



UTILISATION DIGESTIVE ET METABOLIQUE DES ALIMENTS

L'appareil digestif des ruminants est différent de celui des omnivores et des autres herbivores (cheval, lapin) : c'est l'estomac qui présente le plus de modifications puisqu'il est divisé en quatre poches : les ruminants sont ainsi appelés :

herbivores polygastriques.

1. LA DIGESTION

C'est la transformation des aliments en nutriments

La digestion met en jeu

- des phénomènes mécaniques
- des phénomènes fermentaires en relation avec la présence de micro-organismes
- des phénomènes chimiques en relation avec les sécrétions des diverses glandes digestives

1.1. Anatomie de l'appareil digestif

L'appareil digestif, qui va de la bouche à l'anus est constitué de deux ensembles :

- * le tube digestif
- * les glandes annexes



1.1.1. Le tube digestif

1.1.1.1. La bouche ou cavité buccale

La langue: longue et très mobile chez les bovins permet la préhension de l'herbe au pâturage (chez les ovins et les équins et les caprins la préhension des aliments se fait essentiellement grâce aux lèvres mobiles)

La denture est caractérisée par l'absence d'incisives supérieures et de canines ;

Ce qui donne la formule dentaire suivante :

pour les bovins adultes: 0/4 I 0/0 C 3/3 PM 3/3M

pour les équins : 3/3 I 1/1 C ou 0/0 C 3/3 ou 4/4 PM 3/3 M

pour les porcins : 3/3 I 1/1 C 4/4 PM 3/3 M

1.1.

Anatomie de l'appareil digestif



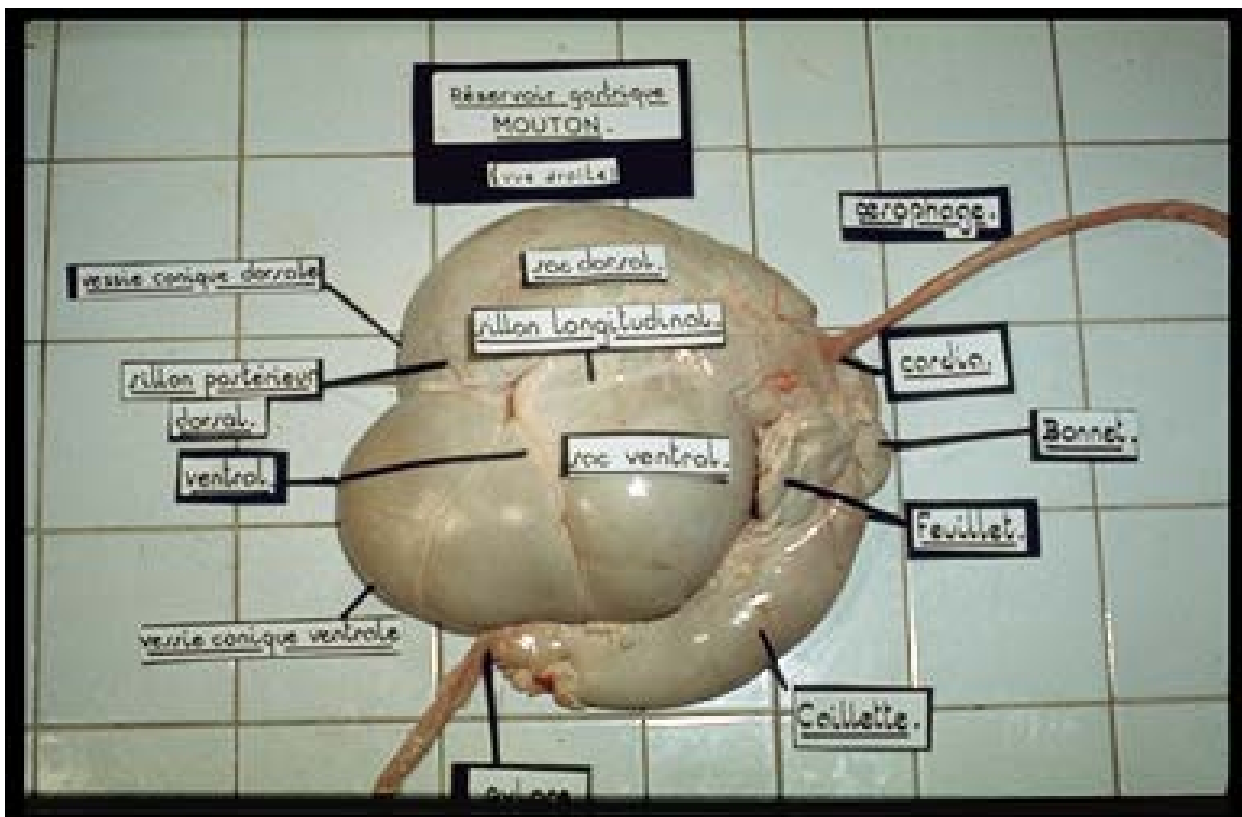
1.1.1.2. L'œsophage

C'est un tube qui va du pharynx au rumen (panse) en se rétrécissant (1 à 1,5 m de long). Il permet l'acheminement des aliments vers l'estomac à la vitesse de 35 à 40 cm/s.

1.1.1.3. Les pré-estomacs

Au nombre de trois, ils occupent une grande partie de la cavité abdominale ; ce sont :

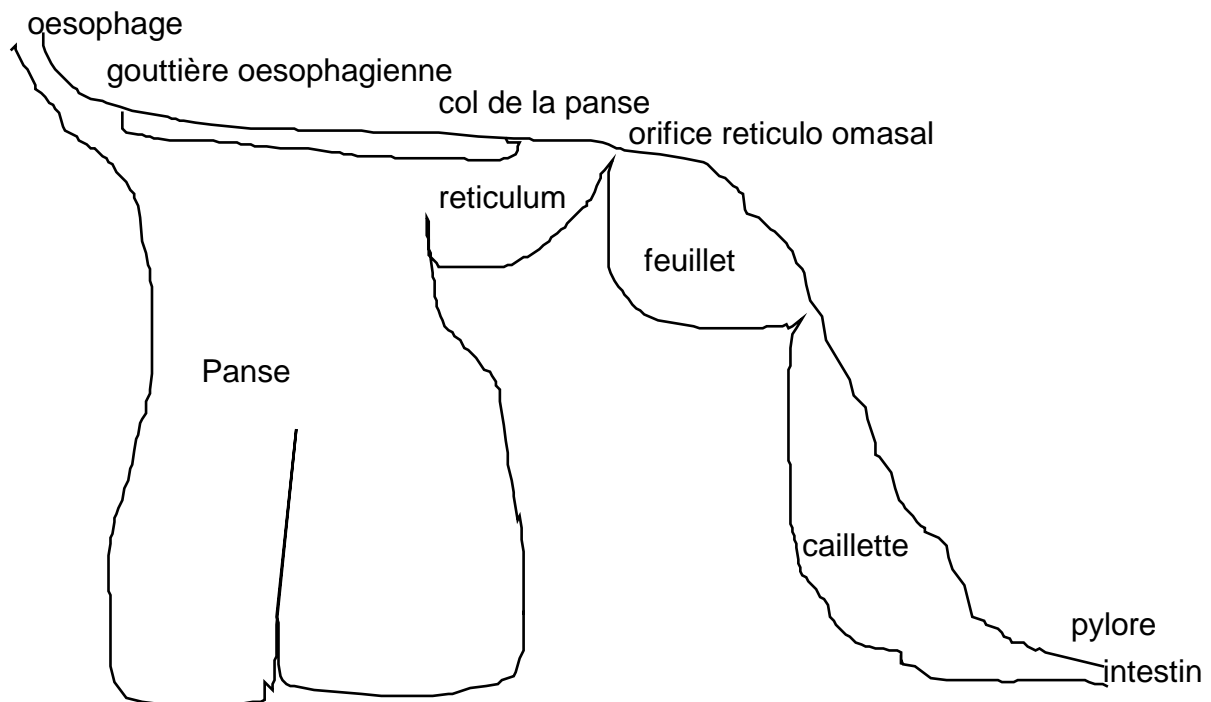
- * le rumen ou panse ou herbier
- * le réseau ou bonnet ou réticulum
- * le feuillet ou omasum





1.1.

Anatomie de l'appareil digestif



1.1.1.3.1. Le rumen ou panse



Il contient 70 à 75 % du contenu total de l'appareil digestif (190- 250 l) il est situé à gauche (ovin 9l ; caprin 16 à 24 l) ; il possède deux ouvertures :

un orifice d'entrée très étroit mais très extensible, raccordé à l'œsophage :

le cardia

un orifice de sortie très large entre la panse et le réseau :

le col de la panse.

Ces deux orifices sont reliés par un repli en forme de gouttière pouvant, en contractant ses bords relier l'œsophage au feuillet :

C'est la gouttière œsophagienne (13 cm de long, 2 à 3 cm de diamètre).



1.1.1.3.2. Le réseau ou réticulum ou bonnet



C'est un petit réservoir (12l chez les bovins, 1l ovins, 1 à 2,3l caprins) situé à proximité du diaphragme et du cœur (2 à 4 cm)

(il est la poubelle de la panse)

Sa muqueuse est non sécrétrice et présente des alvéoles : sa paroi a une structure en nid d'abeille.

L'orifice de communication entre le réseau et le feuillet (réticulo-omasal) de petite taille, étroit et contractile, joue un rôle capital dans le tri des particules

(0,5 à 1 mm) sortant du rumen réseau (quand on parle de digestion dans le

rumen on induit toujours le réseau.

1.1.1.3.3. Le feuillet ou omasum.



Il a un volume de 20l chez les bovins (chèvre 1,2l, ovins 0,2l) sa muqueuse non sécrétrice est formée de lames disposées en série.

C'est au niveau du feuillet que se produit une grande partie de l'absorption de l'eau et des sels minéraux présents dans le contenu du rumen réseau

1.1.1.3.4. La caillette



Elle correspond à l'estomac des monogastriques.

En forme de poire, elle se termine par le sphincter pylorique (20l bovins, 2l ovins, 2 à 4 caprins, estomac du porc 6 à 8l, cheval 15 à 20l).

C'est l'estomac chimique des ruminants ; sa muqueuse synthétise le

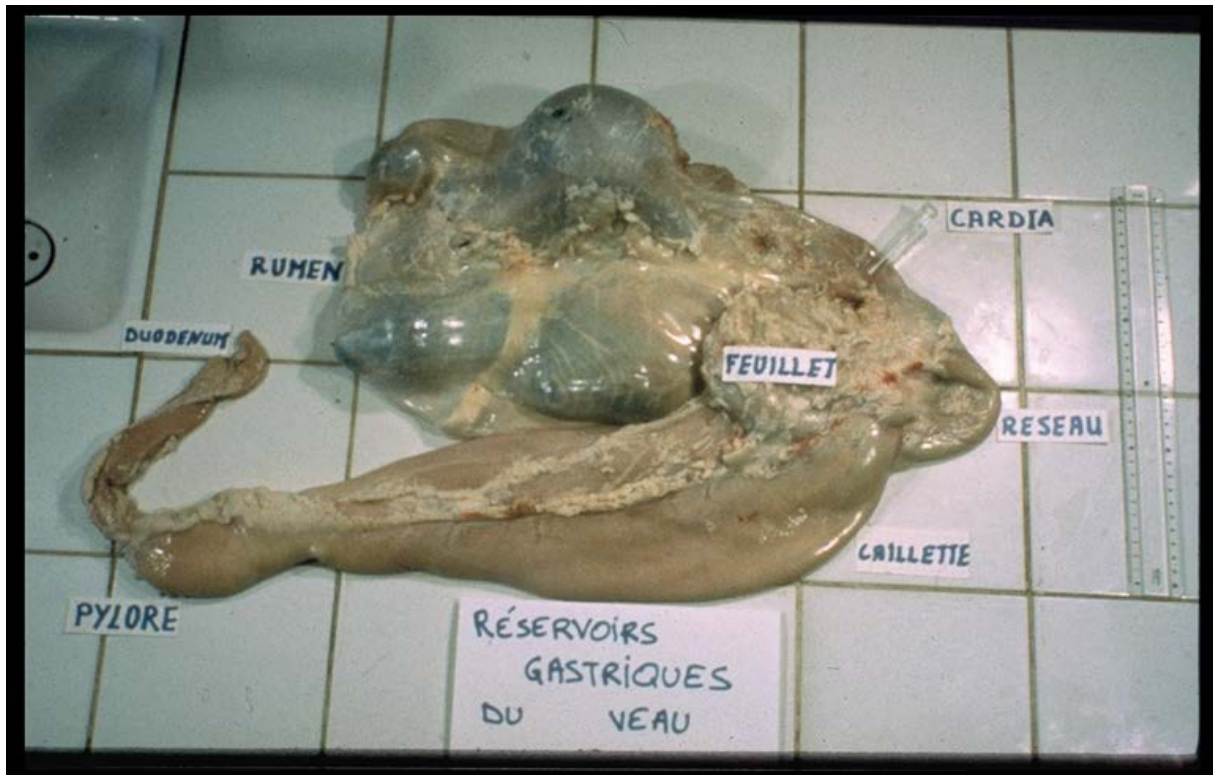


1.1.

Anatomie de l'appareil digestif

suc gastrique contenant de l'eau, d'acide chlorhydrique et la pepsine.

1.1.1.4. Le développement des réservoirs gastriques



Chez le veau (agneaux) à la naissance, le rumen et le réseau ont une taille réduite.

Chez le veau de boucherie qui ne consomme que du lait ces réservoirs ne se développent pas ; le lait ingéré est directement conduit à la caillette grâce à la fermeture de la gouttière œsophagienne.



1.1.1.5. L'intestin



Il est divisé en trois parties :

1.1.1.5.1. L'intestin grêle :

Il est très long 40 /45 m 70 l bovins

22 m 65 l cheval

18 m 10 l porc

20 /28 m ovins caprins

L'anse duodénale, qui constitue la première partie reçoit les sécrétions biliaires et pancréatiques.

1.1.1.5.2. Le cæcum

C'est une poche en cul de sac qui se termine chez l'homme par l'appendice:

0.9 m 10 l bovins

1 m 30 à 35 l cheval

0,3 à 0,4 m porc

20 à 35 cm ovins caprins



1.1.

Anatomie de l'appareil digestif

Pour les ruminants et surtout les équins, il constitue une chambre de fermentation dégradant la cellulose en glucides assimilables.

1.1.1.5.3. Le gros intestin ou colon

Il ne fabrique pas d'enzymes, il y a reprise de la digestion microbienne

il se termine par le rectum:

10 m 30 l bovins

3 à 4 m 80 à 90 l cheval

0,2 à 1 m 0,07 l à 2,2 l porc

4 à 8 m chèvre

(Rq pour le cheval, il constitue son estomac microbien).



EVALUATION 1

1 Un ruminant est un

- herbivore ayant une digestion microbienne précédée d'une digestion enzymatique
- un herbivore ayant d'abord une digestion enzymatique puis microbienne
- un polygastrique comme le porc

2 La digestion permet

- de dégrader les nutriments en aliments
- la transformation des aliments en nutriments
- la dégradation des aliments en condiments
- la disparition des aliments

3 La caillette

- suit la panse et est le lieu de digestion microbienne
- précède la panse et est le lieu de la digestion enzymatique
- a un pH acide et permet la digestion enzymatique des glucides
- a un pH alcalin à la naissance puis acide chez l'adulte

4 L'anse duodénale

- se trouve après le feuillet et constitue la première partie de l'intestin
- est également dénommée abomasum et se situe avant le cæcum
- reçoit les sécrétions du pancréas

5 La panse correspond

- à l'estomac enzymatique des polygastriques
- à l'estomac des monogastriques
- est le lieu de la digestion microbienne



1.1.

Anatomie de l'appareil digestif

6 La vache ou la chèvre sont

- des monogastriques avec une digestion microbiennes dans l'estomac
- des polygastriques avec une digestion enzymatique exclusivement cæcale
- des animaux ne possédant pas de canine
- des animaux possédant une digestion microbienne dans la panse est le gros intestin

7 Le duodénum

- se situe entre le feuillet et le réticulum
- reçoit les sécrétions du foie et du pancréas
- se situe entre l'abomasum et le bonnet
- le cardia et le pylore

8 Un polygastrique est un

- herbivore ayant un estomac à plusieurs poches
- un herbivore ayant un estomac à une seule poche
- un omnivore comme le porc

9 La digestion permet

- la transformation des aliments en nutriments
- la dégradation des aliments en condiments
- la disparition des aliments

10 Le coin correspond

- à la première canine chez les ruminants
- à la dernière incisive chez le polygastrique
- n'existe que chez le cheval

11 Chez la vache et ou la chèvre



Anatomie de l'appareil digestif

1.1.

- les incisives viennent s'user sur un bourrelet cartilagineux et on ne trouve pas de canine
- il n'y a pas d'incisive sur la mâchoire supérieure mais on en trouve exceptionnellement chez le taureau et ou le bouc des canines
- il n'y a pas d'incisive et de canine à la mâchoire supérieure

12 La panse se situe entre

- le feuillet et le réticulum
- l'abomasum et le duodénum
- le cardia et le pylore

13 La panse se situe entre

- à gauche vue de devant
- à droite vue de derrière
- à gauche vue de derrière

14 Le réseau est également dénommé

- réticulum et se trouve après le feuillet
- abomasum et se situe après la panse
- bonnet et suit le rumen

15 La caillette correspond

- à l'estomac enzymatique des monogastriques
- à la panse des monogastriques
- au feuillet des polygastriques

16 La panse est délimitée par

- le cardia et le feuillet
- le col de la panse et le cardia
- le bonnet et le feuillet



1.1.2. Les glandes annexes

1.1.2.1. Les glandes salivaires

Les principales sont les glandes parotides, mandibulaires, buccales et sub-linguales. La quantité de salive produite est en fonction de la quantité de matière sèche ingérée :

pour un bovin	10 à 20 l/kg	(100 à 200 l / jour)
pour un ovin	6 à 10 l / Jour	
pour un équin	40 l / jour	(7 à 8 kg par repas)
pour l'homme	1 l / jour	

La salive est un liquide plus au moins alcalin, incolore ayant un pH de 6 à 6,7 chez les monogastriques et 8,2 chez les polygastriques.

La salive des ruminants (cheval compris) ne contient pas de ptyaline (qui a une action sur l'amidon ---- dextrines) mais elle contient de l'urée (10 à 35 ml / 100 ml) du bicarbonate et du phosphate de Ca et P.

1.1.2.2. Les glandes gastriques

De taille microscopique, elles se trouvent dans la muqueuse de la caillette. Ce sont des glandes en tube à double structure : les cellules bordantes produisant de l'HCl et les cellules plates les enzymes.

Le suc gastrique est acide : pH 1 à 3 du fait de la présence d'acide chlorhydrique ; Il contient des enzymes et des mucus qui protègent l'estomac de l'autodigestion.

HCl a divers rôles importants :

- * antiseptique (tue les micro-organismes)
- * activateur d'enzymes protéolytiques intestinales
(pepsinogène ----- pepsine)
- * bonne solubilisation des matières minérales



1.1.

Anatomie de l'appareil digestif

- * transforme les protéines pour les rendre dégradables
- * intervient sur la motricité du tube digestif et le transit des aliments
- * rôle sur la sécrétion pancréatique.

La diminution du pH au niveau du pylore va entraîner l'apparition d'une hormone la sécrétine qui induit la sécrétion pancréatique

Il existe trois enzymes :

La pepsine qui a une action sur les protéines.

Elle est sécrétée par les cellules principales des glandes en tubes ; elle est excrétée sous forme de granules de pepsinogène qui va être autocatalysé par l'intermédiaire du pH acide qui règne dans l'estomac (le jeune ne produit pas de HCl aussi la pepsine n'est elle pas active).

La catheptase ou papaïnase,:

C'est une endopeptidase ayant un optimal optimum de 7 qui permet de digérer la caséine chez le jeune (HCl produit vers 2 à 3 mois chez le veau 6 à 7 mois chez l'humain).

La présure ou chymosine (labferment):

Elle est active à pH 7 et permet de coaguler le lait en présence de calcium (paracaseinate de calcium)

Rq on distingue deux groupes d'enzymes protéolytiques

Les endopeptidases qui attaquent en milieu de chaîne et donnent de gros polypeptides (ex: la présure).

Les exopolypeptidases qui attaquent les polypeptides par l'une de leurs extrémités et libèrent donc les acides aminés un par un. On distingue donc selon l'extrémité attaquée :

les carboxylpolypeptidases qui débutent par COOH

Les aminopolypeptidases qui commencent par NH₂.

1.1.2.3. Le pancréas

C'est un organe diffus logé dans l'anse duodénale, il joue deux rôles :



1.1.2.3.1. Un rôle digestif :

Le suc pancréatique est produit par les glandes en tubes, il se déverse dans le duodénum par le canal de Wirsung. Ce suc est basique (pH 7,6 à 8,4 ;8 l/ J) et contient outre de l'eau, du mucus, des minéraux, des enzymes protéolytiques, une lipase et une amylase.

Les différentes enzymes :

L'amylase pancréatique :

elle continue l'action éventuelle de la ptyaline salivaire, et permet de transformer l'amidon en dextrines et en maltose.

Les enzymes protéolytiques :

La trypsine :

C'est une endopeptidase complémentaire de la pepsine (dipeptides et tripeptides spécifiques de la liaison arginine - lysine). Elle est produite sous forme de trypsinogène qui est activée en trypsine par une enzyme : l'entérokinase sécrétée par les glandes intestinales.

La chymotrypsine :

C'est une endopeptidase, elle permet de coaguler le lait et à une action sur les acides nucléiques(dégrade les histones) elle provient du chymotrypsinogène.

La carboxypolypeptidase :

elle laisse un dipeptide.

Les lipases :

elles dégradent les lipides activés par les sels biliaires en acide gras et glycérol.

1.1.2.3.2. un rôle métabolique :

certaines cellules du pancréas (îlot de Langerhans) sécrètent des hormones régulant la glycémie :

glucagon et insuline



1.1.2.4. Le foie

Cet organe essentiel joue également deux rôles :

1.1.2.4.1. un rôle digestif :

il produit la bile de pH basique (8 à 8,5 - 1 l/ J chez l'homme 2 à 3 l chez un bovin)

Elle a un rôle négligeable chez les ruminants car c'est un produit émulsifiant des lipides.

1.1.2.4.2. un rôle métabolique :

Tous les nutriments provenant de l'absorption sont acheminés vers le foie par la veine porte. Ils y subissent de profondes transformations métaboliques (déamination, estérification, néoglycogénèse...).

Le foie est également un organe de réserves car il stocke notamment le glycogène, le fer, des vitamines

1.1.2.5. Les glandes intestinales

Elles (les glandes de Liberkhum) se trouvent dans la muqueuse de l'intestin grêle. Le suc intestinal contient divers enzymes permettant de réduire en nutriments les glucides, les lipides, les protéines.

C'est un liquide filant de pH 8 où se trouve en outre des cellules desquamées.

1.1.2.5.1. Les différentes enzymes : elles achèvent la digestion

entérokinase :

elle a une action sur les polypeptides

les aminopolypeptidases:

Elles dégradent les polypeptides en acides aminés en débutant par le groupe NH₂, laissant un dipeptide.

dipeptidase:

elle transforme tous les dipeptides en acides aminés.

1.1.

Anatomie de l'appareil digestif



amylase:

Elle achève l'action des autres amylases pour laisser du maltose.

maltase:

Elle hydrolyse le maltose en deux glucoses.

- saccharase ou sucréase:

Le saccharose est transformé en glucose et fructose.

lactase:

Le lactose est dégradé en glucose et galactose.

une lipase:

Elles transforment les lipides en acides gras et alcools (ces enzymes sont intracellulaires et agissent lors de l'absorption.



EVALUATION 2

1 La salive des polygastriques est

- acide
- riche en ptyaline
- basique
- riche en urée

2 Le pancréas produit

- de la trypsine qui dégrade le saccharose en glucose et fructose
- des enzymes transformant les protéines en acides aminées
- de l'acide chlorhydrique et de la présure
- de l'amylase qui dégrade le maltose en amidon

3 La présure

- a un pH optimum de 3
- n'est pas active chez l'adulte
- a une action sur les lipides du lait et un pH optimum basique
- est une enzyme agissant sur les protéines du lait

4 Le suc intestinal

- est produit par le foie et agit sur tous les composants de la ration
- possède une maltase qui laisse un nutriment le glucose
- provient de la caillette et contient de la trypsine
- contient de l'urée

5 La ptyaline

- permet la digestion des protéines en acides gras
- n'est pas présente chez le polygastrique
- dégrade les lipides en AGV



1.1.

favorise l'éruclation

6 Dans le gros intestin, chez le polygastrique il y a reprise

- de la digestion enzymatique
- de la production d'AGV
- de la digestion microbienne
- de la production d'acide chlorhydrique

7 La panse est délimitée par

- le cardia et le feuillet
- le feuillet et le pylore
- le col de la panse et le cardia
- le bonnet et le cardia

8 La digestion microbienne

- dégrade les sucres en acides aminés
- fermente la cellulose en AGV
- utilise l'ammoniac pour faire des sucres
- transforme les protéines alimentaires en acides aminés alimentaires
- fluctue en fonction du pH du rumen

9 La présure est une enzyme

- qui dégrade un ose et laisse un dipeptide
- qui attaque les protéines et laisse un dipeptide
- qui attaque la caséine et laisse des polypeptides
- qui hydrolyse des polypeptides en laissant des protéines

10 La présure est

- une amylase et laisse comme résidu du glycérol
- une lipase et dégrade des protéines
- une endopeptidase



1.1.

Anatomie de l'appareil digestif

11 Le pancréas est une

- glande endocrine qui produit de l'insuline
- une glande exocrine qui produit une amylase
- une glande exocrine qui produit de la ptyaline

12 La présure est

- une amylase et laisse comme résidu du glycérol
- une lipase et dégrade des protéines
- s'attaque à la caséine

13 La caillette produit

- de la trypsine qui dégrade le saccharose en glucose et fructose
- de l'acide chlorhydrique et de la présure
- de la pepsine

14 La présure

- a un pH optimum de 3
- a une action sur les lipides du lait et un pH optimum basique
- est une enzyme agissant sur les protéines du lait

15 Le pancréas est une

- glande endocrine qui produit de l'insuline
- une glande exocrine qui produit une amylase
- une glande exocrine qui produit de la ptyaline

16 Une (carboxylo) peptidase est une enzyme

- qui dégrade un ose et laisse un dipeptide
- qui attaque les protéines et laisse un diholoside
- qui hydrolyse des polypeptides en laissant des protéines

17 Une lipase pancréatique

- agit sur les lipides après action des sels biliaires venant de l'intestin
- laisse comme nutriment des acides gras et du glycérol



1.2.

Les phénomènes mécaniques

agit sur les lipides émulsionnés par les sels biliaires

18 Le suc intestinal

est produit par le foie et agit sur tous les composants de la ration

provient de la caillette et contient de la trypsine

est composé, entre autre, de saccharase et de maltase qui dégradent les protéines

1.2. Les phénomènes mécaniques

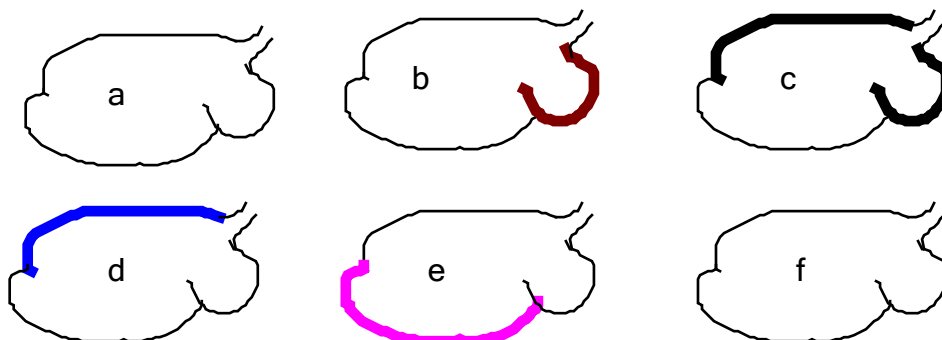
1.2.1. L'ingestion des aliments

chez les bovins, le temps d'ingestion est approximativement d'huit heures par jour avec des variations importantes (8 h de rumination, 8 h de repos).

La salive imprègne les aliments, maintient le pH du rumen relativement constant, permet un recyclage de l'urée.

1.2.2. Motricité du rumen-réseau

Il existe un cycle de contraction de rumen réseau qui compose différentes phases (il débute par le réseau) ; ce phénomène aboutit à un brassage permanent des aliments et il est indispensable à la rumination, à l'éruclation et à la progression des aliments vers le feuillet.





1.2.3. L'éructation et la rumination

1.2.3.1. L'éructation :

Le cardia étant normalement immergé, il faut donc une contraction spéciale, contrôlée par la distension, pour que le cardia permette l'évacuation des gaz dont 400 à 600 l sont produits par jour. Une absence d'éructation se traduit par le gonflement de l'animal (météorisation).

1.2.3.2. La rumination ou mastication mérycique(50 à 60 mouvements par minute)

C'est l'acte par lequel les aliments sont ramenés du rumen dans la cavité buccale pour être soumis à une seconde insalivation et une seconde mastication avant de retourner dans la panse.

La rumination correspond à un réflexe complexe.

Pour que la rumination s'effectue dans de bonne condition il faut que

:

la tension du rumen soit convenable

la ration soit suffisamment fibreuse

le contenu soit suffisamment liquide

l'animal soit en bonne santé et non perturbé



1.2.4. Transit du bol alimentaire

Seules les particules de faible taille (moins de 0,5 mm) franchissent l'orifice réticulo-omasal. (Les particules de grande taille sont refoulées dans le rumen pour subir une autre mastication).

Au niveau du feuillet, les particules alimentaires sont partiellement déshydratées ; dans la caillette, elles seront imprégnées de suc gastrique.

Le temps de transit dans le tube digestif est en moyenne de trois jours mais des résidus persistent pendant douze jours.

EVALUATION 3

1 La mastication mérycique correspond

à la rumination

à la mastication de récolte

au broyage des aliments par le cycle de la panse

2 Citez 3 conditions d'une bonne rumination :

3 Indiquez pour chaque aliment l'enzyme qui le dégrade

Glucides

Lipides

Protéines.

Salive

Estomac

Foie

Pancréas

Intestin

1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires



1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires

1.3.1. Le milieu ruminal

Cette population peut se développer grâce aux éléments suivants :

milieu aqueux

une température constante 39° à 40°

Une teneur en oxygène très faible (milieu anaérobie)

Un pH relativement constant d'environ 6,5

un brassage permanent

une arrivée régulière de substrats (la rumination permet d'augmenter la surface d'attaque)

Les micro-organismes du rumen vivent en symbiose avec le ruminant. On trouve des protozoaires et des bactéries.

1.3.1.1. Les protozoaires

Ce sont principalement des ciliés dont la taille varie de 20 à 200 μ m (1 μ m = 10⁻³ mm); il y a environ 100 000 à un million par ml de jus de rumen (ce sont les plus gros et les moins nombreux).

Ils couvrent leurs besoins à partir de glucides et de matières azotées protidiques ; pour cela ils consomment des fragments de végétaux et de grandes quantités de bactéries.

Ils sont très sensibles aux conditions régnantes dans le rumen, surtout le pH.

pH (6-7 ils représentent 50 % de la biomasse

pH (5,5 il n'y en a plus)

1.3.1.2. Les bactéries

Leur taille est inférieure à un micron et on dénombre un milliard à dix milliards de bactéries par millilitre de jus de rumen.



1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires

On distingue, pour simplifier :

Les bactéries cellulolytiques (fibrolytiques) capables de dégrader les glucides pariétaux.

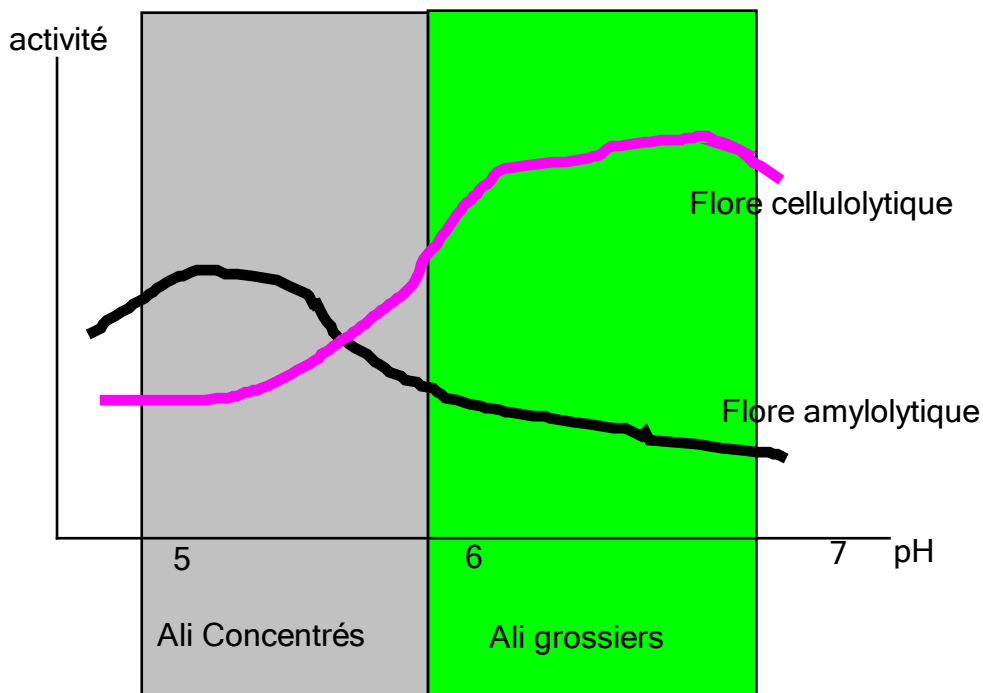
Les bactéries amylolytiques qui dégradent plus particulièrement l'amidon.

Pour la synthèse de leurs matières azotées, les bactéries utilisent essentiellement l'ammoniac (certaines bactéries synthétisent en abondance les vitamines B, assurant ainsi la couverture des besoins de l'organisme hôte.

Comme pour les protozoaires, il existe une corrélation étroite entre le régime alimentaire et la composition de la population bactérienne de rumen.(faciès microbien).

L'état d'équilibre est cependant assez fragile et conditionne l'efficacité de la digestion.

Les changements de régime alimentaire doivent donc être effectués de façon progressive en respectant une période de transition d'autant plus longue que les régimes sont plus différents.





1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires

1.3.2. La dégradation des glucides

Elle se fait en deux phases

1.3.2.1. la phase d'hydrolyse :

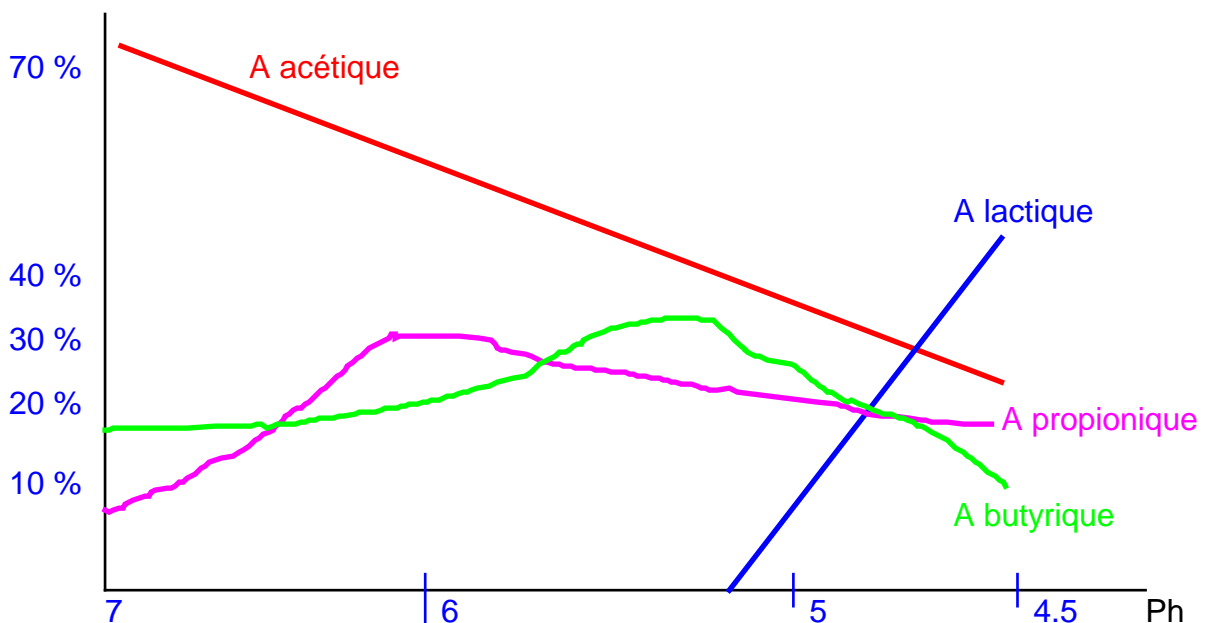
La première phase de dégradation des glucides aboutit donc à la formation de sucres simples.

1.3.2.2. La phase de fermentation

Les produits de déchets de fermentation sont un mélange d'acides gras volatils (AGV) et de gaz (CO_2 et CH_4).

Les proportions relatives des différents AGV sont :

acide acétique	60 / 70 %
acide propionique	15 / 20 %
acide butyrique	10 / 15 %
autres AGV	2 / 5 %



Cependant, ces proportions peuvent présenter des variations importantes selon la composition de la ration.

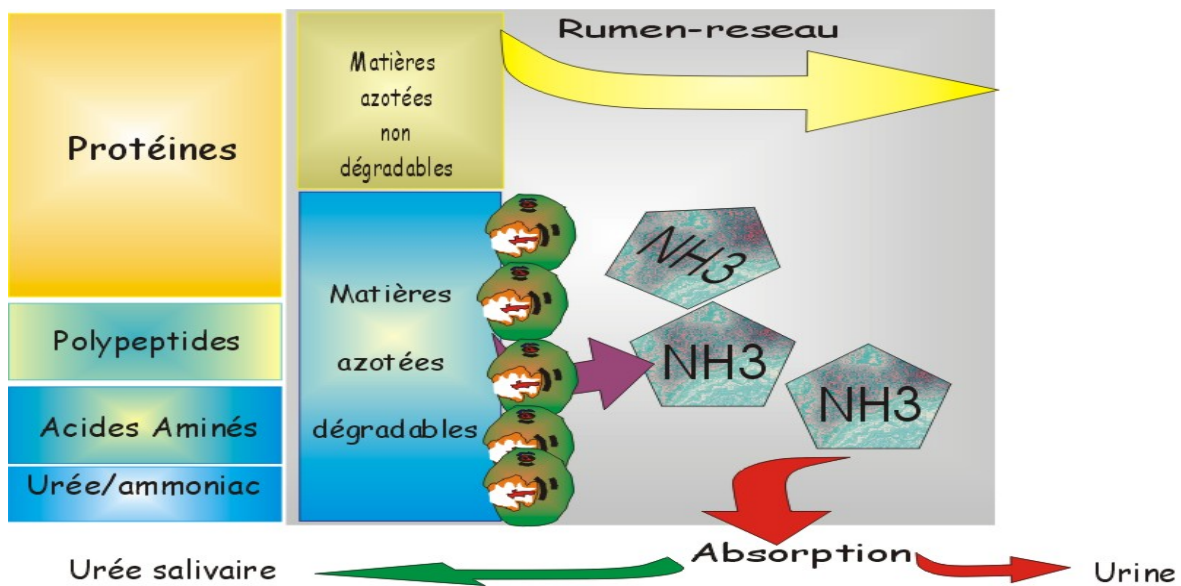


1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires

Les gaz formés au cours du processus fermentaire représentent des pertes énergétiques (le méthane qui compose 25 à 35 % de ces gaz, entraîne une perte énergétique importante de 4 à 10 % de l'énergie ingérée).

1.3.3. La dégradation des matières azotées

Les matières azotées alimentaires subissent dans le rumen une dégradation plus ou moins intense et rapide dont l'ammoniac est le produit terminal le plus important

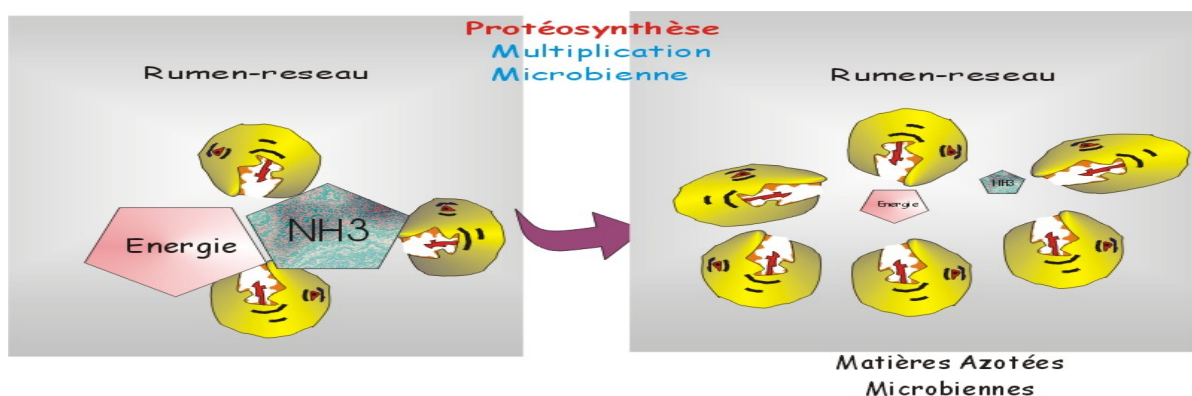


Cette dégradation en NH_3 (protéolyse microbienne) est rapide et totale pour les constituants non protéiques.

L'importance de cette dégradation est variable et dépend de la nature des protéines.

Les substrats carbonés et l'ammoniac peuvent ensuite être utilisés pour la synthèse des matières azotées de certaines bactéries (cellulolytiques) : c'est la phase de protéosynthèses microbienne.

L'absorption d'ammoniac est conditionnée par sa concentration dans le rumen et le pH de celui-ci (pH élevé absorption rapide, pH faible absorption lente).





1.3. *Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires*

La quantité de matières azotées microbiennes formées dans le rumen dépend de deux facteurs limitants principaux :

la quantité d'ammoniac présente dans le rumen

la quantité d'énergie présente dans le rumen

1.3.4. La dégradation des lipides

Dans le rumen-réseau, la population microbienne hydrolyse les triglycérides en acides gras et glycérol.

Le glycérol est fermenté en AGV.

Les acides gras passent dans le feuillet ou sont repris par les bactéries qui élaborent ainsi leurs propres acides gras.

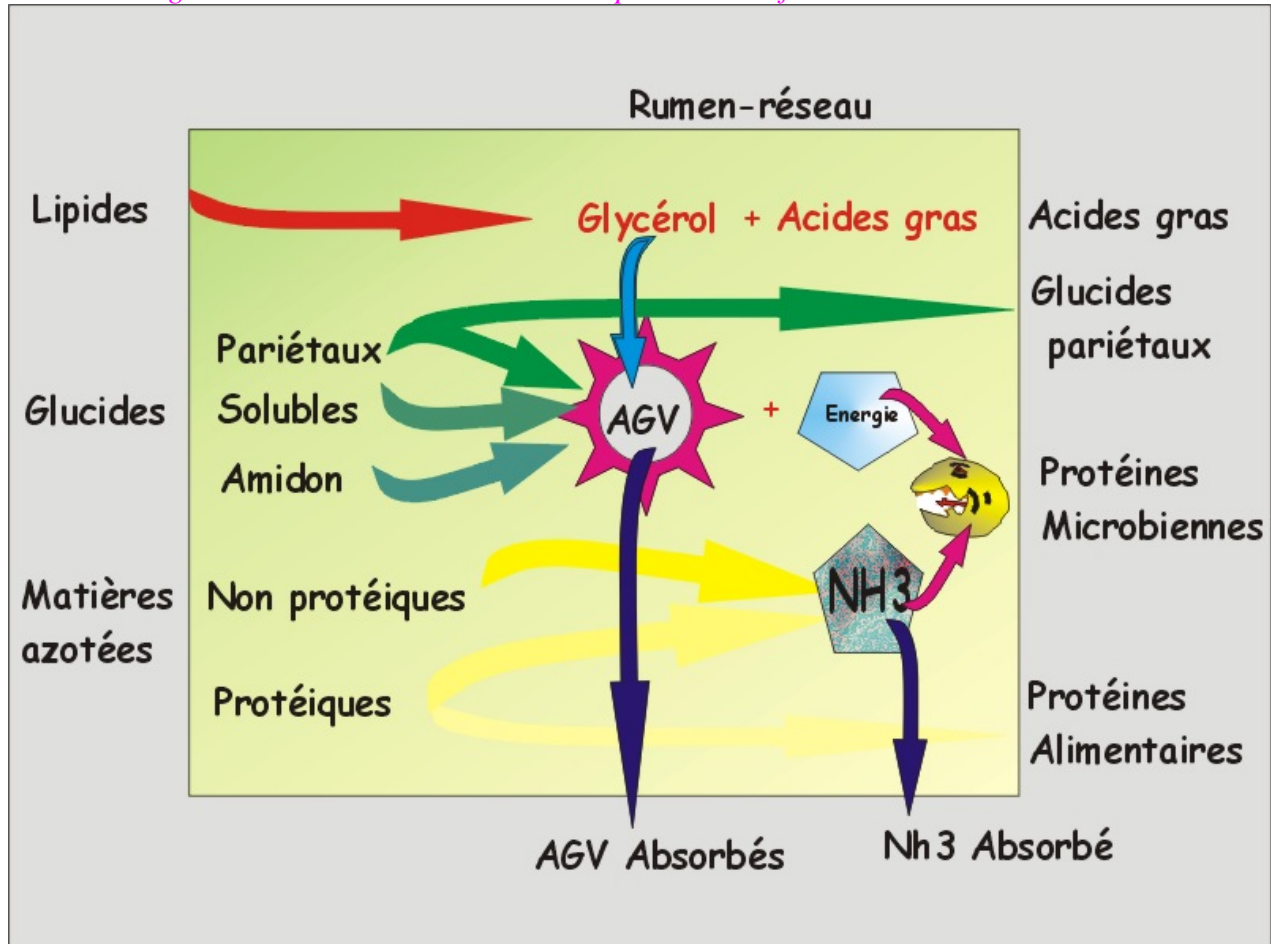
1.3.5. Le devenir des corps microbiens

La majeure partie des corps bactériens formés passe dans le feuillet

1.3.6. Bilan de la digestion dans le rumen-réseau



1.3. Digestion dans le rumen-réseau : les phénomènes fermentaires



1.3.6.1. Cas des fourrages

60 à 65 % de la matière organique digestive disparaît en moyenne dans le rumen-réseau.

1.3.6.2. Cas des aliments concentrés

L'amidon est dégradé à 95 % dans le rumen (sauf l'amidon de sorgho et de maïs).

Les protéines des aliments concentrés sont dégradées en proportion très variable dans le rumen (30 à 90 %). On peut les protéger de la protéolyse en les traitant par du formol ou des tanins (ces derniers sont dégradés par l'acide de l'estomac).



1.4. Digestion après le rumen-réseau

1.4.1. Dans le feuillet

Il absorbe une partie de l'eau et des sels minéraux ainsi que des AGV et de l'ammoniac.

1.4.2. Dans la caillette

Les phénomènes enzymatiques concernent l'ensemble des substances quittant le rumen-réseau.

Du fait d'un court séjour (1/2 à 1 h) l'action des enzymes est limitée. Par contre l'acide chlorhydrique tue tous les micro-organismes.

1.4.3. Dans l'intestin grêle

Les mécanismes de la digestion et de l'absorption sont les mêmes que chez les monogastriques, par contre les substances pénétrant dans l'intestin grêle sont différentes.

1.4.3.1. Les glucides

L'amidon entrant dans l'intestin y est hydrolysé en maltose puis en glucose qui est absorbé ;

On estime que l'apport alimentaire de glucose représente en moyenne 5 % de l'énergie absorbée.

Les glucides pariétaux, quant à eux, ne sont pas dégradés dans l'intestin grêle.

1.4.3.2. Les protéines

On admet que 80 % des matières azotées microbiennes se trouvent sous forme de protéines vraies et 20 % sous forme d'acide nucléique qui n'aurait aucune valeur pour l'animal.

1.4.

Digestion après le rumen-réseau



Les protéines arrivant dans le duodénum sont de deux types : alimentaires et microbiennes.

1.4.3.3. Les lipides

Ils ont été digérés dans le rumen-réseau.

1.4.4. Dans le gros intestin

Les résidus de la digestion de l'intestin grêle séjournent de 15 à 24 h dans le gros intestin.

En l'absence de sécrétion enzymatique, ils y subissent de nouvelles fermentations analogues à celles décrites dans le rumen-réseau.

Son activité cellulolytique, lui permet de produire des AGV qui sont absorbés et dont l'énergie représente moins de 10 % de l'énergie digestible total.

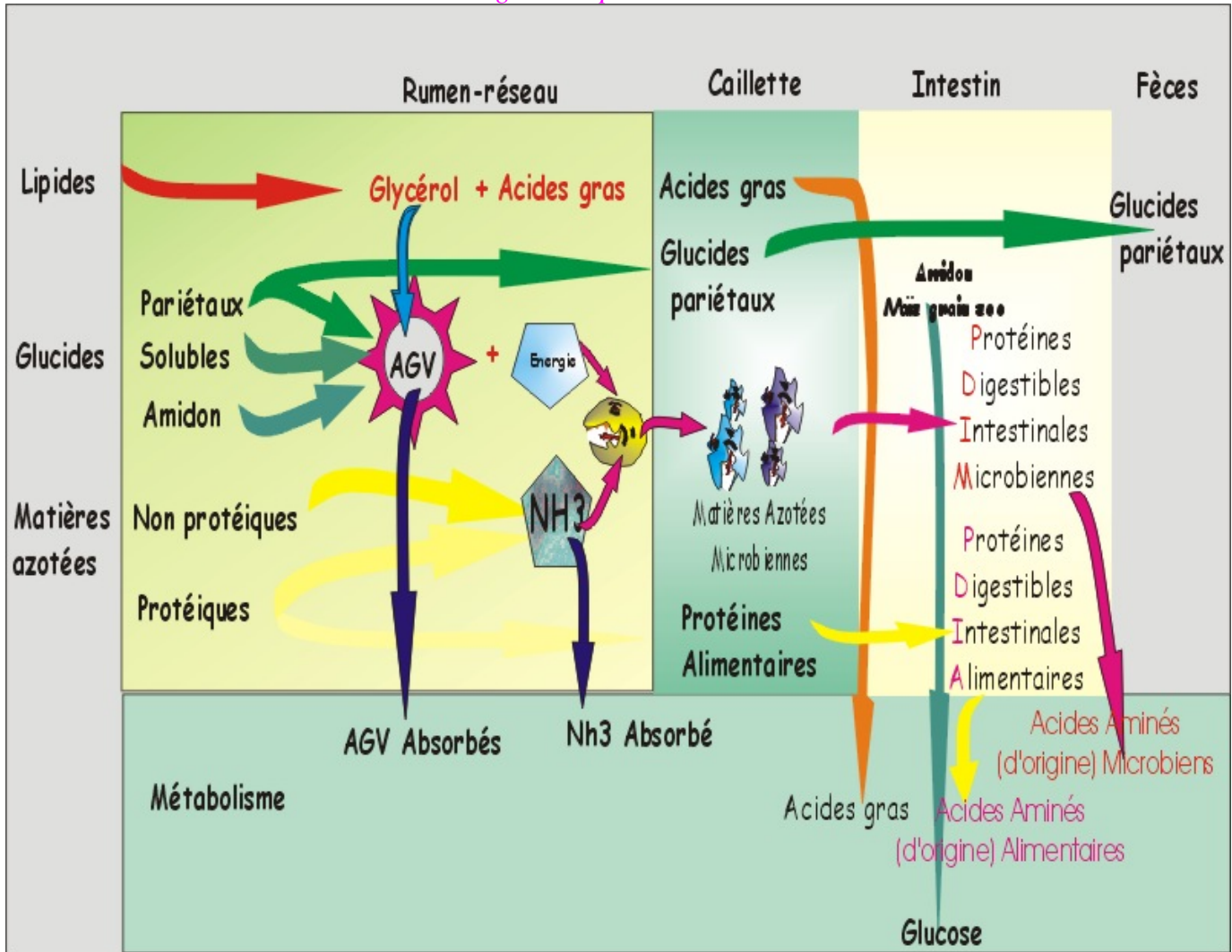
1.4.5. Conclusion

Les nutriments énergétiques sont surtout les AGV et en quantité moindre les acides aminés utilisés à des fins énergétiques.

Les proportions moyennes de ces différents nutriments énergétiques absorbés sont en moyenne :

<i>AGV</i>	<i>60 0 80 %</i>
<i>ACIDES AMINES</i>	<i>15 à 20 %</i>
<i>ACIDES GRAS LONGS</i>	<i>5 à 10 %</i>
<i>GLUCOSE</i>	<i>1 à 5 %</i>

Les nutriments azotés sont uniquement les acides aminés d'origine alimentaire ou microbienne.





EVALUATION 4

1 La rumination permet

- de tuer les microbes de la panse
- d'augmenter la surface d'attaque des microbes de la panse
- une augmentation de la mastication est donc une seconde insalivation et donc une seconde imprégnation de ptyaline

2 Les bactéries fibrolytiques et ou cellulolytique dégradent

- des fibrofilaments et de la cellulose de lignine
- du glucose
- de la cellulose
- de l'amidon

3 L'équilibre bactérien dépend

- des aliments consommés et donc du pH des aliments
- de la teneur en fibres de la ration et donc de l'activité de rumination
- de la quantité de salive et de l'acidité des aliments

4 Les bactéries amylolytiques dégradent

- l'amidon et laissent des AGV et essentiellement l'acide acétique
- la cellulose dans le rumen qui a un pH de 6
- des sucres autres que la cellulose et laisse surtout de l'acide propionique
- la lignine et laissent un résidu : la cellulose

5 Dans la panse les protéines sont dégradées

- en acides gras microbiens
- en acides aminés
- une partie en ammoniac



1.4.

Digestion après le rumen-réseau

en AGV

6 Les bactéries utilisent comme source azotée

- les protéines des aliments
- l'urée de l'amidon
- l'ammoniac
- les sucres

7 Les microbes de la panse sont détruits

- par les lames du feuillet
- par les enzymes de l'intestin
- par l'acidité des aliments
- par l'acide chlorhydrique

8 En moyenne, les rations fournissent comme nutriments énergétiques :

- 70% d'AGV ,20% d'acides aminés, 7% d'AGL et 3% de glucose
- 70% Glucose ,20% d'AGV, 10% d'AGL
- 90 % de glucose et 10% de sucre
- 70% d'acide acétique 30% de glucose

9 Précisez l'évolution de la concentration de l'acide propionique en fonction du pH de la panse

10 Pour la fabrication de leurs protéines les microbes utilisent



1.4.

Digestion après le rumen-réseau

- les AGV qui proviennent de la destruction des microbes
- les acides aminés des lipides
- les protéines des tourteaux tannée
- l'ammoniac provenant de la protéolyse des sources azotées

11 Dans la panse à un pH de 6, on trouve

- plus d'acide acétique que d'acide lactique
- plus d'acide propionique que d'acide acétique
- moins de propionique que de lactique

12 Les bactéries amylolytiques sont

- plus nombreuses que les protozoaires qu'elles mangent
- plus grosse que les protozoaires et moins nombreuses
- présentent à pH 6 dans la panse
- tuées par les protozoaires qui les consomment

13 Le maltose est l'élément de base

- du glucose
- de l'amidon
- de la cellulose

14 Schématiser l'évolution des différentes populations bactériennes en fonction du pH de la panse

15 Schématiser la digestion de la cellulose dans le tube digestif des

1.4.

polygastriques

Digestion après le rumen-réseau



16 L'amidon de maïs grain sec

est dégradé dans la panse et donne naissance à des AGV

n'est pas dégradé dans la panse et va subir la digestion enzymatique pour donner des acides aminés

n'est pas digéré et se retrouve directement dans les fèces

ne subit que la digestion enzymatique pour donner du glucose

17 Les acides aminés et les polypeptides apportés par les sources azotées

sont transformés en ammoniac dans la panse et consommés par les microbes

sont transformés en AGV

sont absorbés sous forme d'ammoniac s'il y a un excès d'azote dans la panse

ne sont pas dégradés dans la panse

18 Les bactéries fibrolytiques dégradent

des fibres de lignine

de la cellulose

de l'amidon

19 Les protozoaires sont

plus nombreux que les bactéries qu'ils mangent

plus gros que les bactéries et moins nombreux

tués par les bactéries qui les consomment



20 L'équilibre bactérien dépend

- des aliments consommés et donc du pH des aliments
- du pH de la panse et donc de la teneur en fibres de la ration
- de la quantité de salive et de l'acidité des aliments

21 Les bactéries amylolytiques dégradent

- l'amidon dans la panse qui a un pH de 7
- la cellulose dans le rumen qui a un pH de 6
- l'amidon qui se trouvent dans la panse avec un pH 5-6

22 Le cellobiose est l'élément de base

- du glucose
- de l'amidon
- de la cellulose

23 Les bactéries hydrolysent les sucres qui fermentent en

- AGL plus communément appelé acide gras long
- AGV
- acide pyruvique et acide glycérique volatil

24 Dans la panse les protéines sont dégradées

- en acides gras microbiens
- en ammoniac
- en urée

25 Les bactéries utilisent comme source azotée

- les protéines des aliments
- l'ammoniac
- les sucres

26 Les microbes de la panse sont détruits dans

- la caillette par l'acide chlorhydrique



1.4.

Digestion après le rumen-réseau

- le feuillet par déshydratation
 l'intestin par les enzymes

27 Les microbes de la panse dégradent la cellulose des aliments en

- cellobiose qui donne par la suite du glucose
 amidon qui finit par être « simplifié » en fructose
 acides gras volatils

28 En moyenne les rations des vaches « Françaises » laissent comme résidu énergétique :

- 70% d'AGV ,20% d'acides aminés, 7% d'AGL et 3% de glucose
 70% Glucose ,20% d'AGV, 10% d'AGL
 70% d'acide acétique 30% de glucose

29 Précisez les proportions que l'on rencontre pour chaque AGV

30 La protéolyse correspond à

- la dégradation des microbes dans la panse
 la destruction des sources azotées dans la panse en NH_3
 la lyse des protozoaires

31 La protéosynthèse permet

- la synthèse des protozoaires à partir des AGV
 la fabrication des bactéries dans la panse
 la construction de protéines végétales

32 L'hydrolyse des lipides donne

- des AGV et des microbes
 de l'ammoniac et des microbes
 du glycérol et des acides gras

33 Le réseau est le point de départ du cycle

- oestrien



Digestion après le rumen-réseau

1.4.

- nycthéméral
- de la panse
- péristaltique

34 Dans la panse à un pH de 6-7, on trouve

- plus d'acide acétique que d'acide lactique
- plus d'acide propionique que d'acide acétique
- moins de propionique que de lactique

35 L'acidose (maladie nutritionnelle) résulte

- d'un excès d'acide acétique et d'un manque de salive
- d'un excès d'acide lactique induit par un manque de fibres
- d'un excès d'acide acétique induit par un excès de concentrés

36 Lorsqu'il y a un excès d'ammoniac dans la panse , celui-ci est

- éructé ou transformé en AGV
- absorbé puis transformé en urée
- transformé en urée et éliminé avec les fèces

37 L'apport alimentaire d'énergie sous forme de glucose représente en moyenne

- 95 % des besoins cellulaires
- 5% des besoins cellulaires
- 0% des besoins cellulaires car il est dégradé dans la panse



2. L'UTILISATION DIGESTIVE DES ALIMENTS

La totalité d'un aliment ingéré n'est pas utilisée par l'organisme animal ; une partie des ingesta traversent le tube digestif et se retrouvent dans les fèces. On appelle fraction digestible d'un aliment la partie des ingesta (I) qui ne se retrouve pas dans les fèces (F).

La digestibilité apparente (da) est le rapport de la quantité qui disparaît apparemment dans le tube digestif (I-F) sur la quantité ingérée (I).

En fait, certaines sécrétions digestives (mucus), produits de la desquamation des parois intestinales, des corps microbiens sont expulsés en même temps que les fèces : on les appelle des fèces endogènes (Fe). La digestibilité apparente est donc une estimation par défaut de la digestibilité réelle des constituants de la ration. La différence peut être élevée pour les lipides et les matières azotées.

On définit un coefficient d'utilisation digestive ou coefficient de digestibilité apparent (CUDa)

ou réel (CUDr) comme le produit de la digestibilité par 100 :

2.1. Facteurs de variation de la digestibilité

2.1.1. Facteurs liés à l'animal

Chez un individu des variations sont liées à :

l'état sanitaire : tout trouble se traduit généralement par une chute de digestibilité.

L'âge, le sexe, la catégorie d'animaux n'influencent pas significativement la digestibilité. Par contre, le niveau de production l'influence : la digestibilité diminue lorsque le niveau alimentaire augmente.

2.1.2. Facteurs liés à l'aliment



2.1.

Facteurs de variation de la digestibilité

La digestibilité des glucides solubles, des lipides et des matières azotées est très élevée (dr >0,90) mais la digestibilité des glucides pariétaux est très variable (0,9 -----> 0,4).

Elle diminue au fur et à mesure que la proportion de tissus lignifiés, de parois et de tiges augmente.

La digestibilité est proportionnelle également au rapport feuilles / tiges.

Elle diminue également avec l'âge de la plante.

La digestibilité des glucides pariétaux détermine la digestibilité de la matière organique du fourrage.

EVALUATION 5

1 La lignine influe sur

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

la digestibilité de la plante et donc sa valeur alimentaire

la teneur en MS de la plante et donc sur sa digestibilité

la teneur en matières azotées de la plante

2 Chez une graminée le stade de récolte optimum est

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

la montaison

la fructification

la floraison

le stade 20 cm

3 Indiquez 3 facteurs de variation de la digestibilité d'un aliment



2.1.

Facteurs de variation de la digestibilité

4 La digestibilité d'un aliment varie avec

- le sexe de l'animal
- l'âge de l'animal
- la teneur en lignine

5 La digestibilité d'un aliment est fonction de

- l'âge de la plante
- du type d'animal qui le consomme
- de l'exposition solaire de la plante et de sa présentation physique

6 La digestibilité des glucides pariétaux influe sur

- la digestibilité de la plante
- la teneur en eau de la plante
- la teneur en matières azotées de la plante

7 Dans une légumineuse la partie la plus digestible est

- la fleur
- la tige
- la feuille
- le pistil

3. L'UTILISATION METABOLIQUE DES NUTRIMENTS

Cette utilisation se fait avec des transformations qui constituent le métabolisme. Il revêt deux aspects :

L'anabolisme conduit à la synthèse de substances permettant la construction cellulaire (protéines, lipides, glucides des cellules), de substances permettant le fonctionnement de l' organisme (hormones, enzymes) et des substances de productions (lait, muscles).

L'anabolisme s'accompagne de dépenses énergétiques.



Le catabolisme se traduit par une destruction de certains nutriments avec libération d'énergie. Une partie de cette énergie est dépensée sous forme de chaleur, une autre partie est stockée et peut être utilisée dans les synthèses constituant l'anabolisme.

Le catabolisme laisse des déchets qui sont principalement le gaz carbonique, l'eau, l'urée.

3.1. Le métabolisme du glucose

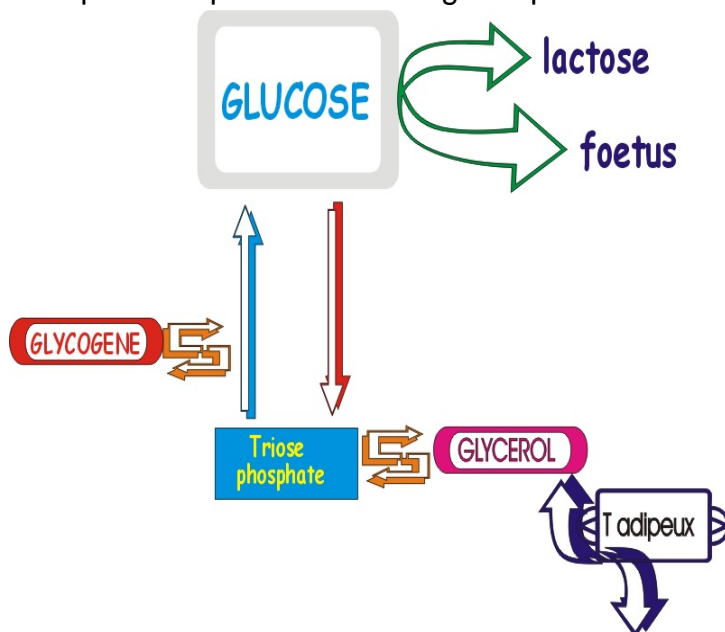
Lui seul fournit l'énergie aux cellules nerveuses, aux cellules des muscles lisses et des globules rouges.

Il fournit une grande partie (30 à 40 %) de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la mamelle.

Il est le précurseur obligatoire du lactose (il peut servir à la synthèse des triglycérides corporels).

Il est le substrat énergétique essentiel et le principal précurseur des lipides chez le fœtus.

La quantité de glucose (5 % de l'énergie absorbé) utilisé par les cellules étant comparable pour les monogastrique et les ruminants, les besoins sont donc



généralement chez ces derniers, très supérieur aux rapports alimentaires notamment chez les femelles en lactation ou en fin de gestation.

L'origine du glucose est double chez les ruminants : l'absorption intestinale est limitée à 15 % du total, la fourniture des 85 % restant, étant assuré principalement par le foie à partir de substances glucoformatrices (glycérol, propionate acides aminés).

3.2.

Le métabolisme des acides gras volatils (AGV)



3.2. Le métabolisme des acides gras volatils (AGV)

Ils représentent la principale source d'énergie chez les ruminants (60 à 80 %)

3.2.1. L'acide acétique :

Il peut être utilisé directement par la mamelle pour la synthèse d'acide gras courts et moyens de la matière grasse du lait. Sinon il est métabolisé en acétyl coenzyme A ou acétyl Co A.

Cette molécule riche en énergie a plusieurs destinées possibles :

3.2.1.1. Voie 1 :

être oxydé et fournir de l'ATP par l'intermédiaire du cycle de Krebs (ceci en présence d'une quantité suffisante d'oxalo acétate).

3.2.1.2. Voie 2 :

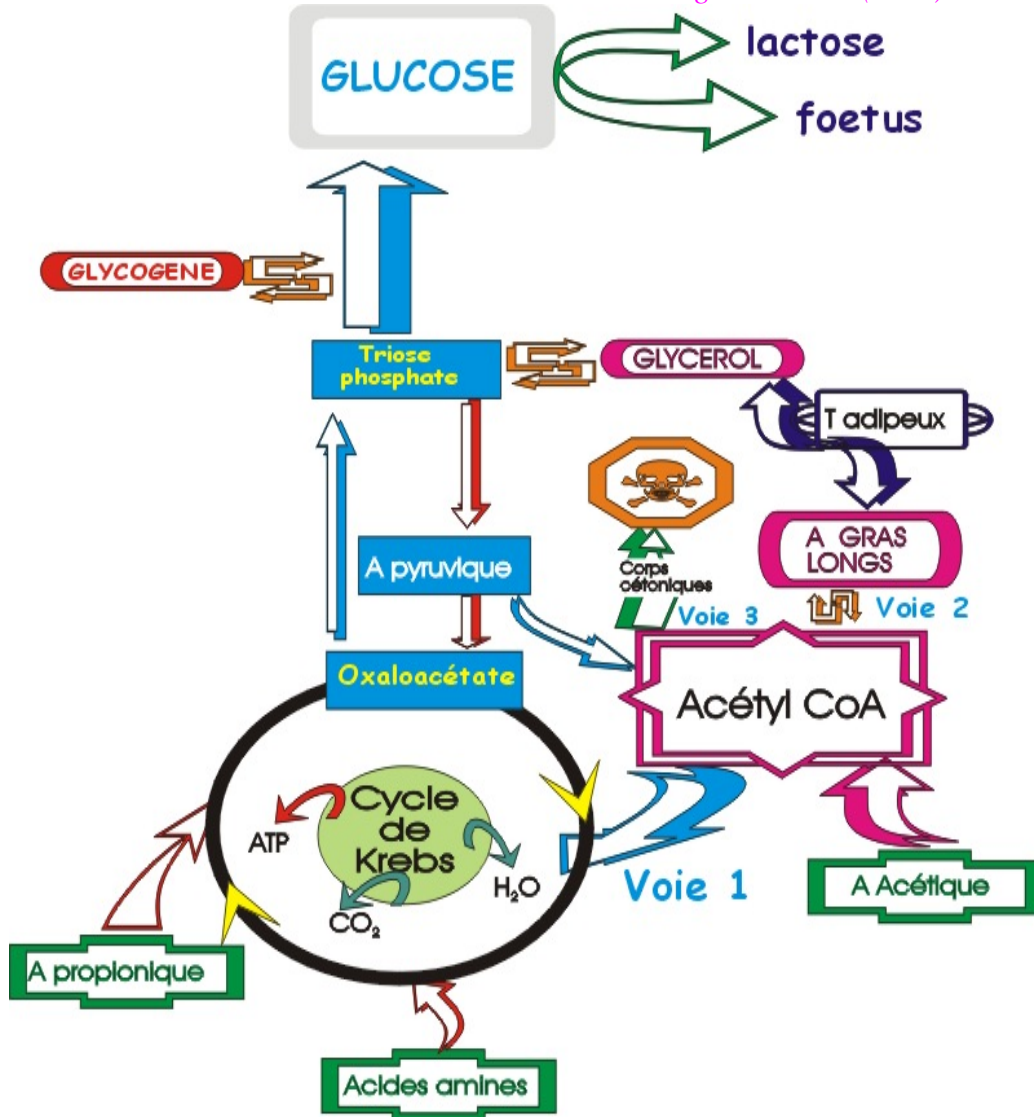
servir de point de départ à la biosynthèse des acides gras longs (éléments de base des lipides de réserve).

3.2.1.3. Voie 3 :

donné naissance à des corps cétoniques par l'intermédiaire d'acétyl Co A quand les voies 1 et 2 sont impossibles; Les corps cétoniques peuvent être utilisés à des fins énergétiques s'ils ne sont pas en excès. Dans le cas contraire il provoque l'acétonémie ou acétose. L'acétyl Co A peut également être précurseur de cholestérol.

3.2.

Le métabolisme des acides gras volatils (AGV)



3.2.2. L'acide propionique

Il pénètre dans le cycle de Krebs au niveau des succinates; Il peut donc fournir de l' ATP, mais il est également glucoformateur et constitue en fait la principale source de glucose

(il est donc anticétogène).

3.2.3. L'acide butyrique

Métabolisé en très grande partie au niveau de la paroi du rumen, il donne naissance à des corps cétoniques (une partie est transformée en glucose).



3.3. Le métabolisme des lipides

Au niveau des tissus, il existe simultanément deux phénomènes : la lipogénèse et la lipolyse.

La lipogénèse : c'est la synthèse des lipides (acide gras + alcool = ester lipides + eau).

L'alcool le plus couramment rencontré est le glycérol qui provient du glucose ou de substances glucoformatrices.

Les acides gras ont deux origines :

une origine alimentaire : ils sont absorbés au niveau de l'intestin grêle et estérifiés en triglycérides puis transformés par la lymphe et enfin déversés dans le sang.

une origine endogène : ils sont synthétisés à partir de l'acétyl Co A (cette réaction se fait dans le tissu adipeux avec un rendement de l'ordre de 45 à 60 %).

La lipolyse : elle est sous le contrôle d'hormones : adrénaline, corticoïdes et glucagon.

EVALUATION 6

1 L'acétonémie de lactation ou toxémie de gestation résulte

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | d'un excès d'acétyl CoA qui se transforme en corps cétoniques |
| <input type="checkbox"/> | d'un manque d'acide acétique par restriction de l'apport de concentrés |
| <input type="checkbox"/> | d'un excès d'acide propionique induit par un apport trop important de foin |

2 Schématisez les trois voies de l'acetyl-Co A

3 Le glucose est indispensable pour



Le métabolisme des lipides

3.3.

- le fœtus
- les cellules nerveuses
- la fabrication du galactose
- la mamelle

4 L'acetyl-Co A peut être induit par

- l'acide acétique
- les acides gras longs
- l'acide pyruvique

5 L'acide propionique est

- glucoformateur
- proteoformateur
- transformé en protéines

6 L'acétonémie de lactation ou toxémie de gestation résulte

- d'un excès d'acétyl CoA qui se transforme en corps cétoniques
- d'un manque d'acide acétique par restriction de l'apport de concentrés
- d'un excès d'acide propionique induit par un apport trop important de foin

7 Le glucose peut être fabriqué à partir

- du glycogène
- de l'acide propionique
- de l'acide acétique
- du glycérol

8 La stéatose correspond

- à une surcharge des cellules du foie par des lipides
- à un ose constitué de sept atomes de carbone
- à une accumulation de corps cétoniques dans le rein



3.4. Utilisation des produits énergétiques terminaux pour les synthèses

3.4. Utilisation des produits énergétiques terminaux pour les synthèses

3.4.1. *Production de viande

Il faut donc des acides aminés pour former les protéines et de l'énergie (ATP).

Efficacité de l'utilisation énergétique des AGV pour l'engraissement chez les ruminants :

AGV	% molaire	efficacité énergétique
A Acétique	100	32.9
A propionique	100	56.3
A butyrique	100	61.9 (cétogène)
C2+C3+C4	75-15-10	31.9
C2+C3+C4	25-45-30	58.1

Les rations favorisant la production d'acide propionique dans le rumen sont favorables à l'engraissement (il est plus énergétique que C2 et il est glucoformateur)

3.4.2. *Production de lait

La mamelle synthétise :

100 % de lactose

90 % de protéines

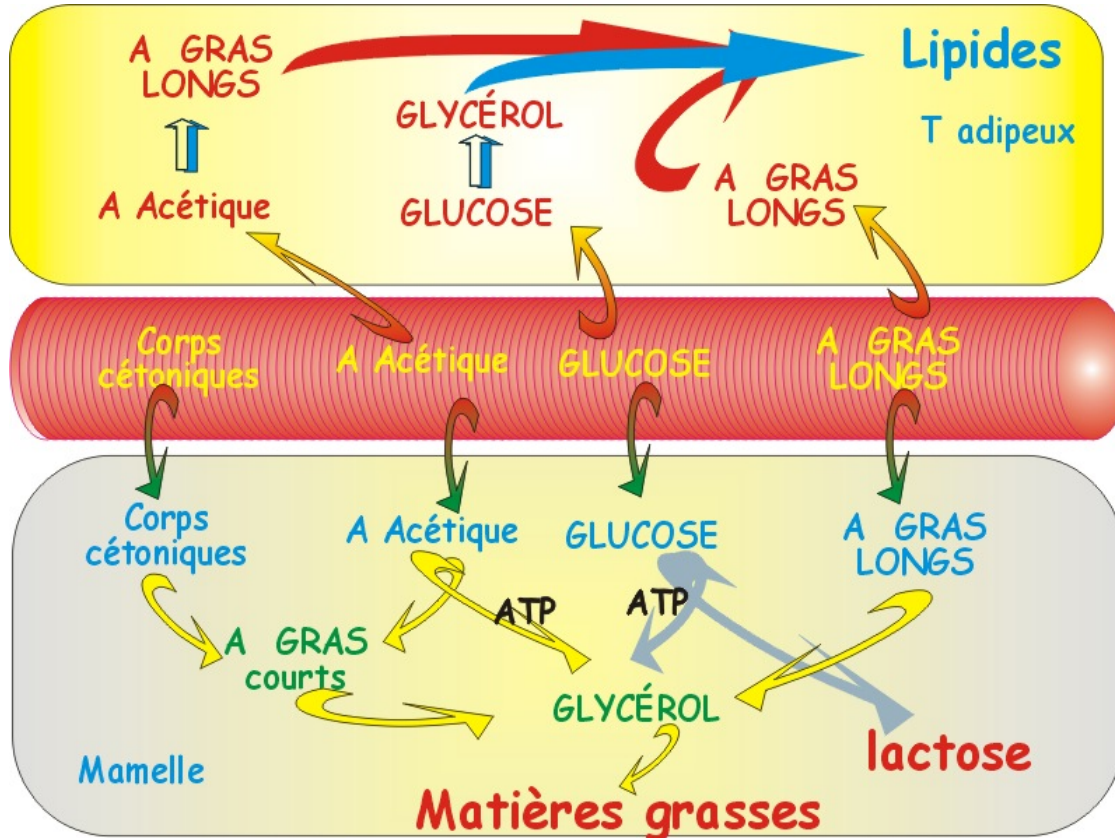
Plus de 35 % des matières du lait (40 % de ces acides gras sont synthétisés à partir de l'acétate et du butyrate et donne des acides gras moyens

< 18c ; le reste correspond aux acides gras longs qui proviennent des lipoprotéines plasmatiques d'origine alimentaire (ils sont puisés directement dans le sang par la mamelle).



3.5.

Le métabolisme des substances azotées



3.5. Le métabolisme des substances azotées

Les acides aminés ont essentiellement un rôle plastique (construction) mais ils peuvent aussi avoir un rôle énergétique (néoglucogénèse).

3.5.1. Inventaire des différentes protéines :

Protéines circulantes : l'hémoglobine, les protéines plasmatiques (globuline...)

Protéines tissulaires : osséine, kératine, myoglobine, actine, myosine.

Protéines fonctionnelles

Toutes les enzymes et hormones sauf les hormones sexuelles et corticoïdes qui sont des stéroïdes

Protéines de production (lait, muscles)

Les acides aminés

Il existe chez les ruminants des acides aminés indispensables comme chez les monogastriques. Les besoins en acides aminés indispensables sont dans la majorité des cas couverts par la synthèse de protéines microbiennes mais pour certains animaux à très haut potentiel il existe des besoins en AAI.



3.5.2. Origine et devenir des acides aminés.

Ils peuvent avoir deux origines :

exogène : aliments et microbes

endogène : catabolisme protéique et renouvellement

perpétuel des tissus

Ils peuvent servir :

à la fabrication de protéine (anabolisme)

au catabolisme protidique qui transforme l'excédent de protéines en CO₂ et urée.

Le catabolisme permet également de satisfaire des besoins énergétiques par le biais de la néoglucogénèse.

Ces phénomènes sont sous la dépendance de plusieurs hormones (insuline + STH augmente l'anabolisme) (Glucocorticoïdes favorisent le catabolisme).

EVALUATION 7

1 L'acide acétique est précurseur dans la mamelle

d'acides gras longs

d'acides aminés

de glucose

d'acides gras courts

2 L'apport de concentrés permet chez un animal laitier

de favoriser le taux protéique

défavoriser le taux de matières grasses

de défavoriser le taux de lactose

3 L'apport d'amidon chez des animaux laitiers

induit une diminution des acides aminés et donc du TP

induit une augmentation de l'acide propionique et donc une augmentation du TP

induit un pH 6 dans la panse et favorise l'absorption de l'ammoniac

3.5.

Le métabolisme des substances azotées





1.	La digestion	1
1.1.	Anatomie de l'appareil digestif	1
1.1.1.	Le tube digestif	2
1.1.1.1.	La bouche ou cavité buccale	2
1.1.1.2.	L'oesophage	3
1.1.1.3.	Les pré-estomacs	3
1.1.1.3.1.	Le rumen ou panse	4
1.1.1.3.2.	Le réseau ou réticulum ou bonnet	5
1.1.1.3.3.	Le feuillet ou omasum.	5
1.1.1.3.4.	La caillette	5
1.1.1.4.	Le développement des réservoirs gastriques	6
1.1.1.5.	L'intestin	7
1.1.1.5.1.	L'intestin grêle	:7
1.1.1.5.2.	Le caecum	7
1.1.1.5.3.	Le gros intestin ou colon	8
1.1.2.	Les glandes annexes	12
1.1.2.1.	Les glandes salivaires	12
1.1.2.2.	Les glandes gastriques	12
1.1.2.3.	Le pancréas	13
1.1.2.3.1.	Un rôle digestif	: 14
1.1.2.3.2.	un rôle métabolique	:14
1.1.2.4.	Le foie	15
1.1.2.4.1.	un rôle digestif	: 15
1.1.2.4.2.	un rôle métabolique	:15
1.1.2.5.	Les glandes intestinales	15
1.1.2.5.1.	Les différentes enzymes : elles achèvent la digestion	15
1.2.	Les phénomènes mécaniques	20
1.2.1.	L'ingestion des aliments	20
1.2.2.	Motricité du rumen-réseau	20
1.2.3.	L'éructation et la rumination	21
1.2.3.1.	L'éructation	: 21

3.5.

Le métabolisme des substances azotées



1.2.3.2.	La rumination ou mastication mérycique(50 à 60 mouvements par minute)	21
1.2.4.	Transit du bol alimentaire	22
1.3.	Digestion dans le rumen-réseau :les phénomènes fermentaires	23
1.3.1.	Le milieu ruminal	23
1.3.1.1.	Les protozoaires	23
1.3.1.2.	Les bactéries	23
1.3.2.	La dégradation des glucides	25
1.3.2.1.	la phase d'hydrolyse :	25
1.3.2.2.	La phase de fermentation	25
1.3.3.	La dégradation des matières azotées	26
1.3.4.	La dégradation des lipides	27
1.3.5.	Le devenir des corps microbiens	27
1.3.6.	Bilan de la digestion dans le rumen-réseau	27
1.3.6.1.	Cas des fourrages	28
1.3.6.2.	Cas des aliments concentrés	28
1.4.	Digestion après le rumen-réseau	29
1.4.1.	Dans le feuillet	29
1.4.2.	Dans la caillette	29
1.4.3.	Dans l'intestin grêle	29
1.4.3.1.	Les glucides	29
1.4.3.2.	Les protéines	29
1.4.3.3.	Les lipides	30
1.4.4.	Dans le gros intestin	30
1.4.5.	Conclusion	30
2.	L'utilisation digestive des aliments	39
2.1.	Facteurs de variation de la digestibilité	39
2.1.1.	Facteurs liés à l'animal	39
2.1.2.	Facteurs liés à l'aliment	39
3.	L'utilisation métabolique des nutriments	41
3.1.	Le métabolisme du glucose	42
3.2.	Le métabolisme des acides gras volatils (AGV)	43
3.2.1.	L'acide acétique :	43
3.2.1.1.	Voie 1 :	43



3.5.

Le métabolisme des substances azotées

- 3.2.1.2. Voie 2 : 43
- 3.2.1.3. Voie 3 : 43
- 3.2.2. L'acide propionique 44
- 3.2.3. L'acide butyrique 44
- 3.3. Le métabolisme des lipides 45
- 3.4. Utilisation des produits énergétiques terminaux pour les synthèses 47
 - 3.4.1. *Production de viande 47
 - 3.4.2. *Production de lait 47
- 3.5. Le métabolisme des substances azotées 48
 - 3.5.1. Inventaire des différentes protéines : 48
 - 3.5.2. Origine et devenir des acides aminés. 49