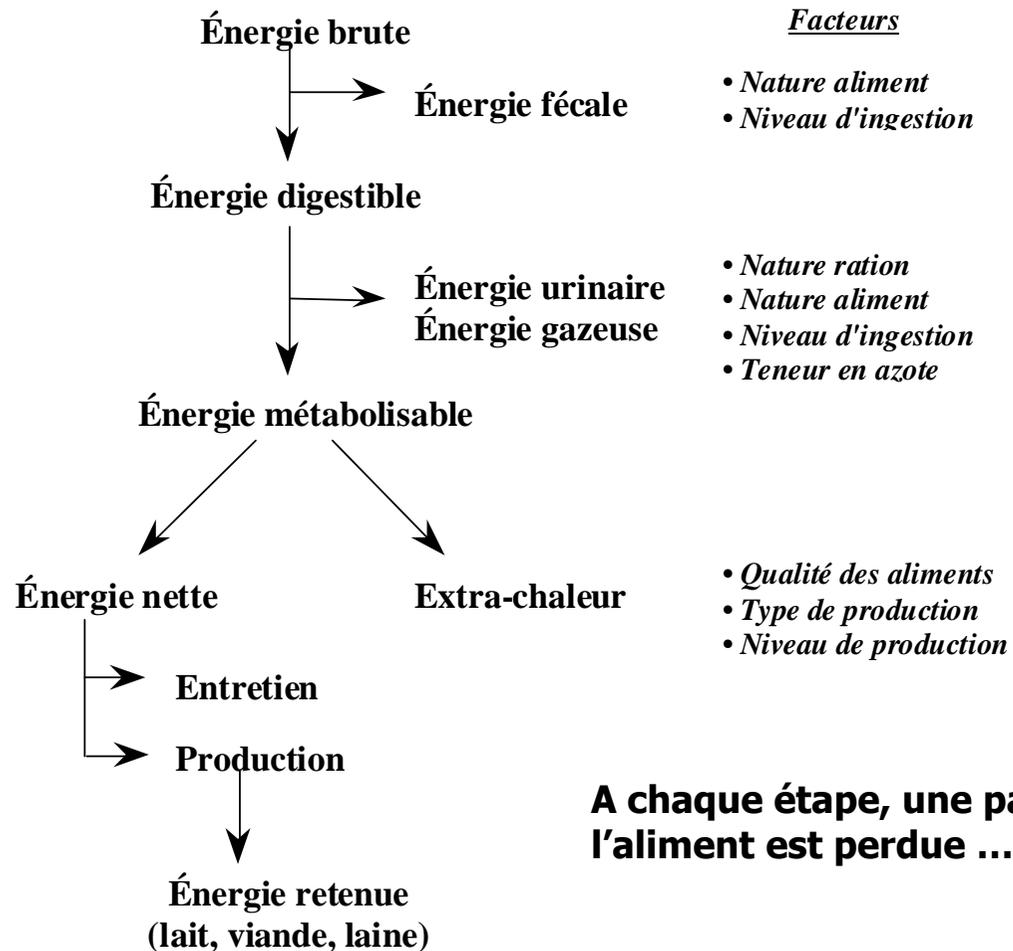
– Facteurs antinutritionnels

- Limitent le taux d'usage d'un aliment dans le régime
- « Tout est poison, rien n'est poison, c'est la dose qui fait le poison »

Valeur alimentaire des aliments

- Mesure leur aptitude à fournir des nutriments à l'animal
- Fonction de leur composition chimique
 - Constante pour toutes les espèces animales
- Fonction de leur digestibilité
 - Très variable selon les espèces animales
 - Variable selon la catégorie au sein d'une espèce
 - **Maturité du tube digestif**
- Fonction de leur métabolisation
 - Uniquement pour l'énergie

Modes d'expression de l'énergie



A chaque étape, une partie de l'énergie de l'aliment est perdue ...

Valeur énergétique selon les espèces animales

● Ruminants

– Energie nette

- **Bétail laitier et en croissance modérée**
 - UFL ; unité fourragère lait
- **Bétail viande en croissance rapide (> 1 kg/jour)**
 - UFV : unité fourragère viande

● Porcs

– Energie nette

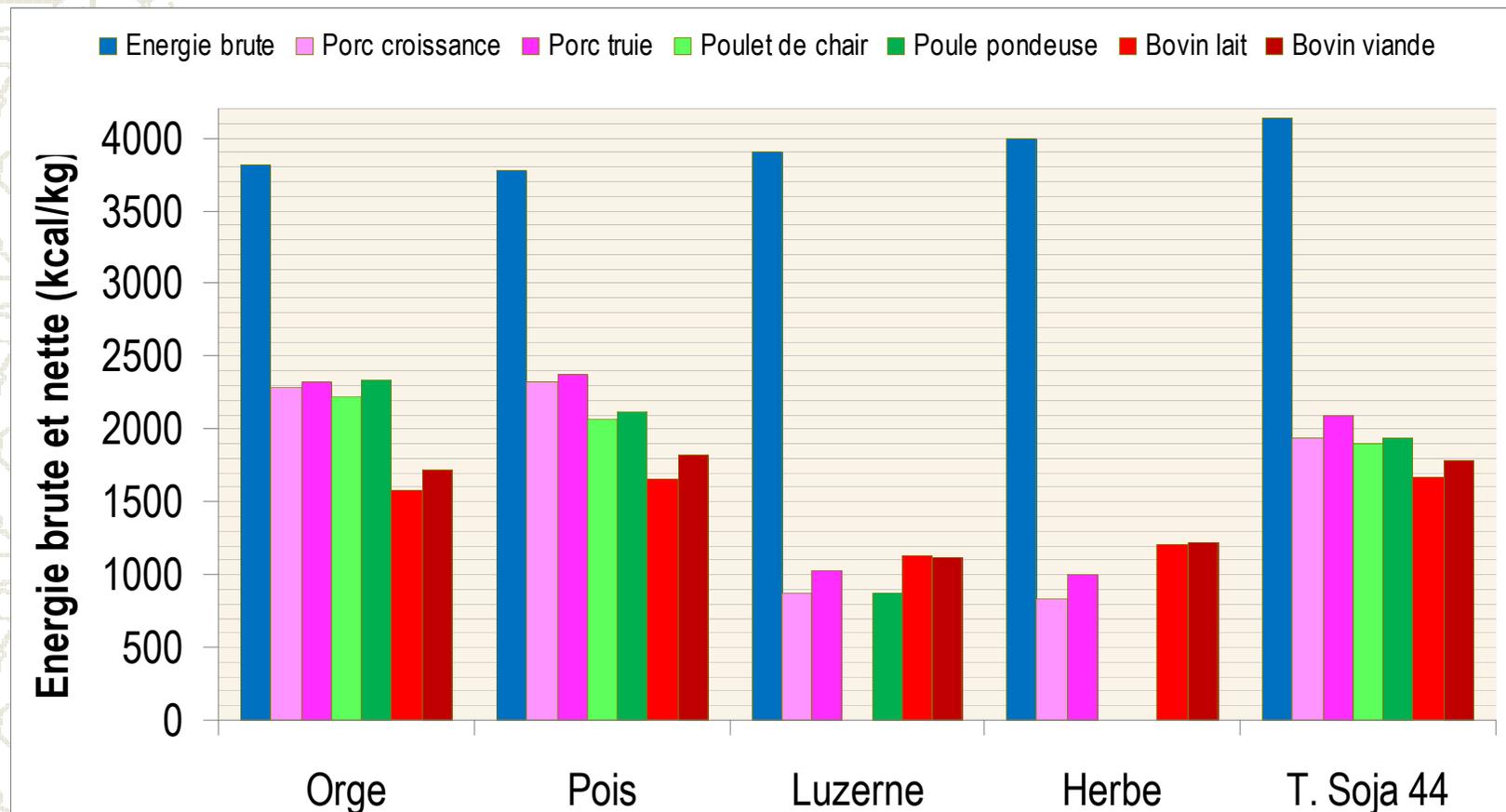
- Porc
- Truie

● Volailles

– Energie métabolisable

- Coq
- Poule pondeuse
- Poulet

Energie des aliments selon la catégorie animale



Estimation de l'énergie nette volaille = énergie métabolisable x 0,85

YB - GxABT - ULg

Valeur énergétique : en pratique

● Aliments concentrés

- Valeur plus ou moins constante pour une catégorie animale
- Table alimentaire

● Coproduits agricoles

- Valeur plus ou moins constante selon l'origine
- Table alimentaire pour les coproduits industriels

● Fourrages

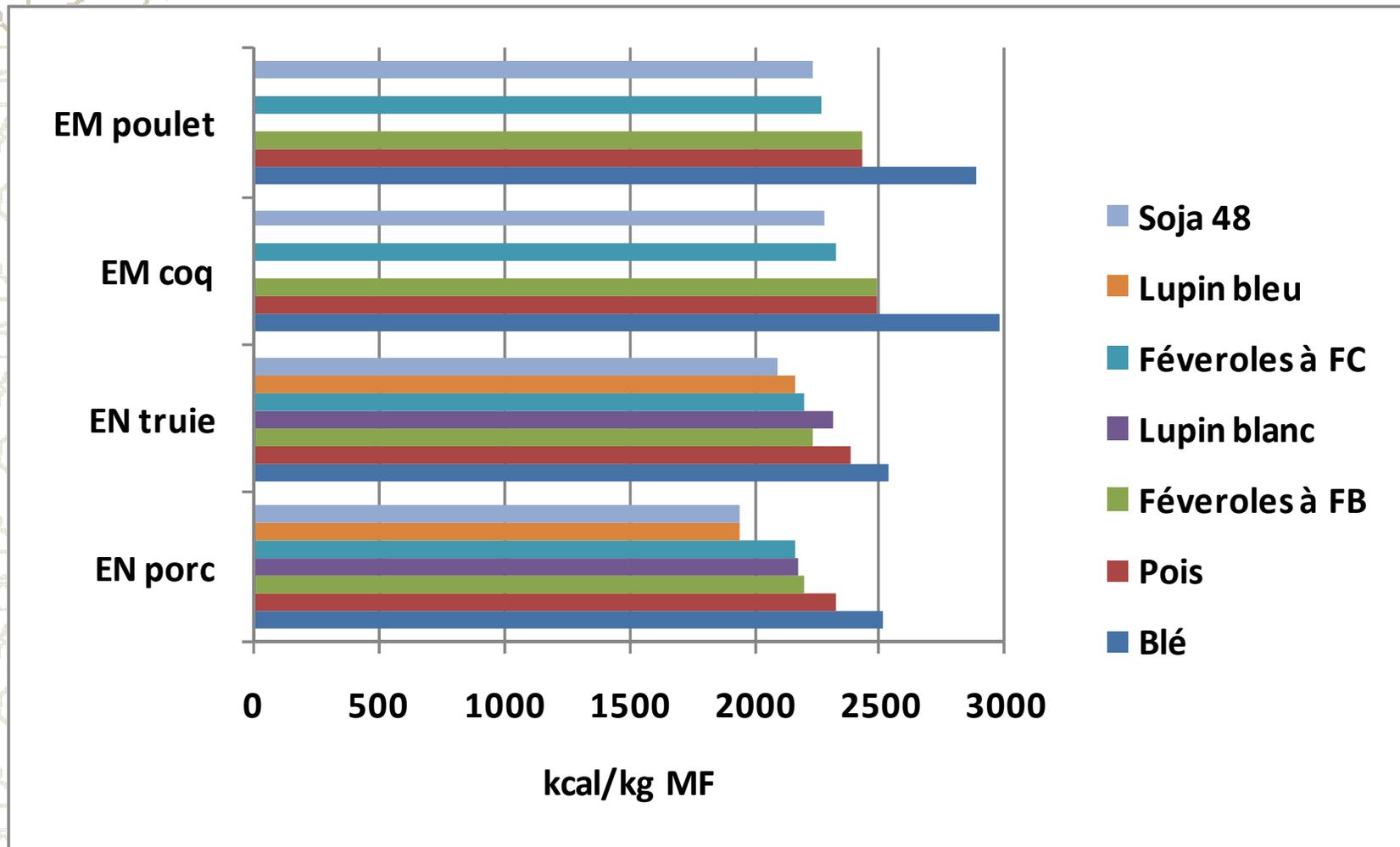
- De peu variable à une très grande variabilité
 - **Produits herbagers >> maïs >> betteraves**
- Composition chimique et détermination des valeurs alimentaires
- Qualité de conservation des produits humides
 - **Pertes de valeur alimentaire**

Valeur énergétique des céréales (par kg de produit)

| | Ruminant | | Porc | | Volaille | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | VEM | VEVI | EN croi | EN truie | EM coq | EM poulet |
| Riz cargo | 1112 | 1213 | 2880 | 2870 | 3490 | 3430 |
| Maïs | 1092 | 1170 | 2650 | 2730 | 3200 | 3130 |
| Sorgho | 1082 | 1169 | 2620 | 2650 | 3300 | 3230 |
| Froment | 1051 | 1125 | 2510 | 2540 | 2980 | 2880 |
| Triticale | 1040 | 1125 | 2470 | 2500 | 2960 | 2840 |
| Seigle | 1061 | 1136 | 2360 | 2400 | 2750 | 2350 |
| Orge | 980 | 1025 | 2280 | 2320 | 2750 | 2610 |
| Avoine | 793 | 783 | 1900 | 1980 | 2350 | 2220 |
| Epeautre | 783 | 772 | 1802 | ND | ND | ND |

Source : Sauvant *et al.*, 2002 et DSM, 2009

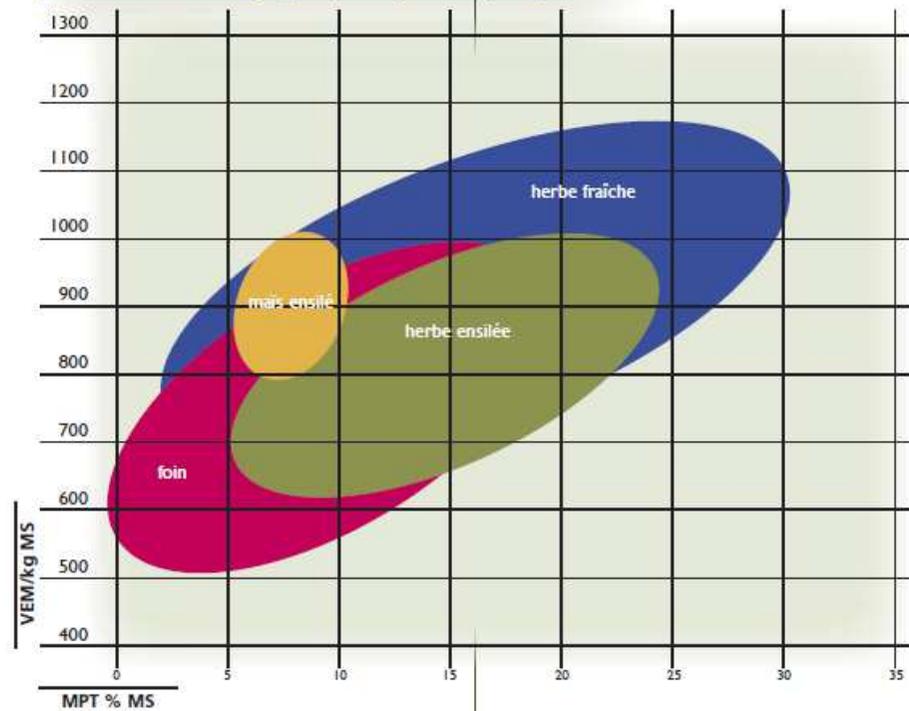
Protéagineux : monogastrique



Valeurs énergétiques des fourrages

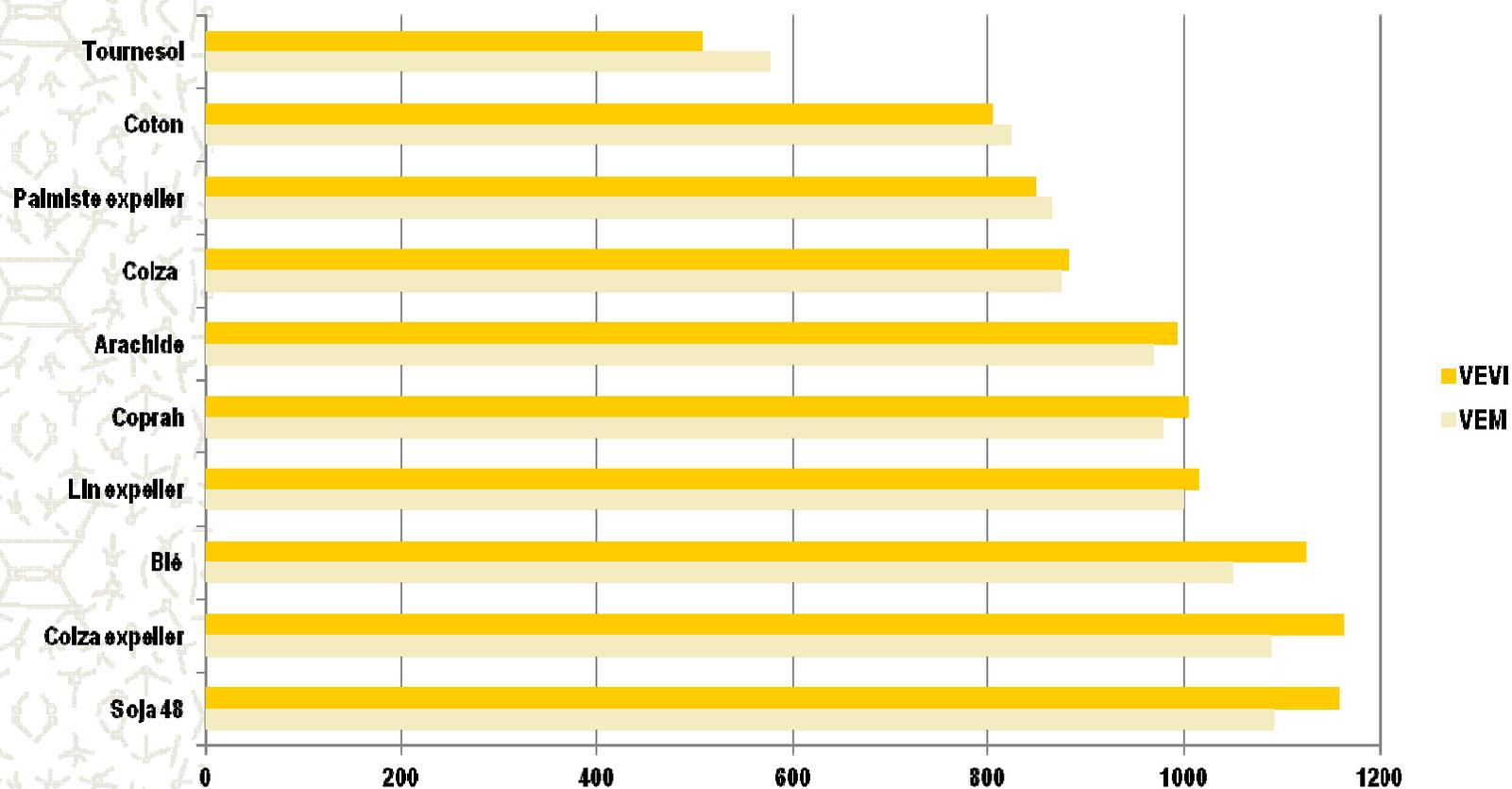
Graphique 10

Hétérogénéité des productions fourragères en fonction des teneurs en énergie (VEM) et en protéines (MPT)

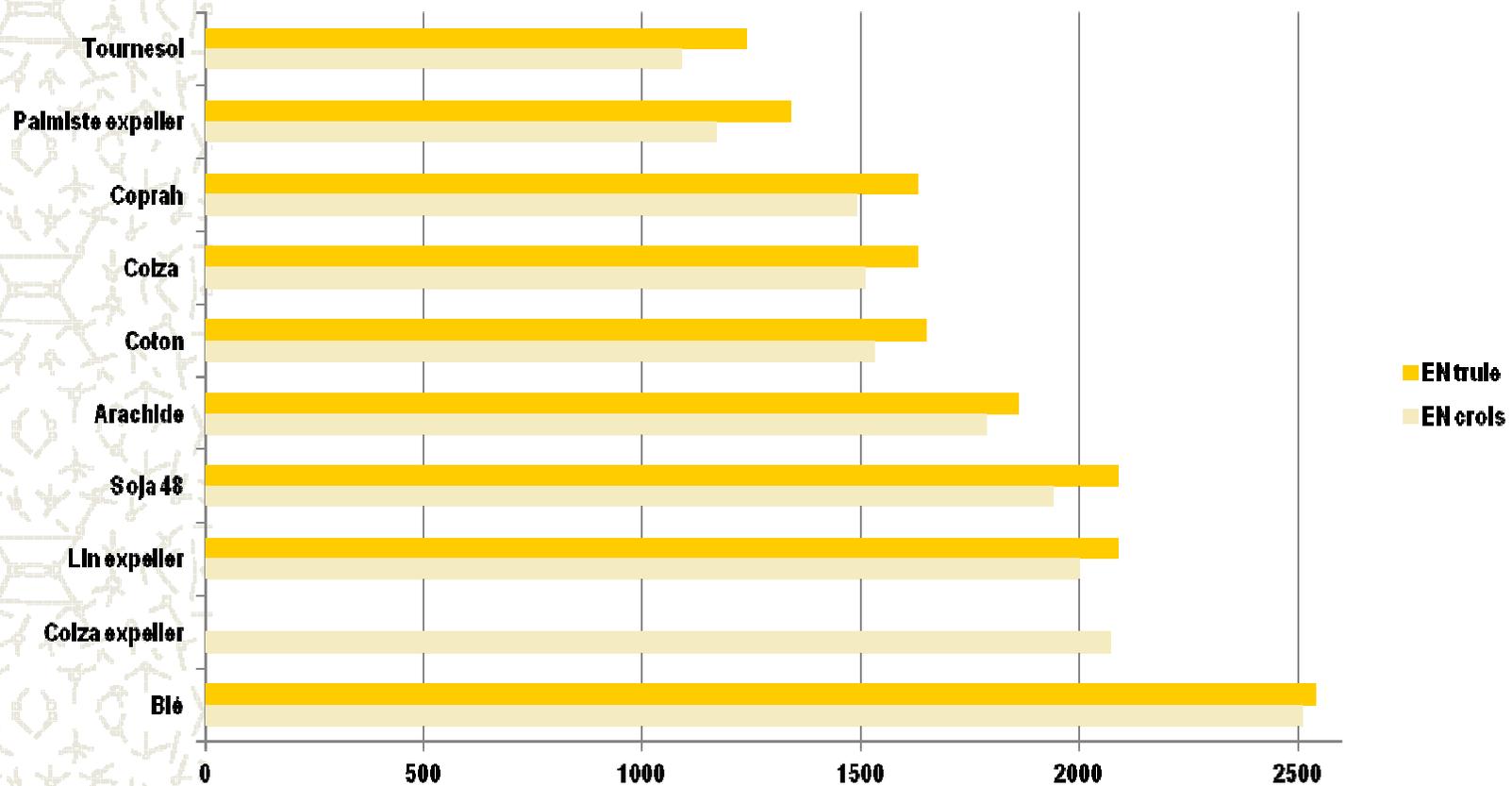


<http://www.requasud.be/pdf/BrochurefourragesVF.pdf>

Valeur énergétique des tourteaux : ruminant



Valeur énergétique des tourteaux : porc



Valeur énergétique des tourteaux : volaille

Palmiste expeller

Coprah

Lin expeller

Tournesol

Colza

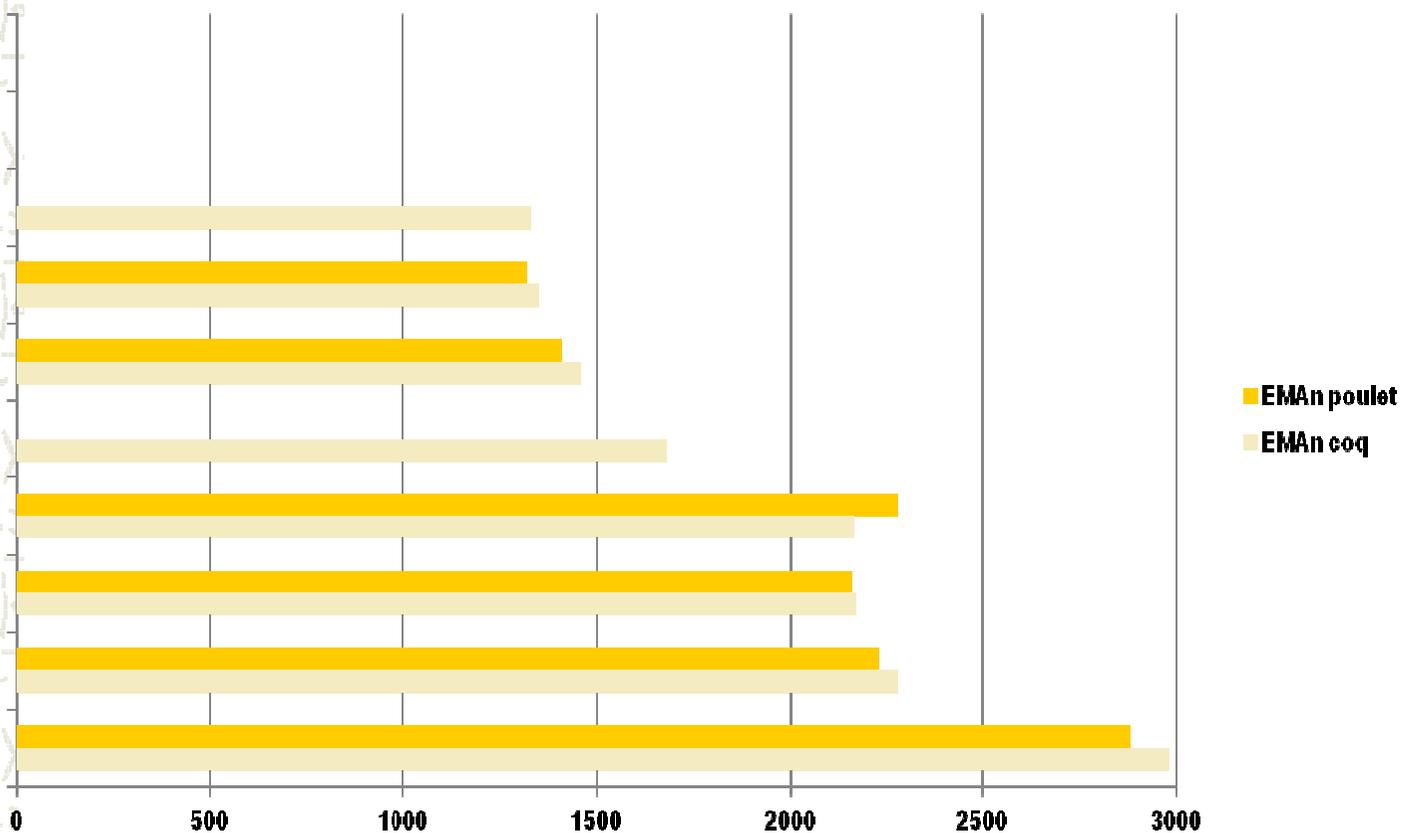
Coton

Colza expeller

Arachide

Soja 48

Blé



Valeur protéique des aliments

● Objectif pour tous les aliments

– Déterminer les apports pour chaque acide aminé dans le sang de l'animal

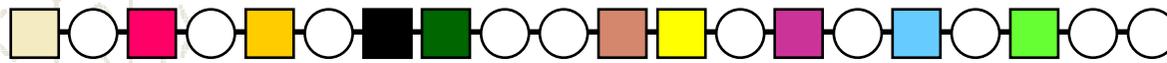
- L'acide aminé est l'élément unitaire des protéines corporelles (muscle) et exportées (lait, œuf)
- Acides aminés essentiels (± 10 AAE) vs non essentiels (± 10 AANE)
 - $AANE_i \rightarrow AANE_j$: ok
 - $AAE_i \rightarrow AAE_j$: ko

– Fonction

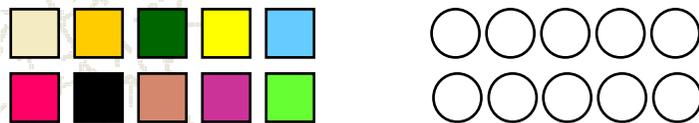
- De la composition en acides aminés de l'aliment
- De la digestion des acides aminés dans l'intestin grêle pour le porc et la volaille
- De la digestion des matières azotées dans le rumen et des acides aminés dans l'intestin grêle pour les ruminants

Aliment idéal : acides aminés

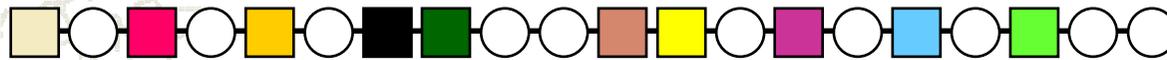
Protéine musculaire à synthétiser (animal en croissance)



Acides aminés digestibles de l'aliment



Synthèse de la protéine

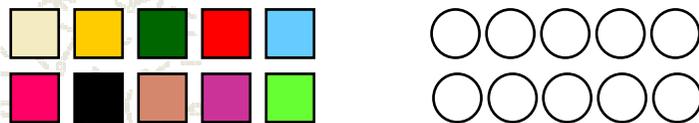


Carence en un acide aminé essentiel

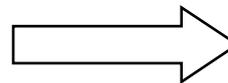
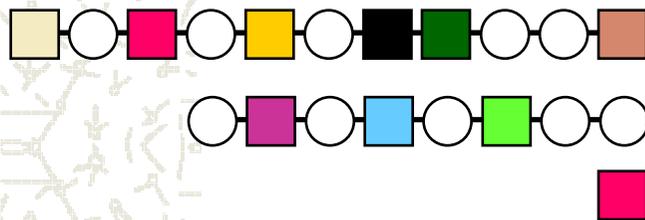
Protéine musculaire à synthétiser (animal en croissance)



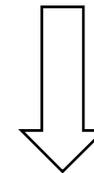
Acides aminés digestibles de l'aliment



Synthèse de protéines ?



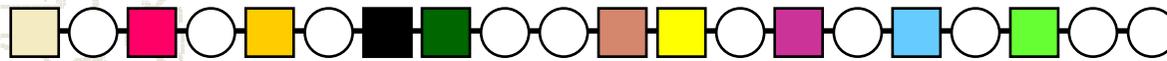
Urée et énergie



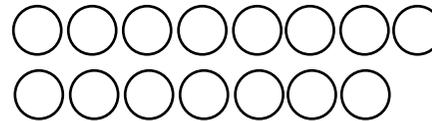
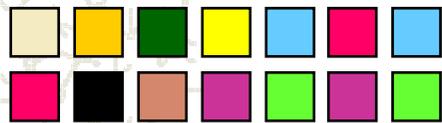
Urine

Excès en acides aminés

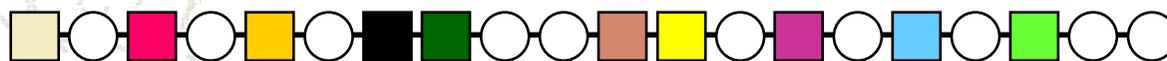
Protéine musculaire à synthétiser (animal en croissance)



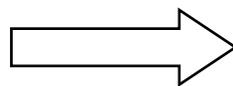
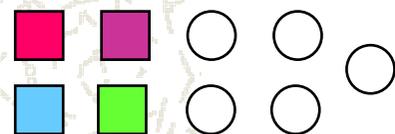
Acides aminés digestibles de l'aliment



Synthèse de la protéine



Excès d'acides aminés



Urée et énergie



Urine

YB - GxABT - ULg

Valeur protéique des aliments

● Porcs

- AAi totaux ou digestibles à l'iléon

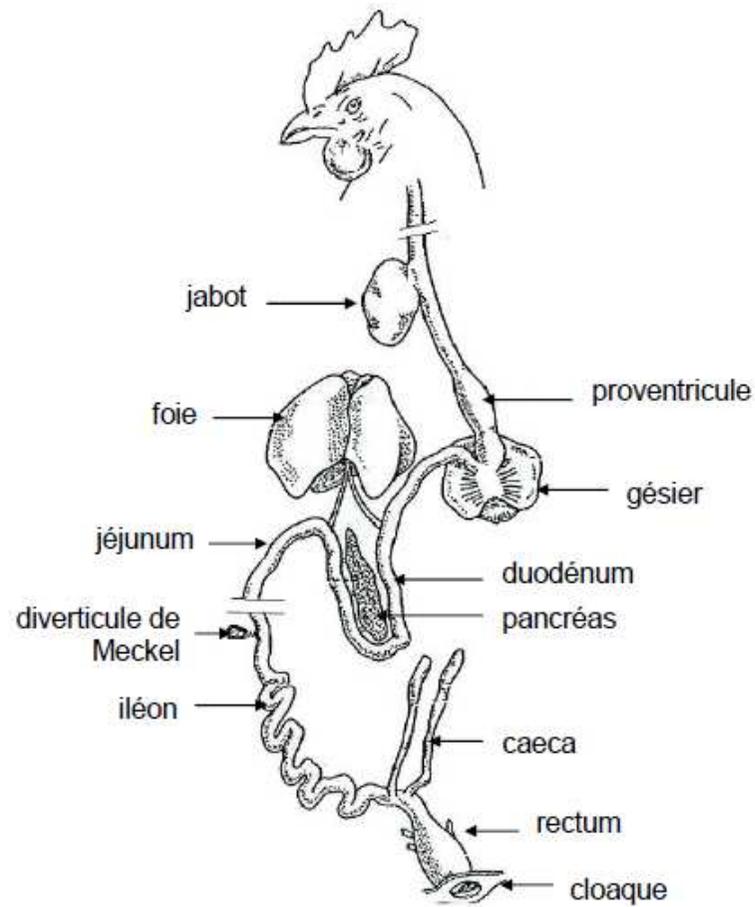
● Volailles

- AAi totaux ou digestibles dans les matières fécales

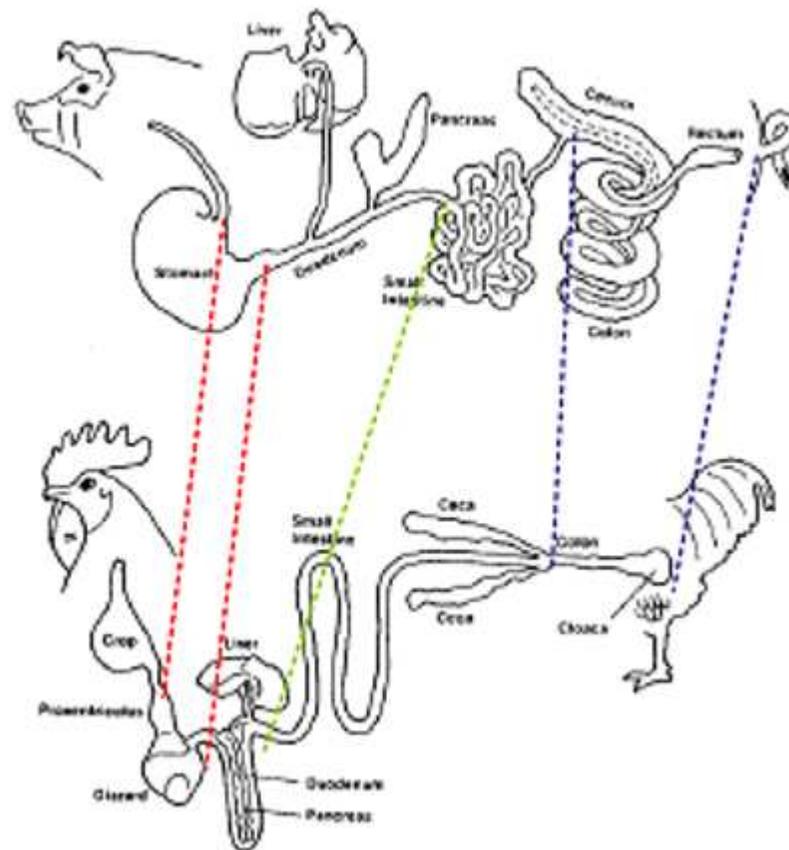
● Ruminants :

- PDI : « protéines digestibles dans l'intestin »
 - Σ acides aminés digérés dans l'intestin grêle

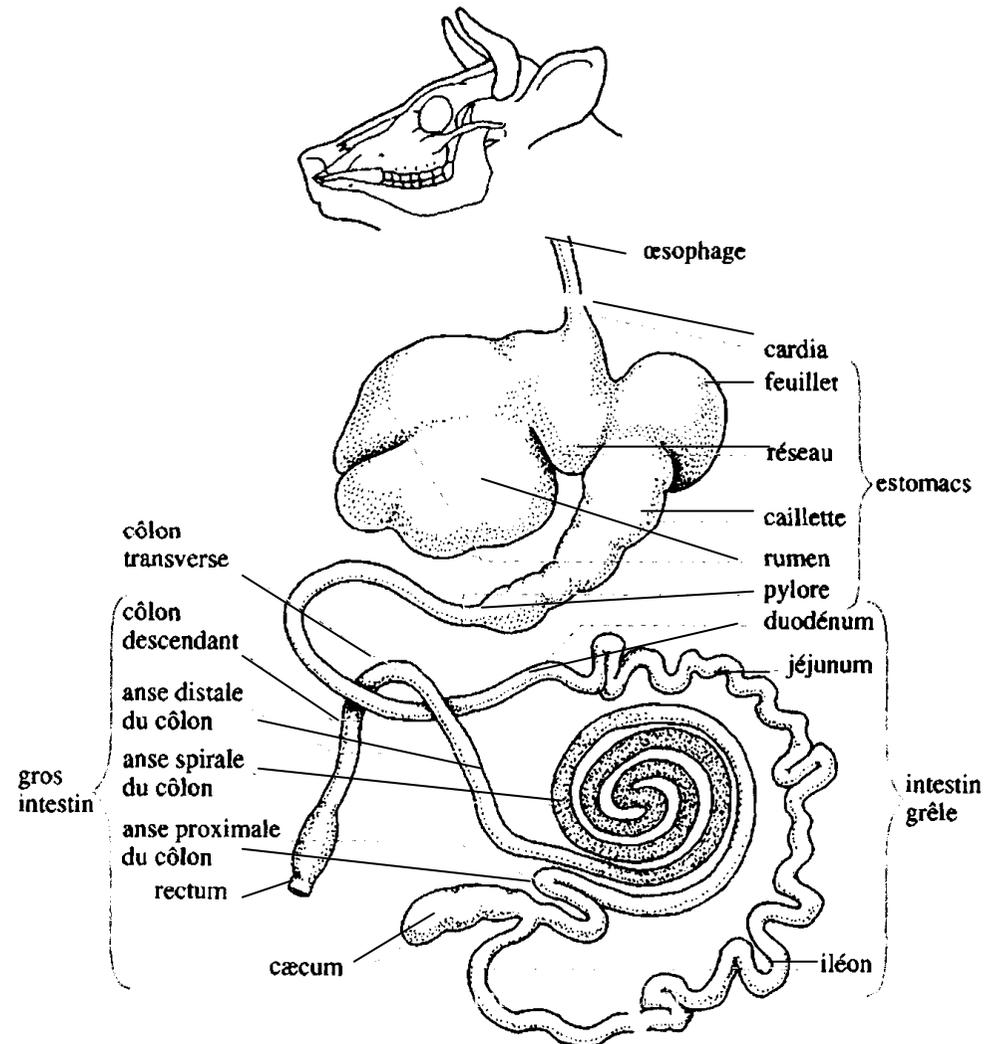
Tube digestif de la volaille



Tube digestif du porc et de la volaille

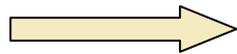


Le tube digestif du ruminant



Systeme des MAD ou PBD

MAT



MAD

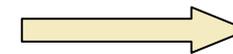
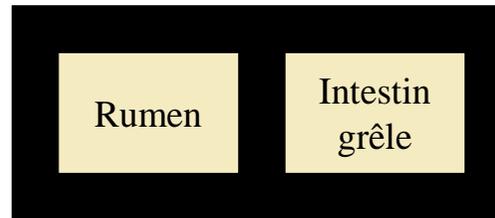
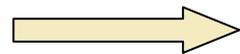


MAND

- Systeme ancien et simple
- Defauts
 - 1 seul compartiment
 - Pas d'infos sur la nature de l'N et le site de digestion
 - 35 g MAND/kg MS pour tous les aliments !
- Validite
 - Performances faibles a moyennes
 - Peu ou pas d'N non proteique

Systeme des PDI

Composés
N



Σ AA digérés

● Systeme plus dynamique

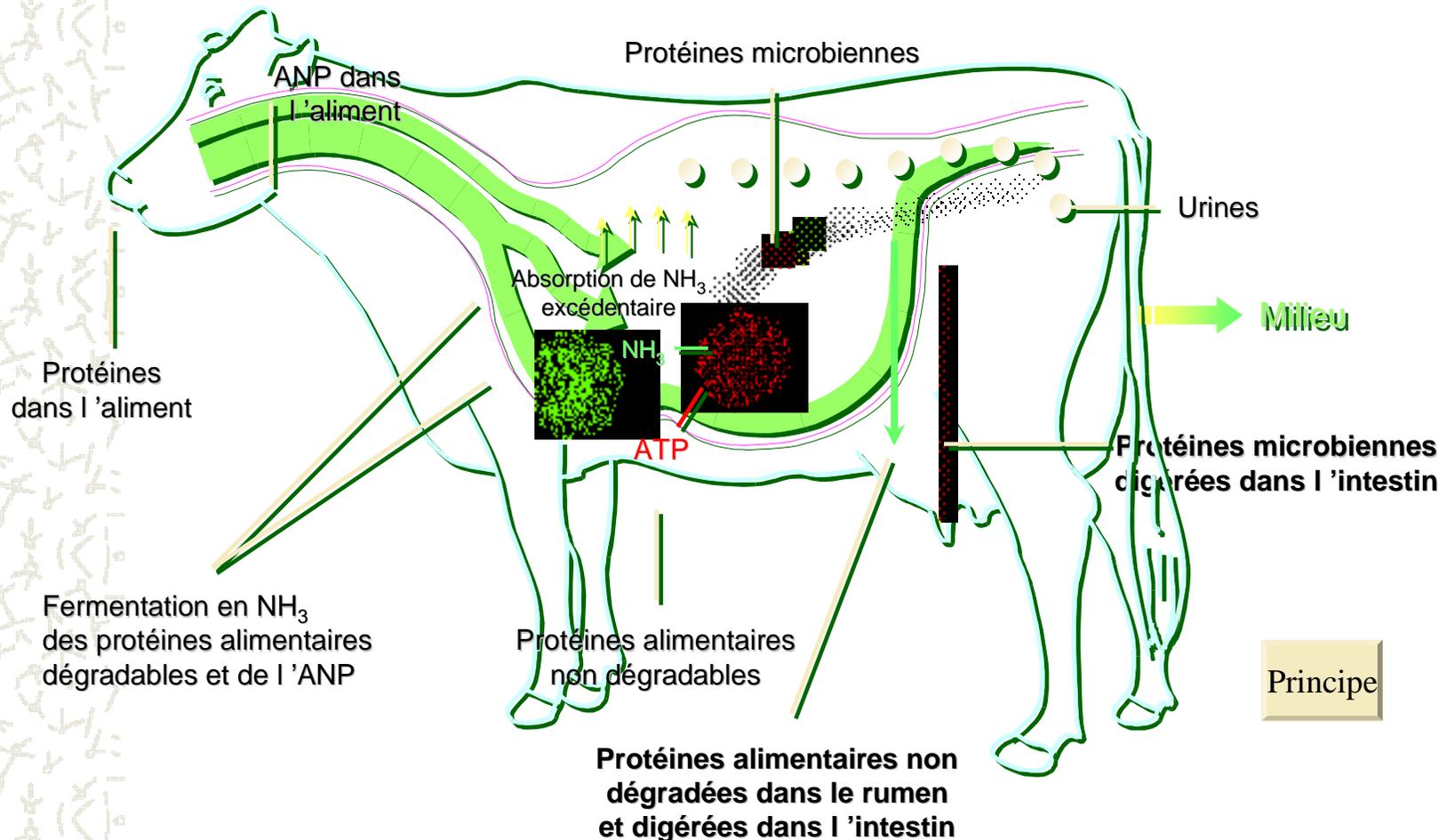
● Avantages

- 3 compartiments : animal – rumen – intestin grêle
- Infos sur la nature de l’N et le site de digestion
- Apports et besoins = acides aminés digestibles

● Validité

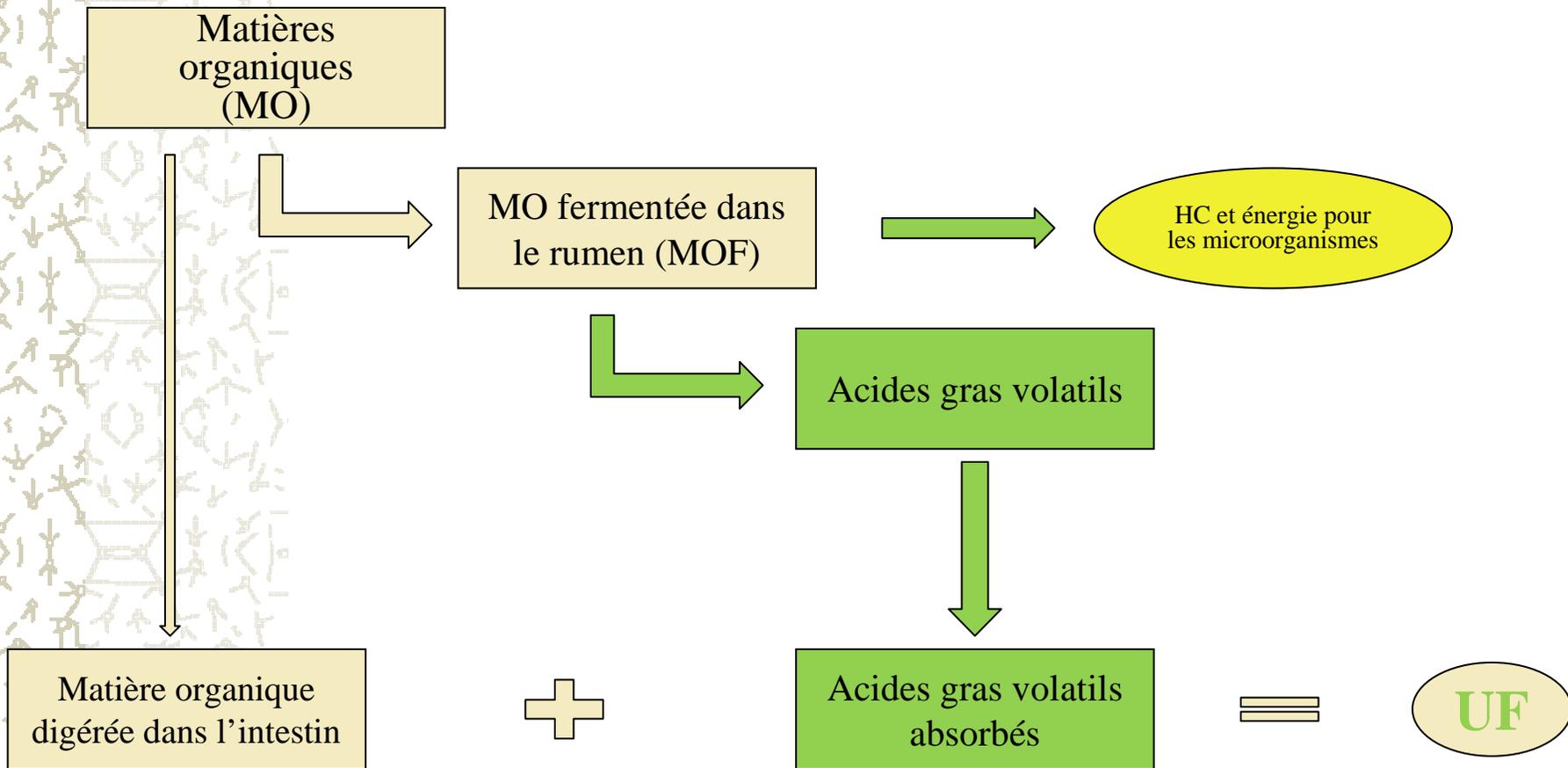
- Tous les ruminants
- Rations avec de l’N non protéique

Digestion des matières azotées chez le ruminant

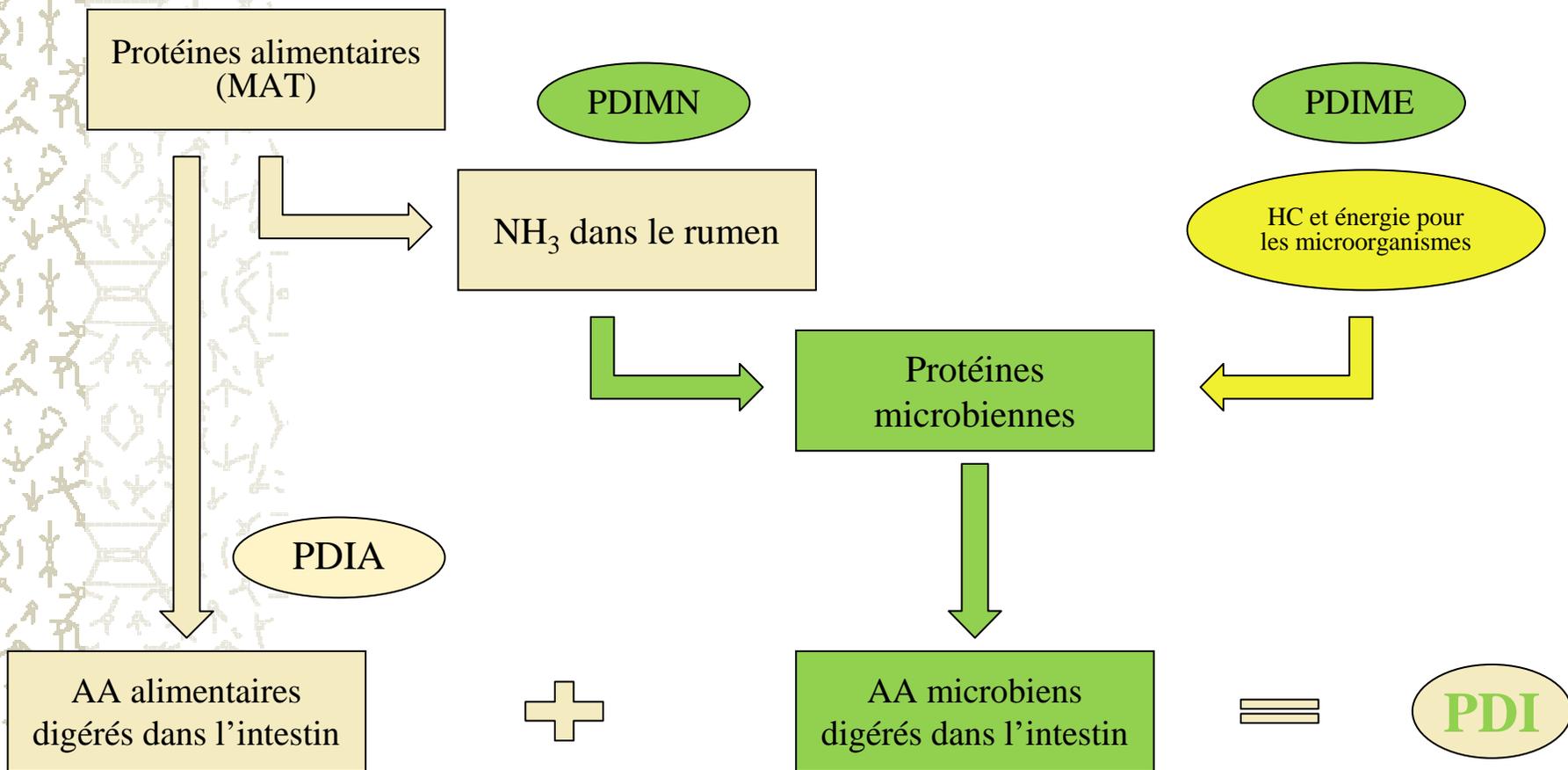


Principe

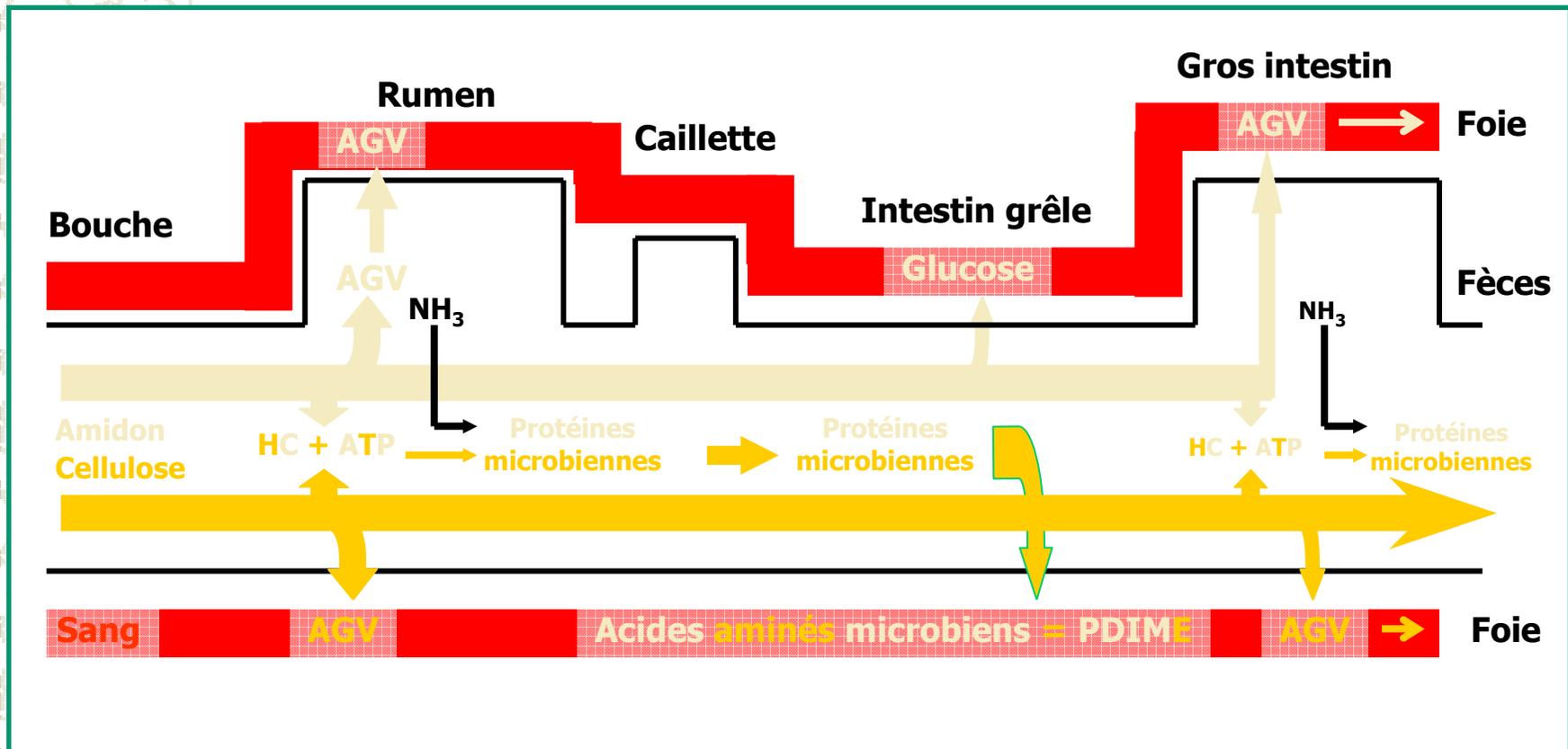
Particularités du ruminant : énergie



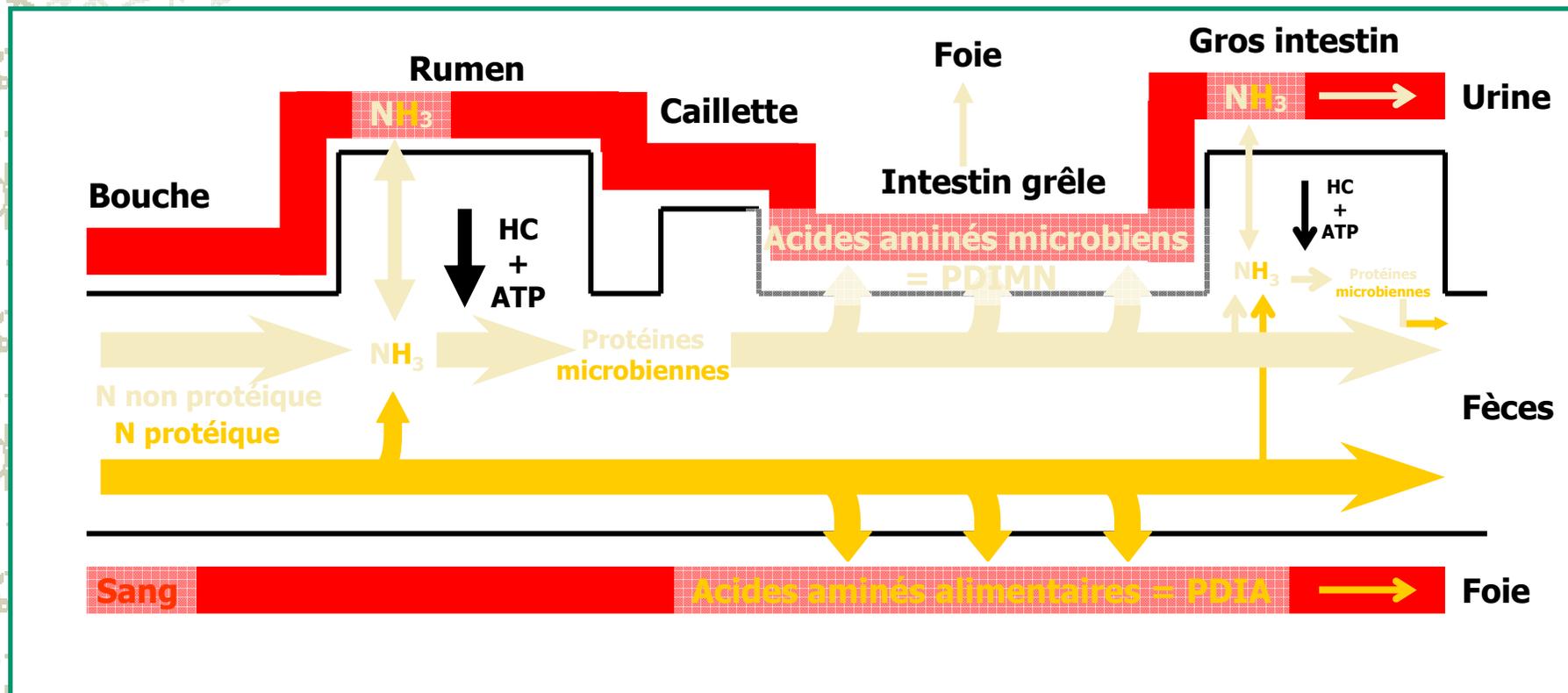
Particularités du ruminant : azote



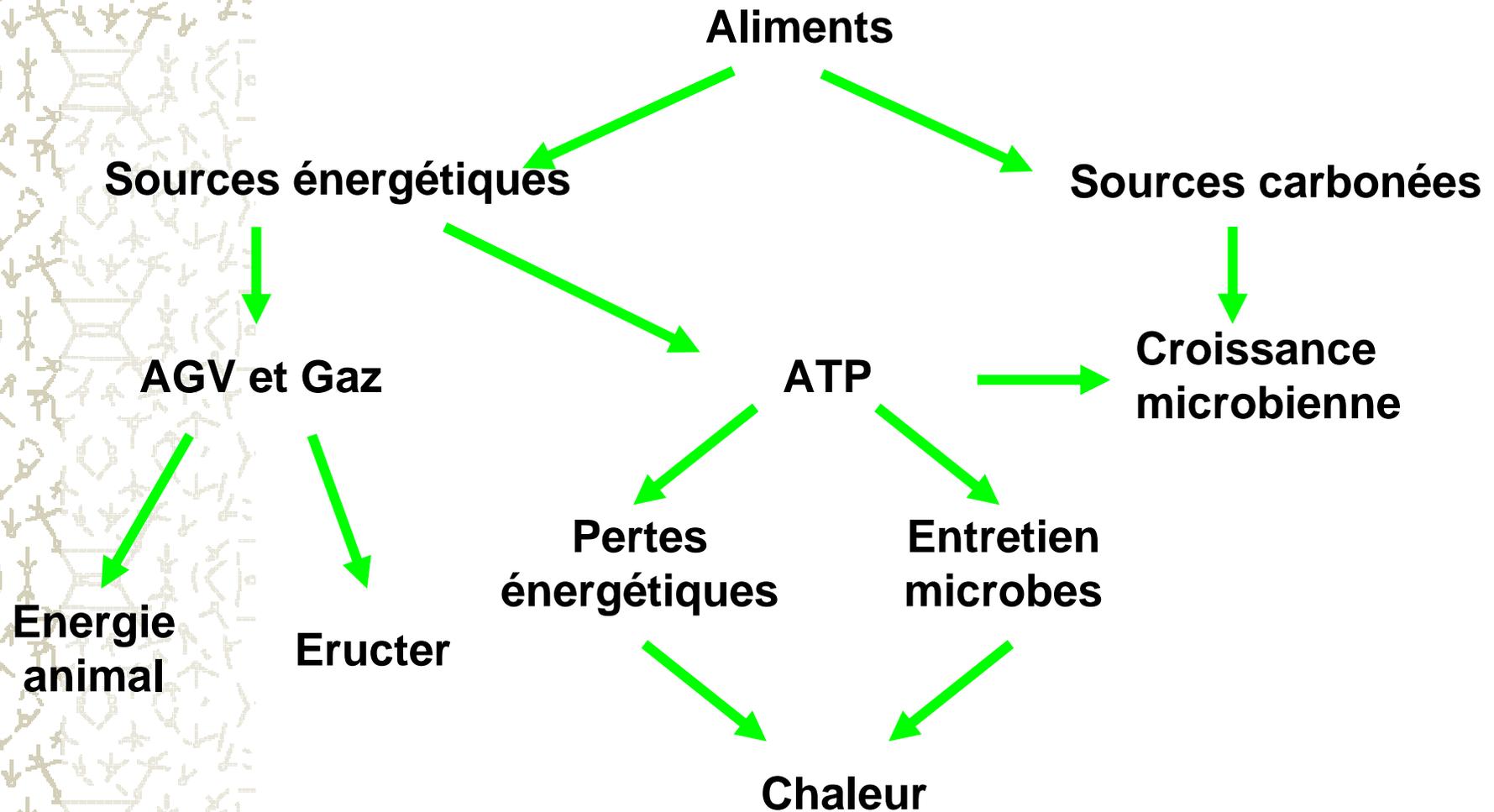
Principes de la digestion des hydrates de carbone

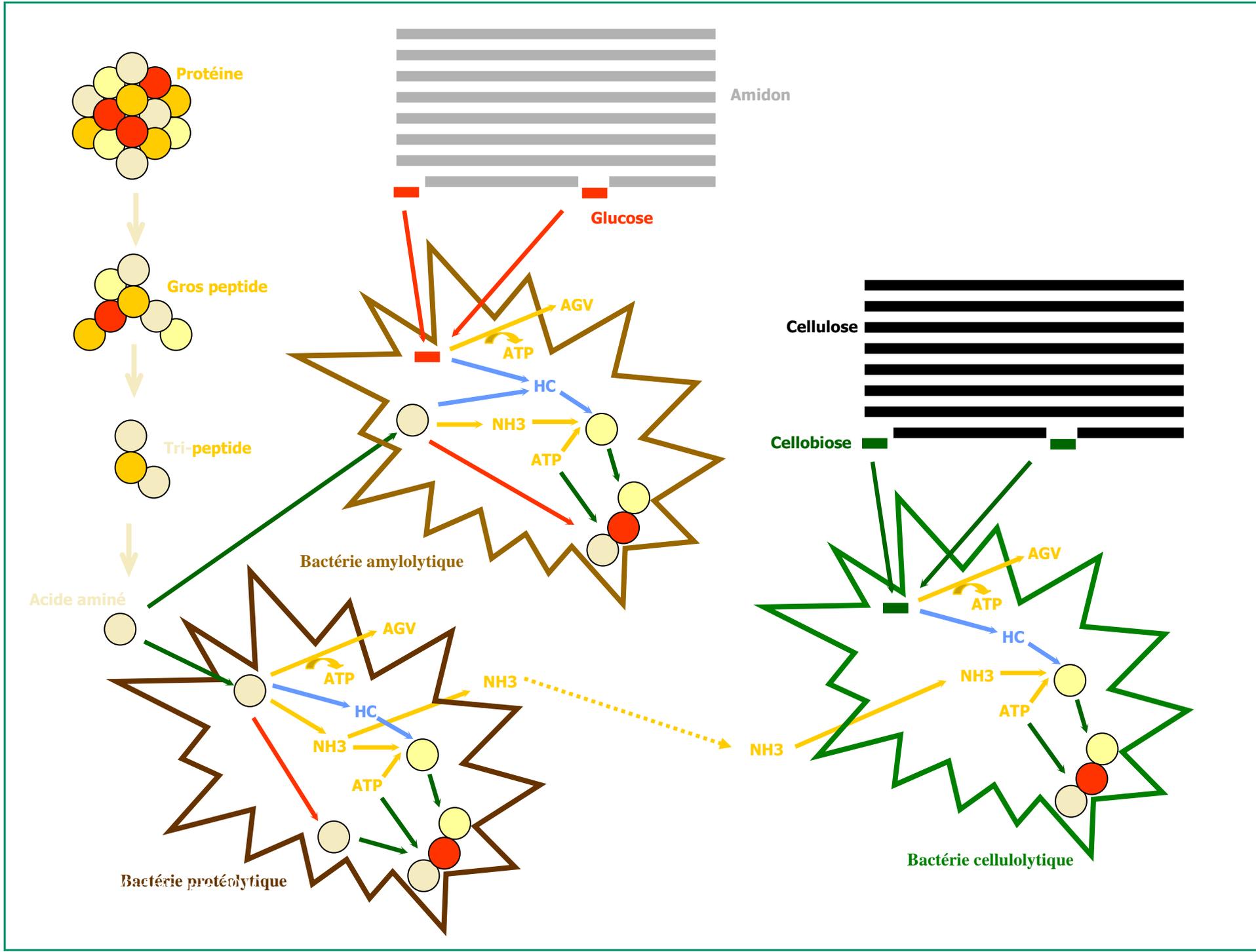


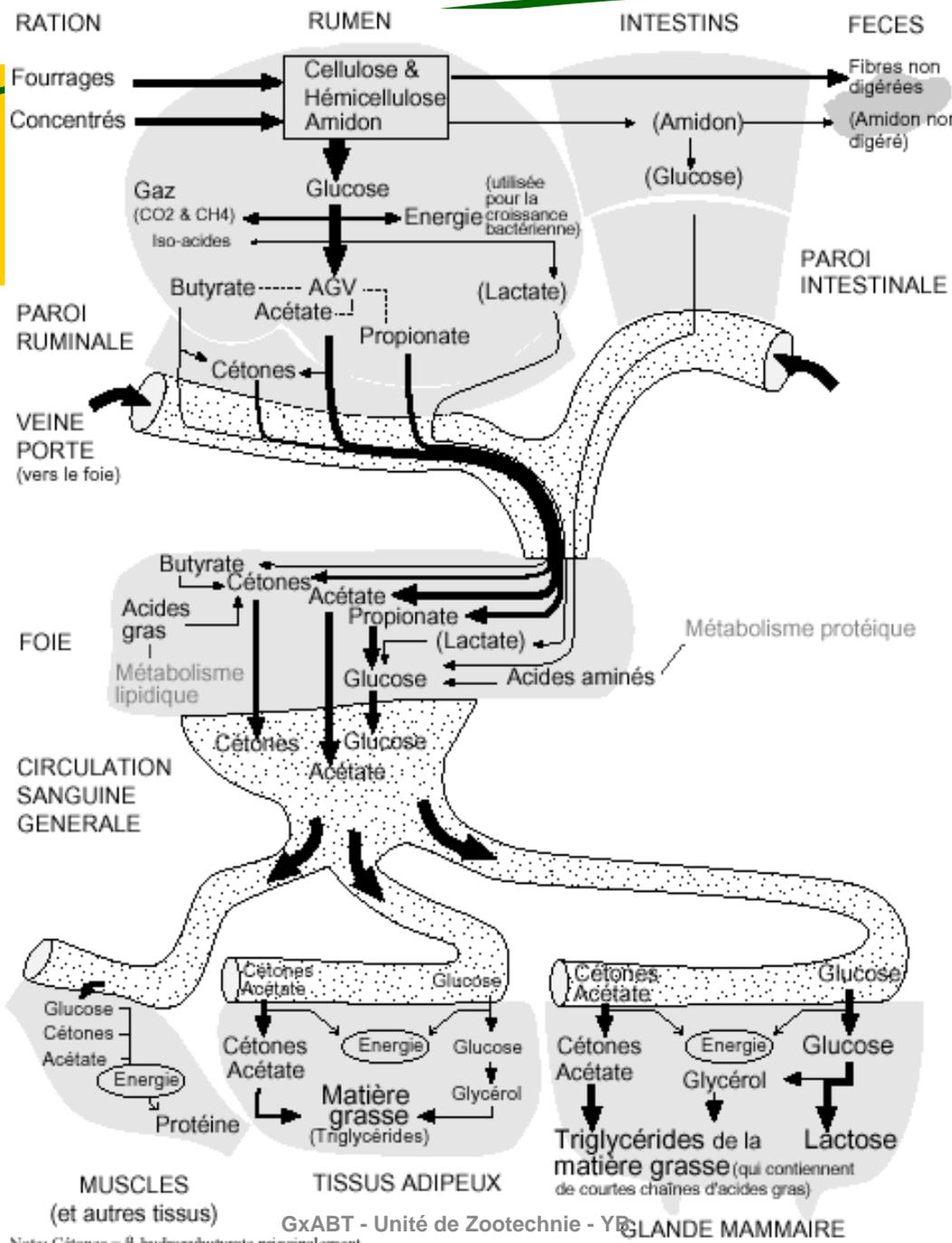
Principes de la digestion de matières azotées



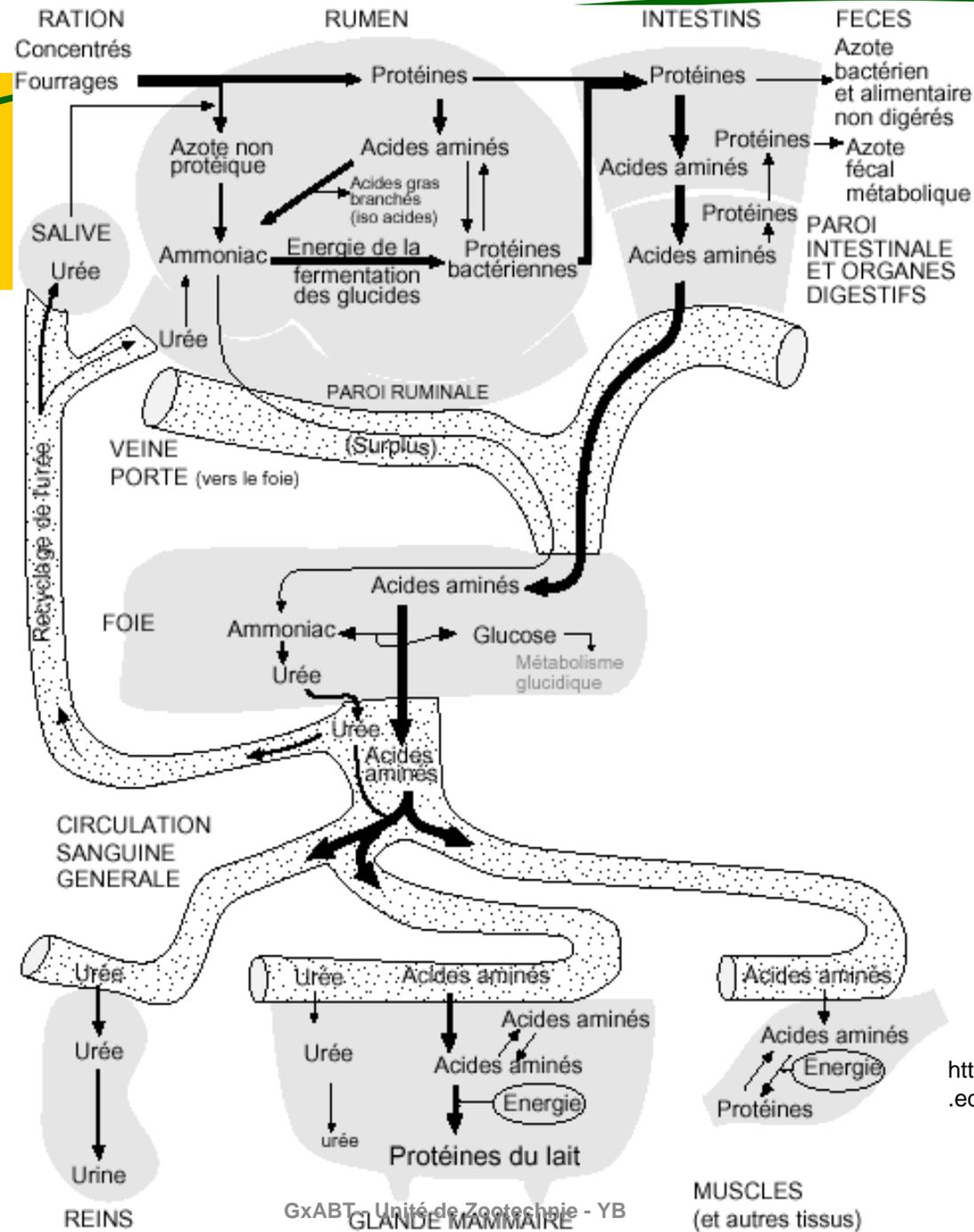
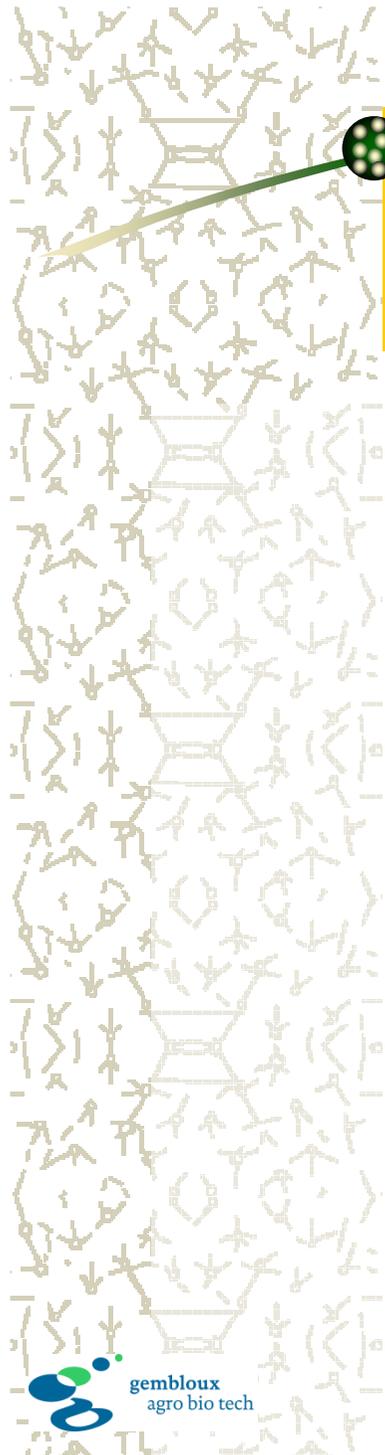
Principe de la fermentation



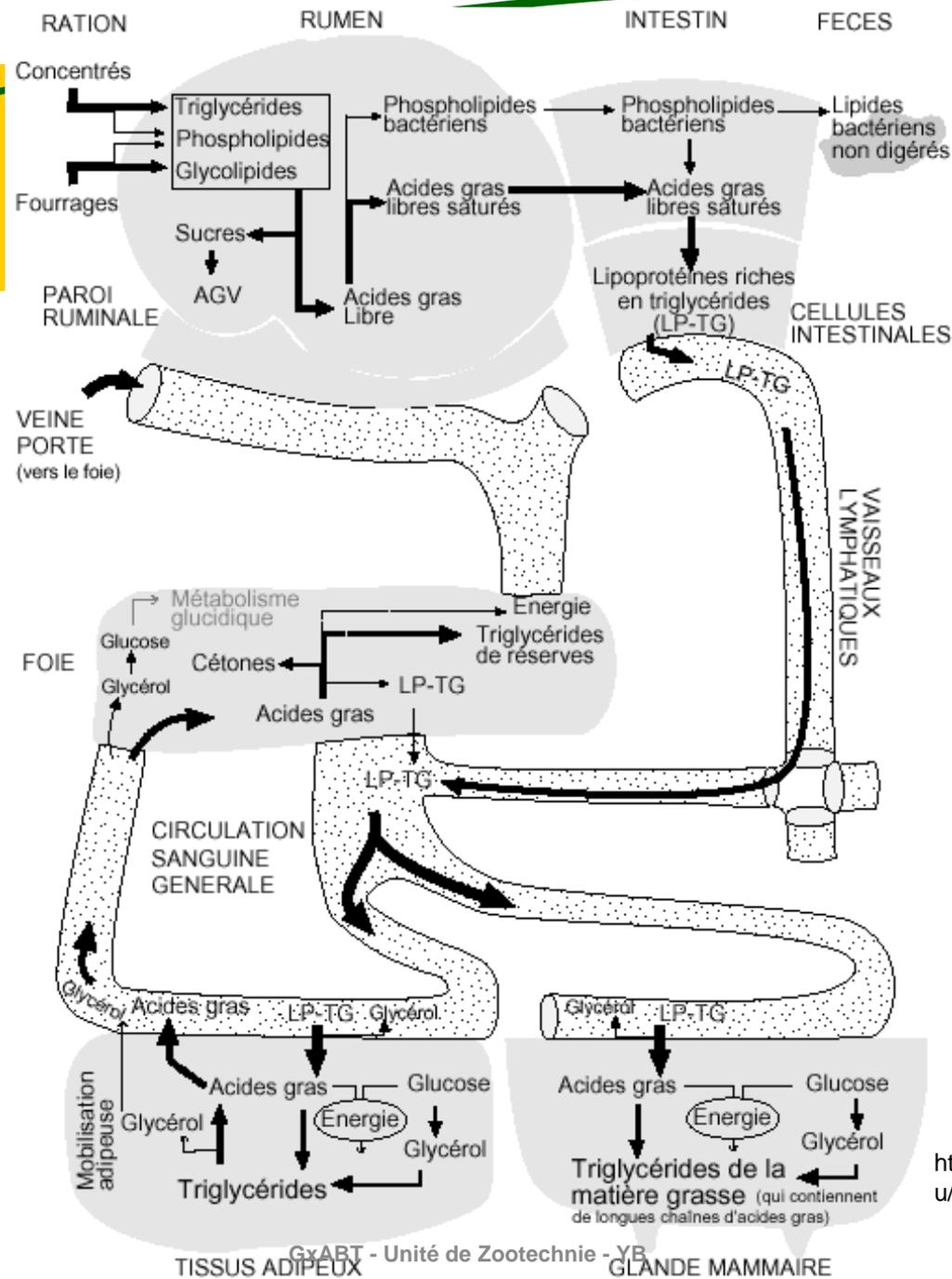




<http://www.babcock.cals.wisc.edu/?q=fr/node/123>



<http://www.babcock.cals.wisc.edu/?q=fr/node/123>



<http://www.babcock.cals.wisc.edu/?q=fr/node/123>

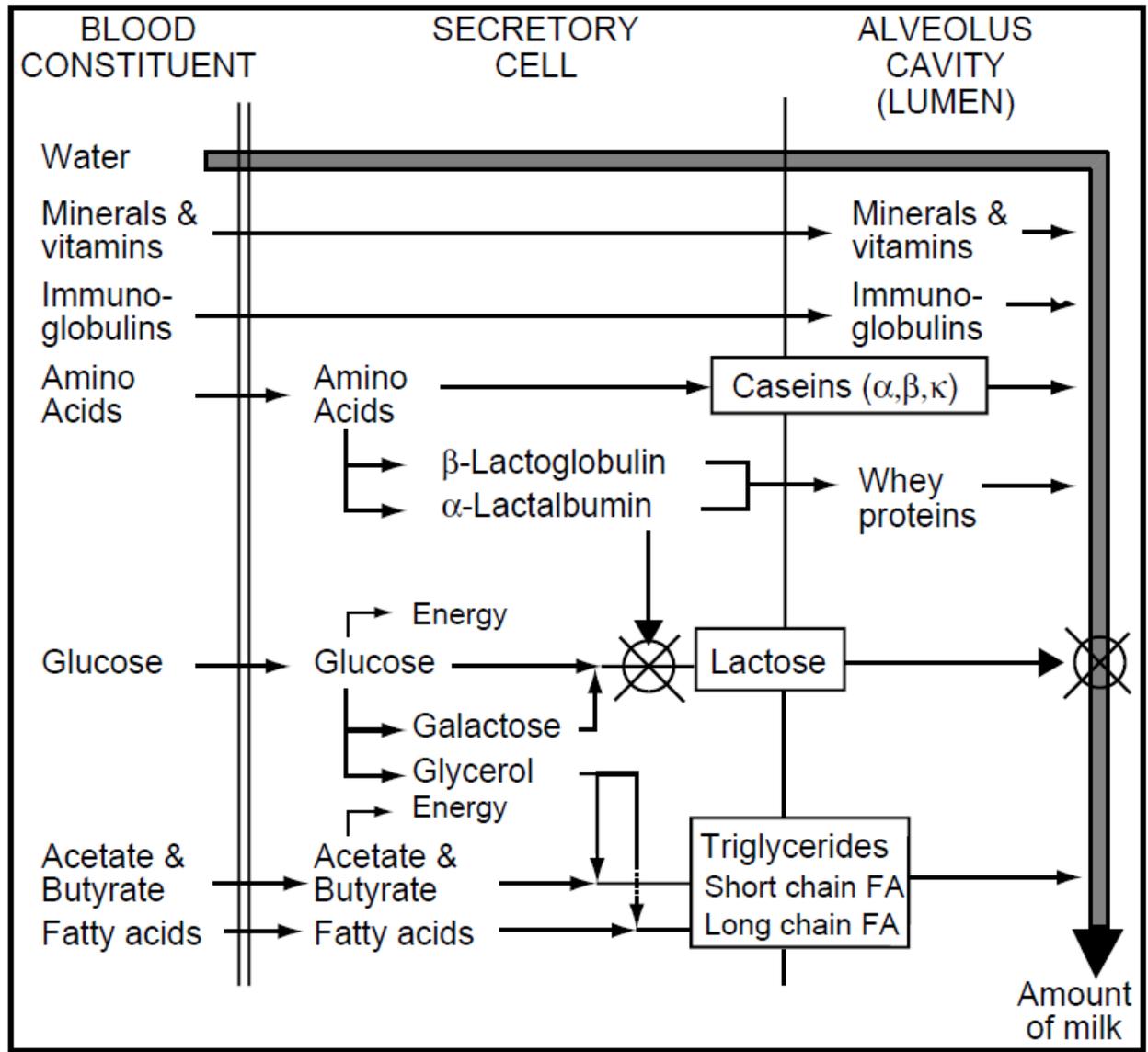


Figure 3: Overview of milk secretion in the secretory cells (crossed circles are key regulatory steps).

http://www.habcock.cals.wisc.edu/sites/default/files/de/en/02_2011.pdf Unite de Zootechnie - YB

Systeme des PDI

- Deux valeurs PDI pour chaque aliment

- $PDIN = PDIA + PDIMN$

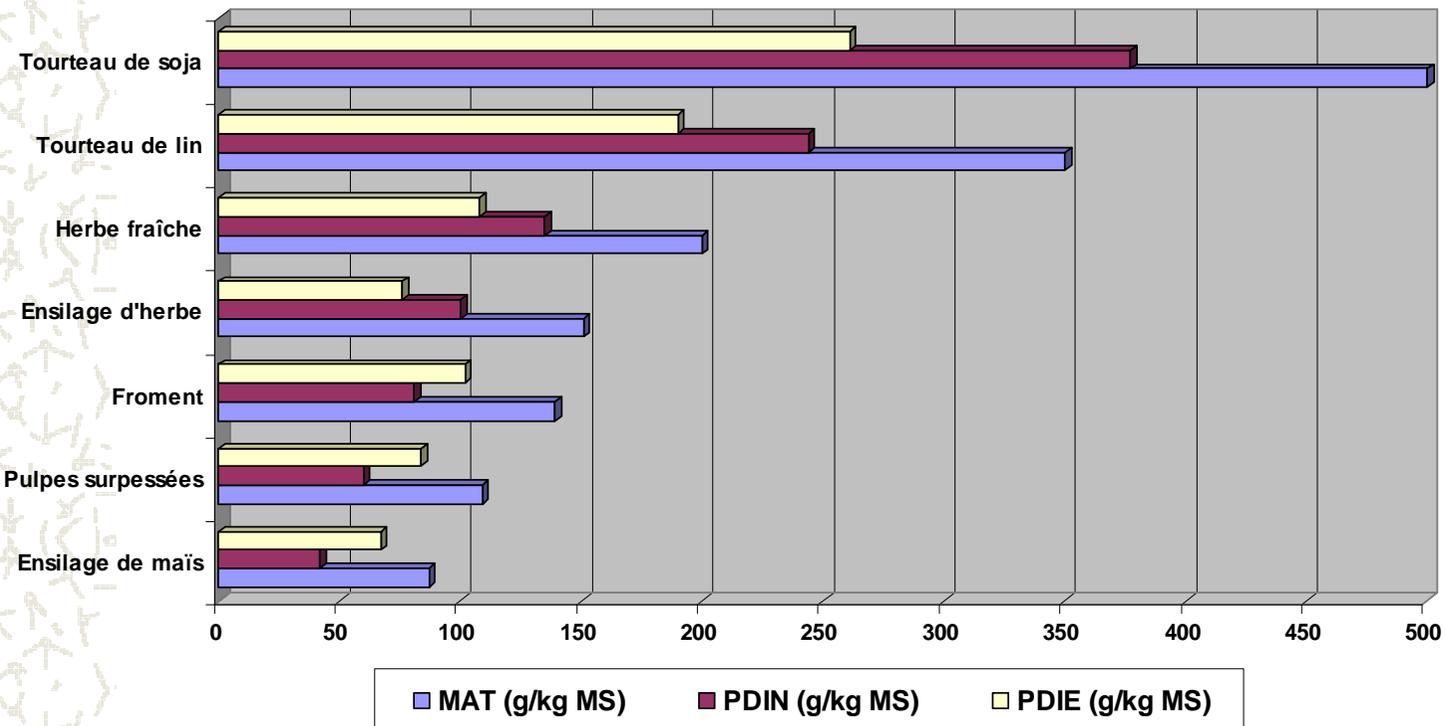
- $PDIE = PDIA + PDIME$

- Valeur PDI d'une ration

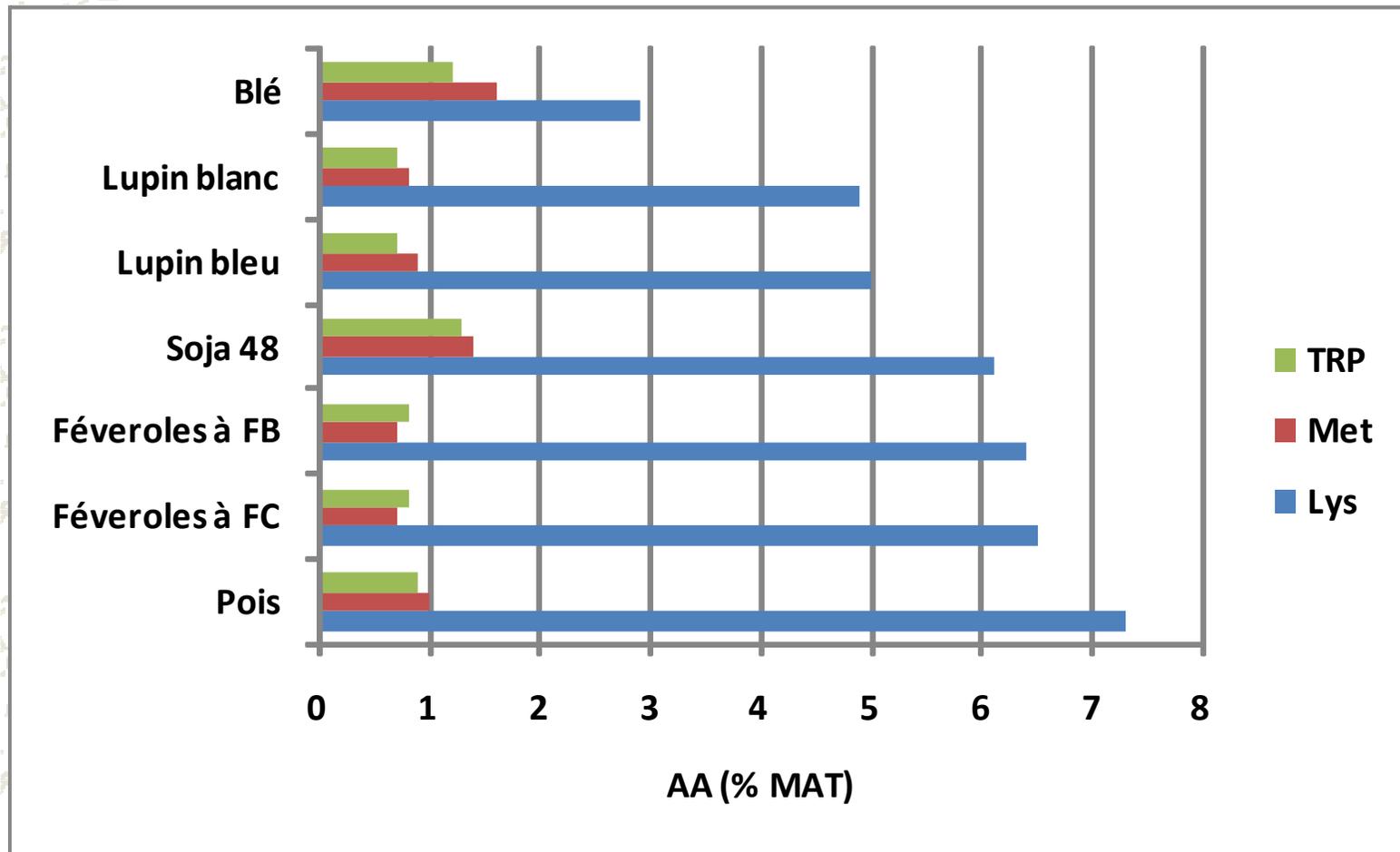
- Somme des valeurs PDI des aliments au prorata de leur taux d'introduction

- Toujours utiliser la plus petite valeur en pratique

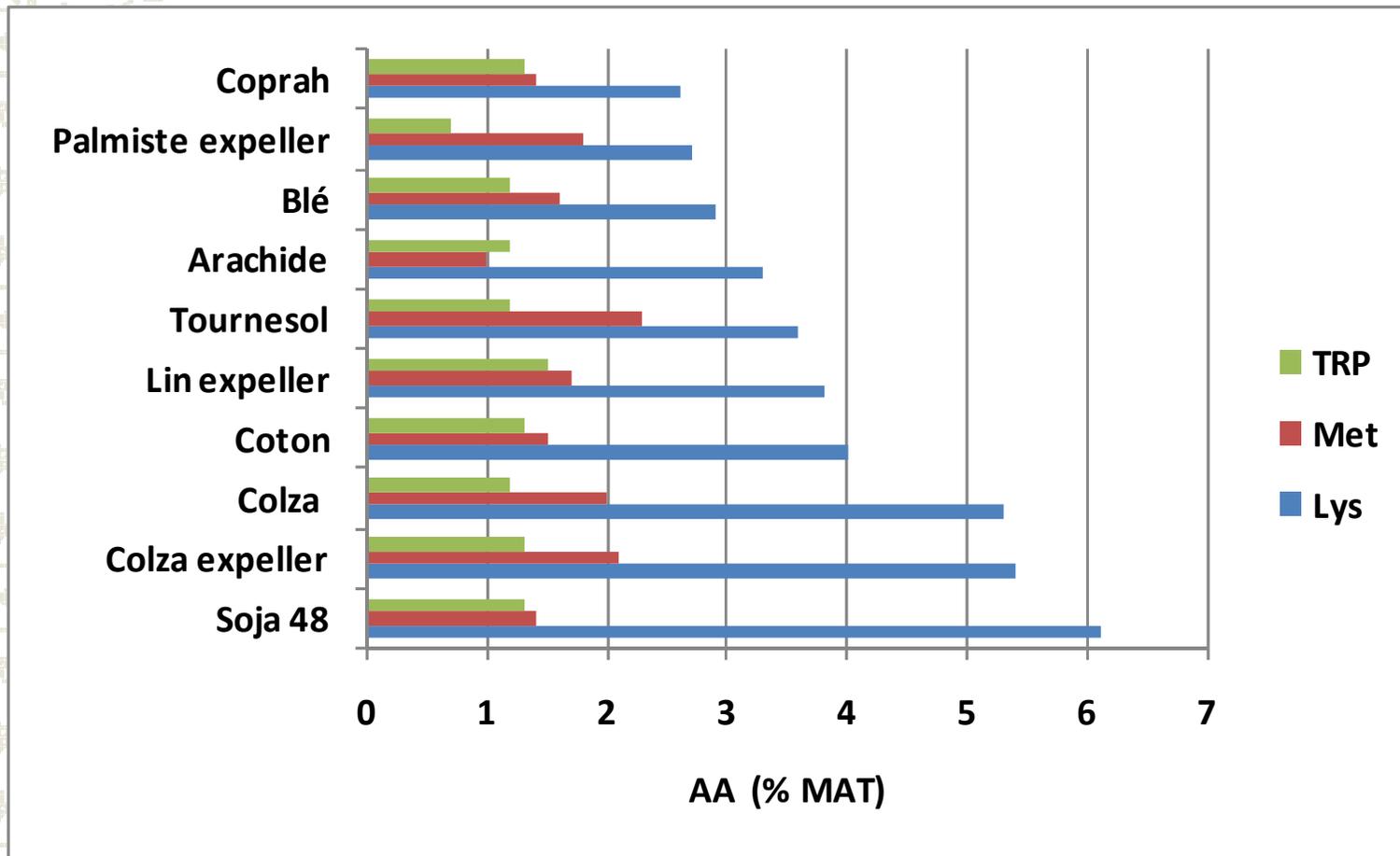
Valeur PDI – teneur en protéines

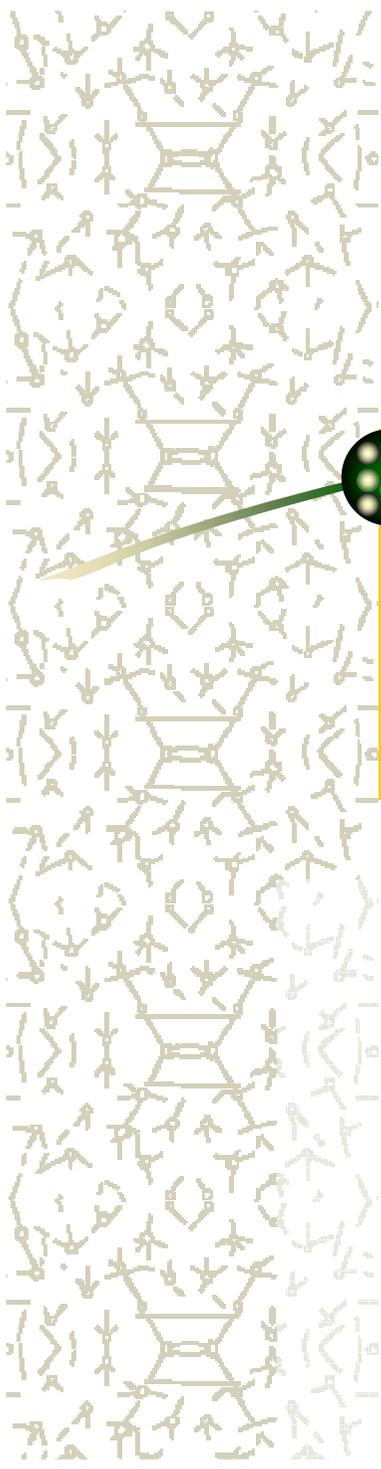


Protéagineux- AA

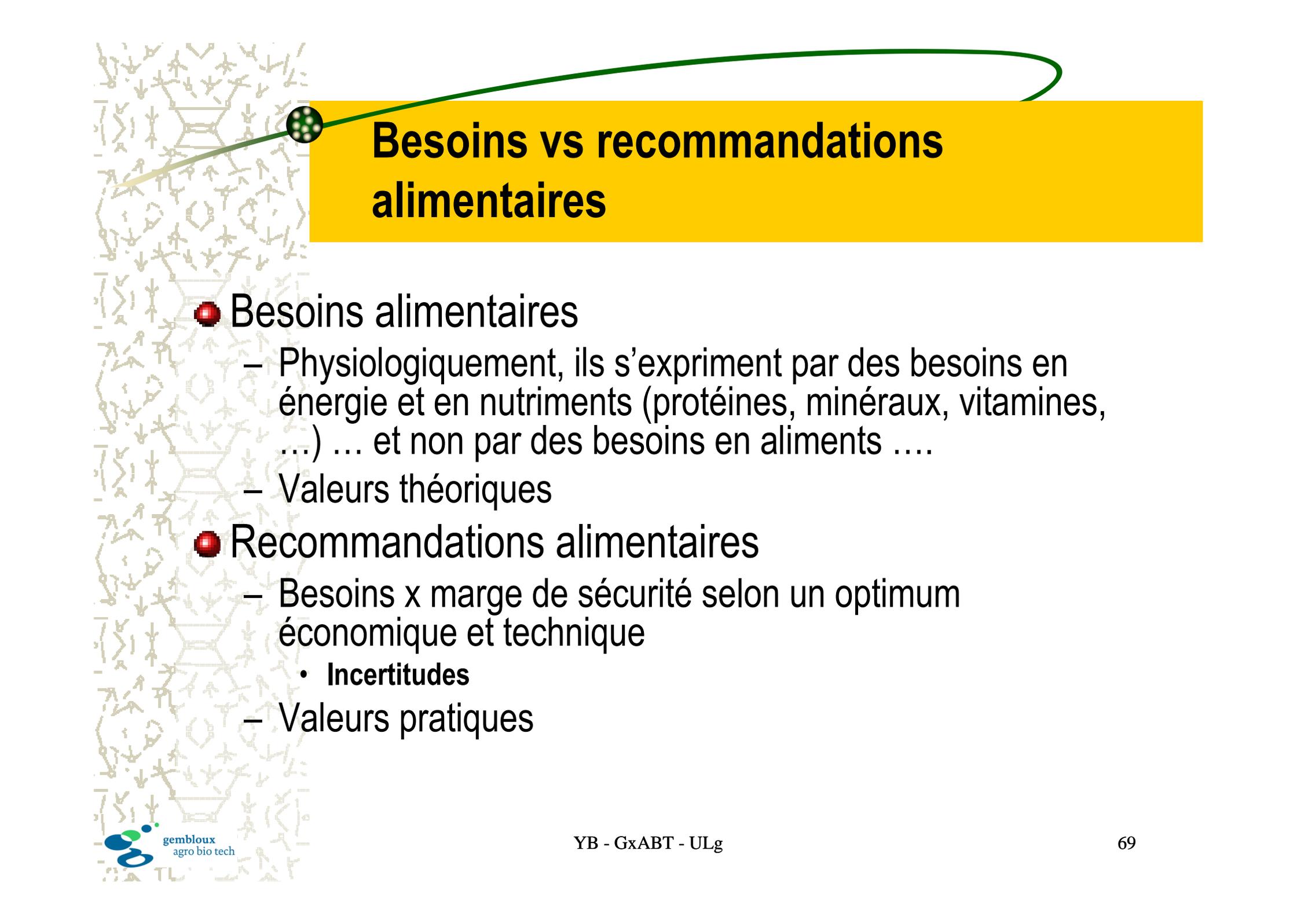


Tourteaux oléagineux – AA





Les besoins alimentaires des animaux



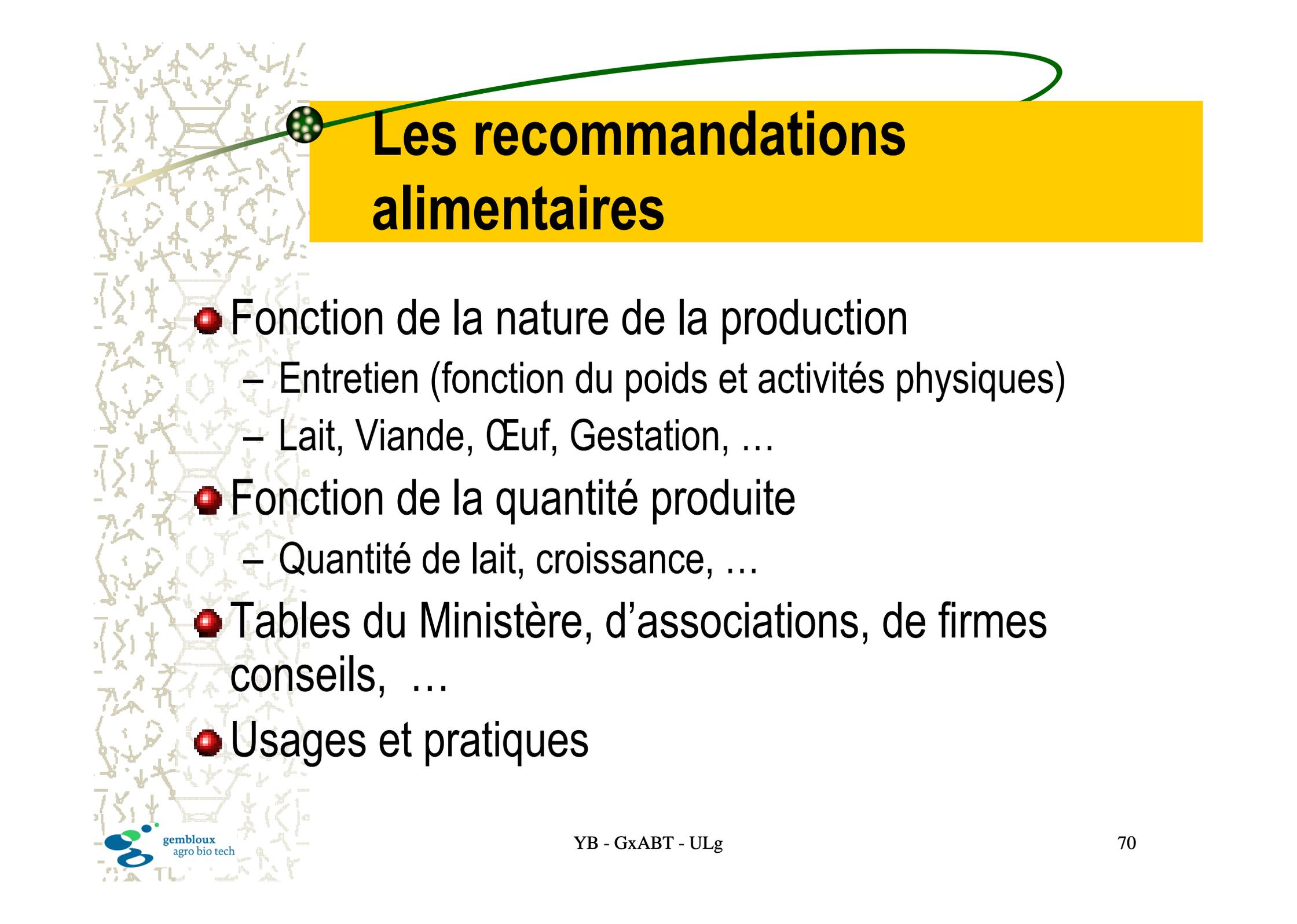
Besoins vs recommandations alimentaires

● Besoins alimentaires

- Physiologiquement, ils s'expriment par des besoins en énergie et en nutriments (protéines, minéraux, vitamines, ...) ... et non par des besoins en aliments
- Valeurs théoriques

● Recommandations alimentaires

- Besoins x marge de sécurité selon un optimum économique et technique
 - Incertitudes
- Valeurs pratiques



Les recommandations alimentaires

- Fonction de la nature de la production
 - Entretien (fonction du poids et activités physiques)
 - Lait, Viande, Œuf, Gestation, ...
- Fonction de la quantité produite
 - Quantité de lait, croissance, ...
- Tables du Ministère, d'associations, de firmes conseils, ...
- Usages et pratiques

Besoins des porcs et des volailles

● Energie

- Amidon (et sucres)
- Lipides

● Protéines

- Acides aminés essentiels de manière individuelle
 - Lysine, méthionine, thréonine et tryptophane
- Pool d'acides aminés non essentiels

● Minéraux et vitamines

- Ca
- P disponible
- Autres minéraux et vitamines

● Concentrations dans le régime

- Alimentation *ad libitum*
- Prise en compte de la capacité d'ingestion selon les catégories animales

Besoins alimentaires : quelques repères chez les volailles et les porcs

● Volaille

- Ponte : 2800 à 2850 EM, 15 – 18 % MAT, max 6 à 7 % CB/kg
- Croissance rapide : 2900 EM et 21 – 23 % MAT, maximum 4 à 5 % CB/kg

● Porc

- Sevrage – post sevrage : 2300 - 2350 EN et 16 – 18 % MAT, maximum 5% CB/kg
- Croissance : 2200 - 2250 EN et 15 – 16 % MAT maximum 6 % CB/kg
- Gestation : 2100 EN et 12 – 15 % MAT, maximum 4 à 9 % CB/kg
- Lactation : 2200 EN et 15 – 17 % MAT, maximum 7% CB/kg

Recommandations alimentaires chez les porcs (exemple entre 35 et 75 kg)

| Nutriënten | eenheid | min. | max. |
|---------------------|---------|------|------|
| vocht | % | | 14 |
| ruw eiwit | % | 15 | 16 |
| ruw vet | % | 3 | 7 |
| zetmeel | % | 34 | |
| suikers | % | | |
| lactose | % | | |
| ruwe celstof | % | | 5,5 |
| ruwe as | % | | |
| calcium | % | 0,56 | 0,70 |
| fosfor | % | | 0,47 |
| fosfor, verteerbaar | % | 0,2 | |

| | | |
|----------------------|-----------|------|
| Lysine, totaal | % | |
| Lysine, dv. | % | 0,77 |
| Methionine, dv. | % | 0,25 |
| Meth. + Cystine, dv. | % | 0,45 |
| Tryptofaan, dv. | % | 0,14 |
| Threonine, dv. | % | 0,46 |
| Isoleucine, dv. | % | 0,42 |
| Valine, dv. | % | 0,50 |
| NE varkens | kcal / kg | 2250 |

Source : DSM, 2009

Recommandations alimentaires chez les volailles (exemple ponte 20 à 40^e semaines)

| Nutriënten | eenheid | min. | max. |
|--------------------|---------|------|------|
| vocht | % | | 14 |
| ruw eiwit | % | 16 | 17 |
| ruw vet | % | 6 | 9 |
| zetmeel | % | 32 | |
| suikers | % | | |
| ruwe celstof | % | 3,5 | 5,5 |
| ruwe as | % | | |
| calcium | % | 3,50 | 3,75 |
| fosfor | % | | 0,50 |
| fosfor, opneembaar | % | 0,33 | |

| | | |
|-------------------------|-----------|------|
| Lysine, totaal | % | |
| Lysine, verteerbaar | % | 0,70 |
| Methionine, totaal | % | |
| Methionine, vert. | % | 0,36 |
| Meth. + Cystine, totaal | % | |
| Meth. + Cystine, vert. | % | 0,58 |
| Tryptofaan, totaal | % | |
| Tryptofaan, vert. | % | 0,15 |
| Threonine, totaal | % | |
| Threonine, vert. | % | 0,47 |
| ME vleeskippen | kcal / kg | |
| ME pluimvee | kcal / kg | |
| ME leghennen | kcal / kg | 2850 |

Source : DSM, 2009

Recommandations alimentaires de la vache laitière

| | UFL | PDI |
|--------------------------|---|--|
| Entretien | $0,041 \times P^{0,75}$ | $3,25 \times P^{0,75}$ |
| Stabulation libre | + 10 % | - |
| Pâturage | + 20 % | - |
| Lactation | $0,44 + \{0,0055 \times (TB - 40)\} + \{0,0033 \times (TP - 31)\}$ | $1,56 \times \text{kg lait} \times TP$ |
| Gestation | $0,00072 \times PV_{\text{nais}} \times e^{(0,116 \times \text{SemGes})}$ | $0,07 \times PV_{\text{nais}} \times e^{(0,111 \times \text{SemGes})}$ |

Besoins de la vache laitière

| | Besoins journaliers | Teneurs dans la ration (/kg MS) |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Calcium (Ca, g) | $0,032 \times PV + 2,4 \times L_4$ | 3,5 – 5,5 |
| Phosphore (P, g) | $0,042 \times PV + 1,5 \times L_4$ | 3,0 – 4,0 |
| Sodium (Na, g) | $7,0 + 0,5 \times L_4$ | 1,0 – 1,5 |
| Magnésium (Mg, g) | $(2,5 + 0,12 \times L_4)/A^*$ | 2,0 – 5,0 |
| Potassium (K, g) | $0,03 \times PV + 2,0 \times L_4$ | 8 |
| Chlore (Cl, g) | $0,04 \times PV + 1,2 \times L_4$ | 3,5 |
| Iode (I, mg) | $2,0 + 0,25 \times L_4$ | 0,6 |
| Manganèse (Mn, mg) | - | 50 |
| Zinc (Zn, mg) | - | 50 |
| Cuivre (Cu, mg) | - | 10 |
| Sélénium (Se, mg) | - | 0,15 |
| Vitamine A (UI) | $24000 + 1500 \times L_4$ | 2000 - 3500 |
| Vitamine D (UI) | $10 \times PV$ | 300 - 500 |

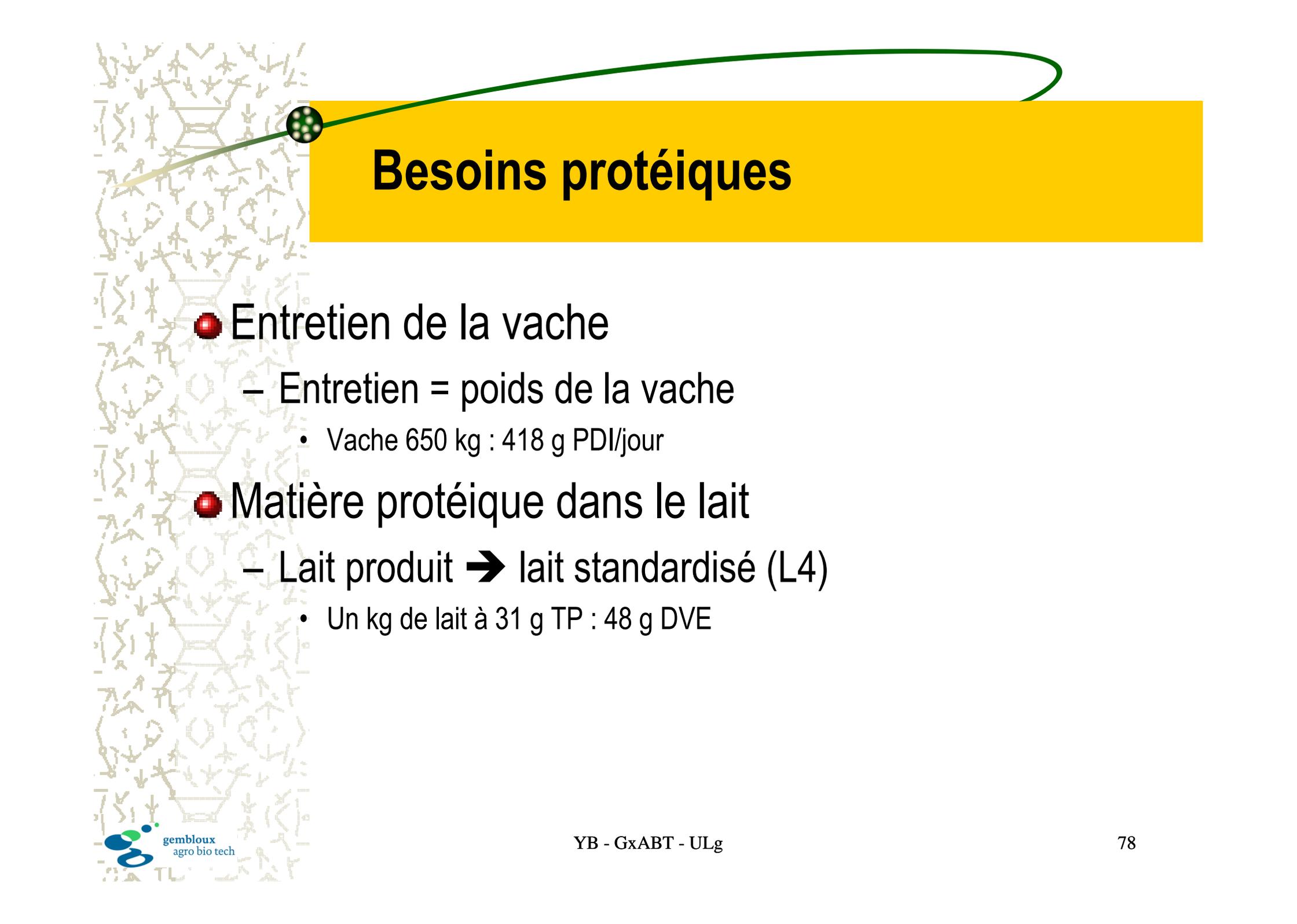
Besoins énergétiques

● Entretien de la vache : UFL

- Entretien = poids de la vache
 - Vache 650 kg : 5,3 UFL/jour

● Lait : VEM

- Lactose = volume de lait
- Matières utiles = matière grasse + matière protéique dans le lait
- Lait produit → lait standardisé à 40 g TB (L4)
 - Un kg de L4 = 0,44 UFL



Besoins protéiques

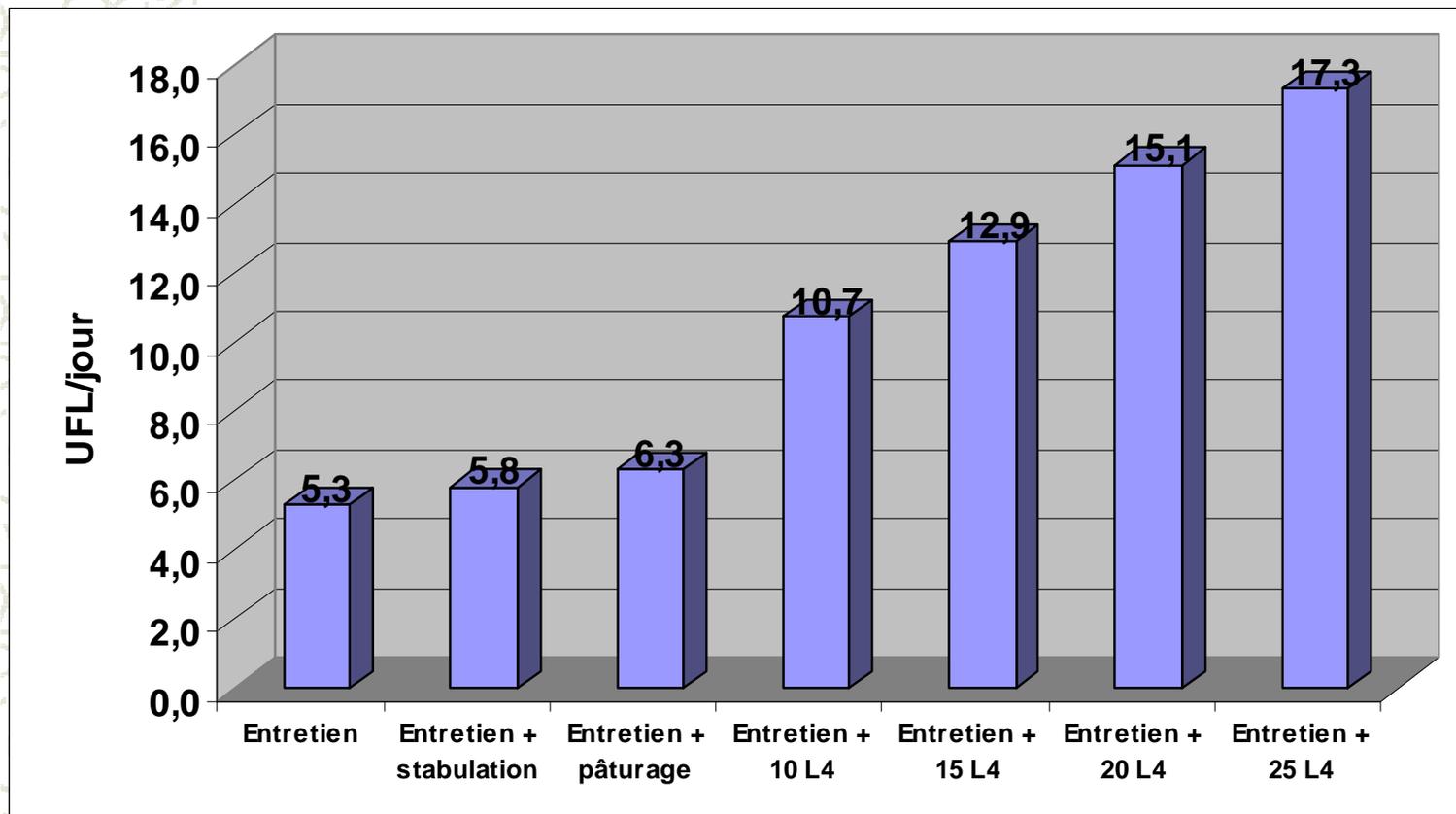
● Entretien de la vache

- Entretien = poids de la vache
 - Vache 650 kg : 418 g PDI/jour

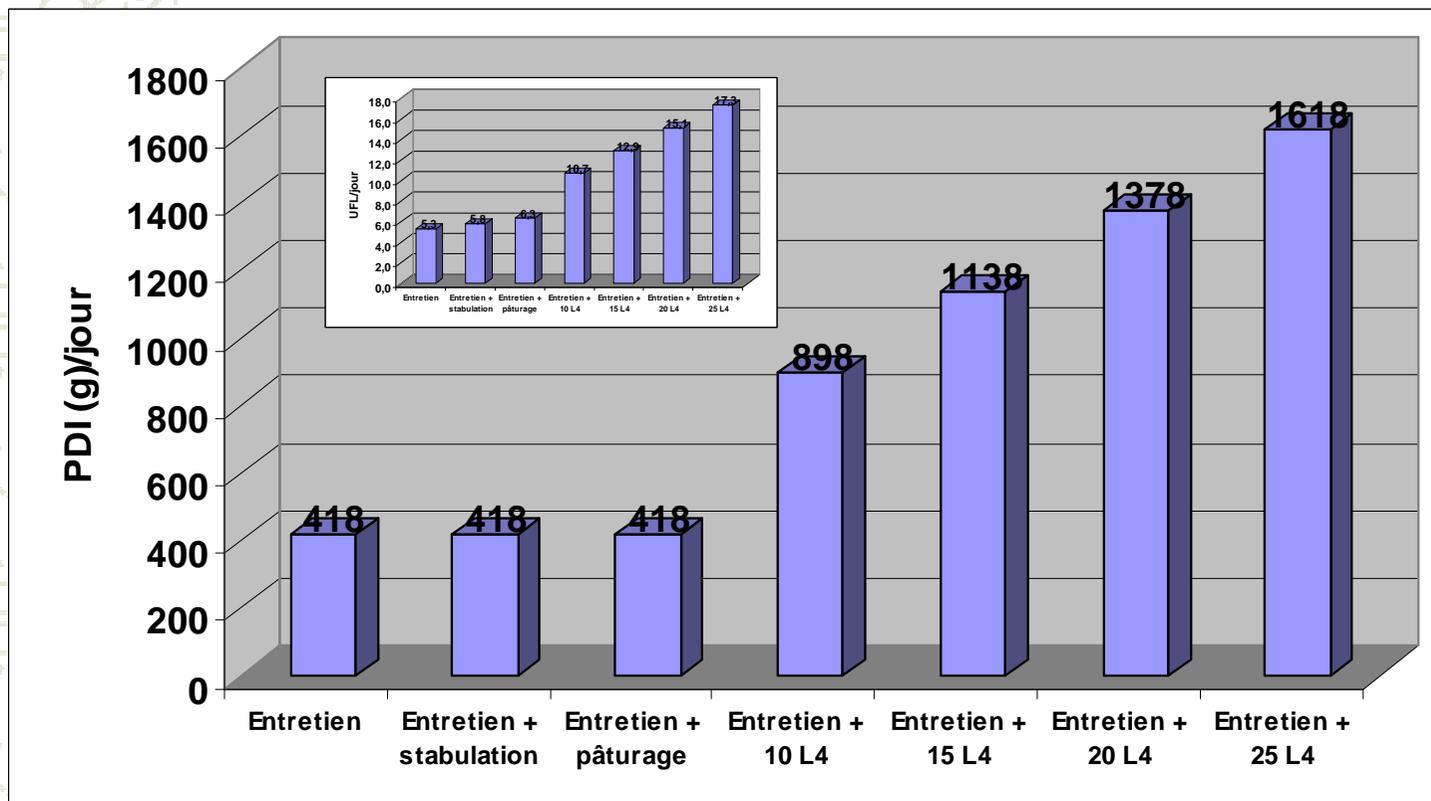
● Matière protéique dans le lait

- Lait produit → lait standardisé (L4)
 - Un kg de lait à 31 g TP : 48 g DVE

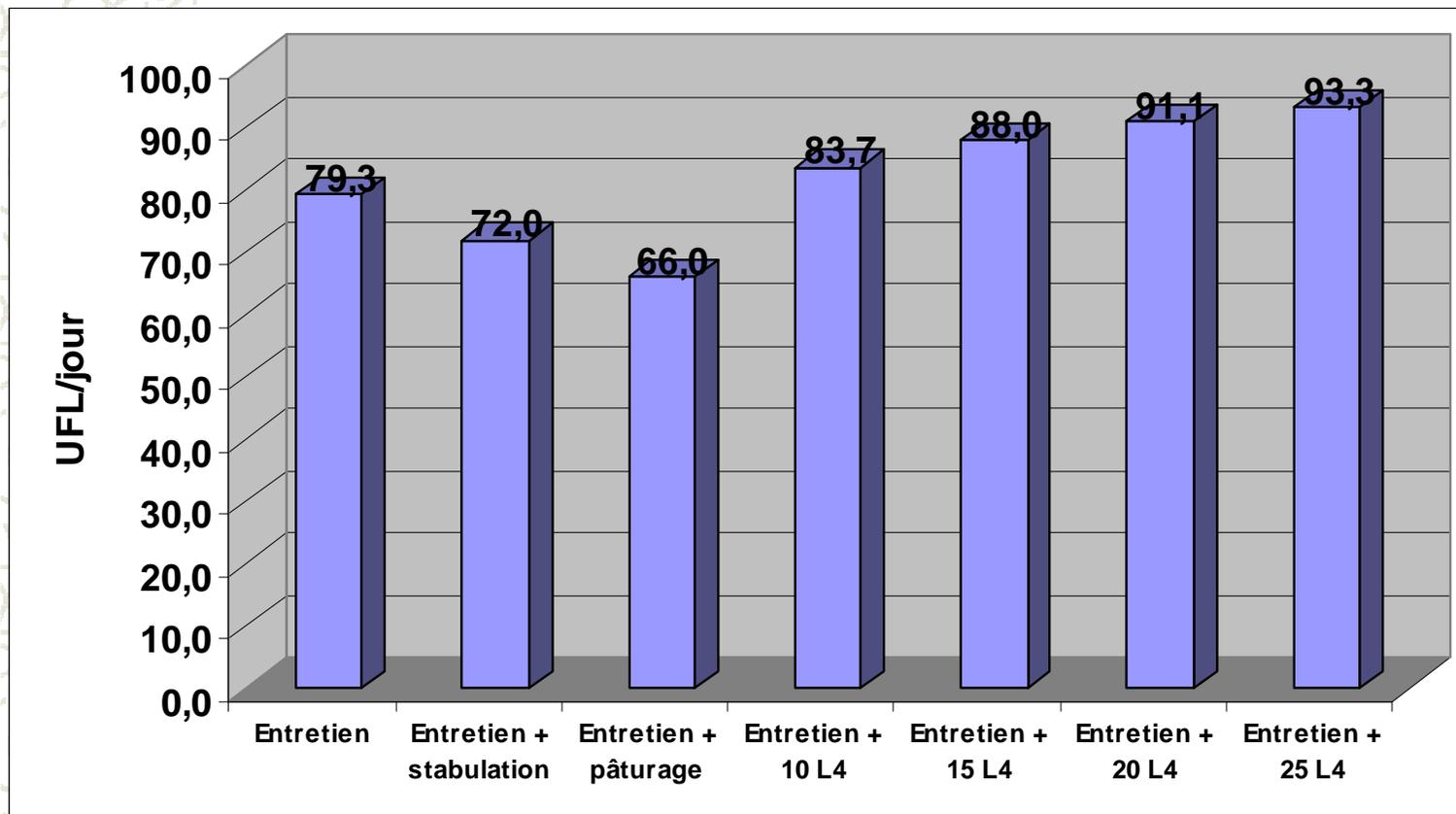
Vaches laitières : UFL par jour



Vaches laitières : PDI (g) par jour



Vaches laitières : PDI/UFL



Besoins du rumen

● Structure chimique et physique

– Limite l'ingestion mais favorise la rumination

– Rumination

- Salivation : pH du rumen
- Réduction de la taille des particules

– Valeur cible (système belge)

- De l'ordre de 1/kg MS chez la vache laitière
- De l'ordre de 0,75/kg MS chez le taurillon
- Rarement un problème pour la vache allaitante



Valeur de structure des rations

● pH idéal du rumen

- 6,2 à 7 pour les micro-organismes cellulolytiques : lait
- 5,5 à 6,2 pour les micro-organismes amylolytiques : viande

● Maintien du pH du rumen

- Absorption des acides gras volatils
- Production de tampon salivaire
- Diminution de l'ingestion

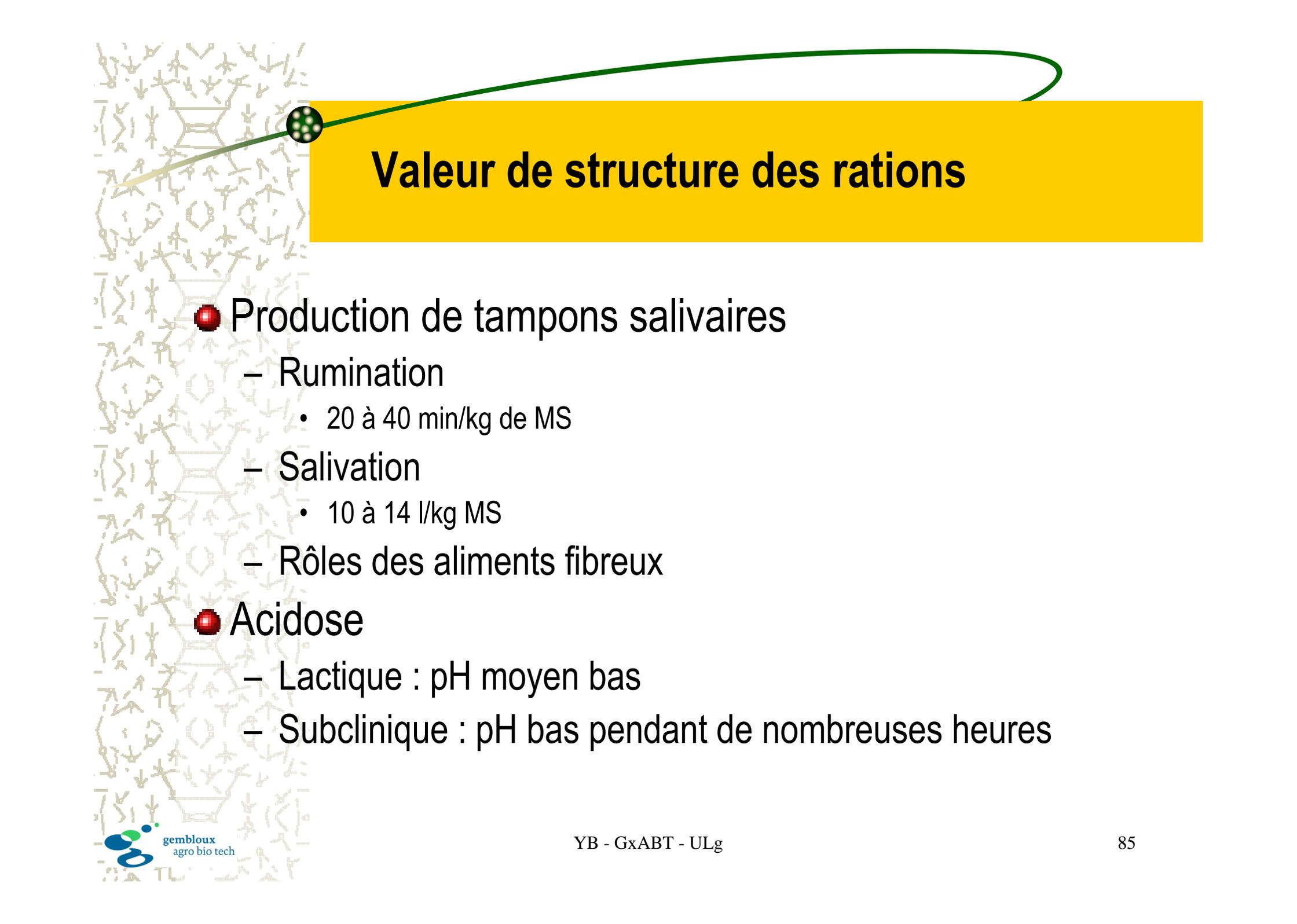
Valeur de structure des rations

● Production d'AGV

- Fonction de la MOF (*i.e.* digestibilité MO)
- Concentré >> fourrage
- Ensilage de pulpe > ensilage de maïs > ensilage herbe

● Absorption des AGV

- Papilles du rumen (+)
- Production AGV (-)
- pH du rumen (+)



Valeur de structure des rations

● Production de tampons salivaires

– Rumination

- 20 à 40 min/kg de MS

– Salivation

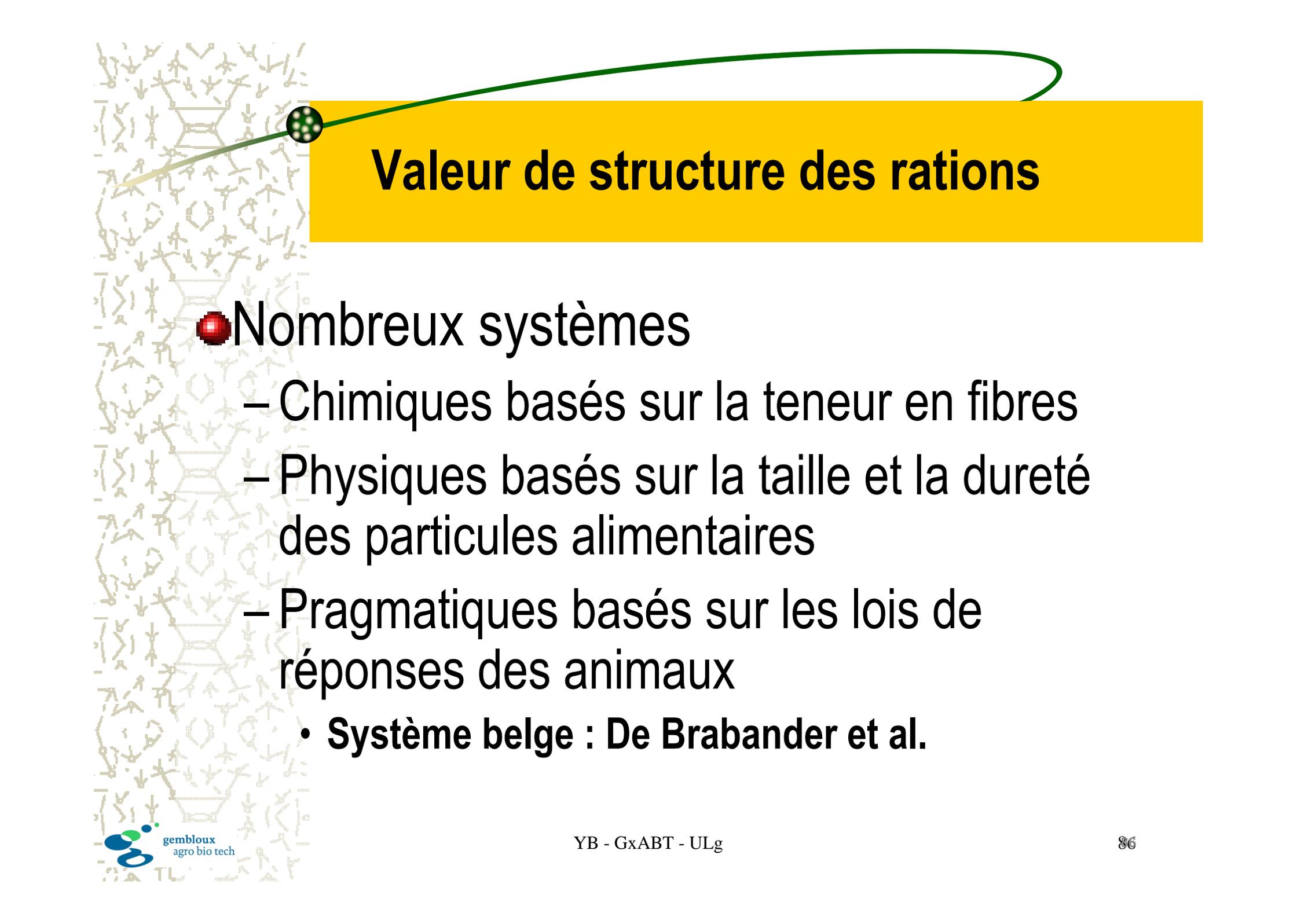
- 10 à 14 l/kg MS

– Rôles des aliments fibreux

● Acidose

– Lactique : pH moyen bas

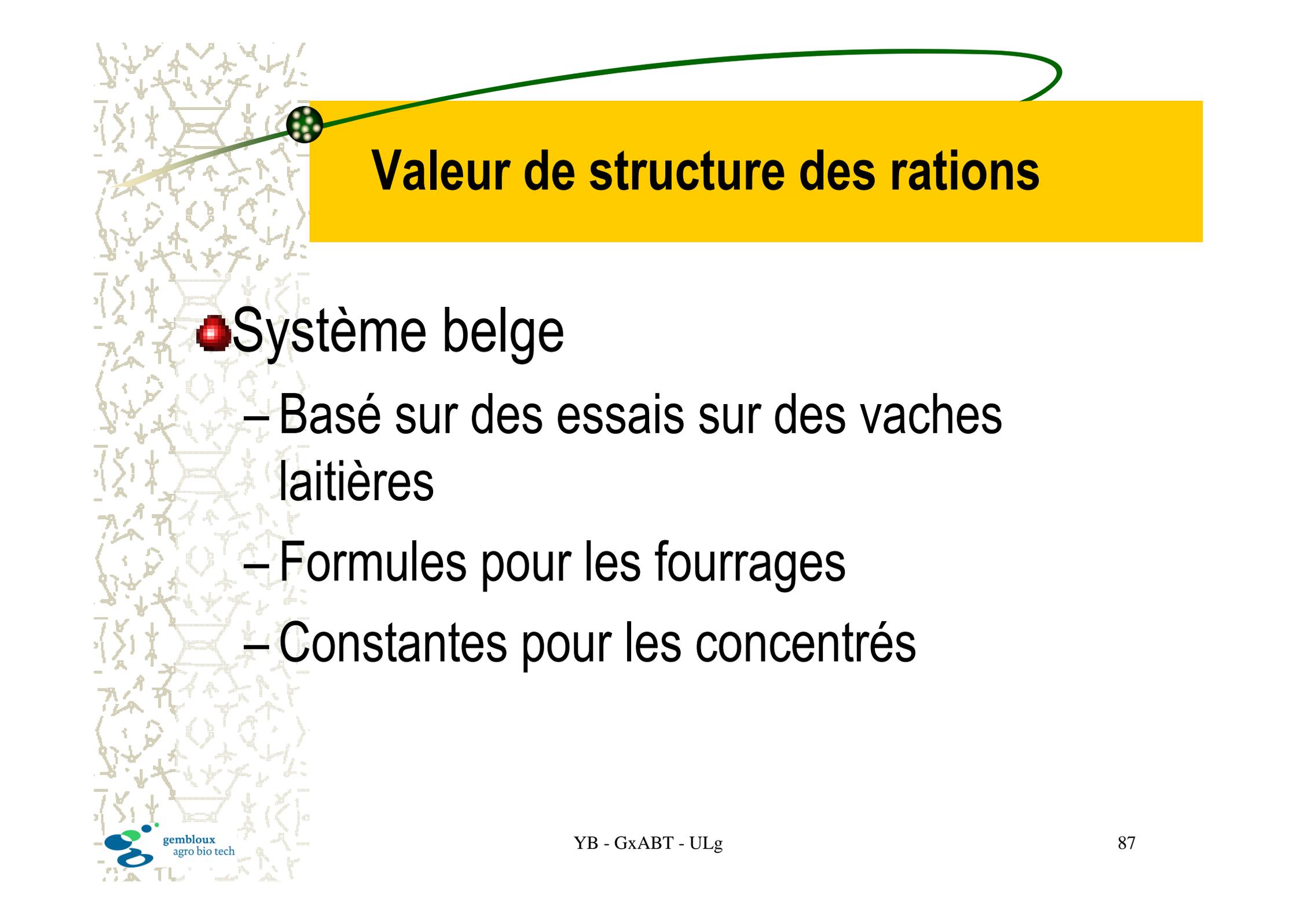
– Subclinique : pH bas pendant de nombreuses heures



Valeur de structure des rations

● Nombreux systèmes

- Chimiques basés sur la teneur en fibres
- Physiques basés sur la taille et la dureté des particules alimentaires
- Pragmatiques basés sur les lois de réponses des animaux
 - **Système belge : De Brabander et al.**



Valeur de structure des rations

● Système belge

- Basé sur des essais sur des vaches laitières
- Formules pour les fourrages
- Constantes pour les concentrés

Besoin de structure des ruminants

● Vache laitière standard

- 25 kg L4, 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} lactation
- VS ration > 1 par kg MS

● Autres vaches laitières

- $VS > 1 + 0,008 \times (\text{Kg L4} - 25)$ par kg de MS
- 4^{ème} lactation : - 0,05
- > 4^{ème} lactation : - 0,13
- RTM ou concentré 6 fois : - 0,10

● Taurillons BBBc

- VS minimale : 0,5 à 0,6/kg MS

Valeur de structure des aliments

● Herbe

- Printemps : $VS = -0,40 + 0,01 \times CB$ (g/kg MS)
- Automne : $VS = -0,50 + 0,01 \times CB$ (g/kg MS)

● Ensilage d'herbe

- $VS = -0,35 + 0,0130 \times CB$ (g/kg MS)
- $VS = -0,20 + 0,0065 \times NDF$ (g/kg MS)

● Foin et paille

- $VS = \{-0,35 + 0,0130 \times CB$ (g/kg MS) $\} \times 1,07$
- $VS = -0,20 + 0,0065 \times NDF$ (g/kg MS)
- VS max = 4,20
- Paille = 4,20

Valeur de structure des aliments

● Ensilage de maïs (hachage 6 mm)

- $VS = -0,55 + 0,011 \times CB$ (g/kg MS)
- $VS = -1,20 + 0,0075 \times NDF$ (g/kg MS)
- $VS = 2,50 - 0,0030 \times Amidon$ (g/kg MS)
- Correction : + (-) 2% par mm longueur + (-)

● Pulpes surpressées de betteraves : 1,00

● Betteraves fourragères : 1,00

● Drèches de brasserie ensilées

- 22 % MS : 1,00
- 28 % MS : 0,80

● Pommes de terres crues : 0,75

● Ensilages épis de maïs : 0,75

Valeur de structure des aliments

● Concentrés (par kg MS)

- Maïs : 0,30
- Tourteau de soja : 0,13
- Pellets de soja : 0,55
- Mélasse : -0,34
- Millet : 0,33
- Orge : 0,00
- Gluten feed : 0,30
- Froment : 0
- Pulpes sèches : 0,46
- Manioc : -0,14

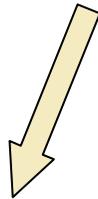
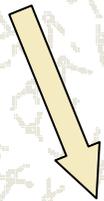
Besoins du rumen

- Différence (PDIN – PDIE) des rations
- Pas de norme au sens stricte
 - Dif PDI > 0 implique urée lait et urine → voire alcalose ?
 - Dif PDI < 0 implique déficit d'ingestion ? ...
- Théorie Dif PDI ration = 0
 - Valeur positive chez la vache laitière
 - Valeur cible de l'ordre de 0 g/jour chez la vache allaitante et le taurillon en croissance
 - Valeur positive pour les jeunes ruminants

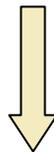
Principes généraux de l'alimentation du ruminant

Ensilage de maïs

T. soja

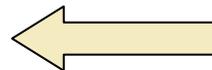


X % Ensilage maïs
Y % de T. soja



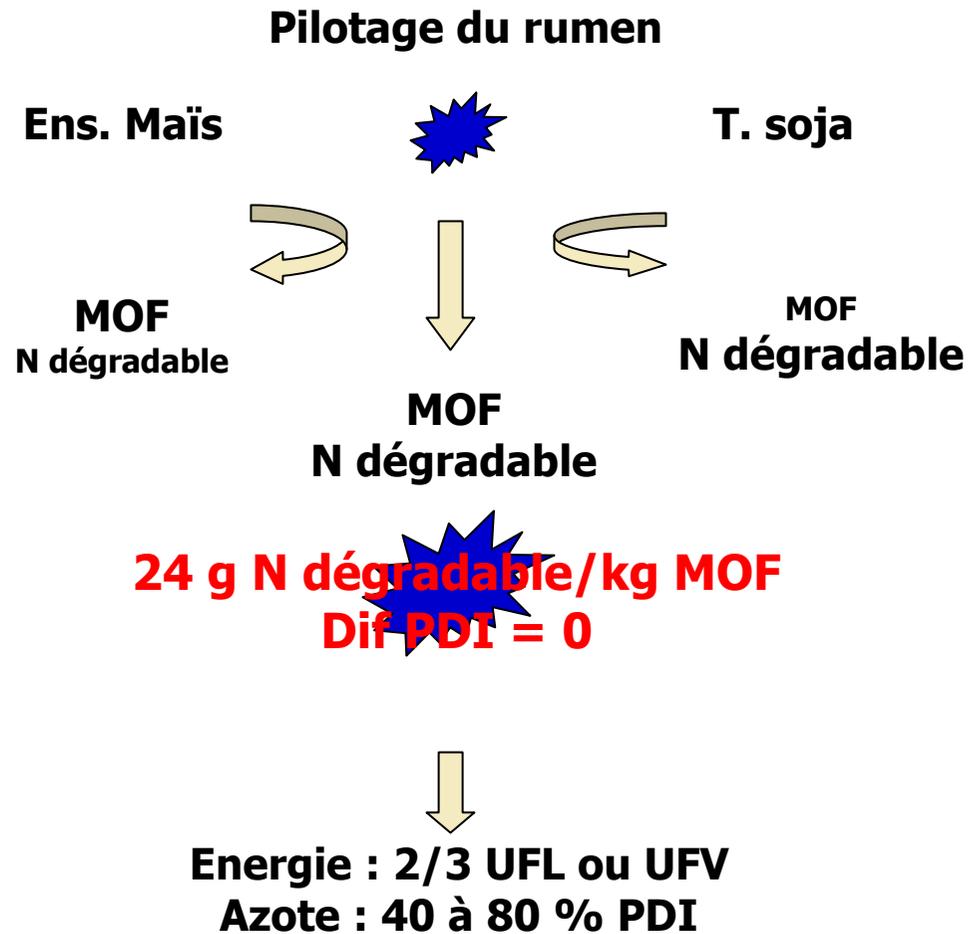
Objectifs de production
Energie : UFL ou UFV
Azote : PDI

Pilotage du rumen



Energie : 2/3 UFL ou UFV
Azote : 40 à 80 % PDI

Pilotage du rumen



Pilotage du rumen : synchronisme

Aliments

T. Soja
N deg > MOF

Ens. Maïs
N deg < MOF

Ration

X % Ens. Maïs
Y % T. soja
N deg = MOF

Rumen

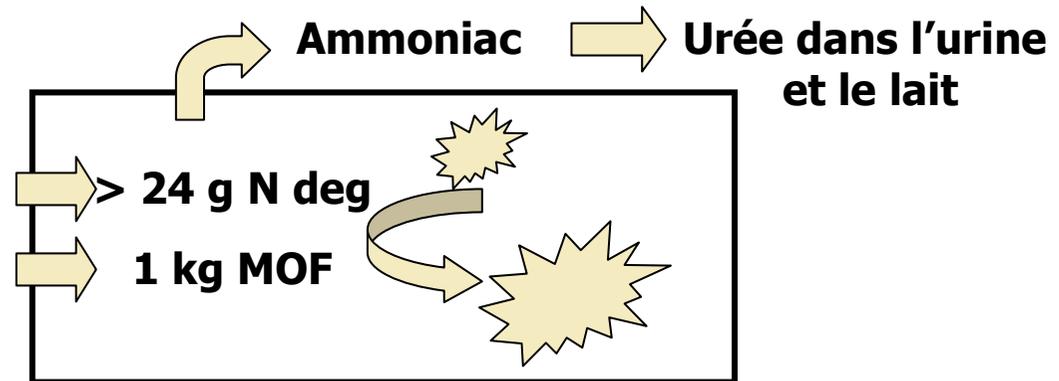
24 g N deg
1 kg MOF

AGV = énergie pour l'animal

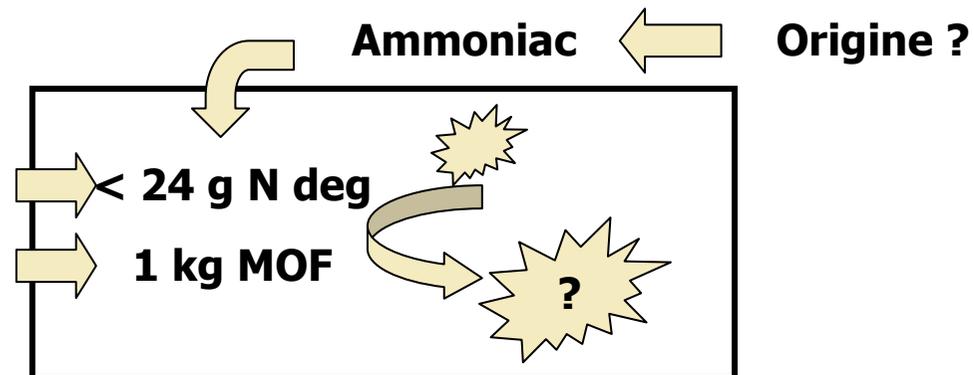
Protéines microbiennes
digérées dans l'intestin

Régimes à valeurs Dif PDI différentes de 0

**Régime à N deg > MOF
Dif PDI > 0**



**Régime à N deg < MOF
Dif PDI < 0**



Ruminant vrai

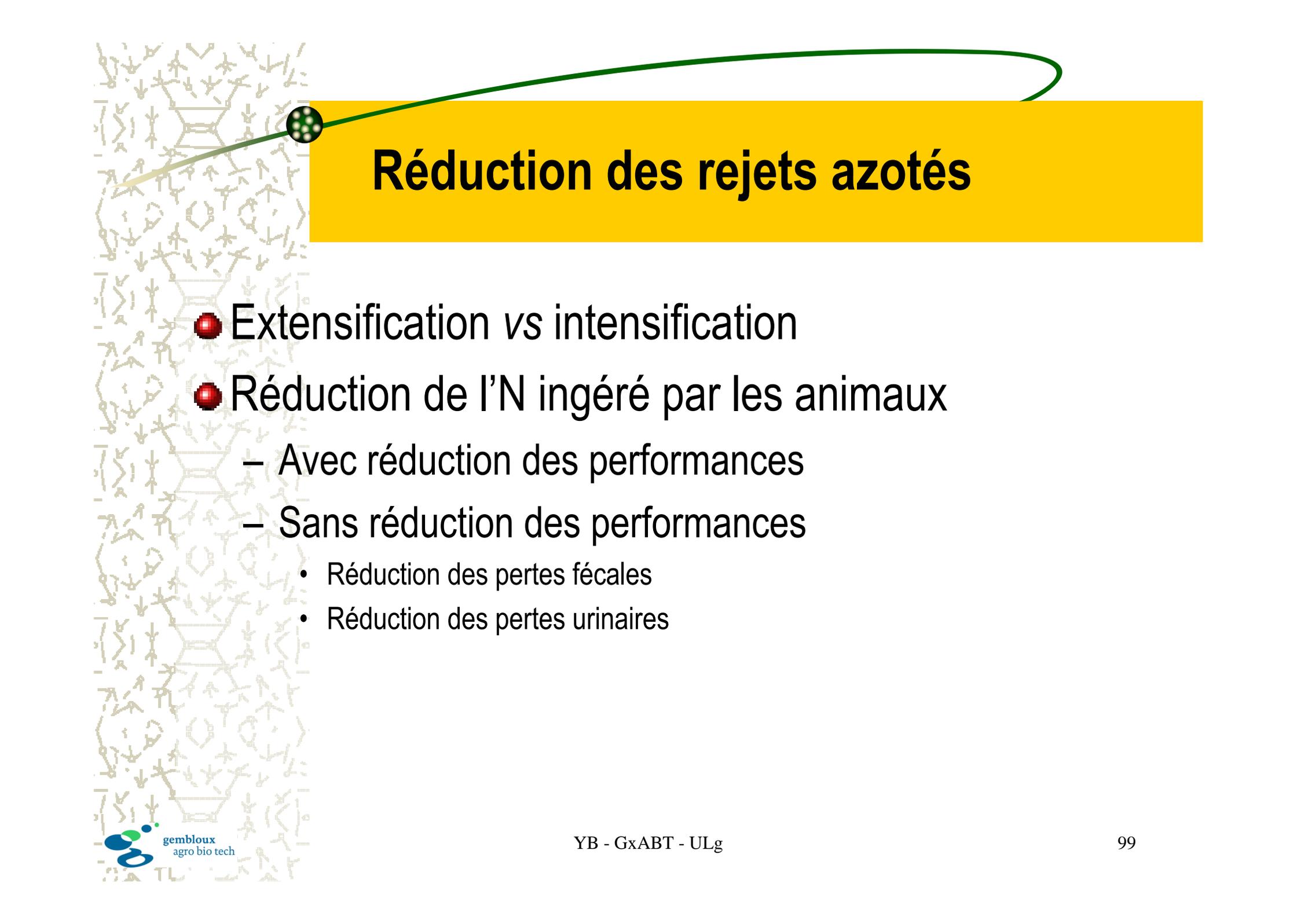
- Excès de PDI/besoins
- Recyclage intra-animal (poids animal)

Efficiencce azotée

- $N \text{ ingéré} - N \text{ rejeté} = N \text{ retenu (GQM) ou exporté}$
(lait, viande, veau)
- Animal à l'entretien : 0 %
- Vache laitière : 20 – 25 %
 - Charge polluante : 90 kg N/an en Belgique
- Taurillon intensif viande : 20-35 %
 - Charge polluante : 40 kg N/an en Belgique

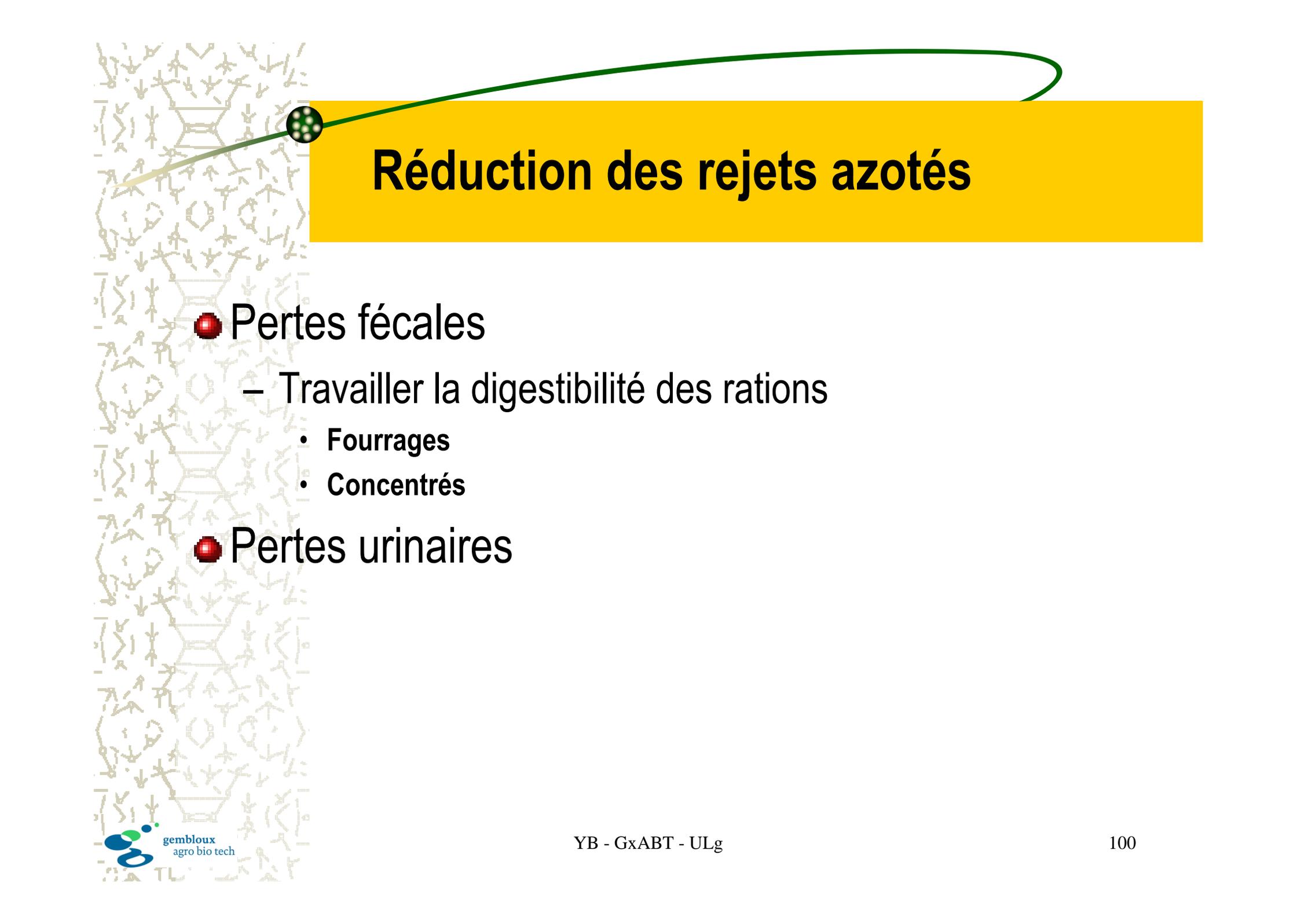
Formes azotées rejetées

- **Matières fécales : protéines, acides nucléiques, ammoniac**
 - Causes digestives
 - Fraction indigestible des aliments
 - Fonctionnement du tube digestif
- **Urines : urée**
 - Causes métaboliques
 - Carence en énergie ou excès de protéines digestibles
 - Profil en acides aminés non adéquat
- **Potentiel de nuisance variable**
 - 60 à 75 % de l'N excrété sont transformés en ammoniac durant le stockage (dont 25 à 40 % sont volatilisés)



Réduction des rejets azotés

- Extensification vs intensification
- Réduction de l’N ingéré par les animaux
 - Avec réduction des performances
 - Sans réduction des performances
 - Réduction des pertes fécales
 - Réduction des pertes urinaires



Réduction des rejets azotés

● Pertes fécales

– Travailler la digestibilité des rations

- Fourrages
- Concentrés

● Pertes urinaires

Synchronisme du rumen

PDIN-PDIE = 0 → Nycthémère : ok

↙ ↘
Chaque bouchée ingérée PDIN-PDIE = 0

Conséquences :

- Technique de mélange
- Information précise sur les aliments
- Possible en stabulation
- Impossible au pâturage
- Suppression des silos en libre service
- Organisation du travail

Pilotage du ruminant : synchronisme

Aliments

T. Soja
Dif PDI > 0

P. Bet.
Dif PDI < 0

Ration

X % P. bett.
Y % T. soja
Dif PDI = 0

Rumen

24 g N deg
1 kg MOF

Synchronisme précis
-Base journalière (24 h)
-Instantané (chaque bouchée)

?
↔

Synchronisme plus souple
-Base journalière (24 h)
-Corrections par l'animal

↳ **Recherche**

Désynchronisme

Repas matin

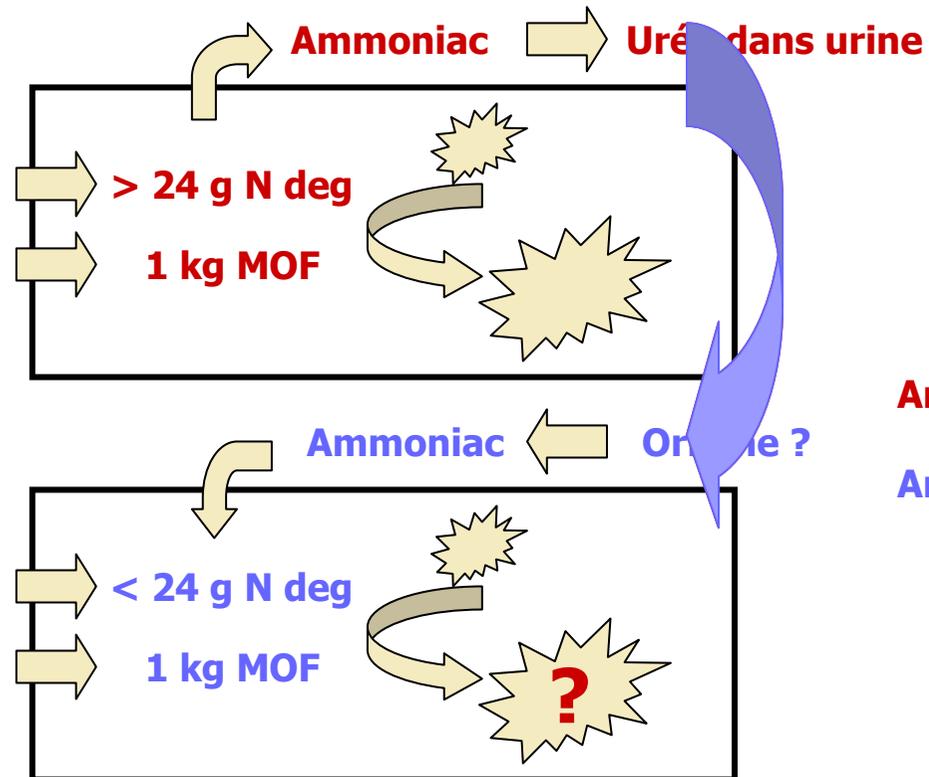
Aliments à Dif PDI > 0

Repas soir

Aliments à Dif PDI < 0

Nyctémère

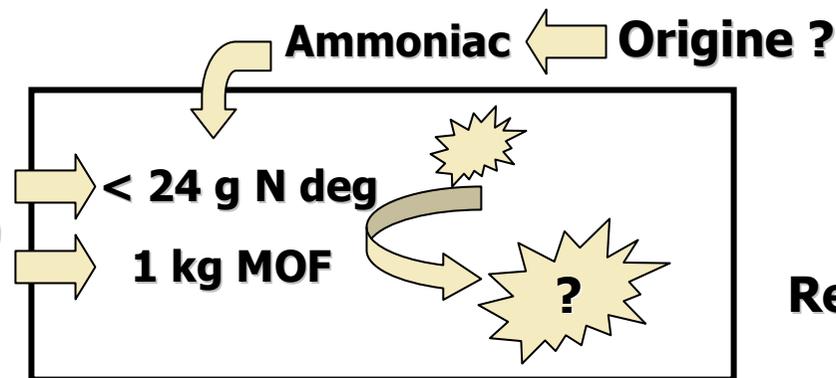
Dif PDI = Matin + Soir = 0



Ammoniac
=
Ammoniac

Régime à valeur Dif PDI négative/kg MS

Régime à Dif PDI < 0



Pool endogène
30 à 50 g N/j

~~Rejetés dans les urines~~

Dif PDI = +15

Ret N : 55 g/j

- Ingéré : 190 g

- Recyclage : - 20 g

- Ret. N : 29 %

- Rejets : 135 g

Dif PDI = 0

Ret N : 55 g/j

- Ingéré : 170 g

- Recyclage : 0 g

- Ret. N : 32 %

- Rejets : 115 g

Dif PDI = -15

Ret N : 55 g/j

- Ingéré : 150 g

- Recyclage : 20 g

- Ret. N : 37 %

- Rejets : 95 g