

INTRODUCTION

1. DEFINITION ET RELATION DE LA ZOOTECHNIE AVEC LES AUTRES SCIENCES

La Zootechnie est définie, par certains auteurs, comme l'art d'exploitation raisonnée et industrielle des animaux domestiques.

En d'autres termes, c'est la science qui s'occupe de l'étude de l'animal domestique, de son milieu et de son exploitation dans le but d'obtenir une production de bonne qualité de façon économiquement rentable.

La zootechnie est donc une science qui, sur des bases théoriques contenues dans d'autres disciplines, élabore des notions pratiques sur l'élevage des animaux domestiques.

C'est vers les années 1884 que le terme zootechnie a été admis en science. Etymologiquement, la zootechnie a le sens de technique d'élevage des animaux domestiques. Il provient de deux mots grecs : **Zoo** = Animal et **Technos** = Technique.

2. LA ZOOTECHNIE AVEC LES AUTRES SCIENCES

Dans les études agronomiques et vétérinaires, le cours de zootechnie est le plus souvent enseigné en deux grandes parties à savoir : la zootechnie générale et la zootechnie spéciale.

2.1. La zootechnie générale

Cette partie du cours de zootechnie s'occupe de l'étude des notions générales qui ont trait à la connaissance de l'animal se référant à d'autres disciplines telles que :

- La zoologie (notion de l'espèce, classification des animaux à but zootechnique, ...)
- Histoire (origine des animaux domestiques, histoire de la domestication des animaux, ...) ;
- Génétique (formation des races et sous races, sélection des animaux, ...) ;
- Ecologie (réaction de l'animal à l'environnement, adaptation des animaux dans un milieu donné..) ;
- Anatomie (étude de l'extérieur des animaux domestiques) ;
- Physiologie (reproduction et nutrition des animaux domestiques).

2.2. La zootechnie spéciale

Elle est l'application des notions générales étudiées en zootechnie générale, auxquelles on ajoute les différentes techniques d'élevage, en s'appuyant sur les disciplines telles que : la physiologie, la nutrition, la génétique, la reproduction, l'écologie, l'économie, l'hygiène vétérinaire, etc.

3. IMPORTANCE DE L'ELEVAGE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

3.1. IMPORTANCE SOCIALE

Aux années 1974, la FAO avait déjà prédit que les populations de certains pays du tiers monde seraient exposées à la famine à l'approche des années 2000. Cette situation serait due au fait que la croissance démographique paraît plus grande que l'augmentation de la production agricole. A cette sous nutrition croissante d'année en année, poursuit la Fao, s'ajoute aussi la malnutrition. La FAO a estimé qu'environ 2/3 de la population du monde souffre des carences en protéine. Les pays du tiers monde sont malheureusement les plus frappés par ces carences en protéines, plus spécialement en protéines animales.

Environ 40% des mortalités infantiles dans les pays du tiers monde sont dues à la malnutrition. Cette situation s'explique par le fait que la source principale des protéines dans les pays pauvres est formée de céréales et des tubercules ; or, basé sur la matière sèche, les produits d'origine animale contiennent beaucoup plus de protéines que les céréales et les tubercules. A titre d'exemple :

- Le poisson contient 81 % de protéine ;
- L'œuf en contient 47 % ;
- La viande de bœuf 30,7 % ;
- Le lait entier 26,4 %.

Par contre :

- La farine de blé contient 15 % ;
- Le riz en contient 8 %
- Le maïs en contient 7 %
- Le manioc en contient 1 %.

D'autres part, les protéines d'origine animale sont dites complètes car elles contiennent tous les acides aminés essentiels ; alors que les protéines d'origine végétale sont généralement dépourvues de certains acides aminés essentiels.

Il y a deux principales causes de la malnutrition protéiques dans les pays du tiers monde à savoir :

- La répartition inéquitable des revenus nationaux ;
- Le faible développement de l'élevage.

3.2. IMPORTANCE ECONOMIQUE

3.2.1. Importance sur l'épargne

Le développement de l'élevage dans un pays, favorise l'épargne de la population. Dans les pays avancés où les salaires des habitants sont très élevés, la population consomme moins de céréales mais achète plus la viande.

Toutefois, la production de la viande étant grande dans ces pays, la proportion de salaire consacré au ménage est faible car les prix de viande sont relativement bas ; ce qui favorise l'épargne de la population.

Dans les pays sous développés, l'augmentation des salaires résulte à une augmentation de la consommation de céréales et de tubercules mais peu de viande à cause de la faible production animale, qui agit sur la loi de l'offre et de la demande dans ces pays.

3.2.2. Utilisation industrielle des produits d'origine animale

Certaines industries utilisent les produits d'origine animale tels que : la laine et la soie dans l'industrie textile, la peau dans la fabrication des cuirs, le sang et les os dans la fabrication d'aliment pour bétail, les cornes et les sabots pour la fabrication des boutons, les intestins dans la fabrication des cordes musicales et fabrication de certains produits pharmaceutiques.

3.2.3. Utilisation des animaux domestiques pour certains travaux

Il s'agit surtout des utilisations suivantes :

- La course : but récréatif (les chevaux, les chiens, ...) ;
- Le transport : les chevaux, les bœufs, les buffles, les chiens, l'âne, le chameau, ... ;
- Les travaux de champs : les chevaux, les buffles et les bovins.

3.2.4. Utilisation des terrains impropres à l'agriculture

On peut citer par exemple les terrains accidentés ou rocaillieux pouvant servir de pâturage au bétail.

3.2.5. Utilisation des résidus industriels par les animaux

Ces résidus sont principalement :

- Les tourteaux, le son de blé, le son de riz, les drêches de brasseries, la paille, ...

3.2.6. Augmentation de la fertilité des sols

Cette augmentation peut intervenir par l'emploi des fumiers.

4. FACTEURS EN DEFAVEUR DE L'EXTENSION DE L'ELEVAGE

Dans les pays peu industrialisés et peu peuplés, la présence de grandes étendues de terres libres permet encore l'expansion de l'élevage. Mais, dans les pays avancés et surpeuplés, l'occupation des grandes étendues de terre par l'élevage n'est plus possible ; la production de bovins est principalement concentrée dans les parcs d'embauche sur des superficies restreintes en utilisant les céréales et les graines des légumineuses pour l'alimentation. De même, des milliers de centaines de poulets de chair, des pondeuses et des porcs sont élevés à partir des céréales et des graines de légumineuses. Devant cette situation, certains auteurs pensent qu'il n'est pas avantageux pour l'humanité de développer l'élevage intensif. Ces auteurs se justifient en avançant les raisons suivantes :

- En terme de conversion de calories et des protéines, il n'est pas avantageux de nourrir les animaux avec les céréales et de consommer ensuite le produit d'origine animale, car en effet, il faut environ :
 - 0,9 kg de TDN et 0,1 kg de protéine pour avoir 1 kg de lait de vache laitière ;
 - 3,7 kg de TDN et 0,41 kg de protéine pour avoir 1 kg d'œufs ;
 - 1,9 kg de TDN et 0,21 kg de protéine pour avoir 1 kg de poulet ;
 - 3,67 kg de TDN et 0,69 kg de protéine pour avoir 1 kg de viande de porc ;
 - 4,5 kg de TDN et 0,7 kg de protéine pour avoir 1 kg de viande de mouton ou de chèvre ;
 - 5,85 kg de TDN et 0,95 kg de protéine pour avoir 1 kg de viande de bœuf.
- Les auteurs de cette école estiment qu'il faut environ 1000 Kg de céréales à donner aux bovins pour produire une quantité de viande capable de supporter la vie d'un homme pendant une année. Alors qu'il faut seulement 200 Kg de céréales pour supporter la vie d'un homme en une année.
- Concernant la conversion de nourriture par les animaux, on a estimé qu'il faut 2,4 Kg de céréales pour produire 1 Kg de poulet ; 1,1 Kg de céréales pour produire 1 Kg de lait ; 4,6 Kg de céréales pour produire 1 Kg d'œufs ; 8 Kg de céréales pour produire 1Kg de viande de moutons ; 10 Kg de céréales pour produire 1 Kg de viande de bœuf ; 5,4 Kg de céréales pour produire 1 Kg de viande de porc.

De tout ce qui précède, nous pouvons conclure que :

- En termes de compétition en céréales entre l'homme et l'animal, cette compétition ne se présente pas avec la même intensité dans tous les pays du monde et chez toutes les espèces animales.
- Dans les pays développés, les revenus par tête d'habitant étant très grands et bien répartis, la population consomme plus de viande que des céréales, et la production des céréales étant très grande, l'excédant peut être utilisé dans l'alimentation animale.

Par contres, dans le pays sous développés, les revenus nationaux étant faibles et mal répartis, la majorité de la population ne vit que des céréales et des tubercules, produits relativement moins chers que la viande.

La production des céréales dans ces pays sous équipés étant très limitée, il n'existe pratiquement pas de production excédentaire des céréales. Dans ces pays pauvres, la position de l'agronome doit être :

- favoriser la consommation des céréales directement par l'homme sans trop mettre dans l'alimentation animale ;
- utiliser de plus en plus grandes proportions d'aliments grossiers dans les rations des animaux ;
- n'utiliser les céréales et les graines que chez les espèces animales qui sont les meilleurs transformateurs de nourriture, telles que les vaches laitières et la volaille, et dans une certaine mesure les porcins ;
- les bovins et les petits ruminants étant mauvais transformateurs des aliments en viande, il est indiqué de les nourrir avec les fourrages grossiers, plutôt qu'avec les aliments concentrés ;
- améliorer les pâturages pour augmenter la production des herbivores domestiques.

5. FACTEURS QUI LIMITENT LA PRODUCTION ET LA CONSOMMATION DES PRODUITS D'ORIGINE ANIMALE

5.1. LE NIVEAU DE SALAIRE

Dans les pays où les populations ont de faibles revenus, la consommation de viande est un luxe qui est réservé à une poignée des gens à qui revient la plus grande partie du revenu national. La seule manière d'augmenter la consommation de viande dans cette population, c'est d'augmenter la production animale. Cette solution a été trouvée dans beaucoup des pays tels que : Uruguay, Argentine, Nouvelle Zélande, Venezuela qui ont des revenus nationaux faibles. Mais leur production de viande étant très grande ; les prix sont maintenus très bas ; ce qui favorise la consommation de la viande par les populations pauvres.

5.2. LES COUTUMES, LES HABITUDES ALIMENTAIRES ET LES INTERDITS RELIGIEUX

L'Inde est l'un des pays du monde avec le plus grand nombre de tête de bovins. Mais la population Hindou qui comprend 80 % de la population de l'Inde regarde la vache comme une mère et comme un dieu. La viande de la vache est interdite.

Les peuples nomades d'Afrique tels que les Fulani, Turkana, Massaï, etc. considèrent la vache comme un prestige social plutôt qu'une source d'aliment.

Les populations du monde occidental y compris l'Argentine et l'Uruguay consomment surtout la viande de bœuf. Alors que les Autrichiens et les populations de la Nouvelle Zélande consomment plus le mouton que le bœuf. Les Européens mangent beaucoup plus le porc, les Japonais préfèrent le poisson et le porc.

5.3. MANQUE D'INTEGRATION ENTRE L'AGRICULTURE ET L'ELEVAGE

Il est recommandé dans ce cadre une certaine interdépendance entre l'agriculture et l'élevage ; dans la mesure où les déchets de récolte serviront à l'alimentation de bétail et les déchets de bétail comme fumier dans la production agricole.

5.4. MANQUE DE L'ART ET DE SCIENCE EN PRODUCTION ANIMALE

Il existe très peu des gens formés en matière d'élevage qui œuvrent dans ce secteur. Les élevages sont en grande partie gérée par de profanes en cette matière.

5.5. LES RECHERCHES EN PRODUCTION ANIMALE SONT LONGUES ET COUTEUSES

Il se pose un problème de durée d'observation des expériences et de coût élevé de ses expériences. Cas de bovin par exemple qui a une durée de gestation de 9 mois et un intervalle de génération de près de 3 ans dans nos pays.

5.6. MANQUE D'INVESTISSEMENT

5.7. LE DROIT FONCIER

CHAPITRE PREMIER : L'ESPECE ANIMALE ET ORIGINE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

1.1. NOTION DE L'ESPECE

En zootechnie comme en biologie, le point de départ d'étude qui implique les animaux, c'est l'espèce.

Les caractères des animaux qui permettent de les grouper en différentes espèces sont appelés les caractères de l'espèce. D'après ces caractères, on peut définir l'espèce comme étant un ensemble d'individus se ressemblant dans leurs caractères héréditaires, chromosomiques, plasmiques et se reproduisant entre eux sans se reproduire avec les individus d'autres espèces.

1.2. CARACTERES DE L'ESPECE

1.2.1. Caractères morphologiques

Ces caractères sont les plus importants pour la détermination de l'espèce. On peut les grouper en deux catégories à savoir :

- les caractères morphologiques généraux externes ;
- les caractères morphologiques internes ;

a) Les caractères morphologiques généraux externes

Ces caractères sont les plus visibles et sont déterminés par la forme et la grandeur du corps ou les différentes régions du corps, la structure de l'ossature, la couleur de production pileuse (poils, plumes). Exemple : le Bos zebu a une bosse et le Bos taurus n'a pas de bosse.

b) Les caractères morphologiques internes

Ces sont les particularités anatomiques internes. Exemple : le nombre et la forme des doigts, la forme de l'estomac entre le chien et le cheval, et le ruminant.

1.2.2. Caractères physiologiques

a) Caractères chromosomiques

Le nombre de chromosome est souvent fonction de l'espèce animale. Le tableau ci-après nous donne quelques exemples :

Tableau 1.

Noms communs	Non scientifique	2 n chr
Bovin taurin	Bos taurus	60
Bovin zebu	Bos indicus	60
Banteng	Bos banteng	60
Yak	Bos grunniens	60
Bison américain	Bison bison	60
Gaur	Bos gaurus	58
Buffle Africain	Syncerus Caffer caffer	52
Buffle domestique	Bukalus bubalis	48
Buffle du Congo	Syncerus Caffer nanus	54
Cheval domestique	Equus caballus	64
Ane	Equus asinus	62
Chèvre domestique	Capra hircus	60
Mouton domestique	Ovis aries	50

Tableau 2 : Nombre de chromosomes et caryotype de quelques espèces d'animaux domestiques

Espèce animale	2 n chr	autosomes		Chromosomes sexuels	
		Méta-subméta	Acro-télo	Méta-subméta	Acro-télo
Cheval domestique	64	26	36	X	Y
Cheval sauvage	66	24	40	X	Y
Porc domestique	38	24	12	X et Y	-
Porc sauvage européen	36	26	8	X et Y	-
Bos taurus	60	0	58	X et Y	-
Bos zebu	60	0	58	X	Y
Bison américain	60	0	58	X	Y
Mouton domestique	54	6	46	X et Y	-
Chien domestique	78	0	78	X et Y	-
Chèvre domestique	60	0	58	Y	X
Homme	46	32	12	X	Y

L'examen du caryotype est important dans l'étude de l'évolution des espèces. Les animaux provenant de mêmes ancêtres ont souvent un caryotype similaire. Néanmoins, cela n'est pas toujours le cas. Car au cours de l'évolution, il y a eu probablement des réarrangements de chromosomes. On pense que les chromosomes avec deux bras proviendraient de la fusion de deux chromosomes télocentriques ou acrocentriques. Si cela était vrai alors le nombre total de bras (nombre fondamental) de chromosomes devient le guide pour évaluer les relations phylogénétiques.

Par exemple, chez les bovins, les 2 n chromosomes varient de 30 à 60 parmi environ 50 espèces différentes. Mais le nombre fondamental varie de 58 à 62, d'après certains auteurs. Par contre, chez les équidés, les 2 n chromosomes varient de 32 à 66 et le nombre fondamental n'est pas constant. Il varie de 60 à 104 à cause de nombre élevé et variable de chromosomes métacentriques. Chez les caprins, le nombre fondamental 60 est constant et les 2 n chromosomes varient de 42 à 60.

b) Caractères de reproduction

Seuls les individus de mêmes espèces se reproduisent normalement et donnent des individus normaux. L'accouplement des individus d'espèces différentes n'est normalement pas possible. Si cela se fait par voie artificielle, les descendants obtenus sont souvent anormaux et parfois la fécondation est impossible. Plusieurs cas peuvent se présenter :

1. La fécondation est impossible même si on pratiquait l'insémination artificielle.

Exemple : l'impossibilité d'accoupler le lapin et la vache.

2. L'accouplement et la fécondation sont possibles mais par suite, il y a mortalité embryonnaire.

Exemple : l'accouplement du bouc avec la brebis

3. L'accouplement, la fécondation, le développement de l'embryon, la gestation et la mise bas sont normaux mais les descendants sont tous stériles.

Exemple : le Zèbre de l'Afrique croisé avec l'Ane donne le zebroane qui est stérile ; le Canard commun d'Europe croisé avec le canard de barbarie, le produit mulard est stérile.

4. L'accouplement, la fécondation sont normaux mais les descendants mâles sont stériles et les descendants femelles sont fertiles.

Exemple : le cheval mâle croisé avec la femelle de l'Ane donne le bardeau.

5. L'accouplement, la fécondation et la mise bas sont normaux et les descendants sont tous normaux et fertiles.

Exemple : Bos torus x Bos zebus = Bovin Sanga

Accouplement interspécifiques

Père	Mère	Hybride (2 n ch)	Possibilité de reproduction
Cheval sauvage (66)	Cheval domestique (64)	65	Fertile (1)
Ane (62)	Cheval (64)	Mulet (63)	Stérile
Cheval (64)	Ane (62)	Bardeau (63)	Stérile
Zebu d'Afrique (44)	Ane (62)	Zebroane (63)	Stérile
Bison d'Amérique (60)	Zebu (60)	60	Femelle stérile
Bison d'Amérique (60)	Taurin (60)	Cattalo (60)	Mâle stérile
Taurin	Zebus (60)	Sanga	Tous fertiles

1.3. CLASSIFICATION DES ESPECES ANIMALES A BUT ZOOTECHNIQUE

1.3.1. Classe des oiseaux

Cette classe est représentée par plusieurs ordres dont 3 sont exploitées zootechniquement.

1.3.1.1. Ordre des Ansériformes

Cet ordre comprend les palmipèdes qui sont de moyenne et parfois de grande taille, menant une vie aquatique sur les lacs, les marécages et les étangs. Cet ordre est représenté par les genres suivants :

a) Genre Anser

Exemple : Anser domesticus (Oie domestique)
Anser cinereus (Oie sauvage)

b) Genre Cynopsis

Exemple : Cynopsis cygnoides (cygne)

c) Genre Anas

Exemple : Anas platyrhynchos (canard sauvage)
Anas boschas (canard sauvage), les 2 ont donné aussi le canard domestique

d) Genre Cairina moschata

Exemple : Canard sauvage Américain

1.3.1.2. Ordre des collumbiformes

Cet ordre est représenté par le genre collumba.

Exemple : Collumba livia (pigeon domestique).

Cet ordre comprend les volailles ailées à muscles pectoraux bien développés qui leur permettent d'effectuer de vols parfois lointains.

1.3.1.3. Ordre des Galliformes

Cet ordre comprend la majorité des oiseaux de basse-cours. Cet ordre est représenté par les genres suivants :

- a) Genre Gallus, exemple : Gallus domesticus (poule domestique)
- b) Genre Meleagris, exemple : Meleagris domesticus (dindon)
- c) Genre Numida, exemple : Numida Meleagris domesticus (pintade)
- d) Genre Pavo, Exemple : Pavo cristatus domesticus (Paon)

1.3.2. Classe des Mammifères

1.3.2.1. Ordre des Artiodactyles

Cet ordre comprend les animaux à doigts fendus. On y retrouve 2 sous ordres importants : le sous ordre des non ruminants et le sous ordre des ruminants.

a) Sous ordre des non ruminants

Le sous ordre des non ruminants est représenté par la famille des Suidés, avec la sous famille les suinées. Le genre le plus important c'est le genre Sus.

Exemple : - Sus domesticus (porc domestique)
- Sus scrofa ferus (sanglier sauvage)
- Sus mediterraneus (porc de la région méditerranéenne).

Il y a d'autres genres tels que :

- le genre Potamochoerus (porc de rivière)
- Le genre Phacochoerus (porc africain à barbes)
- Le genre Porcula (porc nain)

b) Sous ordre des ruminants

Les familles appartenant à ces sous ordres les plus importantes sont :

b.1. Famille des Camélidés : ce sont des animaux de haute altitude.

- Genre Camelus (chameau, dromadaire)
- Genre Lama
- Genre Alpaca
- Genre Vicunia

b.2. Famille des Bovidés : Cette famille comprend les animaux avec les cornes creuses. Elle comprend les sous familles ci-après : sous famille des bovinés et la sous famille des caprinés.

1. Sous famille des bovinés

Tribu de Bovini : cette tribu comprend 2 genres importants à savoir

- Genre Bos
- Genre Bubalus

1. GENRE BOS

Comprend 4 sous genres à savoir

- Sous genre Bos
- Sous genre Bison
- Sous genre Bibos
- Sous genre Paephus

1.1. Bos bos : comme espèce, nous avons :

- Bos bos taurus (taurin)
- Bos bos zebu (zébu)
- Bos bos acutifrons (+)
- Bos bos pronghorn (Aurochs +)
- Bos bos namadicus (urus +)
- Bos bos brachyceros = longifrons (+)

1.2. Bos bison : comme espèce, nous avons :

- Bos bison bonasus (Européen)
- Bos bison bison (Amérique)

1.3. Bos bibos : comme espèce, nous avons :

- Bos bibos gaurus (gaur)
- Bos bibos banteng (balinèse)
- Bos bibos frontalis (gayal)
- Bos bibos sondaicus (banteng)

1.4. Bos paepagus :

- Bos paepagus grunniens (yak)

2. GENRE BUBALUS

Comme espèce, nous avons :

- Bubalus bubalis (buffle d'eau d'Asie)
- Bubalus mindorinsis
- Bubalus depressicornis

b. Sous famille des Caprinés

a) Tribu des caprini

Genre Capra

- Capra hircus (chèvre domestique)
- Capra caucasica (forme domestique)
- Capra ibex (forme domestique)

Genre Ovis

- Ovis aries (mouton domestique)
- Ovis vigneis arkar (forme de steppe)
- Ovis musimon (mouflon)
- Ovis ammon (arg)

1.3.2.2. Ordre des Périssodactyles

Cet ordre représente les animaux à ongles non fendus où doigts non fendus. Il y a 3 familles importantes : les Tapiridés, les Rhinocerotidés et les Equidés.

De ces 3 familles, la famille des Equidés est la plus importante en élevage. Au sein de la famille des Equidés, la sous famille des Equinées représente le plus grand nombre dans l'élevage. Dans cette sous famille des équinées, le genre Equus est plus important.

- Equus caballus (cheval domestique)
- Equus asinus (l'âne)
- Equus mullus (mulet)
- Equus zebra (zèbre)

1.3.2.3. Ordre des Carnivores

Il y a 3 familles importantes, à savoir :

- La famille des Félidées
- La famille des Canidées
- La famille des Mustelidées

Les genres les plus importants sont : Canis pour les canidées, et Felis pour les felidées.

Genre Canis

- Canis familiaris (chien domestique)
- Canis lupus (loup)
- Canis aureus (chacal)

Genre Felis

- Felis catus (chat)

1.3.2.4. Ordre des Lagomorphes

Comprend 2 familles importantes à savoir : la famille des Léporidées et celle des Cavidées.

La famille des Léporidées comprend une sous famille importante dans l'élevage qui est la sous famille des Léporinées qui comprend les genres Lepus et Oryctolagus.

Genre Lepus : plusieurs espèces qui sont toutes les espèces des lièvres sauvages.

Genre Oryctolagus : représenté par une espèce domestique qui est Oryctolagus cuniculus (lapin).

La famille des Cavidées quand à elle, est représentée par le genre Cavia avec une espèce domestique Cavia cobaye.

1.4. ORIGINE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

D'une façon générale, toutes les espèces d'animaux domestiques proviennent d'espèces d'animaux sauvages ; certains ancêtres de nos animaux domestiques vivent encore jusqu'à présent ; d'autres encore sont en voie de disparition. Cela pour ainsi dire que les animaux domestiques ne proviennent pas tous des espèces d'animaux sauvages actuels. Les animaux sauvages actuels, ainsi que nos animaux domestiques correspondants ont une origine commune. La période de l'évolution de l'état sauvage à l'état domestique se situe dans la nuit des temps. Ainsi qu'il n'existe pas des données directes démontrant des modes, causes, places et le moment où le phénomène de l'évolution a eu lieu.

Par conséquent, l'étude de l'origine des animaux domestiques n'est basée que sur les méthodes indirectes. D'une façon générale, il y a 2 méthodes indirectes utilisées pour l'étude de l'origine des animaux domestiques à savoir :

- La méthode de l'anatomie comparative
- La méthode physiologique.

La méthode d'anatomie comparative étudie les particularités anatomiques en comparant les animaux domestiques aux animaux sauvages apparentés ou avec des fossiles des formes sauvages disparus. Exemple : études des crânes pour voir l'évolution et la parenté du taurin.

La méthode physiologique utilise l'étude comparative de certaines fonctions physiologiques des animaux sauvages encore vivants et des animaux domestiques correspondants. Elle sert à établir un certain degré de parenté entre espèces des animaux domestiques et formes sauvages correspondant encore vivantes actuellement.

Parmi les méthodes physiologiques, nous pouvons citer :

- L'hybridation : accouplement des formes sauvages avec la forme domestique ;
- Particularité sérologique : il s'agit du développement des anti-corps ;
- Génétique : Exemple : étude de nombre de bras des chromosomes.

Les résultats de ces études ont démontré que les diverses espèces de nos animaux domestiques peuvent avoir soit une seule origine : on parlera d'origine MONOPHYLETIQUE ; de 2 ou plusieurs origines : on parlera de l'origine POLYPHYLETIQUE

1.4.1. Origine des oiseaux de la basse-cour

1.4.1.1. La poule

La poule domestique (*Gallus domesticus*) trouve son origine dans l'espèce *Gallus bankiva* qui est une poule sauvage de la forêt des Indes, d'après Lush (1965).

D'autres auteurs pensent que c'est l'espèce *Gallus gallus* qui est une poule sauvage avec ses variétés *Gallus gallus morghi* (poule sauvage de l'Inde) et *Gallus gallus gallus* (poule sauvage de Birmanie), qui ont contribué à la formation de la poule domestique.

D'autres espèces des poules sauvages sont aussi connues telles que : *Gallus lafayetti* (poule du Sri-Lanka), *Gallus sonnerati* (poule grise), *Gallus varius* (poule noire ou verte).

1.4.1.2. Le Canard

Beaucoup d'auteurs pensent que la plupart des canards domestiques proviennent de même ancêtre sauvage qui est *Anas platyrhynchos*. Mais la race appelée canard musqué ou Barbarie proviendrait de canard sauvage américain qui est *Caïrina moschata*.

1.4.1.3. Le Dindon

Meleagris domesticus est considérée avoir une origine monophylétique avec comme ancêtre sauvage le *Meleagris mexicana* qui est le dindon sauvage américain.

1.4.1.4. La Pintade (*Numida Meleagris domestica*)

A une origine monophylétique avec comme un seul ancêtre le *Numida meleagris*.

1.4.1.5. Le Paon domestique (*Pavo cristatus domestica*)

A une origine monophylétique avec comme ancêtre le *Pavo cristatus* de l'Inde et du Sri-Lanka et le *Pavo muticus* de l'Est de Java.

1.4.2. Les mammifères

1.4.2.1. Le Chien

Certains auteurs pensent que le chien domestique (*Canis familiaris*) a une origine monophylétique avec comme seul ancêtre le loup ; mais d'autres auteurs pensent plutôt que le chien a une origine diphyllétique avec comme ancêtres le loup et le chacal.

1.4.2.2. Le porc

Le porc domestique ou *Sus domesticus* a une origine diphyllétique. Il proviendrait de deux porcs sauvages à savoir : le *Sus scrofa ferus* (sanglier Européen) et le *Sus vittatus* (porc Asiatique).

Le *Sus scrofa ferus* vit encore en Europe et en Afrique du Nord. De même le *Sus vittatus* se trouve encore dans le Nord de la Chine. Le *Sus scrofa ferus* a donné naissance aux porcs domestiques de races Européennes, tandis que le *Sus vittatus* a donné naissance aux porcs domestiques de races chinoises.

D'autres auteurs pensent aussi qu'il y a une 3^{ème} forme sauvage qui a donné naissance au porc domestique du type méditerranéen (*Sus mediterraneus*) ; ce type méditerranéen semble-t-il aurait donné naissance aux races de porcs ibériques (Espagne, Portugal) et aux races de porcs d'Italie.

1.4.2.3. Le mouton

L'origine et la classification du mouton se heurtent à beaucoup de confusions par manque de concordance. Toutefois, nous pouvons retenir que d'après certains auteurs, le mouton a une origine polyphylétique ; il proviendrait de 2 grands groupes sauvages à savoir : le groupe moufloniforme et le groupe argaliforme.

a) Groupe moufloniforme

Ce groupe comprend 2 espèces importantes qui sont : *Ovis moussimon* (mouflon) et *Ovis vignei arcar* (arcas).

Le mouflon vit dans les îles de la mer méditerranée, au Sud de l'Asie Mineure. Il semble avoir donné naissance aux moutons à queue courte au Nord de l'Europe.

L'arcas se rencontre dans l'Asie Centrale tel qu'en Iran. On croit qu'il est à l'origine des moutons à queue longue tel que le Mérinos et semblerait aussi avoir donné naissance aux moutons à queue avec dépôt de graisse, tels que le Karakul.

b) Groupe argaliforme

Ce groupe comprend 3 espèces importantes à savoir : Ovis ammon appelé aussi Ovis argali pallas (argal), Ovis palei et Ovis nivicola.

Ovis ammon vit dans les montagnes d'Asie par groupe de 30 à 50 bêtes. On pense que l'argal est à l'origine des moutons à cuisse grasse.

1.4.2.4. La Chèvre

La chèvre domestique (*Capra hircus*) est considérée par certains auteurs comme ayant une origine polyphylétique, tandis que d'autres auteurs pensent que la chèvre a une origine monophylétique.

1.4.2.5. Le Bovin

D'après certains auteurs, *Bos acutifrons* est l'ancêtre de l'aurochs (*Bos primigenius*) qui habitait les forêts de l'Asie de l'Ouest, du Nord de l'Afrique et d'Europe. Le *Bos acutifrons* serait aussi l'ancêtre de l'urus (*Bos namadicus*) trouvé en Inde et dans d'autres parties de l'Asie. Tous ces animaux sont déjà éteints ou restés à l'état fossile.

L'aurochs a survécu jusqu'à la période historique ; et l'histoire nous indique que le dernier Aurochs a été tué dans la forêt de la Pologne vers le 17^{ème} s.

L'urus (*Bos namadicus*) est considéré comme l'ancêtre de *Bos brachyceros* (ou longifrons et de *Bos taurus* et *Bos indicus*).

D'autres auteurs pensent plutôt que c'est le *Bos primigenius* (Aurochs) qui est l'ancêtre de *Bos taurus* et de *Bos indicus*. L'origine des sous genres Bibos est peu connue. Ces animaux ressemblent au zébu par la présence de bosse, mais la structure des os de leurs crânes est différente.

Le Bibos semble t-il se croiser bien avec le zébu et que seuls les descendants femelles sont fertiles. Quand au *Bos indicus*, on distingue 2 groupes à savoir :

- Ceux qui possèdent une bosse thoracique à structure musculo-adipeuse : ce sont les zébus et,
- Ceux qui possèdent une bosse cervico-thoracique ou cervicale à structure musculaire ; ce sont les Sanga en Afrique.

Quant aux Sanga, ils présentent une bosse soit cervico-thoracique ou cervicale selon le degré de sang de *Bos taurus* par rapport au *Bos zébu*.

1.4.2.6. Le Buffle

Les buffles sont souvent partagés entre 2 grands groupes à savoir : le buffle Asiatique et le buffle Africain. Chacun de ces groupes a plusieurs espèces. La forme domestique est du groupe Asiatique, c'est le *Bubalus bubalis* ; son ancêtre pourrait être le *Bubalus palacindicus*. Le buffle Africain ne se trouve que sous forme sauvage et il est très différent de *Bubalus Asiatique* ; c'est pourquoi certains auteurs les classent dans le genre *Syncerus*.

CHAPITRE 2 : DOMESTICATION DES ESPECES ANIMALES

2.1. ETAPES DE DOMESTICATION

Dans la domestication, il y a à peu près 3 étapes à savoir : la captivité, l'approvisionnement et la domestication proprement dite. Ainsi, il semble que les Moutons, les Chèvres, les Porcs et les différentes espèces de volaille ont parcouru les 3 étapes. Le chien par contre s'est lui-même rapproché de l'homme pour consommer les ordures de la chasse ; puis voyant une certaine utilité des chiens pour la capture des gibiers à la chasse et pour le signalement de danger, l'homme a alors rapproché le chien près de lui.

2.2. LES CENTRES DE DOMESTICATION

Il y a en général 4 grands centres de domestication à savoir : le centre Asiatique, le centre Méditerranéen, le centre Européen et le centre Américain

2.2.1. Le centre Asiatique

Ce centre est le plus grand des centres de domestication. Il est situé au Sud-Est et au Sud-Ouest Asiatique. Les animaux ci-après ont été domestiqués dans ce centre : la vache, le mouton, le buffle, le banteng, le porc, la poule, le cheval, ...

2.2.2. Le centre Méditerranéen

Centre comprend : l'Afrique du Nord et le Sud de l'Europe. Dans ce centre, on a domestiqué le chien, la vache, le porc, le cheval, l'oie et la pintade.

2.2.3. Le centre Européen

Dans ce centre, on a domestiqué le cheval, le canard, le lapin, le renne, ...

2.2.4. Le centre Américain

On a domestiqué quelques animaux cités plus haut (sauf la vache) tel que le canard.

2.3. MODIFICATIONS DES ANIMAUX DUE A LA DOMESTICATION

Suite à la domestication et sous l'influence du milieu artificiel amélioré (l'alimentation, entretien et l'exploitation) créé par l'homme, les animaux domestiques ont subis des modifications morphologiques et physiologiques profondes.

2.3.1. Modifications Morphologiques

2.3.1.1. Dimension et poids corporel

La domestication a conduit parfois à la réduction de dimension et de poids corporel des animaux pour les adapter aux exigences économiques.

Chez le bovin par exemple, le *Bos primigenius*, ancêtre des bovins avait une hauteur au garrot de 175 cm à 200 cm pour le mâle et de 150 à 170 cm pour la femelle ; alors que les bovins domestiques actuels ont une hauteur au garrot de 145 à 150 cm pour le mâle et 95 à 100 cm pour la femelle.

Le Yak sauvage avait une longueur du corps de 2 m avec une hauteur aussi au garrot de 2 m ; alors que le Yak domestique actuel a une longueur du corps de 150-170 cm.

Chez le chien, la plupart des races qui ont plus de contact avec l'homme (chien de dames) ont des dimensions beaucoup plus petites que les autres chiens.

Certaines races de poules spécialisées pour la ponte ; telle que « Leghorn » sont beaucoup plus légères que les races de poules à viande telle que la « Cornish ».

2.3.1.2. Conformation corporelle

Suite à la spécialisation de la production (lait, viande, travail, mixte), les animaux domestiques ont pris une conformation corporelle caractéristique de la spécialisation. Par exemple, les vaches laitières ont acquis une conformation du corps trapézoïdale ; les bovins à viande ont une conformation rectangulaire ; alors que les bovins mixtes ont une conformation carrée. Toutefois, il est à préciser que l'ossature des animaux domestiques est plus fine et moins solide que des animaux sauvages, mais leur musculature est plus développée.

2.3.1.3. Couleur de la robe

Les animaux sauvages de même espèces semblent avoir une robe de couleur semblable ; alors que chez les animaux domestiques, ce caractère est très variable.

Exemple : les chiens ont des couleurs variables, alors que les loups présentent une couleur homogène.

2.3.1.4. La peau et les productions pileuses

Les animaux domestiques ont une peau beaucoup fine et les poils beaucoup plus courts ; bien que certaines espèces domestiques puissent se spécialiser pour la production de la laine.

Les animaux domestiques les plus spécialisés ont des cornes plus courtes et plus fines.

Exemple : Bovin *santa gertrudis* spécialisé en viande, comparé au Bovin *Ankole* non spécialisé. Certaines races de vache ont même perdu des cornes.

2.3.2. Modifications physiologiques

Les modifications physiologiques les plus importantes dues à la domestication sont :

- La capacité de l'assimilation de nourriture ;
- La capacité productive ;
- La capacité reproductive ;
- La prolificité et le système nerveux.

2.3.2.1. Capacité d'assimilation de nourriture

Les animaux domestiques ont une bonne capacité d'assimilation et de transformation de nourriture quand cette nourriture est riche. Ainsi, les animaux domestiques valorisent mieux la nourriture que les animaux sauvages ; ils présentent un indice de consommation plus faible, c'est-à-dire, ils consomment moins de kg de nourriture pour produire 1 kg.

2.3.2.2. La capacité productive

La quantité absolue de viande, de lait, des œufs, ... produite par les animaux domestiques est plus élevée que celle produite par les animaux sauvages. Ceci est dû à l'amélioration des conditions du milieu et à la sélection.

2.3.2.3. Capacité reproductive

Le cycle sexuel chez le mâle et la femelle a perdu le caractère saisonnier. La plupart des animaux domestiques se reproduisent toute l'année.

2.3.2.4. La Proliféricité

Certains animaux domestiques sont devenus plus prolifiques que les espèces d'animaux sauvages correspondants. Par exemple : le porc sauvage donne 4 à 7 petits par an ; alors que le porc domestique peut donner 10 à 16 petits 2 fois par an, soit 20 à 32 petits par an. Le bovin donne 1 petit par an, alors que le bovin sauvage donne 1 petit tous les 2 à 3 ans.

2.3.2.5. Le Système Nerveux

L'instinct maternel et celui de défense ont fort diminué chez les animaux domestiques comparés aux animaux sauvages.

2.3.2.6. La Rusticité

Les animaux domestiques ont une résistance aux maladies et aux milieux défavorables beaucoup plus faible que les animaux sauvages. Plus l'espèce animale est améliorée, moins elle résiste aux milieux malsains.

CHAPITRE III : RACE ET ACCLIMATATION DES RACES

3.1. NOTION DE RACE

Dans une espèce d'animaux domestique peuvent apparaître des groupes d'individus qui, tout en maintenant les caractères généraux de cette espèce, présentent certains caractères propres qui se transmettent génétiquement des générations en générations. Ces groupes d'animaux ayant ainsi des caractères communs différents des autres animaux de même espèce, sont considérés comme étant des groupes d'animaux de même race. Cette notion de race ne s'applique qu'aux animaux domestiques.

Certains auteurs définissent la race comme étant un groupe d'animaux domestiques de même espèce ayant une origine commune et certains caractères héréditaires semblables formés par l'homme dans les mêmes conditions du milieu naturel ou artificiel pour certains buts déterminés. La race est donc une unité de reproduction fermée, car pour qu'une race reste pure du point de vue génétique, elle doit se reproduire avec les animaux de la même race.

3.2. CARACTERES DE RACE

Les races se différencient entre elles par certains caractères appelés caractères de race. Ces caractères sont morphologiques ou physiologiques.

3.2.1. Caractères Morphologiques

Ces caractères comprennent, le développement du corps, la conformation du corps, les caractéristiques de la peau et les productions pileuses.

3.2.1.1. Développement du corps

Le développement du corps peut être exprimée par la hauteur au garrot, la longueur du corps, la profondeur de la poitrine, le tour de la poitrine, la largeur du bassin, le poids corporel, ...

Chaque race d'animaux domestiques à l'âge adulte a des dimensions citées ci-haut caractéristiques de la race.

3.2.1.2. Conformation

On examine le format corporel tout entier, la forme et les dimensions de différentes régions corporelles.

Pour les bovins, on examine la présence ou l'absence de bosses ; le format corporel trapézoïdal traduit la vache laitière ; le format corporel rectangulaire est caractéristique des bovins à viande ; le type mixte a le format corporel carré.

Pour le porc, on examine surtout la grandeur des oreilles et le format du front, tandis que chez la poule, on examine la forme et la dimension de la crête.

3.2.1.3. La peau

On regarde l'épaisseur, la finesse, la densité et l'élasticité de la peau ; ces caractères varient très souvent entre les races.

3.2.1.4. La robe

Chez les races bien fixées, la robe constitue un caractère de pureté de race.

Exemple : le bovin Charolais a une couleur blanche, le bovin Limousin a la couleur rouge, le porc Yorkshire est toujours blanc ; le porc Poland China est toujours noir avec 6 points blanc ; le bovin afrikander est rouge.

3.2.1.5. Le plumage

Pour les espèces de volaille, la dimension, la forme, la répartition et la couleur de plumage constituent un caractère de race.

Exemple : la race Leghorn blanche a toujours un plumage blanc.

3.2.1.6. Les cornes

Chez les animaux, les cornes peuvent constituer un caractère de race important. Les cornes peuvent être absentes ou présentes.

- La forme des cornes, exemple : l'Afrikander a des cornes latérales, le N'dama, le Kankreji ont des cornes en lyre ; le Kuri a les cornes bulbeuse (c'est la seule race qui a cette forme des cornes).

La dimension des cornes peut être appréciée en terme de longueur. Ainsi on a les bovins à cornes longues (exemple : Ankole) et les bovins à cornes courtes (exemple : Brahman)

3.2.2. Caractères Physiologiques

Ce sont surtout des caractères économiques de grande importance qui nous intéressent. Ces caractères économiques de grande importance sont : la production, la précocité, la prolificité, la résistance aux maladies, le pouvoir de transformation de nourriture.

3.2.2.1. La production

Les races peuvent être différenciées en termes de leur production. C'est ainsi qu'il existe :

- Des races à viande telles que : l'Afrikander, le Mateba, Limousin, le Brahman, Santa gertrudis pour les bovins et Cornish, Plymouth rock barré pour les poules.
- Des races à lait, telles que : Sahiwal, Red sindhi pour les bovins des pays tropicaux ; Simmental, Brun Suisse, Jersey, Guernesey pour les bovins laitiers tempérés. Comme il existe aussi des races à œufs telle que : Leghorn blanche.

3.2.2.2. *La résistance au milieu*

Certaines races sont plus résistantes aux conditions du milieu. Exemple : la race N'dama est résistante à la trypanosomiase, le Dahomey est légèrement résistante à la trypanosomiase, le zébu est résistant au milieu chaud et sec.

3.2.2.3. *La précocité*

C'est la faculté que possèdent certains animaux et certaines races d'atteindre la maturité corporelle et sexuelle à un âge plus bas que les autres.

3.2.2.4. *Le pouvoir de transformation de nourriture*

Les races améliorées ont généralement un pouvoir d'utilisation de nourriture élevé.

3.2.2.5. *La prolificité*

Les espèces comme les bovins, les ovins, les caprins et les espèces chevalines sont des espèces unipares (monotociques), c'est-à-dire qu'elles donnent généralement un petit par mise bas. Mais il existe particulièrement chez les caprins des races pluripares (polytociques).

Les espèces comme le porc et le lapin sont des espèces pluri pares. Parmi ces espèces pluri pares, le porc de race Land race donne 10-12 petits par mise bas, alors que la race de porc de Large White peut arriver à 16 petits par mise bas.

3.3. FACTEURS DE FORMATION DES RACES

La formation des races est un processus très complexe mais qui a toujours été sous le contrôle de l'homme. L'apparition des races a été déterminée par deux grands facteurs à savoir :

- Les facteurs historiques naturels et
- Les facteurs socio-historiques artificiels.

3.3.1. Les facteurs historiques naturels

Les facteurs historiques naturels ont agi dans les siècles passés très lointains. Ces facteurs ont été aidés par la sélection naturelle. Parmi ces facteurs, nous pouvons citer :

- L'origine polyphylétique,
- L'existence de plusieurs centres de domestication ;
- Les migrations de différents peuples.

3.3.1.1. *Origine polyphylétique des animaux*

Certaines espèces d'animaux domestiques proviennent de plusieurs ancêtres différents. Exemple : le canard provient de deux ancêtres différents : l'ancêtre Anas et l'ancêtre Cairina. Chacun de ces ancêtres a donné des races de canards différentes.

3.3.1.2. *L'existence de plusieurs centres de domestication*

L'existence de plusieurs centres de domestication pour une espèce animale a créé des variabilités aux seins d'une même espèce donnée suite à un élevage simultané dans différents milieux écologiques.

3.3.1.3. *Les migrations de différents peuples*

Les peuples primitifs en migrant d'un milieu à un autre ont amené avec eux leurs animaux domestiques qui, suite au changement du milieu, ont acquis des formes plus ou moins différentes. Exemple : le peuple Hamite a migré de l'Asie Sud Ouest vers l'Ouest en direction de la mer méditerranée et l'Afrique jusqu'en Egypte.

A partir de l'Egypte, une partie de la caravane est partie vers l'Ouest en longeant la mer méditerranée jusqu'à ce qui est aujourd'hui le Maroc. L'autre partie a longé vers le Sud jusqu'en Ethiopie.

A partir de la région du Maroc, une partie de la caravane est remontée vers le Nord jusqu'au Portugal. Au Portugal, ils ont amené avec eux des bovins Longhorn. Ce bovin longhorn a donné au Portugal des races de bovin telles que Ranza de Barroza et Ranza Minhota. Toujours à partir du Maroc, l'autre groupe des migrants a longé la côte de l'Afrique de l'Ouest avec son bovin longhorn.

En Afrique de l'Ouest, les mouvements ont été arrêtés par la forêt équatoriale qui a servi de barrière à cause de la mouche tsé-tsé. Cependant, une race de bovin dérivée de bovin longhorn a pu survivre et a franchi la forêt équatoriale grâce à sa résistance à la trypanosomiase ; cette race c'est le N'dama.

Un autre exemple est celui des peuples Sémites qui en migrant de l'Asie du Sud Ouest (Asie Mineure) vers l'Afrique et l'Europe, ont mené avec eux une race de bovin Shorthorn. Ce peuple Sémite a suivi la même migration que le peuple Hamite. C'est ainsi qu'en Afrique de l'Ouest, le bovin sémitique a donné naissance à un groupe de bovins qu'on appelle petit taurin à courtes cornes de l'Afrique de l'Ouest tel que la race Dahomey.

En Europe, le bovin sémitique a donné naissance à plusieurs races telles que : Jersey, Guernesey Kerry au Royaume Unis.

3.3.2. **Les facteurs socio-historiques artificiels**

Ces facteurs ont commencé à agir plus tard quand l'homme a eu beaucoup de connaissances sur l'élevage des animaux domestiques. Parmi les facteurs on peut citer : l'alimentation, l'hygiène, la reproduction, la sélection des animaux, le croisement des races, ...

Exemple :

- Le bovin de race Alur ou Nioka provient du croisement entre Lugware et Bahima à la station de Nioka ;
- Le Mateba = Afrikander x N'dama x race Européenne x Angolan, etc.
- Le Brahman = Kankreji x Ongole x Gir x Krishna valley x Hariana x Bagnari.

3.4. VARIABILITE ET SOUS DIVISION DES RACES

Les races des animaux domestiques subissent l'influence du milieu naturel et artificiel qui, très souvent modifie les caractères morphologiques et physiologiques des animaux. Ainsi, l'homogénéité et la constance des races peut ou ne plus exister au sein de la race élevée dans les milieux différents. Les variabilités à caractères quantitatifs (dimension corporelle, production de lait, prolificité, ...) et qualitatif (couleur de la robe, forme des cornes, ...) peuvent survenir au sein d'une même race.

Les variabilités des races peuvent être collectives régionales ou individuelles.

3.4.1. Variabilité collective

Ce sont des variations ou modification des caractères de la race toute entière tout au long du temps.

3.4.2. Variabilités régionales

Ce sont des modifications qui n'affectent la race que dans une région géographique donnée. C'est dû à l'influence du milieu de la région. Exemple : la race Hollandaise ou Friesland est représentée par plusieurs variétés telles que la Holstein aux USA.

3.4.3. Variabilité individuelle

Elle représente la variation statistique des individus de même race autour de la moyenne des caractères de la race.

3.4.4. Sous division des races

Les variabilités à l'intérieur même des races ont déterminé l'apparition des sous divisions des races. Ces sous divisions sont : les variétés, les lignées et les familles.

3.4.4.1. Les variétés = souches

Les variétés sont les groupes d'individus de même race ayant des caractères communs de la race mais présentant aussi des caractères particuliers, différents des autres individus de même race.

Les variations dans les conditions régionales ont créé des variétés régionales bien que toutes les variétés ne sont pas régionales.

Exemple des variétés :

- Le land race Américain
- Le land race Belge
- Le land race Français
- Le bovin Friesland de l'Europe
- Le bovin Holstein d'Amérique

- Le bovin Brahmane des Jamaïquains
- Le bovin Brahmane Américain
- Le bovin N'dama (JVL (RDC)
- Le bovin N'dama du Nigeria.

3.4.4.2. Les lignées

Les lignées comprennent l'ensemble de descendants d'un même géniteur mâle. Elle est créée par l'action de l'homme. La lignée peut être consanguine ou non. Le principe est que les fondateurs des lignées doivent être des animaux à caractères zootechnique excellent.

3.4.4.3. La famille

Ce sont des individus très apparentés formés souvent des fils, des filles, de neveux, des nièces d'un même géniteur.

3.5. CLASSIFICATION DES RACES

Il y a plusieurs caractères qui différencient les races ; les critères de classification des races sont aussi nombreux mais les plus importants utilisés sont : les critères anatomiques, le critère de la robe, les critères des animaux, le critère économique, les critères zootechniques, les critères de précocité, le critère de lieu de formation, ...

3.5.1. Critères anatomiques

Ces critères valables selon l'espèce animale. Les plus importants sont :

- Pour l'espèce ovine, on considère la longueur et la forme de la queue, ainsi on peut avoir la race de mouton à queue courte, et celle à queue longue, la race de mouton à queue élargie et celle à queue grasse.
- Pour les porcins, on considère la longueur et la forme des oreilles. Ainsi, on peut avoir la race à oreilles courtes et droites (Large White), la race à oreilles longues et pendantes (Large Black).
- Pour l'espèce bovine, on peut considérer la bosse ; ainsi on peut avoir les bovins à bosse : c'est le Bos zébu, les bovins sans bosse : le Bos taurus.

3.5.2. Critères de la robe

La robe peut constituer un caractère de classification chez les bovins et les porcins.

- Chez les bovins :
 - race pie-noire (Friesland)
 - race noire (Aberden-Angus)
 - race blanche (Charolais, Bhagnari)
 - race rouge (Afrikander)
- Chez les porcins :

- race blanche (Large White, Land race)
- race noire (Large black)

3.5.3. Critères de l'origine des animaux

Cette classification est basée sur les ancêtres sauvages.

3.5.4. Critères économiques

Ces critères sont représentés par les caractères de la production des animaux. Ainsi, on peut avoir :

- Pour les bovins :
 - race à lait (Friesland, Jersey, Guernesey, Sahiwal) ;
 - race à viande (Hereford, Limousin, Afrikander, N'dama, Santa Gertrudis, Beef master, Brahman, ...);
 - race mixte (Brun Suisse, Simmental)
- Pour la volaille
 - race à viande (Cornish, Plymouth rock barré)
 - race à œufs (Leghorn, ...)
 - race mixte (Rhod Island Red, Sussex, ...)
- Pour les ovins
 - race à viande (races européennes)
 - race à laits (idem)
 - race à laine (Merinos)
 - race mixte
- Pour les chevaux
 - race à traction lourde
 - race à traction légère
 - race intermédiaire
 - race de course

3.5.5. critères zootechniques

C'est un critère de pedigree d'amélioration. Ainsi on peut avoir :

- les races primitives ou naturelles
- les races perfectionnées
- les races intermédiaires ou de transition.

3.5.5.1. Les races primitives ou naturelles

Ce sont des races créées par l'influence des facteurs naturelles avec très peu d'influence de l'homme. Ces races sont bien adaptées aux conditions du milieu. Donc, sont très résistantes aux conditions défavorable du milieu ; malheureusement cette adaptation est suivie par une production relativement faible. Ainsi, les races primitives sont souvent de petite taille et

de faible production. Exemple : la race de bovin N'dame est une race primitive qui a pu se conserver avec le temps grâce à sa résistance à la trypanosomiase.

3.5.5.2. Les races perfectionnées

Ce sont des races créées par l'homme suite à la sélection artificielle, à l'amélioration des conditions du milieu, d'entretien et des méthodes d'élevage. Ces races ont souvent de grandes productions avec le rendement élevé. Cependant, ces races ayant été créées en milieu artificielle, elles ont perdu leur rusticité.

3.5.5.3. Les races intermédiaires ou de transition

Ce sont des races en cours d'amélioration. Elles sont meilleurs que les races primitives mais, n'ont pas encore atteint le niveau des races perfectionnées.

3.5.6. Critères du lieu de formation

Il y a deux grands groupes des races selon le lieu de formation à savoir : les races autochtones ou indigènes et les races importées ou exotiques.

3.6. NOMENCLATURE DES RACES

Les critères suivis pour donner les noms des races sont très variables :

- Pays ou territoires où ces races ont été formées ; exemple : bovin Brun Suisse ou Brune des Alpes, bovin Nioka, bovin Kisanu, bovin Mateba ;
- Rivière : exemple : bovin Simmental ;
- Caractères morphologiques : exemple : bovin Shorthorn, porc grand blanc, porc grand noire ;
- Peuple : exemple :
 - Bovin Foulani (c'est le peuple Foulani d'Afrique du Nord)
 - Bovin Bahima
 - Bovin Watushi
 - Bovin Bashi
 - Bovin Masaï
 - Bovin Alur.

3.7. ACCLIMATATION DES RACES

L'adaptation est un phénomène général de compromis entre l'animal et le milieu. Ce compromis est le fruit de l'évolution et de la sélection naturelle ou d'une sélection dirigée par l'homme.

L'adaptation est un processus phylogénétique, c'est-à-dire que l'animal adapté à un milieu transmet ses caractères d'adaptation à sa descendance. L'adaptation englobe toutes les conditions du milieu, c'est-à-dire le climat, les maladies, la nutrition, le mode d'élevage, ...

L'acclimatation par contre, est un processus d'adaptation aux conditions climatiques seulement. C'est aussi un processus phylogénétique qui, généralement doit se faire sans diminution de la capacité productive de la race en question.

La capacité d'acclimatation aux conditions du milieu varie d'une race à l'autre. Les races qui s'acclimatent plus facilement ont un grand pouvoir d'acclimatation. Celles qui s'acclimatent difficilement ont un faible pouvoir d'acclimatation et ces dernières subissent des processus de dégénérescence.

Une race dégénérée est une race qui a perdu la plupart de ses caractères de race. Cependant, il faut noter que la dégénérescence d'une race peut provenir de plusieurs origine à savoir :

- origine climatique (manque d'acclimatation) ;
- origine alimentaire (animaux mal nourris) ;
- origine hygiénique (mauvaises conditions d'hygiène) ;
- origine génétique (mauvaise sélection, consanguinité, ...).

L'importation des animaux domestiques nous oblige donc de connaître le pouvoir d'acclimatation des races avant de les introduire dans un milieu. Les races cosmopolites ou universelles s'acclimatent très facilement.

Exemple :

- pour les porcins : la race Land race, la race Large White, le Duroc ;
- pour la volaille : RIR, Leghorn blanche, Sussex.

Les races difficilement acclimatable sont aussi nombreuses ; exemple pour les bovins : Hereford, Shorthorn.

La durée de l'acclimatation est déterminée par la différence entre les conditions de la nouvelle région et celles de la région d'origine.

Certaines manifestations biologiques se produisent chez un animal introduit dans un nouveau milieu. Ces manifestations qui varient selon le milieu et la race s'appellent crise d'acclimatation. Pendant la période de crise d'acclimatation, certaines fonctions telles que les fonctions sexuelles, de nutrition sont perturbées.

D'une façon générale, les jeunes s'acclimatent plus facilement que les animaux adultes.

Les races mixtes s'acclimatent plus facilement que les races perfectionnées à une fin. Les animaux croisés dans le milieu chaud s'acclimatent plus facilement en milieu froid que les animaux croisés en milieu froid et transportés ou transférés en milieu chaud.

Les animaux croisés en milieu de montagnes s'acclimatent plus facilement en zones de basses altitudes que les animaux croisés en basse altitudes et transférés en milieu de haute altitude.

CHAPITRE IV : L'ANIMAL ET SON MILIEU

4.1. L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE DE L'ANIMAL

Parmi les conditions du milieu qui influencent l'animal, nous pouvons citer : le climat, l'alimentation, l'hygiène, le sol et la végétation et le facteur humain.

Parmi ces facteurs, le climat paraît le facteur le plus difficile à contrôler. Le climat quant à lui comprend les éléments ci-après : la température, l'humidité, les radiations, les pluies, le mouvement de l'air, etc.

4.1.1. La température

4.1.1.1. Importance

La température de l'air est probablement le facteur climatique le plus important de tous les facteurs environnant l'animal. La température du milieu qui entoure l'animal affecte le confort et le fonctionnement physiologique de ce dernier. La chaleur passe normalement par conduction à partir de la peau chaude de l'animal (+ 33° c) vers le milieu plus froid entourant l'animal. Mais si l'animal se trouve dans le milieu où la température est plus élevée que celle correspondant à l'intervalle de température de confort (13-18° c), la perte de chaleur diminue. Si la température du milieu dépasse la température de la peau, la chaleur va se déplacer en sens inverse c'est-à-dire vers l'animal ; ce qui est très dangereux pour l'animal. Si la température de l'air est extrêmement basse (inférieure à -5° c) la chaleur va se déplacer de l'animal vers l'extérieur de façon accélérée au point de réduire le confort et la productivité de l'animal.

En dehors de la chaleur venant du soleil, l'animal peut être réchauffé ou refroidi par les objets qui l'entourent. En effet, les radiations solaires réchauffent le sol nu et les surfaces des sols couvertes d'herbes vertes, telle que celles des régions humides se réchauffent lentement d'où ne présentent presque pas de danger de réchauffement des animaux.

4.1.1.2. Mesure de la température

La température est exprimée soit en degré Fahrenheit ou en degré Celsius. Dans la pratique, pour caractériser un milieu d'élevage, on prélève les températures maximales et minimales ; leur moyenne donne la température moyenne journalière. La température maximale, la température moyenne et la température minimale caractérisent l'environnement animal du point de vue température. Ces données accumulées au cours de plusieurs années, leur moyenne annuelle caractérise alors la température moyenne selon les saisons.

4.1.2. L'humidité atmosphérique

4.1.2.1. Importance

a) Sur la physiologie de l'animal

Les vapeurs d'eau de l'air ou humidité de l'air, empêchent le taux de perte de chaleur chez les animaux. En effet, si l'humidité atmosphérique est faible comme cela se passe dans les régions chaudes et sèches, l'évaporation au niveau du corps de l'animal se produit très rapidement pouvant même conduire à la déshydratation et à l'irritation de la peau. Par contre, si l'humidité est grande, comme cela se passe dans les régions chaudes et humides, l'évaporation est lente conduisant l'animal vers l'excès de chaleur.

b) Sur les maladies

L'humidité excessive favorise

- le développement des bactéries et des champignons ;
- la pullulation des insectes ;
- la propagation des vers intestinaux.

c) Sur la nourriture

L'humidité élevée favorise une croissance rapide des graminées avec une accumulation excessive de la lignine et une diminution de l'azote et d'hydrate de carbone.

d) Sur les locaux d'élevage

L'humidité élevée affecte le confort de l'animal maintenu dans un local, car l'animal en évaporant l'eau ou en déposant les excréments, participe à l'augmentation de l'humidité de l'air ; d'où la nécessité de construire les locaux d'élevage bien aérés.

4.1.2.2. Signification physique

L'humidité atmosphérique peut être exprimée en termes de l'humidité absolue ou encore en termes d'humidité relative.

L'humidité absolue exprime la quantité de vapeur d'eau présente dans une unité de volume d'air.

Alors que l'humidité relative c'est la quantité de vapeur d'eau exprimée en % réellement contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité de vapeur d'eau que cette atmosphère est capable de contenir à saturation à une température et pression données.

L'humidité relative est une fonction directe de l'humidité absolue. Ceci peut s'expliquer par une simple loi de physique : plus l'air est chaud, plus il se dilate et plus il laisse

l'espace à la vapeur d'eau ; ce qui résulte à une augmentation de la quantité totale de vapeur d'eau et de sa pression partielle (humidité absolue).

Mais puisqu' à la température donnée l'air ne peut pas contenir une quantité indéfinie de vapeur d'eau, la quantité maximum de vapeur d'eau que l'air peut contenir à cette température constitue ce qu'on appelle le point de saturation ou le point de rosé.

De la même manière, si l'air contenant x gramme de vapeur d'eau par m^3 est refroidi continuellement, on arrive à une température (T_s) telle qu'en dessous de cette température, la condensation commence. Cette température (T_s) correspond à la température de saturation ou température de rosé. La différence entre l'humidité absolue et l'humidité au point de saturation est appelée le déficit de saturation.

4.1.2.3. Mesure de l'humidité

L'humidité absolue peut être exprimée en unités suivantes :

- en pression partielle de vapeur d'eau (millibar ou mm de Hg) ;
- en masse de vapeur d'eau par unité de volume (g/m^3).

L'humidité relative est toujours exprimée en %.

4.1.3. Energie rayonnante

4.1.3.1. Rôle de l'atmosphère

L'atmosphère est généralement divisée en 3 parties qui sont : la troposphère, la stratosphère et l'ionosphère.

La troposphère est la région de basse atmosphère où règnent les turbulences et les courants de convection. Cette région est d'environ 15 Km de hauteur à l'équateur, 10 Km à 60° de latitude Nord et Sud et 6 Km dans les régions polaires. C'est le siège de la plupart des phénomènes de temps.

La stratosphère est située à environ 80 Km de la terre. Sa température va de -75° à -45°. Cette partie de l'atmosphère contient de l'azote. La couche d'ozone joue un rôle important dans l'absorption des rayonnements ultra-violet et infrarouges venant du soleil.

L'ionosphère est une couche formée par l'air ionisé. Elle se trouve à une altitude d'environ 50-275 Km du sol. Cette zone sert de zone tampon pour la terre, car elle reçoit et arrête la plupart des radiations dangereuses pour la vie.

4.1.3.2. Nature des radiations

La terre reçoit de l'espace les rayonnements de toute sorte.

a) Les rayonnements venant du soleil

Les rayonnements venant du soleil sont surtout :

- les ultra-violets (100-300 nm)
- les lumières visibles (violet, bleu, vert, jaune, orange, rouge, infra-rouge (300-350 nm))

- les infrarouges supérieurs (850-1000 nm)
 - les radiations caloriques (1000-3000 nm)
- b) Les rayonnements cosmiques

Ces rayonnements sont surtout formés de protons et proviennent des astres qui sont au delà de l'espace du système solaire. Ces rayonnements cosmiques sont surtout abondants aux pôles, moins fréquents dans les régions tempérées et faibles à l'Equateur.

- c) Les rayonnements par les murs et le sol

Ces rayons sont surtout des infrarouges supérieurs.

4.1.3.3. *Les effets des radiations*

- a) Les ultra-violets

Une grande partie des rayons ultra-violets est absorbé par la couche d'ozone de la stratosphère. Environ 1 % seulement du spectre totale atteint la terre.

Les rayons ultra-violets ont un grand pouvoir de pénétration dans le corps animal ; ils peuvent provoquer des brûlures appelées coup de soleil. De même, les rayons ultra-violets peuvent entrer dans le protoplasme et causer l'ionisation conduisant à des réactions chimiques telles que la dénaturation des protéines. Si les rayons ultra-violets arrivent dans la circulation sanguine, ils peuvent produire beaucoup d'accidents chez l'animal tel que la perte de connaissance. Toutefois, les formations cutanées, telles que la pigmentation, les poils, les plumes, ... empêchent la pénétration profonde des rayons ultra-violets. C'est ainsi que les animaux dont la peau contient de mélanine, sont généralement protégés contre les ultra-violets, car, la mélanine absorbe presque toutes ces radiations.

Les rayons ultra-violets ont aussi les effets bénéfiques sur les animaux tels que l'effet germicide et la synthèse de la vitamine D dans la peau.

- b) Les rayons cosmiques

Les radiations cosmiques ont un grand pouvoir de pénétration dans l'organisme ; d'où elles sont aussi dangereuses pour la vie. Elles provoquent souvent des effets inattendus tels que les mutations et les aberrations chromosomiques.

- c) Les rayons visibles et les infra-rouges

La peau de l'animal réfléchit une grande partie de radiations visibles, mais absorbe la plupart des infra-rouges supérieurs.

Si l'animal a un pelage blanc, la plupart des radiations visibles seront réfléchis, alors que tous les infrarouges supérieurs seront absorbés. Ces radiations absorbées par l'animal seront transformées en chaleur, ce qui augmente la température de l'animal.

Si l'animal a un pelage sombre, les radiations visibles seront absorbées dans les proportions qui varient suivant la couleur de la robe au point où un pelage noir provoquera une plus grande absorption des radiations visibles. Les infrarouges supérieurs sont complètement absorbés dans le cas de pelage blanc.

Les radiations visibles peuvent aussi être nuisibles à l'animal dans le cas de la photosensibilisation en présence de certaines substances chimiques comme les pigments de certaines plantes. La photosensibilisation est une condition dans laquelle un animal devient hypersensible à la lumière à cause de la présence dans le sang d'une substance photo dynamique.

4.1.4. Les mouvements de l'air

4.1.4.1. Importance en élevage

Suivant la température du milieu, le vent est un facteur important en élevage. Dans un milieu chaud et humide, une bonne circulation de l'air aide la déperdition de chaleur chez l'animal alors que dans les régions chaudes et sèches, le vent accélère la déshydratation des animaux en provoquant une évaporation excessive.

Le vent produit aussi des effets psychologiques chez les animaux quand la vitesse dépasse les conditions confortables de l'animal.

4.1.4.2. Caractéristique des mouvements de l'air

Dans les régions chaudes et sèches, la vitesse de l'air devait se situer à 8 Km à l'heure ou moins au cours de la journée. Mais après le couché du soleil, une vitesse de 8-16 Km à l'heure est souhaitable. Malheureusement dans ces régions, la vitesse de l'air est très élevée produisant ainsi des sérieux problèmes aux animaux non acclimatés.

Dans les régions chaudes et humide, les mouvements de l'air est très faible (5 Km à l'heure). Les constructions des étables, poulaillers et porcheries doivent tenir compte de ces facteurs en prévoyant des ouvertures convenables pour l'aération (voir zootechnie spéciale).

4.1.5. Les pluies

L'influence des pluies sur la vie animale est indirecte, dans le sens que les pluies influencent la croissance des végétaux qui constituent la nourriture des animaux. La tombée saisonnière des pluies est à contrôler car :

- elle détermine la quantité de nourriture disponible par hectare de terre ;
- elle détermine la durée pendant laquelle le fourrage vert sera de bonne qualité ;
- elle détermine le système d'élevage des animaux domestiques à utiliser pour tirer le profit maximum des fourrages verts ;
- elle détermine la méthode de conservation des fourrages à utiliser.

4.1.6. La lumière

La durée de lumière au cours de la journée est appelée photopériode qui est définie comme le temps entre la levée et le couché du soleil. La photopériode varie suivant les latitudes et les saisons à cause des mouvements de la terre autour du soleil.

La durée de la photopériode à l'Equateur varie sensiblement de quelques minutes. Elle augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'Equateur. La photopériode journalière a une influence directe sur la performance des animaux tels que le mouton, la chèvre, la volaille qui ont une reproduction saisonnière suivant la durée de la photopériode.

4.1.7.Pression atmosphérique

Plus on monte en altitude, plus la pression atmosphérique diminue ; cette diminution s'accompagne de la diminution de la pression partielle de l'oxygène qui a un effet néfaste sur les fonctions respiratoires et circulatoires des animaux non acclimatés.

4.2. CLASSIFICATION DES CLIMATS

Beaucoup des classifications ont été proposées, mais la valeur de chacune dépend largement du but pour lequel elle a été proposée. La classification qui détermine le milieu physique pour une meilleure croissance de la plante n'est pas nécessairement applicable en élevage des animaux domestiques.

La classification de Köppen est surtout utilisée pour la croissance végétale, mais traduit tout de même dans une certaine mesure le milieu physique où vit l'animal. Köppen reconnaît 5 types de climats majeurs correspondant à plus ou moins 5 groupes de végétations principales. Cette classification est surtout basée sur la température et les précipitations.

TYPE	SOUS-TYPE	CARACTERISTIQUE
A : Tropical et pluvieux T° > 18° c	f	Forêt tropicale dense, pluvieux toute l'année (Af)
	m	Mousson tropical, pluies excessives de façon saisonnière (Am)
	w	Savane tropicale avec hiver sec (Aw)
B : Sec, évaporation dépassant les précipitations	s : semi aride	h : steppe tropicale chaude (BSh)
		k : steppe de mi altitude froid et semi ride
	w	h : chaud, désert tropical, chaud et aride (BWh) (ex : le Sahara)
		k : froid, désert de l'altitude, froid et aride (BWk)
C : Pluvieux, tempéré et doux : T° du mois le plus froid < 18° c, mais > -30° c	f : pluvieux toute l'année	a : Hiver léger, Eté long et Eté long et chaud (climat subtropical humide, Cfa, comme en Floride)
		b : Hiver léger, Eté tiède et court (climat maritime, Cfb)
	S : Eté sec	a : Hiver léger, Eté chaud (climat méditerranéen interne, ex : Afrique du Sud et du Nord, Csa)
		b : Hiver léger, Eté court et tiède (climat méditerranéen côtier, Csb)
	w : hiver sec	a : Hiver léger, Eté chaud (climat de mousson subtropical) (Cwa)
		b : Hiver léger à été tiède et court (climat tropical de montagne) (CWb)
D : froid avec forêt de neige	w : pluvieux toute l'année	
	w : Hiver sec	
E : Région polaire	ET : Toundra, été très court	
	EF : Neige et glace Perpétuelles	

4.3. LES REGIONS AGRO-PASTORALES D'AFRIQUE TROPICALE

La région d'Afrique tropicale située à environs 30° de part et d'autre de l'Equateur, a été subdivisée par certains auteurs en zones agro-pastorales ci-après :

a) La région d'Afrique de l'Ouest

Cette région comprend :

- La région du Sahel, représentée par la steppe tropicale et comprend les pays ci-après : le Sénégal, la Gambie, le Mali, la Mauritanie, le Burkina Faso, le Niger et le Tchad.
- La région autre que le Sahel qui comprend les pays suivants : le Nigéria, le Togo, le Bénin, la Sierra Léone, le Libéria, la Côte d'Ivoire, le Ghana, ...

b) La région de l'Afrique Centrale

Cette région comprend : la RDC, le Cameroun, la RCA, le Gabon et le Congo Brazza (ce sont des pays qui ont beaucoup de forêt équatoriale).

c) La région de l'Afrique de l'Est

Cette région comprend : le Soudan, l'Ethiopie, le Kenya, l'Ouganda, la Tanzanie, la Somalie, le Rwanda, le Burundi et l'Erythrée.

d) La région de l'Afrique Australe

Qui comprend : la Zambie, l'Angola, le Zimbabwe, la Namibie, le Botswana, la Mozambique, le Malawi et l'Ile de Madagascar.

4.3.1. Etendue des zones écologiques (X 1000 Km²)

Zone écologiques

- Aride : ce sont des zones de désert ;
- Semi-aride : steppe,
- Semi-humide : savane et forêts claires ;
- Humide : forêt dense ;
- Hauts plateaux

Zones Ecologiques	Afrique de l'Ouest	Afrique Centrale	Afrique de l'Est	Afrique Australe	Total (%)
- Aride	3.900	-	3.015	1.322	37,3
- Semi-aride	1.442	74	1.047	1.487	18,1
- Semi-humide	1.187	805	959	1.907	21,4
- Humide	707	3.029	94	307	18,5
- Hauts plateaux	4	61	718	207	4,4

4.3.2. Degré d'infestation de mouche tsé-tsé (X 1000 têtes d'animaux)

Zones Ecologiques	Superficies infestées	%	Bovin	Ovin	Caprins
- Aride	1.038	12,5	31.462	37.063	48.287
- Semi-aride	2.036	50,3	45.454	23.071	33.215
- Semi-humide	3.299	68,2	32.758	14.153	20.266
- Humide	3.741	89,7	8.814	8.177	11.586
- Hauts plateaux	195	10	29.022	21.401	1.193

4.4. REACTION DE L'ANIMAL A LA TEMPERATURE DU MILIEU

4.4.1. La température du corps de l'animal

Les mammifères et les oiseaux sont des animaux homéothermes, ils produisent la chaleur et la perdent ensuite vers le milieu extérieur de telle façon qu'il y a un gardien de température entre la partie centrale du corps et le milieu ambiant.

Mais, puisque certaines parties du corps telles que les oreilles, les membres, la queue, ... sont plus éloignées du centre du corps, la température du corps de l'animal n'est donc pas strictement uniforme. Dans la pratique, on utilise la température rectale comme température représentant la température du centre du corps.

Exemples :

- le porc : 39-40° c
- le mouton : 39-39,9° c
- le bovin : 38,3-39,1° c
- le cheval : 37,8-38,7° c

4.4.2. Zones de neutralité thermique

Cette zone est représentée par une série des températures situées entre deux limites dont la première est la température maximum au dessus de laquelle la chaleur du milieu commence à provoquer une diminution du métabolisme de l'animal ; la deuxième c'est la température minimum en dessous de laquelle la métabolisme de l'animal augmente pour lutter contre le froid.

Les facteurs qui déterminent la zone de neutralité thermique sont nombreux à savoir : l'espèce, l'âge, état physiologique, l'état nutritionnel, le type de ration, la quantité de nourriture consommée, la nature et l'état de phanères (productions pileuses), humidité, le mouvement de l'air, ...

De façon générale, on a des zones de neutralité thermique ci-après :

- chèvre : 14-25° c
- lapin : 27-28° c
- porc : 18-21° c
- poule adulte : 16-21° c
- mouton : 13-14° c
- bovin : 13-18° c
- pigeon : 24-25° c

4.4.3. Limite de la thermorégulation

De façon générale, dans le spectre de thermogénèse, il y a 3 zones fondamentales à savoir :

- l'enthermie, c'est-à-dire la zone de température où l'animal est encore capable de garder la température du corps constante ;
- l'hypothermie, qui est la zone où la température de l'animal est forcée de descendre en dessous de la température normale du corps ;
- l'hyperthermie, qui est la zone où la température de l'animal est forcée de monter au dessus de la température normale du corps.

L'enthermie se trouve entre la thermogénèse de métabolisme de base et de métabolisme de sommet. Le métabolisme maximum que l'animal met en jeu pour lutter contre le froid correspond à la température minimale que l'animal peut résister sans mourir ; c'est la température critique. Cette température varie suivant l'âge, la température du corps et la consommation des nourritures.

Quant à l'hyperthermie, elle tue plus vite que l'hypothermie car la température critique maximum est située juste un peu au dessus de la température normale du corps.

4.4.4.Mécanisme thermorégulation

Pour maintenir la température du corps constante, l'animal met en jeu divers processus physiques ou physiologiques. Toutefois, l'animal qui lutte contre le froid a besoin de beaucoup de nourriture, alors que l'animal qui lutte contre la chaleur a besoin de beaucoup d'eau pour remplacer l'eau perdue par transpiration et évaporation pulmonaire. Dans les conditions de déficit d'eau et de nourriture, la thermorégulation n'est plus possible.

4.4.4.1. La thermogénèse

C'est la production de chaleur par l'animal. Cette chaleur provient de 2 sources à savoir :

- L'origine physique qui est la chaleur de l'environnement et,
- L'origine biologique qui est la chaleur provenant de l'oxydation des nutriments, c'est-à-dire le métabolisme des nutriments.

4.4.4.2. La thermolyse

La thermolyse est le processus de dissipation de chaleur par l'animal. L'animal peut perdre la chaleur de 2 manières à savoir :

- par les moyens physiques ou thermolyse physique ;
- par les moyens biologiques ou thermolyse biologique.

a) Thermolyse physique

L'animal placé dans un milieu donné, échange la chaleur avec son environnement par les processus physiques suivants :

a.1. Conduction : c'est le passage de l'énergie calorifique, d'une particule à une autre ayant une température plus faible. La conduction joue un rôle dans la régulation de la chaleur du corps de l'animal de 2 manières à savoir :

- elle provoque le mouvement de l'énergie calorifique à partir du centre jusqu'à la surface du corps ;
- elle provoque un mouvement de chaleur à partir de la surface du corps de l'animal jusqu'au milieu environnant.

Si la température de l'air est dans les limites de la zone de neutralité thermique, le passage de la chaleur du corps de l'animal vers l'atmosphère est rapide. Mais si la température du milieu est proche de la température du corps de l'animal, l'élimination de la chaleur par conduction est réduite et la température de la peau de l'animal peut commencer à monter.

a.2. Convexion : c'est le transfert de l'énergie calorifique par la circulation d'un fluide ou d'un gaz à une température non uniforme. La convection permet les échanges de chaleur à l'intérieur, comme à l'extérieur du corps de l'animal, à l'intérieur, l'échange se fait par circulation sanguine, à l'extérieur par le mouvement de l'air. L'échange de chaleur par convection est proportionnel à la surface du corps de l'animal, à la différence de température entre l'animal (T_s) et l'air environnant (T_a) et au coefficient de convection (h_c).

a.3. La radiation : c'est le transfert de l'énergie d'un espace à un autre sans pour autant chauffer l'espace où elle passe.

a.4. Evaporation : l'évaporation de l'eau se passe à la surface du corps et dans les voies respiratoires, spécialement le poumon. L'eau de l'évaporation cutanée provient soit de la transpiration, mécanisme dû aux glandes sudoripares et sous le contrôle du système nerveux soit encore de la diffusion d'eau au travers des téguments, c'est la transpiration insensible. L'évaporation dépend de l'humidité des mouvements de l'air environnant.

b) Thermolyse biologique

L'animal qui se trouve dans un milieu où la température est au-delà de la zone de neutralité thermique, met en action des fonctions physiologiques liées à la thermolyse. Ces fonctions physiologiques interviennent surtout quand la thermolyse physique à elle seule n'est plus capable d'assurer la thermorégulation. Ces fonctions sont mises en action de façon progressive suivant la température du milieu et selon l'ordre ci-après :

1. Changement dans la circulation sanguine caractérisée par la vasodilatation suivie hoemodilution (diminution de densité du sang).
2. Transpiration : l'ordre de grandeur décroissant de transpiration est de : cheval, âne, bovin, buffle, caprin, ovin, porc et oiseaux. Les animaux tels que le chien, le chat et les oiseaux ne transpirent pratiquement pas. Chez le porc, la transpiration est localisée au niveau du groin. Chez les bovins, le taux de transpiration varie suivant les races : le bovin zébu transpire plus que le taurin.
3. Vitesse de respiration : chez les animaux domestiques l'augmentation de taux de respiration est l'un des premiers signes visibles de l'animal qui est sous les effets de haute chaleur. L'animal comme le chien utilise très aisément ce mode de dissipation de chaleur ; mais chez les animaux comme le bovin, le porc et l'ovin, ils utilisent ce mode dans les cas extrêmes.

4. Activités des glandes endocrines : à cause des températures élevées du milieu, il y a souvent diminution de la sécrétion des glandes thyroïdes. Or, la glande thyroïde joue le rôle important dans la régulation de l'appétit et du métabolisme basal. Ainsi, l'animal se trouvant dans un milieu à température élevée réagit parfois en réduisant la sécrétion thyroïdienne qui, à son tour va réduire le taux métabolique et le désir de manger.
5. Changement de comportement : quand les 4 premiers mécanismes physiologiques n'arrivent pas à réduire la chaleur du corps, l'animal change de comportement ; il cesse de manger, il cherche de l'ombre, il cherche de l'eau pour se baigner (buffle et porc) ou il cherche la boue pour se couvrir (le porc).

4.4.5. Conséquences du stress thermiques sur la performance des animaux

4.4.5.1. Consommation de nourriture

L'une des premières conséquences de l'effet de la chaleur du milieu sur la production animale, c'est la diminution de la consommation de nourritures. Exemple : chez la volaille, quand la température du milieu est au dessus de 25° C, il y a une diminution de 1,5 % de la consommation de nourriture pour chaque 1° C d'augmentation de température. Les tendances similaires ont été aussi observées sur le porc, les bovines laitières et autres espèces animales et dans ce cas, les aliments grossiers (herbe verte, le foin, la paille, ...) sont de moins en moins consommés quand il fait chaud.

4.4.5.2. Efficience de l'utilisation de nourriture

Les températures élevées diminuent l'efficience de l'utilisation de nourriture, en d'autres termes, les animaux sous les effets de températures élevées ont une production faible par unité de nourriture consommée car, une grande partie de nourriture consommée est utilisée pour dissiper la chaleur du corps de l'animal.

- La poule adulte produit mieux à température variant entre 13-21° C avec une meilleure efficience d'utilisation de nourriture située à des températures de 18° C.
- La poule pondeuse préfère des températures situées entre 13-15° C bien que les températures allant de 10-29° C n'ont pas d'influence sérieuse sur la production des œufs. Mais les températures de moins de 7° C et de plus de 29° C causent la ponte des petits œufs et augmentent le taux de mortalité embryonnaire.
- Les jeunes porcs et les poussins, préfèrent les températures élevées. Chez les porcs, la température varie de 32-24° C dès la naissance jusqu'au poids de 10 Kg ; alors que chez les poussins les températures varient de 35-25° C à partir d'un jour à 4 semaines.

4.4.5.3. La croissance

De façon générale, le taux de croissance diminue quand la température monte à un certain degré chez les bovins, ... Températures élevées, les bovins tropicaux gagnent plus de poids que les bovins tempérés.

4.4.5.4. La production laitière

La température optimum pour les vaches en lactation se situe entre 10-18° c. La production laitière est très sensible aux hautes températures du milieu. Les températures qui influencent la production laitière varient suivant le niveau de production, la taille de l'animal, le stade de lactation et le potentiel génétique. Cependant, de façon générale à la température de 24° c, il y a réduction appréciable de la production laitière.

4.4.5.5. Composition du lait

A la température très élevée, il y a diminution appréciable de la matière grasse du lait ($t^{\circ} > 27^{\circ} \text{ c}$), les matières solides dégraissées du lait et le lactose du lait (aux environs de 35° c).

4.4.5.6. La reproduction

- a) **Le mâle** : les températures élevées au-delà de 29° c affectent la spermatogénèse et la qualité du sperme.
- b) **La femelle** : à température très élevée il y a perturbation de l'ovulation, de l'œstrus, de nidation et survie de l'embryon.

4.5. MILIEU DES HAUTES ALTITUDES

4.5.1. Situation

Les animaux de hautes altitudes se rencontrent surtout dans les Andes et l'Himalaya. Les cordillères des Andes situées en Amérique latine peuvent avoir une altitude de 4.000 à 5.000 mètres entre le Pérou et la Bolivie. Cette région qui est la terre des Incas abrite le plus grand nombre d'animaux de haute altitude dans le monde. Dans l'Himalaya, les pays comme le Tibet et le Népal et autres pays de la région abritent un grand nombre d'animaux domestiques.

4.5.2. Conditions climatiques en haute altitude

- réduction de la pression atmosphérique : réduction de la pression partielle de l'oxygène : l'air est rare ;
- basses températures : la température diminue d'environ 5° c pour chaque 100 m d'élévation en altitude ;
- l'atmosphère est sèche ;
- grande quantité d'ultraviolets et des radiations cosmiques.

4.5.3. Distribution des animaux dans les hautes altitudes

- a) **Les Camélidés** : dans les Andes : les genres :
 - Lama guanacoïde (guanaco) ;
 - Lama parcos (alpaca) : Animaux domestiques plus importants de la région
 - Lama glana (Lama) ;

- Vicugna (Vicuna).

b) Ovins : dans les Andes et l'Himalaya

c) Bovins : Brunes des Alpes dans les Andes, Yack dans l'Himalaya

d) Autres animaux : Cobaye dans les Andes.

CHAPITRE V : ETUDE DE L'EXTERIEUR DE L'ANIMAL

L'extérieur des animaux domestiques, c'est l'ensemble des aspects morphologiques externes de l'animal qui sont en corrélation directe ou indirecte avec le pouvoir productif des animaux. Par l'étude de l'extérieur, on peut donc apprécier la croissance, le développement, la conformation et la constitution corporelle de l'animal.

5.1. LA CROISSANCE DES ANIMAUX

5.1.1. Définition

La croissance est toute modification que subie un être vivant pour son développement corporel.

- au sens restreint, la croissance c'est l'augmentation en poids ou en taille, dans ce cas on mesure le gain de poids journalier, c'est l'aspect quantitatif.
- au sens large, la croissance est synonyme du développement qui est l'ensemble des modifications qui accompagnent le passage à l'état adulte : modifications de la composition chimique, de la conformation, les proportions corporelles : c'est l'aspect qualitatif.

5.1.2. Mécanisme de croissance

a) Croissance embryonnaire

Elle consiste en une division cellulaire, une différenciation et une multiplication cellulaire, aboutissant à la formation des tissus, des organes et des appareils donnant ainsi à l'animal sa constitution physique dès la naissance.

b) Croissance chez les jeunes animaux

De la naissance à l'âge adulte, la croissance repose sur la multiplication de certains types de cellules et sur l'augmentation de volume et de la taille d'autres types de cellules dont le nombre est fixé à la naissance. L'ensemble de ces transformations entraîne une augmentation de dimension et de poids de l'organe tout entier.

c) Croissance chez l'adulte

A partir de l'âge adulte, la croissance ne se traduit plus que par les variations de volume et de poids résultant principalement de l'accumulation de graisse dans certains tissus de prédilection. Il y a arrêt de croissance ; la cause de cet arrêt est mal connue.

5.1.3. Mode d'expression de la croissance

a) Vitesse absolue de croissance

Elle exprime l'accroissement absolu de la masse corporelle par unité de temps

$$V_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} = \text{Kg/j}$$

La vitesse absolue de croissance nous permet de calculer l'indice de consommation.

$$I_c = \frac{\text{Nourriture consommée/jour}}{\text{Gain de poids/jour}}$$

b) Intensité de croissance

C'est la capacité d'un animal d'atteindre le poids vif caractéristique de l'adulte en une période de plus courte durée. Elle peut être exprimée sous deux formes à savoir :

b.1. la vitesse relative de croissance : c'est le rapport entre le gain de poids réalisé à un temps donné et le poids corporel au début de cette période.

$$V_r = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \times 100$$

La vitesse relative de croissance diminue avec l'âge. D'où les jeunes animaux ont une intensité de croissance plus grande des animaux adultes.

Exemple : un bouvillon de 295 Kg aujourd'hui pèse 320 Kg après 30 jours. Sa vitesse relative de croissance sera de : $V_r = \frac{320 - 295}{295} \times 100 = 8,47 \%$

Sa vitesse de croissance absolue sera de : $\frac{320 - 295}{30} = 0,83 \text{ Kg/jour}$

Par contre, si un veau de 45 Kg atteint 70 Kg après 30 jours, sa vitesse absolue de croissance est de :

$$V_a = \frac{70 - 45}{30} = 0,83 \text{ Kg}$$

Alors que sa vitesse de croissance relative sera de : $\frac{70 - 45}{45} \times 100 = 55,5 \%$

Ces deux animaux ont la même vitesse absolue de croissance mais le veau a une vitesse de croissance relative plus élevée que le bouvillon. En d'autres termes, les jeunes animaux ont une intensité de croissance plus élevée que les animaux adultes.

b.2. Coefficient de croissance : c'est le rapport entre la masse corporelle réalisée par un animal à un certain âge et la masse corporelle caractéristique à l'âge adulte. Il représente l'énergie de croissance exprimée en valeur relative.

$$Cc = \frac{P_j}{P_a} \times 100$$

Où :

- Cc = Coefficient de croissance
- Pj = Poids à l'état jeune
- Pa = Poids à l'âge adulte

Ce coefficient nous renseigne sur la précocité des animaux.

Exemple : Si un bovin de 25 Kg peut atteindre 50 Kg après 30 jours, 165 Kg au sevrage, 190 Kg au moins après sevrage et 250 Kg à l'état adulte, les valeurs de Va, Vr et Cc seront, respectivement de :

a) Vitesse absolue de croissance

- de 25 à 50 Kg : $Va = \frac{50-25}{30} = 0,83 \text{ Kg/jour}$
- de 165 à 190 Kg : $Va = \frac{190-165}{30} = 0,83 \text{ Kg/jour}$

b) Vitesse relative de croissance

- de 25 à 50 Kg : $Vr = \frac{50-25}{30} \times 100 = 100 \%$
- de 165 à 190 Kg : $Vr = \frac{190-165}{30} \times 100 = 15 \%$

c) Coefficient de croissance

- à 25 Kg : $Cc = \frac{25}{250} \times 100 = 100 \%$
- à 50 Kg : $CC = \frac{50}{250} \times 100 = 20 \%$
- à 165 Kg : $Cc = \frac{165}{250} \times 100 = 66 \%$
- à 190 Kg : $CC = \frac{190}{250} \times 100 = 76 \%$

Ces résultats montrent que le coefficient de croissance est une dynamique ascendante après la naissance, alors que la vitesse relative de croissance est une dynamique descendante.

5.1.4. Les courbes de croissance

a) Courbe de poids vifs

Cette courbe exprimée en Kg est semblable chez toutes les espèces. Elle a la forme de S et présente deux phases :

- une phase de croissance accélérée, de la conception à la puberté, et
- une phase de croissance retardée, de la puberté à l'âge adulte.

b) Courbe de croissance journalière

Cette courbe a la même forme, pour tous les animaux élevée dans les meilleures conditions d'alimentation, de la naissance à l'âge adulte. Cette courbe présente aussi deux phases :

- une phase accélérée, qui va de la conception à la puberté, et
- une phase retardée, qui va de la puberté à l'âge adulte.

c) Courbe réelle de croissance

En pratique, les animaux ne sont pas toujours élevés dans les meilleures conditions. La croissance d'un animal ressemble rarement aux courbes théoriques.

5.2. LE DEVELOPPEMENT

5.2.1. Définition

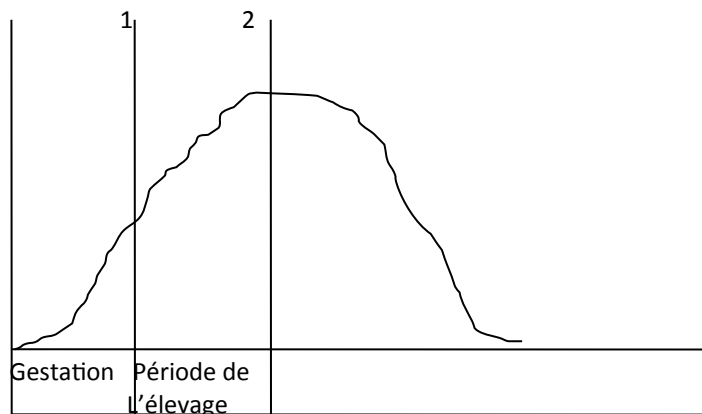
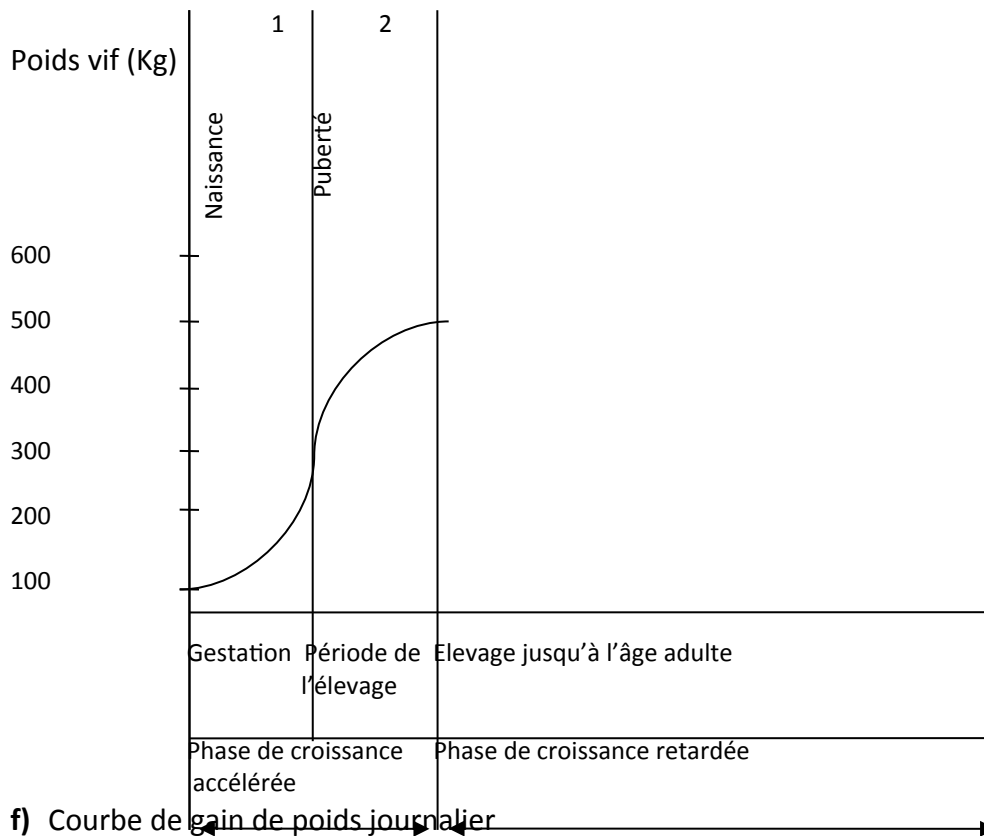
Le développement c'est la réalisation progressive de l'état adulte par suite de modification des proportions du corps, de sa composition chimique et de ses fonctions.

5.2.2. Le développement des tissus

A chaque âge d'un animal correspond un développement prioritaire d'un tissu. La succession de ces croissances successive obéit à l'ordre suivant :

- tissus nerveux : il est formé presque entièrement avant naissance
- tissus osseux : il est en plein développement chez le jeune animal
- tissus musculaires : il se forme tôt et s'accroît au cours de l'élevage du jeune animal
- tissus gras : il se forme en dernier lieu, durant l'engraissement avec un ordre ci-après :
 - ✚ le tissu gras interne (suif) : il se dépose dans la cavité abdominale, autour des reins et les replis du mesenter ;
 - ✚ le tissu gras intermusculaire : entoure les gros faisceaux musculaires et on l'appelle le marbré ;
 - ✚ le tissu gras de couverture : dans les tissus conjonctif sous cutané ;
 - ✚ le tissu gras intramusculaire : il s'accumule entre les fibres musculaire ; c'est le persillé.

e) Courbe de poids vif



5.2.3. Développement des régions

Les différentes régions du corps de l'animal ne se développent pas avec la même vitesse ni dans les mêmes proportions. Ceci traduit l'aspect extérieur d'un jeune animal comparé à un adulte. A chaque âge correspond un développement prioritaire d'une région. Les croissances se succèdent dans l'ordre suivant : la tête, le cou, le tronc et le bassin.

Par la croissance des membres, les os s'allongent suivant :

- les canons (métatarses et métacarpes)
- les avant bras et les jambes (radius, cubitus, tibia et fibula)
- les bras et les cuisses (humérus et fémur)
- les ceintures (épaule et bassin).

5.2.4. Développement des fonctions

Les fonctions apparaissent dans l'ordre suivant :

- fonction circulatoire : apparaît la première chez le fœtus
- fonction digestive : débute à la naissance
- fonction reproductive : se manifeste à partir de la puberté.

5.2.5. Evolution de la recomposition chimique

Au cours de la croissance, le corps animal devient moins riche en eau (de + 70 % d'eau à la naissance à 45 % d'eau à l'âge adulte). De plus, au fur et à mesure que l'animal avance en âge, il y a augmentation de la matière sèche, particulièrement à cause de l'augmentation de la teneur en lipide qui passe de 4 % à la naissance à 25 % à l'âge adulte ; les matières minérales ne varient presque pas, tandis que les protéines passent de 20 % chez le jeune animal à 16% chez l'adulte.

5.3. LA CONFORMATION

La conformation d'un animal, c'est le résultat de son développement antérieur.

5.3.1. Technique d'appréciation de la conformation

L'appréciation de la conformation peut se faire soit par examen analytique, soit par examen de synthèse.

5.3.1.1. Examen analytique

Cet examen se fait à partir des régions corporelles et à partir des segments du corps. On commence par apprécier la région de la tête, la région du cou, la région du tronc et enfin les régions des membres. Pour chaque région, on apprécie les dimensions, la forme, la direction, le mode d'attache aux régions voisines. On examine aussi les tares et les défauts.

Les tares sont des traces de dépréciations localisées mais visibles, provenant d'un accident avant ou après la naissance ou d'une usure normale ou prématurée (exemple : animal avec sabot rongé). C'est donc une modification pathologique de l'anatomie d'une région corporelle (**exemple** : ostéite, synovite, cicatrice, hypertrophie). Ces tares peuvent être dures s'il s'agit des tares osseuses, mais peuvent être molles s'il s'agit des tares de synovie.

Les défauts sont les imperfections physiques, une conformation anatomique peu désirable. Il y a des défauts absolus et des défauts relatifs.

Les défauts absolus sont nuisibles dans tous les cas.

Exemple :

- les mauvais aplombs constituent un défaut pour tous les animaux, alors que le développement réduit du pis est un défaut pour les vaches laitières mais pas pour les vaches à viande.
- Les défauts psychologiques sont connus sous le nom de vices et sont souvent contractés au cours de la vie de l'animal suite à un mauvais traitement par l'homme.

5.3.1.2. Examen de synthèse

Cet examen intervient après l'examen analytique. Il sert à apprécier la conformation du corps entier ou de l'harmonie d'ensemble. Par conséquent, l'examen de synthèse se fait sur base de l'appréciation des rapports entre les différentes dimensions corporelles en utilisant les données somatométriques. Mais on peut aussi faire l'examen de synthèse par l'examen visuel de différentes régions du corps. Dans l'examen de synthèse, on utilise les connaissances de corrélation entre les différentes régions du corps.

5.3.2. Les régions du corps de l'animal

Les régions du corps de l'animal qui entrent dans l'examen analytique et de synthèse sont :

- les segments : la tête et le cou, le tronc et les membres ;
- les régions de la tête et du cou : le front, la face, la nuque, le gosier, le cou ;
- la région du tronc : le garrot, le dos, les reins, la croupe, la base de la queue, les côtes, le flanc, l'abdomen, l'omoplate, les épaules, les bras ;
- les régions des membres (voir squelette).

5.3.3. Moyen d'appréciation de la conformation

L'appréciation des animaux domestiques du point de vue extérieur peut utiliser un des moyens ci-après :

- le moyen visuel ou subjectif ou encore somatoscopique ;
- le moyen par mensurations corporelles ou somatométrique ou encore moyen objectif ;
- le moyen photographique ou somatographique
- le moyen cinématographique.

5.3.3.1. Moyen visuel

La méthode qui utilise le moyen visuel paraît plus rapide mais moins précise. L'animal est apprécié par observation à l'œil nu et palpation des différentes régions du corps. Cet examen visuel peut se faire en cas d'examen analytique et en cas d'examen de synthèse.

5.3.3.2. Moyen somatométrique

Cette méthode consiste à mesurer les différentes régions du corps de l'animal et de faire le rapport entre les mensurations afin d'apprécier le développement de l'animal.

a) Instruments utilisés

a.1. Le ruban métrique : pour mesurer les périmètres et les petites dimensions

a.2. le zoo mètre : pour mesurer les grandes dimensions comme la hauteur au garrot, longueur du corps.

a.3. le compact métrique : formé d'une branche en bois sur laquelle sont attachées deux branches métalliques mobiles. Il permet de prélever les mensurations qui peuvent être reportées sur un mètre en bois. Il sert donc à prélever les largeurs, la hauteur des poitrines et les dimensions de la croupe.

a.4. les bascules : elles servent pour peser les animaux.

b) Types de mensurations

On peut avoir les types de mensurations suivants : mensurations de longueur, de largeur, de hauteur et de circonférence. Il y a aussi les mensurations de conformation, mensuration de masse. Tout cela dépend de la direction, du but et des modes d'expression.

b.1. Mensuration de longueur : Ces mensurations sont faites dans le sens antéropostérieur, parallèle au plan médian. Ainsi, on a :

- Longueur du tronc ou longueur du corps. Cette longueur est souvent prise de manière oblique (longueur oblique), c'est la distance entre la saillie du tendon supérieur du biceps et la tubérosité postérieure d'ischion
- Longueur de la coupe : distance entre l'angle extérieur de la hanche et de la tubérosité de l'ischion,
- Longueur de la tête : distance entre le museau et la région de l'occipital.

b.2. Mensuration de la largeur : Ces mensurations se font dans le sens transversal et de manière perpendiculaire au plan médian du corps. Elles nous informent sur le développement du corps en comparant le train antérieur et le train postérieur. Ces largeurs sont :

- Largeur aux ischions : distance prise au niveau de tubérosité externe
- Largeur de trochanters
- Largeur à la hanche : distance entre les angles extérieurs de l'ilium
- Largeur de la poitrine : distance prise immédiatement derrière les muscles olécraniens au niveau de passage des sangles.

b.3. Mensurations de hauteur : Elles sont prises dans le sens vertical ; c'est la taille à différents niveaux de l'animal ; ainsi on peut avoir :

- La longueur des membres
- La hauteur au garrot : distance entre le sol et le sommet des apophyses épineuses de la 5^{ème} vertèbre dorsale
- La hauteur aux hanches : c'est la distance entre le sol au niveau du sacrum et la ligne qui joint les angles externes de la hanche
- La hauteur de la poitrine : c'est la prolongation de la poitrine ; c'est la distance entre le sommet du garrot et la face de sternum.

b.4. Mensuration de circonférence :

- tour de la poitrine : circonférence de la poitrine prise immédiatement en arrière de l'os du muscle olécranien
- tour du canon : circonférence prise au niveau du tiers supérieur de la région de l'os métacarpe

b.2. Mensurations d'après les buts

D'après les buts poursuivis, on peut avoir les mensurations suivantes :

b.2.1. Mensuration de conformation : Ce sont toutes les mensurations indiquées plus haut et même d'autres plus petites pour mettre en évidence les qualités et les défauts de conformation.

b.2.2. Mensuration de masse : Ce sont surtout les grandes dimensions du corps telles que la hauteur au garrot, le périmètre thoracique, longueur du tronc, tour du canon, le poids du corps, ...

Le poids du corps peut être estimé par les mensurations métriques utilisant certaines formules.

- Formules de Quételet : $P = C^2 \cdot 1.875 I$

Avec ; P = poids vis en (Kg)

C = tour de poitrine en (m)

I = longueur oblique du corps en (m)

- Formule de Crevât : $P = 80 C^3$

Avec , P = poids vis en Kg

C = tour de poitrine en m

80 = coefficient qui varie en fonction d'engraissement de l'animal

b.3. D'après le mode d'expression des valeurs

b.3.1. Mensurations absolues : Ce sont les mensurations exprimées en valeur réelle (en m, cm et Kg)

b.3.2. Mensuration relatives : Ce sont les mensurations exprimés sous forme des valeurs relatives, c'est-à-dire, par la comparaison d'une valeur absolue avec une autre absolue d'une dimension principale du corps. Les principales dimensions du corps généralement considérées sont : la longueur du tronc et la hauteur au garrot.

Les valeurs relatives s'obtiennent par la formule

$V_r = (V_a / V_{ap}) \times 100$ où

V_r = valeur relative

V_a = valeur absolue

V_{ap} = valeur absolue principale

Exemple : un bovin a une hauteur au garrot de 150 cm. La largeur aux hanches est de 51 cm.

Quelle est la valeur relative ?

$V_r = (51/150) \times 100 = 34 \%$

Cela signifie que la largeur aux hanches de l'animal présente 34% de la taille au garrot. Les valeurs relatives nous permettent de calculer les index corporels. Ces derniers nous permettent d'apprécier le développement proportionnel du corps des animaux. Les principaux index corporels utilisés dans l'appréciation des animaux domestiques sont :

Index de format corporel : $f_c = \frac{\text{longueur du tronc}}{\text{hauteur au garrot}} \times 100$

Cet index sert à comparer le développement du squelette axial par rapport au squelette des membres. Cet index est plus grand chez les bovins à viande et chez les animaux à développement précoce que chez les animaux à lait et les animaux tardifs. Il est plus grand chez les animaux améliorés que chez les animaux primitifs.

Index de massivité : $l_m = \frac{\text{Périmètre thoracique}}{\text{hauteur au garrot}} \times 100$

Cet index nous indique le développement du tronc dans sa largeur et sa profondeur par rapport à la taille de l'animal. Il est plus grand chez les bovins à viande que chez les bovins à lait.

$$\text{Index céphalique : } I_c = \frac{\text{largeur de la tête}}{\text{longueur de la tête}} \times 100$$

Cet index est fonction de l'espèce, du sexe et de la race. Les races améliorées sont une valeur plus grande que les races primitives.

$$\text{Index thoracique: } I_t = \frac{\text{largeur du thorax}}{\text{hauteur du thorax}} \times 100$$

Cet index est plus grand chez les bovins à viande et les chevaux à traction lourde que chez les bovins à lait et les chevaux à vitesse.

$$\text{Index de la profondeur du thorax : } I_{pt} = \frac{\text{hauteur du thorax}}{\text{hauteur au garrot}} \times 100$$

Il est plus grand chez les animaux adultes que les jeunes animaux.

$$\text{Index bassinopectoral : } I_{bp} = \frac{\text{largeur de la poitrine}}{\text{largeur de la croupe aux hanches}} \times 100$$

Il est plus grand chez les jeunes animaux, chez les bovins à viande et les chevaux à traction lourde que les animaux adultes, chez les bovins à lait et chez les chevaux de vitesse. Il est aussi plus grand chez le mâle que chez la femelle.

Index de l'ossature : c'est le rapport entre la grosseur du canon et le développement corporel. On peut le mesurer de la manière suivante :

$$I_{os} = \frac{\text{Périmètre du canon antérieur}}{\text{Hauteur au garrot}} \times 100$$

$$\text{Index dactylo-thoracique : } (idt) = \frac{\text{Périmètre du canon ant.}}{\text{Périmètre thoracique}} \times 100$$

$$\text{Index de charge du canons : } (ichc) = \frac{\text{Périmètre du canon ant.}}{\text{Poids du corps}} \times 100$$

Ces index permettent de comparer le développement du squelette des membres par rapport au développement général du corps.

CONCLUSION

En utilisant les valeurs relatives, les index corporels, on peut apprécier et voir si l'animal est long ou profond, si son thorax est large ou étroit. De plus, on peut établir son format corporel par la forme géométrique plane dans laquelle peut s'inscrire le profil du corps de l'animal.

Ainsi il y a 3 principaux formats corporels chez les animaux adultes :

- Le format rectangulaire pour les bovins à viande
- Le format trapézoïdal pour les bovins laitiers
- Le format carré pour les animaux mixtes.

Les jeunes animaux ont un format corporel haut : la longueur du tronc représente 85-92% de la taille. Chez l'animal adulte, la longueur du tronc est généralement plus grande que la hauteur au garrot. Néanmoins, ce rapport varie suivant les types productifs. En effet, chez les animaux à viande ce rapport représente 122 à 128 %. Chez les races à lait ce rapport représente 117 à 120 % alors que chez les races mixtes, il est de 118 à 122 %. Les races primitives de bovin ont ce rapport dans l'ordre de 113-115 %.

Au sein de la même race ou du même type productif, le taureau a un rapport plus grand que la vache. De plus, si nous comparons la longueur du tronc, la hauteur au garrot et la largeur du corps, on peut déterminer le type morphologique des animaux qui sont de 3 types à savoir :

- le type dolichomorphe ou longimorphe
- le type brevimorphe ou bréviligne
- le type mésomorphe

a) le type dolichomorphe : il est caractérisé par des formes longues et étroites surtout les membres et le cou. C'est un type morphologique qui correspond au format corporel trapézoïdal de bovins laitiers et chevaux de vitesse.

b) Le type bréviligne : il est caractérisé par les formes courtes et larges surtout les membres. Il correspond au format corporel rectangulaire de bovins à viande et chevaux à traction lourde.

c) Le type mésomorphe : Il est caractérisé par les formes intermédiaires entre le type dolichomorphe et le type brevimorphe. Il correspond au format corporel carré que l'on retrouve chez les animaux à double fin.

5.3.3.3. Les moyens photographiques

C'est la méthode qui utilise la photographie des animaux. Cette photo, fournit les éléments analytiques et les éléments synthétiques. Dans certains pays, la photographie est obligatoire pour tous les animaux inscrits dans les livres généalogiques.

La photo est prise latéralement, de face, d'arrière et d'en haut.

5.3.3.4. Les moyens cinématographiques

Cette méthode utilise la cinématographie pour étudier les mouvements des animaux dans leur détail tel que : ouverture des angles articulaires, réflexion lors de la rencontre des obstacles, l'alimentation des animaux, la courtoisie sexuelle, la monte, ...

5.3.4. Méthode d'appréciation

Dans la pratique, le zootechnicien peut apprécier les animaux domestiques extérieurement en utilisant des méthodes ci-après : la méthode libre et la méthode des points.

5.3.4.1. La méthode libre

Dans cette méthode, tous les examens sont faits à l'œil libre par inspection et palpation des régions corporelles. L'échelle d'appréciation est : très bonne, bonne, mauvais ou médiocre. Ces appréciations peuvent porter des cotes telles que :

Très bon = 5 ; Bon = 4 ; Assez bon = 3 ; Mauvais = médiocre = 1

Cette méthode est rapide mais subjective.

5.3.4.2. Méthode des points

Cette méthode utilise aussi l'examen de synthèse et analytique. Les résultats d'appréciation sont exprimés par des cotes ou des points. Pour cette raison, il existe des tableaux de comptage élaborés en avance et qui contiennent d'après l'espèce, la race ou le type de production.

- Région ou groupe de régions à examiner
- Qualité exigée pour ces régions
- Côte maximum à donner si ces régions sont parfaites
- Coefficient donnant la valeur de chaque région car toutes les régions n'ont pas les mêmes valeurs.

5.4. LA CONSTITUTION DES ANIMAUX

5.4.1. Définition

La valeur d'un animal est fournie aussi bien par l'extérieur que par sa constitution.

La constitution d'un animal, c'est l'ensemble des aspects morphologiques, structuraux et fonctionnels qui va conditionner le type physiologique et productif, ainsi que sa résistance au milieu extérieur. Pour apprécier la constitution d'un animal, on utilise les éléments suivants : la forme extérieure, les particularités de structure de l'organisme et le tempérament des animaux.

a) La forme extérieure : cette forme comprend les caractéristiques du squelette, de la musculature, de la peau, des productions pileux, des tissus conjonctifs, ... On compare aussi l'anatomie des organes internes.

b) Les particularités de structure : elles comprennent la micro-structure de l'organisme (tissus et organes internes) et la différenciation biochimique de ces micro-structures. On compare la micro-anatomie et la macro-anatomie des organes et de leur physiologie.

c) Le tempérament des animaux : il comprend le mode de réaction des animaux aux différents facteurs externes et internes.

- Les animaux du type hypersensible ou neveux
- Les animaux du type sensible ou énergique
- Les animaux du type mesosensible ou tranquille et
- les animaux du type hypo sensible ou faibles (débiles ou flegmatiques).

5.4.2. Types physiologiques et productifs des animaux domestiques

La constitution des animaux est liée à l'extérieur et au métabolisme. Ce dernier comprend l'anabolisme (= assimilation) et le catabolisme (= dégradation). Or la production des animaux est le résultat de l'activité métabolisme. Le rapport entre l'anabolisme et le catabolisme détermine le type physiologique des animaux, ainsi on a : les types respiratoires, digestifs et intermédiaires.

a) Le type physiologique respiratoire ou catabolisme

Il est caractérisé par un plus grand catabolisme, c'est-à-dire la prédominance de la transformation des éléments assimilés en énergie mécanique, sécrétoire ou autre.

Exemple : les vaches laitières et les moutons à lait, les poules pondeuses sont du type physiologique respiratoire.

b) Le type physiologique digestif ou anabolique

Il est caractérisé par la prédominance d'anabolisme ou assimilation. Il est aussi appelé type réducteur car, dans le processus de production prédomine la formation des réserves organiques de l'organisme sous forme des muscles et des graisses. Ce type physiologique se rencontre chez les animaux à viande qui s'engraissent facilement.

c) Le type physiologique intermédiaire

Il caractérise les animaux à double fin. Selon la prédominance de l'un ou l'autre type métabolique, on peut avoir les types physiologiques suivants : le type physiologique respiratoire digestif et le type digestif respiratoire.

Conclusion, il existe des rapports entre :

- La forme et la fonction
- L'extérieur et l'intérieur
- Le type métabolique et la production.

5.4.3. Les types de constitution des animaux

Le type de constitution peut être défini par les éléments ci-après : la forme ou la morphologie, la structure, la physiologie et la production.

En fonction de ces éléments, certains auteurs ont défini la constitution des animaux en 4 types : La constitution fine, la constitution robuste, la constitution débile et la constitution grossière.

a) La constitution fine

Elle caractérise les animaux du type physiologique respiratoire et du point de vue morphologique on rencontre cette constitution chez les animaux dolichomorphes. Les animaux de constitution fine ont :

- Une peau mince, dense et élastique
- Les poils sont fins
- La cavité thoracique à forme ovoïde avec les côtes orientées obliquement par rapport à la colonne vertébrale pour une plus grande amplitude de respiration,
- Les tissus conjonctifs peu développés, ce qui permet de voir les angles osseux externes et les tendons.
- Le squelette est fin, dure et résistant (exemple : vache laitier, cheval de course).

b) La constitution robuste :

On peut avoir deux sous types à savoir : sous type robuste peu compact et le sous type robuste compact.

b.1. Sous-type robuste peu compact : il est du type bréviligne à forme corporelle rectangulaire du type physiologique digestif et à tempérament calme. Il est caractérisé par :

- un tronc large et profond
- les côtes orientées presque perpendiculairement à la colonne vertébrale
- la peau peu dense et peu élastique
- le tissu conjonctif très développé
- La musculature très développée avec tissus adipeux
- Un squelette relativement fin mais moins dense.

b.2. Sous-type robuste compact : il caractérise les animaux à double fin, la peau bien développée, dense et moyennement élastique, poils luisant, muscles bien développés mais sans infiltration graisseuse. Ce sont des types mésomorphes ou type physiologique respiratoire digestif.

Ils ont une grande résistance aux conditions défavorable du milieu. Ils sont de tempérament vif, de fécondité élevée.

c) La constitution débile

- Le squelette est faible avec une harmonie d'ensemble défectueuse
- La peau très fine mais sans résistance et sans élasticité
- Les poils très fins mais de tempérament nerveux
- Faible production et reproduction
- Faible résistance au milieu

Constitution grossière

- Squelette développé avec de gros os mais pas denses, d'où facilement friables,
- La peau est épaisse sans élasticité,
- La musculature n'a pas de tonus mais a beaucoup des tissus conjonctifs
- Les poils sont grossiers,
- Faible production,

- Le tempérament flegmatique.

CHAPITRE VI : REPRODUCTION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

6.1. LES ORGANES DE REPRODUCTION

6.1.1. Notion d'embryologie

Le rudiment du système de reproduction des mammifères est composé de :

- a) Deux gonades sexuellement indifférenciées
- b) Deux paires de conduits : Müllerien et conduit Mesonephrique (Holffien)
- c) Un sinus urogénital
- d) Tubercule génital
- e) Repli vestibulaire

De cette base embryonnaire, une de deux possibilités se reproduira dans le cas d'un développement normal : soit l'individu se développe en mâle ou soit en femelle. Cette différenciation sexuelle dépend de trois facteurs :

- génotype
- gonadogenèse
- formation et maturation des organes accessoires de la reproduction.

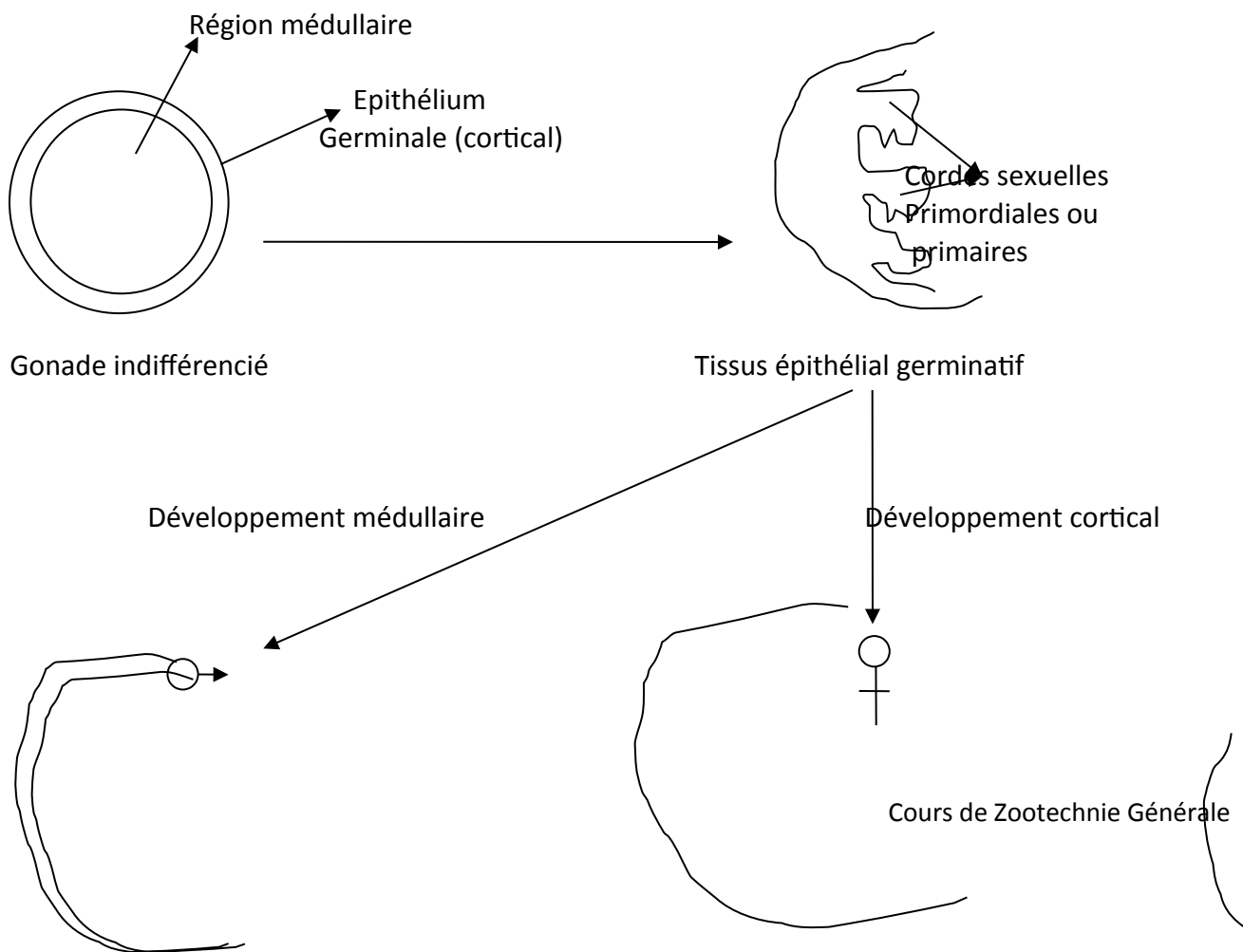
Dans le cas normal, les changements qui se produisent sont les suivants

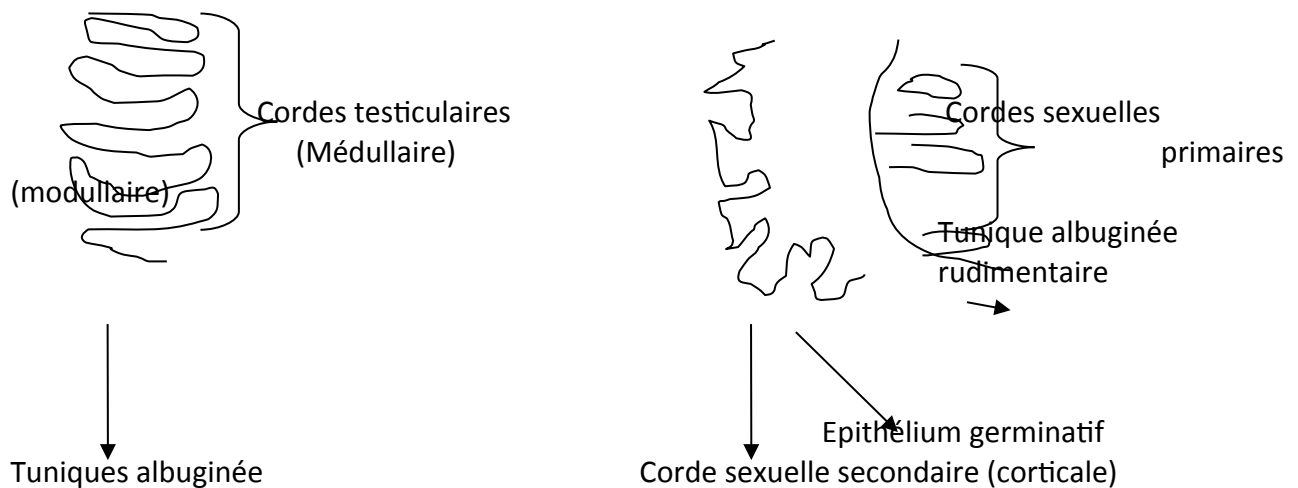
Rudiments sexuels	Mâle	Femelle
Gonade - Tissu cortical - Tissu médullaire	- Régresse - Testicule	- Ovaire - Régresse
Tube de Müller	Vestige	Utérus, Oviducte, une partie du vagin
Tube de Wolffe	- Epididyme - Canal déférent	Vestige
Sinus urogénital	- Urètre - Glande bullo-uretrale, prostate	Partie du vagin, Urètre
Tubercule génital	Pénis	Clitoris
Repli vestibulaire	Scrotum	Lèvre de la vulve

Le sexe d'un embryon est principalement déterminé par sa composition génétique, mais l'expression phénotypique du sexe est un processus de développement dépendant du fonctionnement des gonades fœtaux.

Les hormones estrogènes et androgènes causent l'inversion sexuelle chez l'embryon male et femelle, respectivement au cours de la différenciation sexuelle. Cette inversion sexuelle se produit pour une période très brève (période embryonnaire). Mais les organes accessoires de la reproduction sont très sensibles aux traitements hormonaux. Une administration même après le développement sexuel chez l'embryon peut causer l'inversion sexuelle.

Différenciation des gonades





a) Les gonades

Chez l'embryon potentiellement femelle, les cordes sexuelles primordiales dégénèrent et leurs rudiments sont portés en position médullaire.

Il se forme alors des cordes sexuelles secondaires à position corticales. Ces cordes sexuelles secondaires se différencient en cellules germinatives primordiales appelées oogones. Les testicules se développent à partir de la région médullaire du gonade indifférencié. Les cordes sexuelles de gonades mâles s'appellent Tubules séminifères.

b) Les conduits de Reproduction

Les conduits de Wolffe et de Müller sont tous deux présents chez un embryon sexuellement indifférencié. Chez les femelles, les conduits de Müller se développent en conduits génitaux. Ils fusionnent caudalement pour former l'Utérus, le col de l'utérus et la partie antérieure du vagin. L'oviducte devient plus ou moins tordue et acquérir des tissus épithéliaux différenciés juste avant la naissance.

Chez le mâle, l'androgène testiculaire joue un rôle dans la persistance et le développement des conduits de wolffe et l'atrophie des conduits de Müller. Néanmoins, le développement des conduits Müllériens chez la femelle au-delà de l'état bisexuel est apparemment indépendant des hormones.

c) Sinus urogénital

Le sinus urogénital se développe en urètre, prostate, glandes bulbo-urétrales chez les mâles et en urètre et partie du vagin chez la femelle.

d) Les Replis de la Peau du Sinus Forment les Lèvres de la Vulve, chez la Femelle et le Scrotum chez le Mâle.

e) Le Tubercule Génital devient la Verge chez le Mâle et les Clitoris chez la Femelle.

6.1.2. L'anatomie de l'appareil de reproduction

6.1.2.1. Le Mâle

a) Généralité

Les gonades mâles appelés testicules sont logés en dehors de l'abdomen dans le scrotum qui lui dérive de la peau et des fascias de la paroi de l'abdomen. Les testicules passent de l'abdomen vers l'extérieur par le canal inguinal qui s'ouvre vers l'intérieur par l'anneau inguinal interne et par l'extérieur par l'anneau inguinal externe. Ce canal inguinal sert aussi de passage des vaisseaux sanguins et des nerfs qui tapissent les organes génitaux externes. La topographie des organes externes de la reproduction varie suivant les espèces animales !

b) Développement

b.1. Développement prénatal

voir embryologie

b.2. Descente des testicules

La descente des testicules consiste à la migration abdominale vers l'anneau inguinal interne, puis migration inguinale vers le canal inguinal externe et finalement migration dans le scrotum.

La descente des testicules est précédée par la formation du processus vaginal qui est un petit sac péritonéal qui s'étend vers le scrotum en englobant aussi le ligament inguinal des testicules. Ce ligament inguinal appelé aussi gubernaculum testis se termine dans la région de rudiment scrotal et participe à la descente des testicules. Le temps de la descente des testicules varie selon l'espèce animale.

Parfois les testicules manquent de descendre dans le scrotum et reste dans la région inguinale. Cette condition s'appelle Cryptorchidie. Dans cette condition, la formation normale de

spermatozoïde devient impossible due à la présence de T° trop élevée de la région. Les sécrétions endocriniennes néanmoins sont normales. Ainsi le mâle cryptorchidie montre plus ou moins un désir sexuel normal mais est stérile.

Le problème lié au mâle dû à la présence des orifices inguinaux est l'Hernie. Il arrive souvent que les organes de l'abdomen (les viscères) entrent dans le canal inguinal jusque dans le scrotum (hernie scrotal). L'hernie scrotale est très commune chez les porcins.

Diagramme de descente des testicules

b.3. Développement Post Natal

Chaque partie des organes de la reproduction des nos animaux domestiques tend à augmenter en taille d'une façon proportionnelle à la taille du corps de l'animal et subit des changements histologiques. Tous ces organes n'atteignent pas leur développement fonctionnel au même moment.

Exemple : chez les taurillons l'érection du pénis précède de plusieurs mois l'apparition des spermatozoïdes dans l'éjaculat. C'est à l'âge de la puberté que tous les organes de reproduction deviennent tous fonctionnels. Au cours de la période post pubertale, le développement des organes sexuels continue et les conduits de reproduction atteignent la maturité sexuelle complète quelques mois ou même quelques années après la puberté.

Chronologie du développement des organes de reproduction chez le mâle

	Taureau	Bélier	Verrat	Etalon
Descente des testicules	Au cours de ½ vie fœtal	½ de vie fœtal	Dernier quart de la vie fœtal	Quelques temps avant ou après la naissance
Spermatocytes primaires dans les tubules séminifères	24 semaines	12 semaines	10 semaines	Variable

Spermatozoïdes dans les tubules séminifères	32 semaines	16 semaines	20 semaines	52 semaines (très variables)
Spermatozoïdes dans la queue de l'épididyme	40 semaines	16 semaines	20 semaines	60 semaines
Spermatozoïde dans l'éjaculat	42 semaines	18 semaines	22 semaines	---
Maturité sexuelle	150 semaines	>24 semaines	30 semaines	90 à 150 semaines

c) Les testicules et le scrotum

Les testicules varient quelques peu d'une espèce à une autre à ce qui concerne la forme, la taille, la position, mais essentiellement la structure est la même.

Chaque testicule consiste d'une masse de petits tubules appelés tubules séminifères entourés par une couche fibreuse appelée tunique albuginée. Un grand nombre de cloison fibreuse passent de la tunique albuginée vers l'intérieur de testicule pour former une sorte de charpente pour supporter les tubules séminifères. Chez tous les animaux domestiques, excepté chez l'étalon, ces cloisons s'unissent près du centre de la glande pour former une corde fibreuse, le mediastinum testiculaire.

Les cellules de Leydig qui sécrètent l'homme testostérone sont localisées dans les tissus conjonctifs se trouvant entre les tubules séminifères.

Chez l'adulte, l'épithélium de tubules séminifères est composé de 2 catégories de cellule

- Les cellules de support ou cellules de Sertoli
- Les cellules germinales de différents états de développement.

Les cellules de Sertoli sont des éléments somatiques de l'épithélium séminifères. Elles sont larges triangulaires avec la base fixée à la paroi de la membrane des tubules séminifères alors que le sommet est tourné vers la partie creuse du tube. Le cytoplasme des cellules de Sertoli forme des crêtes qui entourent plus ou moins les cellules germinales excepté les spermatogonies qui eux, sont en contact avec la membrane de tubules séminifères.

La fonction complète des cellules de Sertoli est peu connue. A part qu'elles assurent un support pour les cellules germinales et jouent ainsi un rôle dans la libération des spermatozoïdes et dans la résorption des corps résiduels de spermatozoïdes (voir plus loin).

La régulation thermique des testicules est très importante. Pour avoir un fonctionnement effectif, les testicules de mammifères doivent être maintenus à une T° plus basse que celle du corps. L'anatomie des testicules et du scrotum accorde cette régulation thermique.

La peau du scrotum est mince, pliable et souvent presque sans poils. Cette peau est suivie par une couche fibro élastique mélangée avec des muscles lisses doux. Cette couche s'appelle "tunica dartos". En période froide, les fibres musculaires du dartos se contractent pour ramener les testicules contre la paroi de l'abdomen pour le réchauffer. Le tunica dartos passe sur le plan médian entre les deux testicules pour former le septum scrotal qui divise le scrotum en deux compartiments latéraux.

Le ligament scrotal qui provient de gubernaculum est une bande des tissus conjonctif qui s'étend de la queue de l'épididyme jusqu'au scrotum.

La descente des testicules est guidée par la corde fibreuse : le gubernaculum qui relie le testicule à la région qui sera comme le scrotum. Le mécanisme de descente semble être indirect : avec l'âge, le fœtus grandit avec tous ses organes mais le gubernaculum soit défaille à grandir ou soit même se raccourci réellement. Ceci a comme conséquence l'attraction des testicules de la cavité abdominale sur le scrotum. Quand le testicule passe dans le scrotum, il devient couvert par le processus vaginal. La couche superficielle de ce processus appelée tunica vaginalis communis (pariétalis) correspond à la couche pariétale du péritoine de la cavité abdominale. Tandis que la couche interne appelé tunica vaginalis propria (viscéralis) couvre la tunique albuginée des testicules et l'épididyme.

Les testicules de taureau et de bélier sont situés cranialement par rapport à la flexion sigmoïde du pénis. Le long axe de chaque testicule est presque verticale et le scrotum est allongé dorsoventralement.

Chez le cheval et le chien, le long axe de chaque testicule est presque horizontal et les testicules sont gardés près de la paroi abdominale près de l'anneau inguinal externe. Les testicules du verrat descendent plus bas et vont se poser caudalement par rapport à la flexion sigmoïde du pénis, ventralement à l'anus. Le long axe de chaque testicule est presque vertical ; mais la queue de l'épididyme est dorsale au lieu d'être ventral comme chez les ruminants.

d) Epididyme

L'épididyme est un tube long, retourné sur lui-même qui connecte les canaux efférents des testicules aux canaux déférents. Il comprend 3 parties :

- La tête (caput epididymidis) dans laquelle un nombre variable (6 à 20) de conduits efférents, joint les conduits de l'épididyme ;
- Le corps (corpus epididymidis) ;
- La queue (cauda epididymidis) qui est continué par le conduit déférent.

Le rôle de l'épididyme est surtout pour la maturation des spermatozoïdes et aussi pour emmagasiner les spermatozoïdes avant l'éjaculation. Les spermatozoïdes ne sont pas en maturité quand ils quittent les testicules. Ils doivent subir une période de maturation dans l'épididyme avant qu'ils soient capables de féconder un ovule.

e) Les conduits déférents

Ce sont des tubes musculaires qui au moment de l'éjaculation projettent les spermatozoïdes de l'épididyme au conduit de l'éjaculation. Les conduits déférents quittent la queue de l'épididyme et passent à travers le canal inguinal, comme partie des cordes spermatiques et au niveau de l'anneau inguinal interne, tournent caudalement. Quand les deux conduits déférents approchent l'urètre ils se rejoignent et continuent caudalement à la vessie. Les cordes spermatiques sont composées des vaisseaux sanguins, nerfs et conduits déférents.

f) Les glandes accessoires

Les glandes accessoires de l'appareil sexuel mâle sont :

- Glande ampullaire des conduits déférents

- Vésicule séminale
- Prostate
- Glande bulbo-urétrale ou glande de Cowper

Ces glandes produisent une grande partie de sperme ou éjaculat qui sert pour transport, milieu de nutrition et milieu tampon contre l'excès d'acidité du conduit génital femelle. Ces glandes ont une forme et taille différente selon les espèces animales, mais leur position est presque similaire.

f.1. Glandes ampullaires

Les glandes ampullaires (2) sont des élargissements glandulaires des parties terminales de conduits déférents. Elles sont bien développées chez l'étalon, le taureau et le bélier, petites chez le chien et absentes chez le verrat. Les glandes ampullaires se vident dans les conduits déférents et contribuent au sperme.

f.2. Vésicules séminales

Sont des glandes paires logées en position latérale à la partie terminale du conduit déférent. Chez les ruminants et porcins, ces glandes sont lobées. Chez l'étalon elles sont des véritables sacs en forme de poire. Elles sont absentes chez le chien. Les vésicules séminales et les canaux déférents peuvent avoir des orifices communs vers l'urètre.

f.3. La prostate

C'est une glande impaire qui entoure plus au moins l'urètre pelvien, elle comprend 2 parties : une partie externe visible appelée le corps et une autre interne non visible, disséminée en sous du muscle urétral.

Le corps de la prostate est petit chez le taureau mais grand chez le verrat. Chez le bélier, le corps n'est pas présent (pas de partie visible). Chez l'étalon la prostate est entièrement externe et comprend deux lobes latéraux reliés par l'isthme. Les conduits de la prostate s'ouvrent en deux rangées parallèles, une sur chaque côté de l'urètre. La prostate produit une sécrétion alcaline qui donne une odeur caractéristique au sperme.

f.4. La glande de Cowper (glande bulbo-urétrale)

Sont des glandes paires logées sur le dos de l'urètre près de la terminaison de la partie pelvique de l'urètre. On les trouve chez tous les animaux domestiques, excepté le chien. Chez le taureau elles sont presque cachées par les muscles bulbo spongieux.

Chez tous les animaux, elles sont couvertes par une couche épaisse de muscle strié. Ces glandes sont extrêmement développées chez le verrat et elles sont responsables de l'aspect gélatineux du sperme de verrat.

g) La verge ou le pénis et l'urètre

g.1. Structure

On peut diviser la verge en 3 parties

- Le gland
- Le corps
- Les deux racines (crura)

Les deux racines du pénis prennent racine sur la surface de l'arc de l'ischium, sur chaque côté de la symphyse pubienne. Ces racines convergent pour former le corps du pénis. L'urètre passe au dessus de l'arc ischiaque entre les deux racines du pénis, puis se recourbe pour s'incorporer avec le pénis.

Chez le cheval, le corps du pénis comprend quatre surfaces :

- Le dorsum pénis (dos du pénis) qui est arrondi et qui contient l'artère dorsal et les nerfs du pénis et un plexus veineux très riche.
- Surface urétrale située ventralement. Elle est arrondie et porte l'urètre qui est encastré dans la gouttière urétrale du corps caverneux.
- Les deux surfaces latérales, couvertes par un plexus veineux.

Le gland du pénis est la partie libre et large du pénis. L'urètre mâle est un long tube qui s'étend de la vessie jusqu'au gland du pénis. Il passe caudalement sur le parietal de l'os pelvien, tourne autour de l'arc ischiaque, formant ainsi une courbe ; puis passe entre les deux crura pour se fusionner ventralement avec le pénis en se logeant dans le corps caverneux du pénis.

Nous pouvons donc dire que l'urètre comprend 2 parties : partie pelvique et partie extra pelvique. La partie pelvique située dans la région pelvienne et la partie extra pelvique est supportée par le pénis. L'ouverture de la vessie dans l'urètre s'appelle l'orifice urétral interne alors que l'ouverture externe de l'urètre dans la région du gland du pénis s'appelle méat urinaire ou orifice urétrale externe. L'orifice urétral reste toujours fermé, excepté lors d'urination.

Du point de vue structure, le pénis du cheval comprend essentiellement deux corps érectiles : le corps caverneux du pénis et le corps caverneux de l'urètre. Le corps caverneux du pénis est entouré d'un tissu fibro-élastique : tunique albuginée qui s'infiltré dans le corps caverneux pénis à quelques endroits pour former des trabecules.

Le corps caverneux urétral forme un tube autour de l'urètre et chez la plupart des espèces, il continue antérieurement pour devenir les tissus érectiles du gland du pénis. Le corps caverneux urétral (corpus spongiosum penis) est aussi entouré par une tunique albuginée. Le gland présente de variation d'une espèce à une autre. Chez l'étalon et le bélier, l'urètre est terminé par une partie libre appelée processus urétral. La partie craniale du pénis du verrat est tordue en spirale et il n'y a pas de gland.

Chez le chien, le gland du pénis est très long et comprends deux parties :

- La partie antérieure qui est cylindrique avec le bout en pointe est appelée pars longa glandis ;
- La partie postérieure qui est arrondie appelée bulbus glandis.

A la jonction du corps du pénis et du gland, le corps caverneux du pénis est ossifié pour former l'os du pénis qui peut atteindre 10 cm ou plus chez les grands chiens. Cet os pénis est entouré par le pars glandis et bulbus glandis.

Erection

Les stimulations sexuelles produisent une forte dilatation des artères du corps caverneux du pénis spécialement les deux racines (crura).

Quand le pénis du chien et du cheval sont en érection, ils augmentent grandement en diamètre et en longueur du fait que ces pénis contiennent un très grand nombre des tissus érectiles (tissus caverneux) comparé à la quantité des tissus de la tunique albuginée et autres tissus conjonctifs.

Le pénis de ruminants et des porcins monte en érection principalement par allongement de la flexion sigmoïdale. La rigidité du pénis des ruminants et des porcs aussi augmente mais la longueur et le diamètre ne changent presque pas puisqu'il y a très peu de tissus érectiles comparés aux tissus conjonctifs.

Le gland du pénis du cheval monte en érection plus tard que le corps du pénis puisque le gland du cheval reçoit la plupart de sang à partir des veines de prépuce ; et le pénis entre dans le vagin

avant l'érection complète du gland. Une situation similaire se produit aussi chez le chien où le bulbus glandis du gland monte en érection après que le pénis est entré dans le vagin de la chienne. Toujours chez le chien, après l'intromission, l'érection du bulbus glandis et le resserrement des sphincters des muscles de la vulve et du vagin empêche la séparation de chiens au cours des accouplements jusqu'au moment où le pénis devient relaxé après éjaculation.

Dimension et Poids des organes de reproduction chez le mâle

Organes	Paramètre	Taureau	Bélier	Verrat	Etalon
Testicule	Longueur (cm)	13	10	10	10
	Diamètre (cm)	7	6	7	5
	Poids (gr)	350	215	360	200
Epididyme	Longueur (m)	40	50	18	75
	Poids (gr)	36	-	85	40
Canal déférant	Longueur	102	-	-	70
Glande ampullaire	Longueur (cm)	15	7	Dispersé en lobules	25
	Diamètre	1,2	0,6		2
Pénis	Longueur total (cm)	102	40	55	50
	Longueur de la partie libre (cm)	9,5	4,0	18	20
	Processus urétral (cm)	0,2	4	Pas présent	3

6.1.2.2. L'anatomie de l'Appareil de Reproduction Femelle

a) Généralités

Les organes de la reproduction chez la femelle sont composés d'ovaires, oviductes, utérus, col de l'utérus, vagin et la vulve.

Les organes génitaux internes sont supportés par des ligaments appelés les ligaments larges. Ils sont :

- Le meso varium qui supporte les ovaires,
- Le mesosalpinx qui supporte les oviductes,
- Le meso metrium qui supporte l'utérus.

b) Les organes de la reproduction

b.1. Les ovaires

Les ovaires sont des glandes paires qui sont constitués d'un ovaire droit et d'un ovaire gauche. La forme de l'ovaire dépend de l'espèce animale.

- Chez la vache et la brebis, l'ovaire a la forme d'une sphère allongée,
- Chez la jument, l'ovaire a la forme de haricot,
- Chez la truie, l'ovaire a la forme lobée.

L'ovaire est composé de la partie médullaire et de la partie corticale. La région médullaire ou centrale est la plus vascularisée. Ces vaisseaux sanguins et nerfs entrent dans la partie médullaire de l'ovaire au point d'attache des ovaires au mésovarium (Hilus).

La région corticale contient les follicules ovariens. La région corticale est entourée par l'épithélium germinatif. Chez la jument l'épithélium germinatif ne se trouve qu'à la partie convexe de l'ovaire appelée ovulation fossa.

L'épithélium germinatif est immédiatement suivi par une couche de tunique albuginée.

b.2. L'oviducte

Sont des tubes qui conduisent l'ovule depuis les ovaires jusqu'aux cornes de l'utérus. Les oviductes sont en nombre paire et sont aussi appelés les trompes de l'utérus ou trompe de Fallope. La fécondation a lieu aussi dans les oviductes. La partie antérieure de l'oviducte près de l'ovaire a une forme d'entonnoir appelé infundibulum. L'infundibulum possède sur son bord une sorte de tentacules appelés les fimbria qui participent à l'ovulation et à diriger l'ovule dans l'ouverture de l'oviducte. La surface interne des trompes est formée de membrane à mucus couverte de cellules ciliées.

b.3. Utérus

Chez les animaux domestiques, l'utérus comprend : les cornes de l'utérus, le corps de l'utérus et le col de l'utérus. La grandeur relative, la forme et l'arrangement de ces différentes parties varient selon l'espèce animale. Le corps de l'utérus de la jument est plus grand que celui de la vache et la brebis. Celui de la truie et la chienne est le plus petit. La surface utérine interne est formée d'une couche de membrane à mucus, une couche intermédiaire de muscles lisses et d'une couche externe séreuse d'origine péritonéale. La membrane à muqueuse qui couvre la surface de l'utérus a une structure fortement glandulaire et est appelée tunica mucosa ou endometrium. Son épaisseur et sa vascularité varient selon la situation hormonale de l'ovaire et la gestation. Les glandes utérines sont réparties sur toute la surface de l'endometrium de l'utérus sauf chez les ruminants où on rencontre les caroncules qui sont des structures non glandulaires en forme de champignon formées par les projections de la surface interne de l'utérus.

Le col de l'utérus est une sorte de sphincter de muscle lisse qui est hermétiquement fermé sauf pendant l'estrus et la mise bas. La couche intermédiaire de muscles lisses aussi appelée tunica muscularis ou myometrium comprend une couche interne et épaisse de muscles lisses circulaires et une couche externe mince de muscles lisses longitudinaux. Ces deux couches sont séparées l'une de l'autre par une couche de vaisseaux sanguins.

La couche séreuse ou tunica serosa qui couvre l'utérus continue avec le péritoine sous le nom de ligament large qui supporte les organes génitaux internes. Le ligament large est formé de : mesovarium qui supporte les ovaires, mesosalpinx qui supporte les oviductes et mesometrium qui supporte l'utérus.

La structure du col de l'utérus varie souvent d'une espèce animale à une autre. La muqueuse du col de l'utérus est composée de deux types de cellule : les cellules ciliées dont les mouvements de vibration sont dirigés vers le vagin au cours de période de repos ou de gestation ; les cellules non ciliées à rôle sécrétoires.

La première fonction du col de l'utérus est d'empêcher l'entrée des corps étrangers dans l'utérus. Il est hermétiquement fermé, excepté au cours de copulation. Chez les porcins et les chevaux, le sperme est éjaculé dans le col de l'utérus. Au cours de gestation, un mucus épais remplit le canal de col de l'utérus. Ce qui permet d'éviter l'infection de l'utérus.

b.4. Le vagin, la vulve et le clitoris

Le vagin est un organe dilatable qui sert pour la copulation et le passage du fœtus et de ses membranes. Chez la vache et la brebis, le sperme est éjaculé dans le vagin.

La vulve est la portion externe de l'appareil génital féminin. A la jonction externe de la vulve et le vagin se trouve l'orifice externe de l'urètre. A cette jonction de la vulve et du vagin se trouve aussi le vestige de l'hymen. Entre le vagin et les lèvres de la vulve se trouve une portion tubulaire appelé vestibule du vagin.

Chez nos animaux domestiques, la vulve comprend seulement une paire de lèvres alors que chez les humains, il y a les grandes lèvres et les petites lèvres.

Le clitoris a la même origine embryologique que le pénis du mâle. Le clitoris comprend deux racines (crura), un corps et un gland. Il est formé des tissus érectiles avec des nerfs sensoriels.

Tableau X : Dimension des organes de reproduction de la femelle

Organes	Vache	Brebis	Truie	Jument
Oviducte				
- Longueur (cm)	25	15-19	15-30	20-30
Utérus				
- Type	Bipartie	Bipartie	Bicorne	Bipartie
- Longueur de cornes (cm)	35-40	10-12	40-65	15-25
- Longueur du corps (cm)	2-4	1-2	5	15-20
Col de l'utérus				
- Longueur (cm)	8-10	4-10	10	7-8
- Forme de surface du col	2-5 anneaux	Comme chez la vache	Forme en tire bouchon	Beaucoup de replis
Vagin				
- Longueur (cm)	25-30	10-14	10-15	20-25

6.2. HORMONES DE REPRODUCTION

Les hormones sont des substances chimiques synthétisées et sécrétées par des glandes ne possédant pas des conduits mais sont directement transportées par le sang aux autres parties du corps où ils agissent d'une façon spécifique. En reproduction, on considère 3 types d'hormones :

- Hormones de l'hypothalamus ;
- Hormones gonadotrophines ;
- Hormones sexuelles stéroïdes

6.2.1. Hormones de l'hypothalamus

Ces hormones contrôlent la synthèse et la sécrétion des hormones gonadotrophines.

6.2.2. Hormones gonadotrophines

Ils sont sécrétés par le lobe antérieur de la glande de l'hypophyse. Ces hormones sont : FSH, LH et Prolactine.

a. Structure

Les FSH et LH sont des glycoprotéines avec un poids moléculaire de ± 30.000 . Chaque molécule contient $\pm 27\%$ d'hydrate de carbone qui est essentiel pour leur action biologique. La Prolactine est considérée comme ayant une structure d'une seule chaîne de polypeptides avec ± 211 acides aminés et un poids moléculaire de ± 24.000 .

b. Action biologique

b.1. Chez le mâle

Les hormones LH et FSH jouent un grand rôle chez le mâle. Ce rôle est la spermatogenèse : le LH (luteinizing hormone) est souvent appelé ICSH (Interstitial Stimulating Hormone) chez le mâle. On a remarqué chez la souris que si la glande pituitaire est enlevée, les testicules rapidement régressent et le spermatozoïde s'arrête.

b.2. Chez la femelle

Chez la femelle, le FSH provoque la croissance et le développement des follicules ovariens et augmente la consommation de l'oxygène et la synthèse des protéines, spécialement dans les cellules du theca. Le LH provoque l'ovulation. La prolactine a deux rôles chez les mammifères. D'abord, ensemble avec ACTH et hormone de croissance, il est une partie du complexe lactogénique de la glande pituitaire. En deuxième lieu il agit en synergie avec les œstrogènes sur le système des conduits mammaires et avec la progestérone sur les lobules alvéolaires. En plus, ensemble avec les corticostéroïdes, il initie et maintient la sécrétion du lait.

L'ocytocine est sécrétée par la partie postérieure de la glande pituitaire. L'ocytocine a deux actions principales à savoir : causer la contraction des muscles lisses de l'utérus et stimuler la contraction des cellules myoépithéliales de la mamelle et causer l'éjection du lait.

L'action de l'allaitement provoque aussi la sécrétion de l'ocytocine. La vasopressine est une hormone antidiurétique c'est-à-dire une hormone qui tend à économiser l'eau du corps et provoque une forte diminution de fréquence d'urination.

L'alcool empêche la sécrétion de l'ocytocine et de vasopressine. C'est la raison pour laquelle la consommation de l'alcool est suivie d'une grande fréquence d'urination. L'alcool ayant la propriété d'inhiber la sécrétion de l'ocytocine, il est parfois utilisé pour traiter les menaces d'avortement.

6.2.3. Hormones sexuelles stéroïdes

L'ovaire, les testicules et les glandes adrénales sécrètent une sorte de lipide du groupe stéroïde de propriété hormonale. Ces hormones stéroïdes sont : la progestérone, les œstrogènes et les androgènes. Le stéroïde de base pour la synthèse de ces hormones est le cholestérol.

a. Progestérone

Hormone surtout des femelles. Il est formé par l'oxydation de pregnenolone. Cette hormone est responsable pour maintenir la gestation. Elle cause un relâchement des muscles lisses de tout le corps et réduit l'excitation de la myometrium. Ensemble avec les œstrogène, elle cause la croissance et le développement intense de lobules alvéolaires de mamelles ; et de l'endometrium de l'utérus.

La progestérone est sécrétée surtout par le corps jaune et en petite quantité par les cellules (granulosa) de follicule ovaire et aussi l'adrénal.

b. Les œstrogènes

Sont des hormones surtout femelles ; sont responsables du développement des caractères sexuels secondaires femelles qui comprennent :

- Croissance de conduit des glandes mammaires ;
- Croissance de l'épithélium de l'utérus et du vagin ;
- Augmentation du métabolisme des protéines et hydrates de carbones.

Chez la plupart des espèces animales, l'œstradiol -17 β est l'œstrogène naturel le plus actif et le plus sécrété par l'ovaire. Les œstrogènes sont surtout sécrétés par les cellules de Theca des follicules, et chez la femelle aussi par le corps jaune. L'œstradiol -17 β est responsable de la manifestation du désir sexuel (estrus ou chaleurs) chez les femelles.

c. Les Androgènes

Sont des hormones surtout des mâles. Ils sont responsables du développement des caractères secondaires chez les mâles : grosse voix, poils du bas ventre, allongement du pénis et glandes accessoires. Cette hormone contrôle aussi la spermatogenèse. Elle influence aussi libido (désire sexuel chez la femelle et chez le mâle et agressivité chez le mâle).

Les androgènes sont sécrétés surtout par les testicules. L'androgène le plus sécrété par les testicules est la *testostérone*. Autres androgènes tels que androstenedione et dehydro épiandrostérone sont sécrétés en petite quantité. Ces deux androgènes sont surtout sécrétés par les glandes adrénales chez le mâle et femelle. L'ovaire sécrète aussi ces trois androgènes mais surtout les deux derniers. Les androgènes chez la femelle sont métabolisés en œstrogène.

6.2.4. Hormones du placenta

Le placenta de certains mammifères tels que les humains sécrètent les hormones stéroïdes et protéiques pour maintenir la grossesse, soit en supplémentant ou même en remplaçant les hormones produites par la glande pituitaire et l'ovaire. Il existe donc une unité qu'on peut appeler unité foeto placentaire.

Dans le placenta des humains se produit la synthèse de progestérone à partir de cholestérol en provenance du sang maternel. La progestérone produite dans le placenta joue un rôle de maintien de gestation dans plusieurs espèces animales.

A partir de l'ombilic, la progestérone du placenta atteint le cortex adrénal du fœtus où il est converti entre autres (stéroïde adrenocortical) en androgènes puis l'androgène passe au foie du fœtus et est converti en 16-OH dehydro épiandrosterone. Puis enfin en oestriol le principal œstrogène sécrété par le placenta des humains. Le placenta des humains sécrète aussi des petites quantités d'oestradiol -17 β et oestrone. L'oestriol est l'œstrogène urinaire principal de la femme enceinte, n'est pas produit par beaucoup d'espèces animales. Sa fonction est peu connue.

6.2.5. Autres hormones protéiques

Le placenta de la femme sécrète aussi à peu près deux sortes d'hormones protéiques : HCG (Human Chorionic Gonadotrophine) et HCS (Human Chorionic Somatomammotrophin). Les placentas des autres mammifères tels que la souris et la brebis produisent aussi des hormones protéiques capables de maintenir la vie du corps jaune (la gestation).

L'utérus de la jument gravide produit aussi des gonadotrophines que l'on retrouve dans le sérum de jument : PMSG (Pregnant mare's serum gonadotrophin). Le PMSG a des propriétés similaires à celles de FSH et LH, surtout la propriété LH. Sa fonction physiologique n'est pas bien connue.

a. Le HCG

Le sérum et les urines de la femme enceinte contiennent des grandes quantités de HCG. La détection de HCG dans les urines de la femme est un des tests biologiques pour le diagnostic de la grossesse (Test de bufo). Chimpanzé et le singe Rhésus produisent aussi le HCG.

Le HCG a des propriétés similaires à celles de LH mais le rôle du HCG n'est pas encore connu bien que ses actions sont similaires à celles de LH.

b. Les prostaglandines

Les prostaglandines constituent un groupe de lipides biologiques actifs. Ils ont été trouvés par un Gynécologue suédois Von Euler en 1930. On trouve ces substances dans presque tous les tissus du corps. On rencontre trois groupes des prostaglandines : A, E et F : tous sont des lipides avec acides gras insaturés et avec 20 atomes de carbone.

Les PG ont surtout la propriété de provoquer la contraction des muscles lisses.

Le sperme de l'homme contient une grande quantité de prostaglandines. Leur importance dans le sperme est peu connue. On le trouve aussi en grande quantité dans le placenta maternel de la femme en travail. Il faut noter aussi que l'administration de prostaglandines provoque la réduction du corps jaune chez certaines espèces animales. L'injection intraveineuse de PGE_1 et PGE_{2a} provoque l'avortement chez les humains.

Les prostaglandines F_{2a} et E_2 se rencontrent dans le liquide de menstruation de la femme. Chez les jeunes filles, leur concentration peut être tellement élevée qu'ils provoquent une forte contraction de l'utérus se traduisant en dysménorrhée.

6.3. LES CYCLES DE REPRODUCTION

6.3.1. Les Gamètes

6.3.1.1. Chez la femelle

a. Oocytes

Chez l'embryon, les tissus germinatifs forment une masse appelée gonocyte. Un des gonocytes se différencie en oogonie. L'Oogonie ensuite subit une prolifération soit avant la naissance (chez la plupart des espèces animales) ou quelque temps après la naissance (lapin, chauve souris, ...) pour former l'oocyte primaire). Après cette période de formation des oocytes primaires il y a naissance du fœtus chez la plupart des mammifères.

Mais quelque temps avant la naissance dès la formation de l'oocyte, l'oocyte commence sa première division méiotique caractérisée en prophase extrêmement longue (leptotène, sygotène, pachytène, diplotène et diacinèse). Quelque temps après la naissance, la prophase diplotène est accomplie chez la plupart des mammifères et la cellule s'élargie grandement. Après cette diplotène, l'oocyte entre dans une période de repos prolongé qui termine quelque temps avant l'ovulation.

Chez l'homme le premier oocyte qui recommence la première méiose le fait à partir de la puberté et le dernier ovule mûrit vers l'âge de 45 à 50 ans.

En contraste la méiose chez le mâle ne commence qu'à la puberté et continue sans interruption tout le long de la vie adulte. Au moment de la naissance donc, les ovaires des souris, cobaye, brebis, vache, singes et la femme contiennent surtout des oocytes au stade diplotène de méiose 1, alors que les ovaires du nouveau né du lapin, chauve souris contiennent seulement des oogonies.

Au cours de l'arrêt de la première méiose, bien avant la puberté, les oocytes se développent grandement par :

- Agrandissement de son cytoplasme
- Formation de zone pellucide et prolifération mitotique de l'épithélium folliculaire.

b. Ovulation

Après la formation de follicule de De Graff quelque temps avant l'ovulation, l'oocyte recommence sa première division méiotique. A la fin de la première division méiotique, il y a formation de l'oocyte secondaire avec n chromosome et libération du premier corps polaire.

Chez le chien, l'ovulation a lieu juste après la formation de follicule de De Graff alors que chez la plupart des mammifères, l'ovulation a lieu juste après la fin de la première division méiotique. Après l'ovulation, le follicule subit des changements qui aboutissent à la formation du corps jaune.

c. Atrésie

C'est la dégénération de la plupart des oocytes et follicules qui n'arrivent pas à l'étape d'ovulation.

6.3.1.2. Chez le mâle

Les gamètes mâles sont appelés les spermatozoïdes. Ils sont formés dans les tubules séminifères des testicules. La spermatogénèse qui est le processus de la formation des spermatozoïdes commence à la puberté. A la naissance, les tubules séminifères n'ont pas des conduits et ont seulement deux types de cellules, les spermatogonies et les cellules indifférenciées. La spermatogénèse continue de la puberté jusqu'à la vieillesse, période à laquelle les tubes séminifères commencent à s'atrophier pour produire un nombre des spermatozoïdes de plus en plus réduit.

Chez les animaux sauvages avec un système d'accouplement saisonnier, le cycle sexuel dépend des changements dans la durée de la lumière journalière (photopériode). Chez ces animaux, les testicules régressent complètement au cours de la saison de repos et l'épithélium germinatif rentre à l'état jeune non en maturité.

a) La spermatogénèse

La spermatogénèse chez tous les mammifères dure plusieurs semaines et peut être divisée en 3 phases :

- Phase de multiplication mitotique et maturation des spermatogonies
- Phase des divisions méiotiques
- Phase de spermatogénèse ou spermateleose

Au cours de la spermatogénèse, les cellules germinales des différentes phases se distribuent selon leur âge de la paroi des tubes séminifères au centre des tubules.

a.1. Phase mitotique

Les spermatogonies, suite à la division mitotique, se multiplient en donnant successivement différents types de spermatogonium (A, A₁, A₂, ...). Le type A donne naissance aux autres types (A₁, A₂, A₃, ..., A₄). Certains de ces spermatogonium (les actifs) vont former les types intermédiaires et les types B des spermatogonies ; alors que les autres types A restent dormant pour attendre le cycle suivant.

Chaque spermatogonie active du type B va se diviser mitotiquement 4 fois pour donner finalement 16 spermatocytes primaires (2n chromosomes) en théorie, mais en réalité les dégénérescences sont énormes. La durée de cette phase varie suivant les espèces animales, elle est de ± 15 à 17 jours chez le bélier.

a.2. Phase de division méiotique

Les spermatocytes primaires entrent en division méiotiques qui consiste à deux divisions méiotiques semblables à celle de l'oocyte. La première méiose donne les spermatocytes secondaires (n chromosomes) et dure ± 15 jours chez le bélier. La seconde méiose donne les spermatides. Elle dure quelques heures.

a.3. Spermiogenèse

Elle dure ± 15 jours chez le bélier. Elle consiste à la métamorphose des spermatides pour former les spermatozoïdes. Elle se passe sans division cellulaire. Le spermatide contient un noyau (5 à 6 μm de diamètre), deux centrioles et autres organelles. Cette métamorphose peut être divisée en 4 phases :

✓ **Phase de Golgi**

Au cours de cette phase, l'appareil de Golgi des spermatides forme des granules appelés granules appelées granules acrosomales qui à la longue se fusionnent pour former une seule granule acrosomale qui devient ensuite une vésicule acrosomale.

✓ **Phase de Chapeau**

Au cours de cette phase, la vésicule acrosomale se repend sur la surface du noyau formant une sorte de chapeau qui couvre la moitié ou les 2/3 du noyau. Les deux centrioles migrent de la périphérie du cytoplasme vers le noyau. L'un des centrioles se met contre le noyau au pôle opposé par rapport à la position de l'acrosome. L'autre centriole devient la base de la flagelle qui se forme à cette phase.

✓ **Phase acrosomale**

Caractérisée par des modifications profondes de l'acrosome, du noyau et du flagelle. Le noyau se déplace du centre vers la périphérie de la cellule, il s'allonge et s'aplatie légèrement et sa chromatine se condense progressivement en granule dense.

A ce stade, la spermatide fait une rotation pour diriger l'acrosome vers la paroi des tubes séminifères. Le cytoplasme se déplace vers le flagelle et s'allonge pour entourer la partie proximale de la flagelle et les mitochondries alors se distribuent le long de la portion de la flagelle.

✓ **Phase de maturation**

L'acrosome et le noyau prennent la forme caractéristique de l'espèce (voir figure). La masse cytoplasmique contenant un grand nombre de ribosomes, gouttelettes de lipides, mitochondries

en dégénérescence constituent ce qu'on appelle le corps résiduel de Regaud. Ce corps résiduel est excrété dans la cavité des tubules séminifères ou phagocytosé par les cellules de Sertoli. Néanmoins, une petite partie de cytoplasme (gouttelette cytoplasmique) reste attachée au spermatide mûre autour de la partie antérieure de la flagelle. Cette portion de gouttelette cytoplasmique sera absorbée dans l'épididyme au cours de la maturation finale des spermatozoïdes. Tôt après la sécrétion de corps résiduel, le spermatozoïde se détache de la cellule de Sertoli pour se noyer dans la cavité des tubules séminifères.

b) Les spermatozoïdes

b.1. Maturation

Après avoir quitté les tubes séminifères, les spermatozoïdes vont dans le mesdiatimum testis, puis dans les canaux efférents et enfin dans l'épididyme. Dans l'épididyme, les spermatozoïdes peuvent être gardés pour une longue période ou surtout dans la queue de l'épididyme. Dans l'épididyme, les spermatozoïdes subissent la maturation finale qui leur permet d'acquérir la mobilité et le pouvoir fécondant. Cette maturation consiste en :

- Modification de forme de l'acrosome
- La gouttelette cytoplasmique est enlevée de spermatozoïde
- Changement chimique de chromatique.

Les spermatozoïdes peuvent rester longtemps dans l'épididyme (± 60 jours chez les taureaux). A ce moment les spermatozoïdes sont immobiles, leur métabolisme est faible. Après une longue période de repos, les spermatozoïdes dans l'épididyme dégénèrent et sont réabsorbés dans la queue de l'épididyme. Ainsi quand on évalue la valeur de sperme, il est mieux de prendre plusieurs éjaculats pour éviter la possibilité de voir le première éjaculat contenant des spermatozoïdes dégénérés.

b.2. La morphologie

Le spermatozoïde comprend : la tête et la queue. L'ensemble est enveloppé par une membrane plasmique.

- La tête : formée par : plasma membrane, acrosome et noyau. La forme de la tête varie d'une espèce animale à une autre. Chez les humains, la tête de spermatozoïdes a la forme allongée comme un avocat.
- La queue : comprend : le cou, pièce centrale, pièce principale et pièce finale

c) Le liquide de spermatique

- Les conduits déférents ont comme rôle de transporter les spermatozoïdes de la queue de l'épididyme à l'urètre par des mouvements péristaltique qui se produisent au cours de la courtoisie sexuelles et excitation précoïcale.
- Les glandes ampullaires produisent l'ergothioneine qui est une base azotée contenant du soufre.
- Les vésicules séminales produisent un liquide contenant du fructose, sorbitol, acide citrique et inositol chez le taureau, verrat et étalon ; chez le taureau surtout, la vésicule séminale produit à peu près la moitié du sperme total et le sperme du taureau est souvent jaune à cause de sa grande teneur en riboflavine.

Prostate et glande de Cowper

Chez nos grands animaux domestiques (taureau, étalon et verrat) la prostate contribue peu au volume du sperme. Mais chez le chien le volume du sperme est presque formé par la sécrétion prostatique.

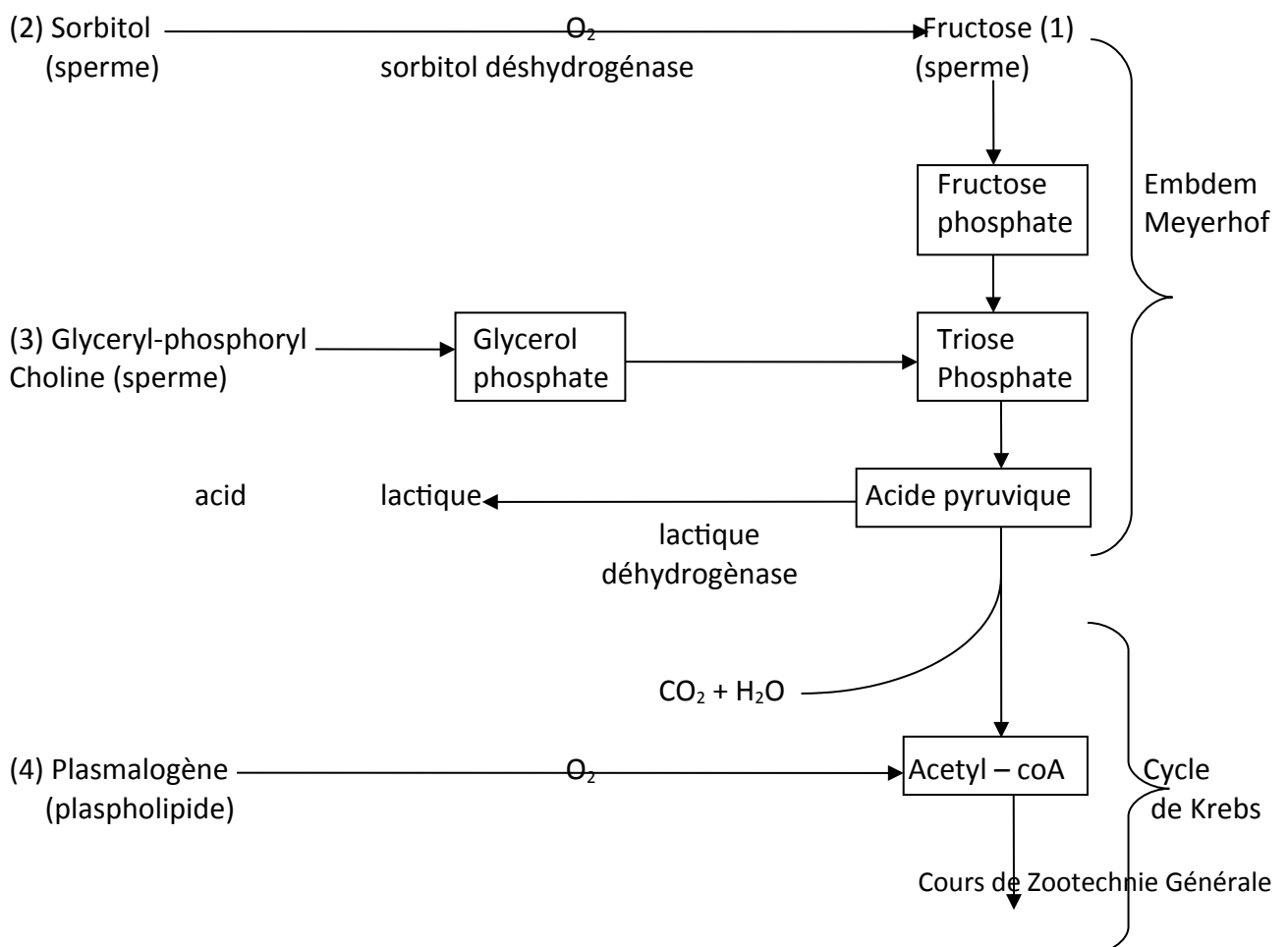
La glande de Cowper du verrat sécrète un liquide visqueux tout blanc qui intervient dans la coagulation du sperme. Chez le taureau et petits ruminants, le sperme est rapidement mélangé avec les spermatozoïdes puis éjaculé quelques secondes après intromission. Chez l'étalon (< à 1 minutes), le verrat (2-10 minutes), et le chien (5-20 minutes), l'éjaculation est lente et fractionnée. Ces fractions correspondent aux différentes sécrétions de différentes glandes accessoires. Chez ces animaux on peut distinguer 3 fractions : pré spermatozoïde, spermatozoïde riche et post-spermatozoïde.

Le sperme joue le rôle de transporteur de spermatozoïdes du pénis jusque dans le vagin ou utérus de la femelle. Il sert aussi comme milieu nutritif. Son pH est de $\pm 7,0$.

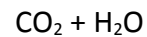
d) Métabolisme de spermatozoïde

Il y a 4 substances dans le sperme qui peuvent être utilisées directement ou indirectement par les spermatozoïdes : fructose, sorbitol, glycerol phosphoryl choline (G.P.C.) et phospholipide en présence d'oxygène. Les trois premiers sont des composés du sperme mais le phospholipide est dans le spermatozoïde même.

Le plasmalogène (phospholipide) qui est dans le spermatozoïde lui-même est considéré comme une source d'énergie utilisée par le spermatozoïde quand les sources exogènes de l'énergie sont épuisées.



(spermatozoïde)



Ce métabolisme est la source d'énergie qui confère au spermatozoïde leur mobilité.

Spermatogénèse (voir schéma)

Spermiogénèse (voir schéma)

Structure d'un spermatozoïde (voir schéma)

6.3.2. Les cycles sexuels

6.3.2.1. La puberté

La puberté est la période de l'adolescence quand le mâle ou la femelle est pour la première fois capable de libérer les gamètes. La première ovulation indique que la femelle a atteint la puberté. Il est plus difficile à déterminer le temps exact de puberté. Chez le mâle, la maturité sexuelle diffère de la puberté. L'âge à la puberté varie d'une espèce animale à une autre.

6.3.2.2. Le cycle œstral de la femelle

a. Phase

La formation des gamètes paraît un phénomène cyclique surtout chez la femelle. Au cours de ce cycle, il existe une période où la femelle de nos animaux présente un comportement sexuel typique appelé chaleurs. A cette période, la femelle accepte le mâle pour l'accouplement. Le comportement de la femelle au cours de la période de chaleurs varie d'une espèce animale à une autre. L'intervalle entre le début des chaleurs d'une période et le début des chaleurs de la période suivante s'appelle cycle œstral. Le cycle œstral est directement contrôlé par les hormones de la reproduction et peut être divisé en 4 phases : Proestrus, estrus, metestrus et diestrus.

a.1. Proestrus

Sous la stimulation de FSH et un peu LH en provenance de la glande pituitaire antérieure, les follicules de l'ovaire se développent graduellement. Ces follicules alors commencent à sécréter l'œstrogène (estradiol-17 β) qui à son tour va causer un grand développement de l'utérus, vagin, oviductes et follicules ovariens, suite à une vascularisation intense et un métabolisme élevé. Le liquide du follicule augmente.

a.2. Oestrus

Le mot estrus dérive du mot grec « oistros » qui est une sorte de mouche et fut utilisé pour décrire le comportement nerveux et agité d'une vache quand elle est attaquée par cette mouche. L'estrus est la période appelée chaleurs. La femelle devient réceptive au mâle, parfois monte les autres femelles, elle mange peu, elle est agitée. Cette période est déterminée par la présence d'une plus grande quantité d'œstrogène circulant dans le sang. Au cours de cette période ou après quelque temps, l'ovulation se produit.

L'ovulation est provoquée par une diminution de FSH dans le sang et une augmentation de LH. A ce moment l'ovule est chassé de follicule pour passer dans l'oviducte. La rupture de follicule se

produit spontanément chez la plupart d'animaux. Mais chez la chatte, la lapine et autres animaux à fourrure, la rupture n'est possible qu'après « coïtus ». Chez ces animaux s'il n'y a pas de coïtus, le follicule et son ovule régressent.

a.3. Metoestrus

C'est la période post-ovulatoire au cours de laquelle le corps jaune se forme. La durée de metestrus dépend de la durée du corps jaune. Au cours de cette période la cavité laissée par la rupture de follicule commence à s'organiser en produisant des cellules qui vont remplir cette cavité. Cette nouvelle structure s'appelle corps jaune (Corpus luteum). Le corps jaune alors sécrète l'hormone progestérone qui empêche le développement d'autres follicules et ainsi empêche le cycle œstral suivant. Au cours de metestrus l'œstrogène diminue, de même que le FSH et LH. Il n'y a plus d'œstrus aussi longtemps que le corps jaune fonctionnel est présent.

a.4. Dioestrus-anoestrus

Dioestrus est une petite période d'inactivité avant l'apparition du proestrus suivant au cours de la saison d'accouplement chez les animaux polyoestrus.

L'anestrus, longue période d'inactivation de l'ovaire entre deux saisons sexuelles. Après que le corps jaune s'est complètement formé, la progestérone qu'il sécrète agit sur l'utérus : l'endometrium devient épais, les glandes internes augmentent en taille. Le myometrium aussi augmente en taille. Tous ces changements se produisent pour favoriser l'implantation et la nutrition de l'embryon.

S'il y a eu fécondation, ces changements continuent tout le long de la gestation. Mais s'il n'y a pas eu de fécondation, le corps jaune régresse. La période entre le début de régression du corps jaune jusque vers le début de proestrus suivant est la période de diestrus. Chez les animaux à reproduction saisonnière, à la fin de la saison d'accouplement, les ovaires des femelles non gestantes entrent au repos, les oviductes, l'utérus et le vagin par manque d'hormone s'atrophient : c'est la période d'anestrus. Chez la chienne même non fécondée, le corps jaune persiste pour une période égale à celle de la gestation : c'est la pseudo gestation.

b. Rôle des hormones dans le cycle œstral (voir schéma)

c. Changement des conduits génitaux au cours de cycle œstral

Le vagin, le col, l'utérus et oviductes sont des points d'action des hormones stéroïdes. Chez les rongeurs, l'épithélium vaginal change selon le stade du cycle œstral. Ces changements peuvent être suivis au cours du cycle œstral en examinant le frottis vaginal au microscope. Les changements s'observent aussi dans les cellules vaginales de la femme et des femelles des autres mammifères mais la distinction des cellules selon les stades du cycle œstral n'est pas bien définie.

- En œstrus on trouve surtout des cellules épithéliales plates squameuses et mortes avec un petit noyau.
- En proestrus il y a abondance d'érythrocyte (globule rouge du sang) qui sont des cellules arrondies
- En période de metestrus, il y a surtout abondance de leucocytes (globule blanc)
- En diestrus on trouve un mélange de cellules.

Figure... section à travers la paroi vaginale de la souris aux différents stades du cycle œstral montrant les cellules typiques qui apparaissent dans le frottis vaginal :

A = Diéstrus

B = Proéstrus

C = Estrus

D = Météstrus

E = animal adulte stérilisé (on a enlevé l'ovaire)

A l'œstrus, le volume des sécrétions génitales augmente.

d. Régulation de la vie du corps jaune

La régression du corps jaune provoque le retour de cycle œstral. Cette régression est causée par facteur luteolytique de l'utérus qui est la prostaglandine F_{2a} chez la brebis, vache, truie et autres animaux tels que les rongeurs.

Chez les primates et les hommes, la régression du corps jaune n'est pas sous le contrôle du facteur utérin à la fin du cycle menstruel.

6.3.2.3. Cycle de reproduction chez diverses espèces animales

a. Vache

a. 1. De la naissance à la puberté

A la naissance, les conduits génitaux sont déjà bien formés, la glande pituitaire produit déjà de gonadotrophines et les ovaires contiennent déjà des follicules avec antrum. Les ovocytes sont presque tous déjà formés et le nombre total des gamètes pour chaque individu est déjà défini à la naissance. Ce nombre a été estimé à 600.000 ou plus. Le développement de follicule et la dégénérescence est grande au cours de la vie pré pubertale.

La première ovulation se produit 10-12 mois d'âge parfois même plus tôt. Une mauvaise nutrition augmente l'âge de puberté. Inversement une bonne nutrition provoque une puberté précoce. L'âge de la puberté peut être réduit de plusieurs semaines en traitant les génisses avec progestérone et PMSG si la nutrition est bonne.

a.2. Cycle œstral

a.2.1. Caractéristiques

La longueur du cycle œstral est de 20 à 22 jours. Les génisses ont souvent des cycles plus courts que les vaches. La mauvaise nutrition peut causer une interruption remarquable du cycle.

Plus de la moitié des ovulations se font dans l'ovaire droit. La cause de cela n'est pas claire. Les vaches et génisses ont des cycles œstraux tout le long de l'année si elles ne sont pas gravides ou en anestrus post-partum. La femelle en estrus attire les autres femelles et les taureaux et s'arrête pour être montée par d'autres vaches ou par le taureau. Le comportement de chaleurs est plus accentué chez les vaches laitières que chez les vaches à viande. Les vaches en chaleurs tendent à se monter l'une sur l'autre.

Le follicule mûr mesure 16-18 mm et le corps jaune 18-24 mm. L'œstrus ou chaleur dure 18-19 heures. L'ovulation se produit 25-30 heures après le début de l'œstrus ou 10-11 heures après la fin des chaleurs. Ce temps correspond au temps nécessaire pour la maturation de l'oocyte. L'oocyte qui va ovuler le cycle prochain commence sa division de maturation vers le début de l'œstrus. Certaines vaches montrent un léger écoulement du sang dans le vagin environ 3 jours après l'œstrus. La cause exacte de cet écoulement est peu connue. Le meilleur moment d'insémination artificielle est vers la fin de l'œstrus.

Le cycle œstral peut être allongé par progestérone exogène ou raccourci par traitement avec œstrogène, oxytocine ou prostaglandine. Prostaglandine F2a est efficace pour la régression de corps jaune 5 jours après le cycle œstral.

L'enlèvement du corps jaune mécaniquement cause le retour du cycle œstral et ovulation mais cette opération cause plus de cas de jumeaux chez les vaches laitières mais pas chez les vaches à viandes. L'enlèvement du corps jaune plus administration de gonadotrophine provoque de super ovulation et parfois augmente la lutéinisation de follicule comparé aux gonadotrophines données seuls.

a.2.2. Anomalies

Parfois les follicules défont à ovuler et continuent à se développer jusqu'à 8 cm de diamètre ou plus : c'est le kyste folliculaire. Les vaches avec cette condition sont toujours en chaleurs constantes ou intermittentes mais sont stériles jusqu'au moment où l'ovule est libéré.

Le kyste folliculaire peut être cassé avec les doigts à partir du rectum ou en injection du LH ou HCG. Ces traitements ne traitent pas la cause et des nouveaux kystes vont être formés. Le kyste ovarien est la cause principale de la nymphomanie associée avec une forte quantité d'œstrogène en circulation. Les cas de ces kystes sont plus élevés chez les vaches laitières produisant une forte quantité de lait.

b. Chez la Brebis

b.1. Puberté

Les premières chaleurs peuvent arriver entre 4 à 10 mois d'âge quand l'animal a un poids de 40-60 % de poids adulte. Certaines brebis n'atteignent la maturité qu'après 2 ans du aux facteurs saison de reproduction.

b.2. Caractéristique du cycle œstral

Le comportement sexuel de la brebis au cours de la période des chaleurs est peu évident en absence du bélier. Parfois on remarque le gonflement de la vulve et écoulement du mucus du col de l'utérus. Le frottis vaginal est peu sûr pour détecter les chaleurs. L'œstrus dure 24-48 heures. L'ovulation se produit vers la fin de l'œstrus (24-30 heures après le début des chaleurs). La durée du cycle œstral est de 14 à 19 jours avec une moyenne de 17 jours.

c. Chez la Truie

c.1. La maturité sexuelle

La maturité sexuelle se produit entre 6 et 8 mois d'âge

c.2. Caractéristiques du cycle œstral

La durée du cycle est de 19 à 23 jours avec une moyenne de 21 jours. Le porc est un animal poly oestrus tout le long de l'année. L'œstrus dure 48-72 heures. Beaucoup de truies entrent en chaleurs 1 à 3 jours après parturition mais ces chaleurs ne sont pas suivies d'ovulation.

L'ovulation a lieu 35 à 45 heures après le début de chaleurs. Dix à 25 ovules sont ovulés à chaque cycle. Les signes de chaleurs sont : agitations, grognements, manque d'appétit, elle monte sur les autres femelles.

d. Chez la Jument

Les Juments peuvent être groupées en 3 catégories :

- **Juments à reproduction saisonnière** : Les races sauvages ont une reproduction saisonnière qui correspond à la longue photopériode (longue durée de lumière).
- **Reproduction saisonnière transitoire** : Certaines races domestiques et quelques individus montrent le cycle œstral tout le long de l'année mais l'ovulation ne se produit qu'au cours d'une saison d'accouplement seulement.
- **Reproduction tout le long de l'année** : Certaines races domestiques montrent des cycles œstraux accompagnés d'ovulation tout le long de l'année.

d.1. Estrus et ovulation

Au cours de l'estrus, la vulve s'élargie et gonfle. Les muqueuses de la membrane de la vulve sont gonflées et couvertes d'une petite couche transparente de mucus. Il y a une fréquente urination,

le clitoris gonfle et ressort, la femelle soulève sa queue de temps en temps et écoulement des décharges vaginales. Les cellules épithéliales du vagin ne sont pas bons indicateurs de l'œstrus.

Le cycle œstral dure 19-25 jours, l'œstrus dure 4-8 jours et l'ovulation produit 1-2 jours avant la fin de l'œstrus.

e. Chez la femme

La femme ne montre pas l'œstrus ou désir sexuel périodique, mais plutôt elle a une menstruation qui est l'écoulement périodique du sang. D'où on parle de cycle menstruel. La menstruation dure 3-5 jours et marque la fin du corps jaune fonctionnel.

Le premier jour de menstruation est considéré comme le jour 1 du cycle. La phase folliculaire (développement de follicule) suit le début de menstruation. Cette phase folliculaire dure environ 2 semaines. L'émotion peut retarder l'ovulation; alors que les rapports sexuels peuvent précipiter l'ovulation. L'ovulation intervient souvent 16 jours après le début de menstruation. Le cycle menstruel est d'environ 29 jours.

Résumé de cycle de reproduction des animaux domestiques

Animal	Début de la puberté	Age moyen de premier service	Longueur du cycle estral	Durée de l'œstrus	Période de gestation
Jument	18 mois (10 à 24 mois)	2 à 3 ans	21 jours (19 à 21 jours)	5 jours (4,5 à 7,5 jours)	336 jours (323 à 341 jours)
Vache	10 à 12 mois	14 à 22 mois	21 jours (18 à 24 jours)	18 heures (12 à 28 heures)	282 jours (274 à 291 jours)
Brebis	4 à 12 mois	12 à 18 mois	16,5 jours (19 à 21 jours)	24 à 48 heures	150 jours (140 à 160 jours)
Truie	6 à 8 mois	8 à 10 mois	21 jours (18 à 21 jours)	2 jours (1 à 5 jours)	114 jours (110 à 116 jours)
Chienne	6 à 24 mois	12 à 18 mois	6 à 12 mois	9 jours (5 à 9 jours)	63 jours (60 à 65 jours)
Animal	Temps de l'ovulation	Temps optimum d'accouplement		Moment d'accouplement après mise Bas	
Jument	1 à 2 jours avant la fin de l'œstrus	3 à 4 jours avant la fin de l'œstrus ou le 2 ^{ème} ou 3 ^{ème} jour de l'œstrus		25 à 35 jours ou deuxième œstrus	
Vache	10 à 15 heures après la fin de	Juste entre avant le milieu de l'œstrus à la fin de l'œstrus		60 à 90 jours	

	l'estrus		
Brebis	12 à 24 heures avant la fin de l'estrus	18 à 24 heures après le début de l'estrus	Après sevrage
Truie	30 à 36 heures après le début de l'estrus	12 à 30 heures après début de l'estrus	Premier estrus 3 à 9 jours après sevrage
Chienne	1 à 2 jours après le début de la vraie estrus	2 à 3 jours après début de la vraie estrus ; ou 10 à 14 jours après le début du proestrus	Souvent le premier estrus ou bien 2 à 3 mois après sevrage.

6.4. TRANSPORT DES GAMETES

6.4.1. Transport des spermatozoïdes

Chez l'homme, le lapin, le singe, le bovin et l'ovin, le sperme est éjaculé dans le vagin au cours de la copulation, alors que chez le cheval, le chien, le porcin et le rongeur, le sperme est éjaculé dans l'utérus.

6.4.1.1. Mode de transport de spermatozoïde

Le col de l'utérus, l'utérus et l'oviducte possèdent un épithélium avec cellules non ciliées sécrétoires et des cellules ciliées non sécrétoires. Les cellules ciliées sont plus nombreuses dans le fimbriae et la région ampullaire de l'oviducte que dans la région de l'utérus et du col.

a) Transport des spermatozoïdes dans le col

Le vagin est la première barrière de spermatozoïdes à cause du pH. Le col de l'utérus est considéré comme la deuxième barrière que les spermatozoïdes doivent traverser pour atteindre l'utérus. Cette barrière joue le rôle d'empêcher un excès de spermatozoïdes d'atteindre l'utérus.

Par exemple chez le bélier, l'éjaculation normale contient environ 3 milliards de spermatozoïdes mais environ 1 million seulement passent le col de l'utérus. Les spermatozoïdes éjaculés pénètrent rapidement le mucus aqueux du col de l'utérus grâce à la mobilité des spermatozoïdes et le mouvement des cellules ciliées du col. La progestérone synthétique seule ou

en combinaison avec les œstrogènes inhibe la formation du mucus aqueux du col. Ce qui empêche la pénétration de spermatozoïdes.

b) Transport des spermatozoïdes dans l'utérus

La contraction de l'utérus joue le rôle important dans le déplacement des spermatozoïdes dans l'utérus. Généralement la contraction de l'utérus augmente au cours de l'oestrus et au cours de copulation. Il est à noter que la méthode anticonceptionnelle de l'D.I.U. provoque des mouvements de l'utérus vers le col de l'utérus. Ce qui est probablement à l'origine du mécanisme anti-conceptuel de cette méthode.

c) Transport des spermatozoïdes dans l'oviducte

Bien qu'il y ait un grand nombre de spermatozoïde qui est éjaculé, seulement quelques centaines atteignent ce lieu de fertilisation dans l'oviducte. Parmi ces centaines de spermatozoïdes, la chance pour qu'un spermatozoïde rencontre l'ovule est élevé.

Chez les ruminants, certains spermatozoïdes atteignent l'ampulla à moins de 15 minutes. L'isthmus normalement limite le passage de spermatozoïde à l'ampulla et prévient ainsi la polyspermie suite à la forme rétrécie de la jonction isthmo-ampullaire. Donc la jonction isthmo-ampullaire est aussi une autre barrière de spermatozoïdes.

6.4.1.2. Mécanisme physiologique de transport de spermatozoïde

Le transport de spermatozoïdes dans le conduit femelle est influencé par plusieurs facteurs :

- Mécanisme de copulation
- Aspect biophysiques de fluide des cavités génitales
- Mobilités des conduits génitaux femelles
- Sécrétion d'oxytocine chez la femelle
- Présence des substances stimulant l'utérus dans le sperme (prostaglandine, plasmogènes, ...)

a) Mobilité des spermatozoïdes

Les spermatozoïdes normaux doivent avoir une tête de forme ovale et morphologiquement normale pour pouvoir se déplacer dans le mucus des conduits génitaux femelles. Les hormones ovariennes affectent le transport des spermatozoïdes.

S'il y a copulation au moment de l'oestrus et ovulation, beaucoup des spermatozoïdes seront arrêtés au niveau du col mais certains vont être transportés dans l'utérus, et la contraction de l'utérus en ce moment, grâce à l'œstrogène ensemble avec le mouvement des cellules ciliées aidera les spermatozoïdes à atteindre l'ovule. Le mucus du col sera moins épais, plus aqueux, ce qui permet aux spermatozoïdes de traverser cette barrière beaucoup plus facilement.

Si la copulation ou insémination artificielle est faite au cours du début de proestrus, le transport de spermatozoïdes est inhibé un peu à cause de la présence dans le col d'un mucus épais avec un grand nombre de leucocytes.

Si l'insémination artificielle est faite au cours de la formation du corps jaune (metestrus), le transport des spermatozoïdes est tout à fait inhibé par suite de la présence d'un mucus très épais dans le col de l'utérus, suite à la sécrétion de progestérone.

6.4.1.3. Survie des spermatozoïdes

La survie des spermatozoïdes dans les conduits femelles est un facteur important de fertilité. La durée de capacité de fertilisation d'un spermatozoïde est très courte, plus courte que la durée de la mobilité de spermatozoïdes. Les spermatozoïdes peuvent garder leur pouvoir de fertilisation pour plusieurs mois chez certains mammifères qui entrent en hibernation et pour des années pour certains des insectes et reptiles. Mais chez la plupart de nos animaux domestiques (vaches, brebis et truie), les spermatozoïdes peuvent rester fertiles dans l'utérus pendant un à deux jours. Chez la jument jusqu'à environ 6 jours parfois.

6.4.1.4. Capacitation

Dans la plupart des espèces animales, les spermatozoïdes ne sont pas capables de féconder un ovule immédiatement en entrant dans le vagin. Ils doivent d'abord dépenser au moins trois à quatre heures dans l'utérus ou oviducte où s'opère le phénomène de capacitation. La capacitation implique des changements morphologiques, physiologiques et biochimiques qui lui permettent de pénétrer l'œuf. La nature de capacitation n'est pas bien connue.

6.4.2. Transport de l'ovule

L'ovaire des rongeurs, de la chienne et de la chatte est entouré presque complètement par un tissu qui continue jusqu'à l'infundibulum. Chez ces espèces, l'ovule a difficile de tomber dans la cavité abdominale lors de l'ovulation. Lors de l'ovulation, ce tissu contient un liquide qui avec le mouvement de vibration des membranes forme un courant qui emporte l'ovule vers l'infundibulum. Ce type de tissu existe chez certaines autres espèces animales mais avec un développement variable.

Chez la lapine et la femme, ce tissu n'existe presque pas et il y a risque que l'ovule tombe dans la cavité abdominale de la femelle. Ces accidents arrivent rarement car lors de l'ovulation, sous l'effet hormonal, l'infundibulum se rapproche de l'ovaire et les fimbriae alors attrapent l'ovule et le dirige dans l'oviducte.

Arrivé dans l'infundibulum, l'ovule est transporté dans l'ampulla grâce aux mouvements de vibration des cellules ciliées. Puis arrivé à la jonction de l'ampulla et l'isthmus, l'œuf s'arrête pour deux jours. Si l'ovule est transporté prématurément de l'oviducte à l'utérus, il ne s'implante pas. De même un passage lent provoque la dégénérescence de l'ovule.

Temps de transport de l'ovule dans l'oviducte

Espèce	Temps (heures)
Bovin	90
Ovin	72
Cheval	98

Porcin	50
Chatte	148
Chienne	168
Femme	48-72

6.4.3. L'ovule fécondable et l'âge de l'ovule

Dans la plupart des espèces animales, l'œuf est capable d'être fertilisé en 12-24 heures. Mais avec l'âge, l'œuf perd son pouvoir de fertilité. Souvent quand l'œuf atteint la région de l'isthmus, il a presque déjà perdu son pouvoir fertilisant. Un vieil ovule peut être fécondé comme un vieux spermatozoïde peut féconder un ovule mais souvent l'embryon provenant de ces gamètes ne s'implante pas ; il est souvent détruit.

6.4.4. Fécondation, division et implantation

6.4.4.1. Fécondation

C'est la fusion de la cellule mâle et femelle.

a. Position et état de l'ovule

Chez la plupart des mammifères, la fécondation commence après que le premier corps polaire a été expulsé et le spermatozoïde pénètre l'ovule quand celui-ci est dans sa deuxième méiose. Chez la jument et la chienne, néanmoins le spermatozoïde peut entrer dans l'ovule avant la deuxième méiose.

L'endroit de fécondation chez tous les mammifères de ferme et chez la plupart des autres mammifères est la jonction de l'ampulla avec l'isthmus. Quand l'œuf entre dans l'ampulla, il est encore entouré par une couche : zone pellucide et par les cellules folliculaires : cumulus oophorus.

Les cumulus oophorus disparaît après quelque temps pour ne laisser que la zone pellucide. Chez la plupart des mammifères, l'œuf non fécondé dégénère après quelque temps mais chez la jument, l'œuf non fécondé peut rester dans l'oviducte pour plusieurs mois.

b. Réaction acrosomale

Le spermatozoïde ne peut pénétrer l'ovule (cumulus oophorus et zone pellucide) que s'il a subi la réaction acrosomale et le spermatozoïde ne peut subir la réaction acrosomale que s'il a subi la capacitation.

La réaction acrosomale consiste en :

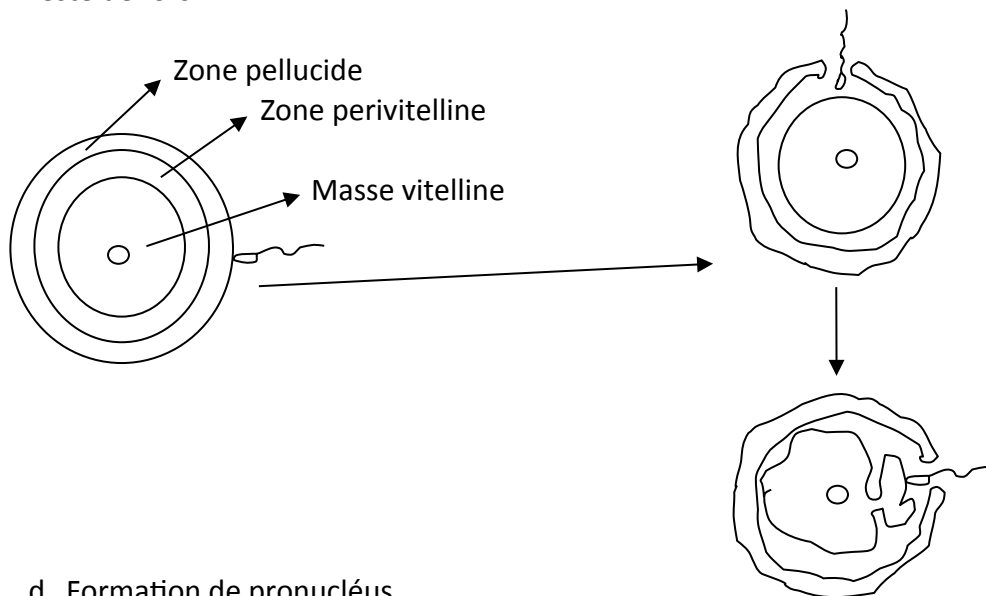
- La membrane cytoplasmique du spermatozoïde dans la région de la tête fusionne avec l'acrosome à certains points
- Puis cette fusion conduit à la formation des ouvertures
- La formation des ouvertures libère le contenu de l'acrosome formé surtout des enzymes capables de digérer la membrane de l'ovule (cumulus oophorus).

Voir schéma de la réaction acrosomale)

c. Entrée des spermatozoïdes dans l'ovule

Après la réaction de l'acrosome, les enzymes du contenu de l'acrosome digèrent le cumulus oophorus. Le spermatozoïde alors pénètre le cumulus oophorus puis la zone pellucide et arrive dans l'espace perivitellin et dans la surface de la masse vitelline de l'ovule. Là, la tête du spermatozoïde s'attache sur la surface de la masse vitelline de l'ovule.

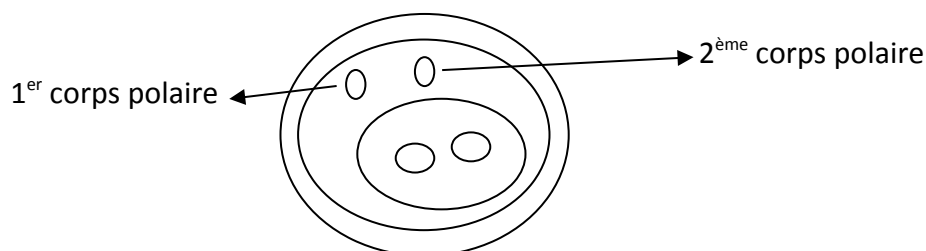
La membrane cytoplasmique du vitellus fusionne avec celle du spermatozoïde. Chez certains espèces (types de chauve souris) la queue pénètre en partie dans la cavité perivitelline. Chez d'autres espèces, une petite partie seulement pénètre dans la cavité périvitelline, l'autre partie reste dehors.



d. Formation de pronucléus

Après la pénétration de spermatozoïde dans le vitellus, le deuxième corps polaire est libéré et il se forme dans le noyau du spermatozoïde un certain nombre des noyaux qui sont entourés par une membrane : c'est le pronucléus mâle. Après l'élimination du 2^{ème} corps polaire, le noyau femelle se fragmente en petits noyaux entourés d'une membrane : c'est le pronucléus femelle.

Les mitochondries se mettent autour de pronucléus.



e. Syngamie

Quelque temps après, les pronucléus mâles et femelles viennent en contact, puis fusionnent pour former un seul noyau.

f. Réaction de la zone pellucide et le blocage de la masse vitelline

Il est remarqué que plusieurs spermatozoïdes entourent la zone pellucide mais un seul spermatozoïde pénètre cette zone. Après cette pénétration, la zone pellucide subit des

changements qui lui rendent impénétrable par d'autres spermatozoïdes : c'est la réaction de la zone pellucide.

Les spermatozoïdes qui parviennent tout de même à pénétrer la zone pellucide après que le premier spermatozoïde ait pénétré s'appellent spermatozoïde supplémentaires. Chez certaines espèces (brebis, chienne, ...) cette réaction est tellement rapide qu'il y a rarement des spermatozoïdes supplémentaires.

La lapine n'a pas de réaction de zone pellucide et on peut observer 100 ou plus des spermatozoïdes qui traversent la zone pellucide.

Le vitellus à son tour présente aussi une barrière à la pénétration de spermatozoïde : c'est le blocage vitellin.

Tôt après qu'un spermatozoïde soit attrapé par la membrane cytoplasmique de la masse vitelline, le vitellus devient insensible à la pénétration d'autres spermatozoïdes. Les spermatozoïdes qui parviennent à passer la zone pellucide et à entrer dans la masse vitelline sont appelés : spermatozoïdes super surnuméraires et l'ovule est dit avoir une polyspermie. Un ovule trop âgé réduit la réaction de la zone pellucide et le blocage du vitellus, c'est qui favorise la polyspermie chez un ovule âgé.

S'il y a polyspermie, les spermatozoïdes impliqués peuvent former les pronucléus mâles et fusionner avec les pronucléus femelles. Ce qui résulte en des individus Triploïdes (s'il y a eu 3 pronucléus). Les individus polyflandes souvent avortent.

g. Parthénogenèse, Gynogenèse et Androgenèse

Dans le cas de parthénogenèse, l'ovule est activé par des moyens autres que le spermatozoïde (ex : aiguille).

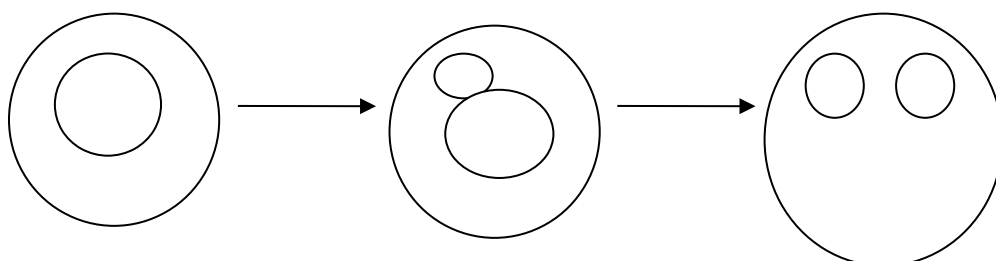
En gynogenèse, l'ovule est activé par le spermatozoïde mais ce dernier ne participe pas à la fécondation. Souvent le deuxième corps polaire n'est pas émis d'où ces individus ont 2n chromosomes.

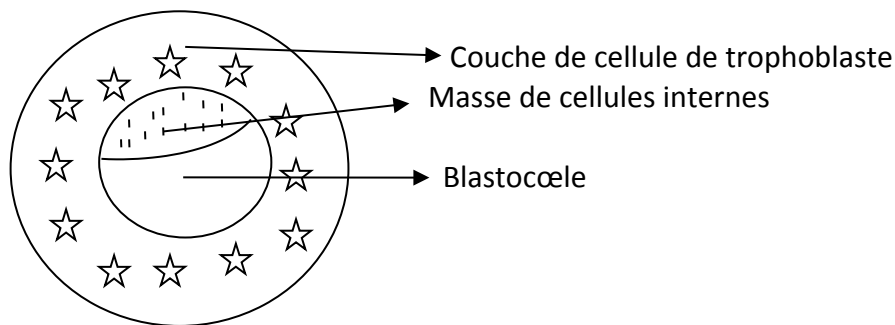
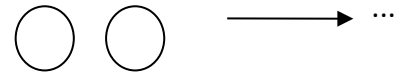
En androgenèse, l'ovule est activé par le spermatozoïde, mais le noyau de l'ovule ne participe pas à la fécondation.

6.4.4.2. *Division cellulaire*

La fusion de deux pronucleus mâle et femelle résulte à la formation d'une cellule avec 2n chromosomes. Cette cellule alors commence à se diviser plusieurs fois sans augmenter le volume du cytoplasme. Au cours de divisions successives, l'embryon acquiert 2 ; 4 ; 8 ; 16 et 32 cellules pour former la morula.

Après le stade morula, il se forme une cavité (blastocœle) rempli de liquide. Puis l'embryon s'élargit rapidement pour avoir l'aspect d'une sphère vide appelée blastocyste qui ne comporte qu'une seule couche de grandes cellules plates : c'est la couche de trophoblaste et un bouton de petites cellules sur un côté de la cavité centrale appelé la masse de cellules internes.





Blastocyste

La masse de cellules internes deviendra l'individu adulte alors que les cellules trophoblastes formeront le placenta et les membranes embryonnaires. A ce stade, les embryons des diverses espèces animales se ressemblent les uns des autres : mais le développement du blastocyste diffère d'une espèce à une autre. Chez le mouton et le bovin, le blastocyste s'allonge graduellement et peut atteindre 20 cm avant implantation, à la deuxième ou troisième semaine de gestation.

Chez le porc l'allongement du blastocyste est encore plus accentué entre 9 et 16 jours de gestation. Au cours de cette période, le blastocyste qui était une petite sphère s'allonge sous forme de tube en ficelle de plus d'un mètre avant que l'implantation ne commence.

6.4.4.3. Implantation

a. Embryon

a.1. Distribution

Chez les espèces multipares, les blastocystes se distribuent le long de la corne de l'utérus par les mouvements de la paroi de l'utérus. Chez le porc par exemple, les blastocystes peuvent passer librement entre les deux cornes de l'utérus. D'autre part chez la plupart des espèces animales, les embryons tentent à s'implanter de façon que la distance entre ces embryons soit presque égale, principalement chez les espèces à un grand nombre de blastocystes.

a.2. Gastrulation

Elle consiste spécialement en :

- Convertir l'embryon de 2 couches des cellules en trois couches
- Conduire les régions où se forment les embryons en leurs positions définitives dans l'embryon.

Chez les mammifères, la gastrulation implique seulement la région du disque embryonnaire où se différencieront l'endoderme, mésoderme et ectoderme.

b. Utérus

Les changements avant implantation varient suivant l'espèce animale mais en général on remarque une forte prolifération du tissu épithélial de l'utérus et une grande vascularisation de cet organe.

6.4.5. Gestation, Physiologie prénatale et Parturition

6.4.5.1. Gestation

a. Durée de la gestation

La gestation se tend de la fécondation à la naissance. La durée de gestation est généralement constante est caractéristique de l'espèce mais peut-être modifié par des facteurs tant maternels que fœtaux. Les jeunes génisses qui s'accouplent tôt tendent à vêler plus tôt que normal. Chez les espèces primipares, la gestation avec jumeau dure moins longtemps que la gestation d'un seul petit. La gestation des fœtus mâles de bovin et de l'espèce chevaline dure un peu plus longtemps que celles des fœtus femelles.

b. Physiologie maternelle de la gestation

b.1. Changement dans les organes de reproduction

b.1.1. Vulve et vagin

Les changements sont surtout gonflement et vascularité. Ces changements sont plus notés chez la vache que chez la jument et se produisent vers le 5^{ième} et 6^{ième} mois de gestation. La muqueuse vaginale est pâle et sèche au cours de gestation mais devient très tuméfié vers la fin de gestation.

b.1.2. Le col de l'utérus

Le mucus du col devient plus visqueux et forme un bouchon dans le col appelé « le bouchon de mucus de gestation ».

b.1.3. L'utérus

Au cours de gestation, l'utérus s'élargit graduellement pour permettre l'expansion du fœtus.

b.1.4. Ovaire

Le corps jaune se développe. Chez le bovin, caprin et porcin, le corps jaune persiste jusqu'à la parturition.

Mais chez la jument on remarque des changements suivants :

- Au cours de 40 premiers jours de gestation, il n'existe qu'un seul corps jaune
- Entre le 40^{ième} et 50^{ième} jour de gestation, il y a une forte activité ovarienne c'est-à-dire développement de follicule. Dix à 15 follicules se lutéinisent pour former des corps jaunes accessoires. Parfois même on trouve des ovules dans l'oviducte à cette période. Ce qui suppose que probablement certains de ces follicules arrivent à ovuler. D'habitude, chaque ovaire contient 3 à 5 corps jaunes accessoires.
- Du 5^{ième} au 7^{ième} mois, tous les corps jaunes régressent mais l'animal ne montre pas d'œstrus car le placenta sécrète la progestérone jusqu'à la fin de gestation.

b.2. Hormones de gestation

Un équilibre hormonal est nécessaire pour maintenir la gestation ; le corps jaune persiste tout le long de gestation chez tous les animaux de la ferme, excepté le cheval ; l'ovaire est nécessaire pour le maintien de gestation chez la vache, la chèvre et la truie. Mais puisque le placenta produit de la progestérone, la jument et la brebis peuvent subir l'ovariectomie sans avortement si cette opération est faite vers la deuxième moitié de gestation. De même, l'hypophysectomie effectuée au cours de la deuxième moitié de gestation produit l'avortement chez la chèvre et la truie, mais pas d'avortement chez la brebis.

Chez la Guénon et la femme, l'ovariectomie ou l'hypophysectomie effectuée au cours de la première ou deuxième moitié de gestation ne produit pas d'avortement ce qui est probablement due à l'H.C.G.

Effet d'ovariectomie et hypophysectomie sur la survie du fœtus

Animal	Durée de gestation/jour	Age de la gestation			
		ovariectomie		Hypophysectomie	
		Première moitié	Deuxième moitié	Premier	Deuxième
Vache	282	-	±	p.d	p.d
Brebis	148	-	+	-	+
Chèvre	148	-	-	-	-
Truie	113	-	-	-	-
Jument	350	-	+	p.d	p.d
Femme	280	+	+	+	+
Guénon	165	+	+	+	+
Souris	22	-	±	-	+
Lapin	31	-	-	-	-

+ = le fœtus survie ; - = le fœtus avorte ; ± = le fœtus survie parfois ; p.d = pas déterminer

b.3. Placenta

b.3.1. Morphologie

b.3.1.1. Formation

On peut définir au sens propre le placenta comme une union des tissus maternels et fœtaux pour un échange physiologique.

Les membranes fœtales sont : amnios, allantoïne et le vestige du sac vitellin. L'amnios entoure le fœtus, le chorion est la membrane la plus externe est en contact avec l'endometrium. L'allantoïne est situé entre l'amnios et le chorion, se continue dans le fœtus par la vessie au moyen d'une communication appelée urachus qui passe à travers le cordon ombilicale. La couche interne de l'allantoïne se fusionne avec l'amnios. Alors que la couche externe de l'allantoïne se fusionne avec le chorion pour former le chorioallantoïne.

b.3.1.2. Forme macroscopique

Le chorion forme de villosités qui se mettent en contact intime avec les tissus maternels. La forme de placenta est déterminée par la distribution de ces villosités sur la surface du chorion. Chez le porc et le cheval, les villosités se développent sur toute la surface de chorion : c'est le placenta diffus alors que chez les ruminants, les villosités ne se développent que dans les zones bien localisées appelées cotylédons. Ces cotylédons se fusionnent avec les caroncules maternels pour former les placentomes. Les caroncules maternelles sont convexes chez la vache et concaves chez la brebis.

b.3.1.3. La structure microscopique

La structure microscopique est basée sur la classification de Grosseur de placenta. Cette classification est basée sur le nombre de couches de tissus qui sépare la circulation maternelle et foétale.

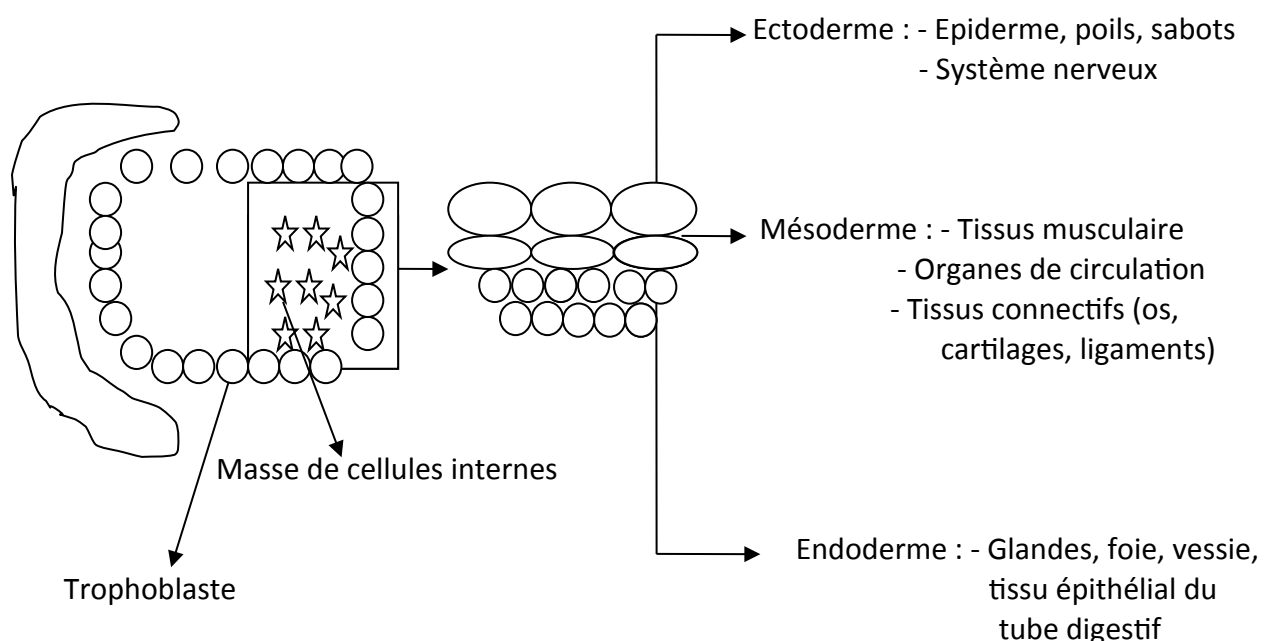
Chez le cheval et le porc, l'épithélium et le chorion se mettent en contact pour former un placenta appelé : placenta épithelio-chorial.

Chez les ruminants, le chorion est en contact avec le tissu cortical de caroncule, disposition analogue à celle trouvée chez le porc. D'où la placentation des ruminants est aussi épithelio-choriale. La différence est que chez le porc et la jument la placentation est diffuse alors qu'elle est cotylédonnée chez le ruminant. Chez l'homme et la souris, le chorion baigne dans le sang maternel. Ce type de placentation est dit hœmochoriale. Puisque l'attachement a la forme d'un disque, on donne le nom de placentation discoïde.

Chez le lapin, vers la fin de la gestation, le chorion au point de contact est détruit et l'endothélium foetal baigne dans le sang maternel : c'est une placentation hœmoendothéliale. La placentation hœmo choriale et hœmo endothéliale sont toute deux discoïdes. Voir schéma

6.4.5.2. Physiologie prénatale

a. Embryologie



Au cours de différenciation, la masse de cellules internes du blastocyste donne l'ectoderme, le mésoderme et l'endoderme.

L'endoderme donne le tissu épithélial couvrant le tube digestif et aussi l'endoderme forme les glandes et la vessie. L'ectoderme formera la corde spirale, le cerveau, les ganglions, ... Le mésoderme donnera les muscles, les organes de circulation et les tissus conjonctifs. Les cellules sexuelles primordiales peuvent provenir soit du mésoderme ou de l'ectoderme.

a.1. Organogénèse (voir tableau)

Chez le bovin, la première formation de la plupart des organes et parties du corps a lieu à partir de la 2^{ème} à la 6^{ème} semaine de gestation. Au 21^{ème} jour, le cœur commence à battre et la circulation commence.

a.2. Croissance

La croissance absolue est le changement en volume, en longueur de la croupe à l'os frontal ou en poids de fœtus par unité de temps. La croissance relative est la croissance absolue par rapport à la dimension initiale de l'intervalle mesurée.

La croissance absolue n'est pas linéaire mais exponentielle, atteignant un maximum vers le temps avancé de gestation, alors que la croissance relative décroît vers la mi-gestation.

Quelques séquences de l'organogénèse

Partie	Vache (jours)	Brebis (jours)	Truie (jours)
Morula	4-7	3-4	3,5
Différenciation en couches germinatives	14	10-14	7-8
Allongement de la vésicule chorionique	16	13-14	9
Différenciation de muscle (1 ^{er})	20	17	14
Premier battement du cœur	21-22	20	16
Museau et yeux se différencient	30-45	42-49	21-28
Cotylédons apparaissent	30	-	-
Première implantation	33	21-30	24
Eruption des dents	110	98-105	-
Les poils couvrent le corps	230 jours	119-126	-
Naissance	280	147-155	122

b. Nutrition et métabolisme

La nutrition fœtale est assurée par 4 phases :

- Premièrement l'œuf en division se nourrit des matières intérieures à l'œuf lui-même
- Deuxième temps, le blastocyste absorbe le liquide et les nutriments se trouvant dans la cavité utérine : « lait utérin »
- En troisième lieu la nutrition avec le lait utérin est aidée par le vitellus qui circule alors dans les membranes fœtales
- En quatrième lieu la formation du placenta aide le fœtus à se nourrir à partir de sa mère

Le fœtus donc peut être considéré comme un parasite vivant avec sa mère et semble avoir priorité sur sa mère en ce qui concerne les nutriments ingérés par sa mère. De cette façon, sa croissance n'est pas trop affectée au début de gestation si la nutrition de la mère est inadaptée.

Mais vers la fin de gestation ce fœtus semble souffrir de la malnutrition de la mère. Le fœtus a besoin des hydrates de carbone, protéines, minéraux et vitamines pour sa différenciation et croissance. Le fœtus synthétise les protéines à partir des acides aminés qui proviennent de la mère à partir de placenta. Le fœtus a l'habileté d'épuiser les réserves en calcium du squelette de la mère si celle-ci est nourrit avec peu de calcium.

c. Facteurs qui affectent le développement prénatal

c.1. Hérité

La contribution maternelle à la taille du fœtus est plus importante que la contribution paternelle.

c.2. consommation d'énergie

L'influence de nutrition sur le fœtus se fait sentir vers le dernier tiers de la période de gestation. L'un des résultats biochimiques d'une nutrition maternelle pauvre au cours de cette période est la réduction de glycogène des muscles et du foie du fœtus. Au cours de gestation, le fœtus doit accumuler la réserve en glycogène qui sera utilisée comme source d'énergie après la naissance.

c.3. Le nombre de fœtus

Chez les individus multipares, l'augmentation de la taille de la portée réduit la taille des petits qui vont naître à cause de la compétition utérine des fœtus.

6.4.5.3. Parturition

La parturition est définie comme le processus physiologique par lequel l'utérus gravide expulse le fœtus et le placenta en dehors du corps maternel.

a. Utérus gravide à terme

Avant le début de travail, le fœtus d'habitude prend une position dans l'utérus caractéristique de l'espèce. Cette position semble être la plus facile pour le passage du fœtus dans le canal maternel. Chez les espèces primipares, le fœtus a une position telle que le dos est sur le placenta de l'utérus, mais quelque temps avant le début de travail, le fœtus fait une rotation pour mettre le ventre sur le placenta de l'utérus avec la tête orienté vers le col de l'utérus. Cette présentation antérieure est plus commune chez les ruminants. Les membres antérieurs sont allongés et le museau se trouve entre les deux membres antérieurs.

La présentation postérieure est moins fréquente chez les bovins. Chez les bovins et autres ruminants, le fœtus est dans une des cornes de l'utérus. Chez le cheval, le fœtus est dans le corps de l'utérus plutôt que dans la corne de l'utérus. Toute fois, la présentation du fœtus est aussi antérieure. Chez le porcin, les fœtus sont présentés soit antérieurement ou postérieurement et la sortie est facile pour les deux positions.

Position normale du fœtus

b. Initiation de la parturition

Le début de la parturition est déclenché par une interaction du complexe des facteurs endocriniens, nerveux et mécaniques.

Plusieurs théories ont été émises pour expliquer le déclenchement de la parturition :

- Réduction de progestérone
- Augmentation de la sécrétion d'œstrogène
- Mécanisme nerveux
- Sécrétion des substances actives (prostaglandine, catécholamines, ocytocine)
- Influence du fœtus

b.1. Facteurs mécaniques

La distension de l'utérus au cours de la croissance fœtale cause l'augmentation de la sensibilité de la musculature utérine. Ainsi, les jumeaux tendent à naître plutôt que les non jumeaux. Toute fois, le volume seul n'est pas la seule cause du déclenchement de la parturition.

b.2. Facteurs hormonaux et fœtaux

Il est probable que le fœtus lui-même détermine le jour de son arrivée au monde. L'axe appelé hypothalamus-pituitari-adrenal du fœtus semble déclencher la parturition. L'hypothalamus du fœtus stimule la sécrétion de ACTH par la portion antérieure de la glande pituitaire. Puis le ACTH (adrénal corticotrophine hormone) arrive dans le cortex adrenal et stimule la sécrétion de corticostéroïdes (ex : glucocorticoïdes). L'adreno corticoïde à son tour stimule la sécrétion de prostaglandine F_{2a} , et de l'œstrogène par le placenta. Ce qui provoque la réduction de progestérone et le début de contraction utérine qui aboutit à la parturition.

c. Phases de parturition

Il y a normalement trois phases dans la parturition : phase préparatoire, phase d'expulsion du fœtus et phase d'expulsion du placenta.

Dans la première phase, l'utérus commence à se contracter et force les poches des eaux contre le col de l'utérus qui fini par être dilaté. Cet état dure 2 à 6 heures chez la vache et la brebis et 1 à 4 heures chez la jument mais 2 à 12 heures chez la truie et la chienne.

La deuxième phase est la phase d'expulsion du fœtus. Les contractons combinées de l'utérus et de l'abdomen forcent le fœtus à être expulsé à travers le col de l'utérus et le vagin.

La troisième phase consiste à l'expulsion du placenta. Il se produit environ 12 heures après parturition chez la vache.

d. Signes de parturition

L'abdomen s'élargit grandement, les glandes mammaires grossissent et commencent à sécréter du lait quelques jours avant parturition. La vulve gonfle et fait couler un mucus épais. A l'approche de mise bas, l'animal devient agité et cherche à s'isoler, s'assoie et se relève fréquemment. Il a tendance d'uriner fréquemment. La chienne et la truie cherchent à construire un nid avant mise bas.

e. Dystocie

La mise bas normale sans complication est en générale la situation normale rencontrée chez nos animaux domestiques. Toute fois, il arrive parfois que la mère soit en danger et demande une assistance du zootechnicien ou du vétérinaire. Au début du travail, la vache devrait mettre bas dans une espace de 8 heures maximum. Autrement il faut intervenir. La brebis devrait agneler dans 1 à 2 heures, la jument 1 à 3 heures. La truie et la chienne devrait donner un petit au moins à chaque heure autrement il faut intervenir.

Les causes de dystocies sont :

- Mauvaise présentation
- Un fœtus trop gros
- Certaines conditions pathologiques du fœtus
- Mauvaise condition du canal maternel

e.1. Mauvaise présentation

Pour corriger ces défauts on commence par pousser le fœtus dans l'utérus pour avoir beaucoup plus d'espace et puis remettre le fœtus en position antérieures avec les membres antérieurs allongés et museaux entre les membres antérieurs.

A : présentation antérieure avec une patte avant retenue

B : présentation antérieure avec patte avant genouillée

C : présentations avant avec les pattes antérieures croisées au-dessus du cou

D : présentations antérieure avec tête déviée ventralement en arrière

E : présentation antérieure avec la tête déviée dorsalement en arrière

F : présentations antérieure avec le dos couché ventralement

G : présentations antérieure avec les pattes arrière et avant dirigées en avant

H : présentations postérieure avec croupe et fesse vers la sortie

I : présentations postérieure avec croupe et jarret repliés en avant

J : présentations postérieure avec le dos pose ventralement

K : présentation postérieure avec le fœtus roulé en boule et tous les 4 membres vers la sortie

L : le fœtus perpendiculaire à l'utérus et dos présenté vers la sortie

e.2. Traitement des dystocies

e.2.1. Césarienne

C'est le traitement le plus sûr pour la plupart de dystocies si l'opération est faite par un bon vétérinaire.

e.2.1. Embryotomie

Elle consiste à découper les fœtus en morceaux à l'intérieur de l'utérus maternel dans le but de sauver la vie de mère.

Les conditions pathologiques du fœtus qui provoquent la dystocie sont parfois : hydrocéphales (l'eau dans le cerveau), ankylose des articulations (articulations fusionnées), tendons trop raccourcis, monstruosité telles qu'animaux à deux têtes ...

f. Puerperium

La période puerpérale s'étend du moment de l'expulsion de placenta jusqu'au moment où les organes maternels retournent l'état normal de non gestation. Les changements qui se produisent sont : régénération de l'endometrium, l'involution de l'utérus et retour du cycle œstral.

f.1. Régénération de l'endometrium

f.1.1. La vache

On observe l'écoulement de lochies qui sont formés de mucus, du sang, brebis de membrane formés de tissu de caroncule. Les deux ou trois premiers jours, les lochies sont tachetées de sang. Vers le 7^{ième} et 14^{ième} jour, les lochies deviennent mélangées avec une grande quantité du sang à cause d'hémorragie due à l'éclatement de tissu de caroncules. L'épithélium de caroncule commence à se régénérer vers 12^{ième} et 14^{ième} jours après mise bas et se rétabli complètement vers le 30^{ième} jour postpartum.

f.1.2. Jument et Truie

Au cours de la première semaine postpartum, la jument secrète des petites quantités de lochies. Déjà à 15 jours après, l'épithélium de l'utérus est presque entièrement restitué. Chez la truie, la régénération de l'épithélium de l'utérus commence après une semaine postpartum et termine vers la troisième semaine.

f.2. Involution de l'utérus

C'est le retour de l'utérus à la taille normale d'un animal non gravide. Chez la vache l'involution de l'utérus s'accompli vers le 45^{ième} jour postpartum. Chez la jument, l'involution est très rapide déjà vers le 11^{ième} jour ou plus. Chez la brebis, il faut au moins 24 jours pour commencer l'involution. Chez la truie, il faut 28 jours pour terminer l'involution.

f.3. Retour du cycle œstral

f.3.1. Vache

Après la mise bas, le corps jaune régresse très rapidement. L'intervalle entre mise bas et 1^{er} œstrus varie de 30 à 72 jours pour les vaches laitières et 46 à 104 jours chez es vaches à viande.

L'intervalle est prolongé quand les veaux allaitent ou quand on augmente la fréquence de traite. (4 traites comparé à 2 traites par jours). Le sevrage précoce raccourci cette intervalle.

f.3.2. Jument

La plupart de jument montre des chaleurs spéciales 6 à 13 jours après parturition. Certaines juments néanmoins peuvent montrer les chaleurs seulement 45 jours après parturition. Il est d'une pratique routinière d'accoupler la jument avec l'étalon dès l'apparition de premières chaleurs (6 à 13 jours postpartum). Mais cette pratique s'accompagne de faible taux de conception avec tendance d'avortement de mort né, de dystocie, de rétention de placenta etc.

f.3.3. Truie

Le corps jaune de gestation régresse rapidement après parturition. Estrus postpartum sans ovulation se produit 3 à 5 jours après parturition. Généralement, l'œstrus et l'ovulation sont suspendus tout le long de la période de lactation. Le sevrage ou l'enlèvement de goret à n'importe quelle période provoque l'œstrus et l'ovulation 3 à 5 jours après sevrage.

6.5. REPRODUCTION CHEZ LA VOLAILLE

6.5.1. La femelle

6.5.1.1. L'œuf ou ovule

L'œuf de la volaille est plus large que celui de mammifère, il est formé de l'ovule ou jaune de l'œuf, de l'albumen ou blanc de l'œuf et de la coquille.

L'ovule comprend :

- Le jaune de l'œuf (vitellus)
- La membrane vitellus
- Latebra
- Blastodisque (infertile) ou blastoderme (fertile)

L'albumen comprend :

- Le ligament d'albumen
- Chalaze
- La couche chalazifère
- La couche interne fine de blanc de l'œuf
- La couche médiane épaisse de blanc de l'œuf
- La couche externe mince de blanc de l'œuf

La coquille comprend :

- La membrane interne
- Sac à air ou chambre à air
- La membrane externe
- La coquille
- La cuticule

L'ovule est entouré par une membrane péri vitelline et pèse environ 19 grammes chez la poule bien que le poids dépend de l'âge de l'animal. La partie vivante de la cellule est appelée blastodisque chez l'œuf non fécondé et blastoderme chez l'œuf fécondé, occupe un petit volume de l'ovule.

Il a environ un diamètre de 3 mm et contient chez l'œuf non fécondé le pronucléus femelles haploïdes. Le disque germinatif flotte sur un cône de vitellus de couleur blanche qui s'étend vers le bas en une sorte de petite sphère : le latebra.

6.5.1.2. Formation de l'œuf

a. L'ovaire

Chez les oiseaux comme chez les mammifères, deux ovaires et oviductes sont formés au cours de développement embryonnaire. Mais chez les oiseaux, l'ovaire et l'oviducte droit ne se développent pas à l'état adulte. La suppression de l'ovaire gauche à l'état jeune résulte au développement de gonade droit en ovo testicule avec les deux tissus mâle et femelle. La fonction de l'ovaire gauche est comparable à celle des mammifères.

b. Développement de follicules

A la période de puberté, l'ovaire augmente de poids 0,5 à 40 grammes parfois même 60 grammes chez la poule à cause de développement de 4 à 6 follicules dont les plus grandes peuvent peser parfois 20 grammes. La masse ovarienne seule arrive à peser 6 grammes à la puberté.

De tous les milliers des oocytes présents dans l'ovaire, chacun commence son développement à un temps bien donné. L'intervalle entre le début de développement d'un follicule par rapport au précédent est de 24 heures ou plus et est provoqué probablement par FSH et LH. La première méiose se produit 2 heures avant l'ovulation et la deuxième méiose se produit dans l'oviducte et peut être déclenchée par la pénétration de spermatozoïde.

c. Ovulation

L'ovulation se produit par la rupture de stigma qui est une région spéciale de follicule. Cette région est dépourvue des vaisseaux sanguins. L'ovulation semble être induite par la sécrétion de LH. L'intervalle entre sécrétion de LH par la pituitaire et l'ovulation est d'environ 4 à 8 heures.

d. Oviducte

Il a comme fonction le transport de l'œuf et production des éléments de l'œuf. Ces éléments sont formés par des régions spécialisées de l'oviducte qui sont : Infundibulum, le magnum, isthme (isthmus), la glande à coquille (utérus) et le vagin.

d.1. Infundibulum

Contient des fimbriae. Dans cette région, la formation de chalaze commence. C'est la région où se produit la fécondation.

d.2. Le magnum

C'est la région la plus longue ; elle secrète l'albumen (blanc de l'œuf) qui contient environ 40 types de protéines.

d.3. Isthmus

C'est une petite région dans laquelle les membranes de la coquille de l'œuf sont formées. Par la formation des membranes, la forme de l'œuf apparaît.

d. 4. Glande à coquille

Souvent appelé utérus. Le nom utérus est erroné chez les oiseaux car la glande à coquille ne joue pas le même rôle que l'utérus des mammifères. C'est la région de formation de la coquille de l'œuf.

d.5. Le vagin

C'est canal entre la glande à coquille et le cloaque. Son rôle est la copulation et conservation des spermatozoïdes.

6.5.1.3. Transport de l'œuf dans l'oviducte

L'œuf en développement reste environ 15 minutes dans l'infundibulum, 1 à 1,5 heures dans l'isthmus 20 heures dans la glande à coquille et quelques secondes dans le vagin. La vitesse de passage dans l'œuf n'est donc pas uniforme ; chaque région de l'oviducte a son propre mécanisme qui contrôle le passage de l'œuf.

Séjours (heure) dans différentes régions de l'utérus chez la volaille

Espèces	Total	Infundibulum	Magnum	Isthmus	Utérus
Poule	25	0,25-0,5	2-3	1,25	18-20
Dindon	26	0,25-0,5	2,5-3	1-1,5	22-24
Pintade	25	0,25-0,5	2-2,5	1,5-2	19-20

6.5.2. Le Mâle

6.5.2.1. Testicule et Spermatozoïde

Les testicules sont situés dans l'abdomen et pas dans le scrotum. Les deux testicules sont présents chez les oiseaux mâles. Les tubules séminifères ne sont pas groupés en lobules mais forment des branches et anastomoses librement dans la tunique albuginée. Le tissu interstitiel est négligeable mais contient des cellules de Leydig qui secrètent les hormones androgènes.

6.5.2.2. Les conduits testiculaires

Les oiseaux manquent la forme repliée de l'épididyme de mammifères. Les spermatozoïdes des oiseaux sont conservés dans le canal déférent. Les oiseaux manquent la glande accessoire (vésicule séminale, prostate, glande de Cowper, ...). Le mâle n'a pas de pénis mais il a un phallus érectile qui joue le rôle de copulation.

6.5.2.3.

Les spermatozoïdes sont éjaculés à l'entrée de l'oviducte qui par contraction fait avancer les spermatozoïdes dans le vagin. Dans le conduit génital de la femelle, les spermatozoïdes peuvent séjourner vivants pendant plusieurs jours (32 jours chez les poules et 70 jours chez les dindons). Mais la période fertile est plus courte que cela. Dans la jonction utero vaginale existe une glande tubulaire qui permet une survie prolongée des spermatozoïdes. Les spermatozoïdes entrent dans cette glande et disparaissent de vagin. Dans la région de l'infundibulum une glande semblable aussi existe.

CHAPITRE VII. : LES PRINCIPES ALIMENTAIRES

7.1. DEFINITION DE L'ALIMENT

L'aliment est toute substance naturelle ou artificielle non toxique qui contient des composés chimiques assimilables par l'organisme animale pour apporter à cet organisme les principes nutritifs et l'énergie pour l'entretien et la production.

7.2. LES ELEMENTS CHIMIQUES DE L'ORGANISMES VIVANTS

L'organisme vivant, animal ou végétal est composé d'un grand nombre d'éléments chimiques. Il y a environ 100 éléments chimiques connus parmi lesquels au moins 20 entrent dans la composition des organismes vivants. Ces éléments sont : Carbone (C), Hydrogène (H), Oxygène

(O), Phosphore (P), Potassium (K), Sodium (Na), Clore (Cl), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Molybdène (Mo), Sélénium (Se), Azote (N), Iode (I), Zinc (Zn), Crome (Cr), Fluor (F), ...

Ces éléments sont seuls, soit en combinaisons chimiques diverses forment les principes alimentaires ou nutriments.

7.3. LES COMBINAISONS CHIMIQUES ALIMENTAIRES

Les combinaisons chimiques alimentaires sont soit organiques, minérales ou organo-minérales.

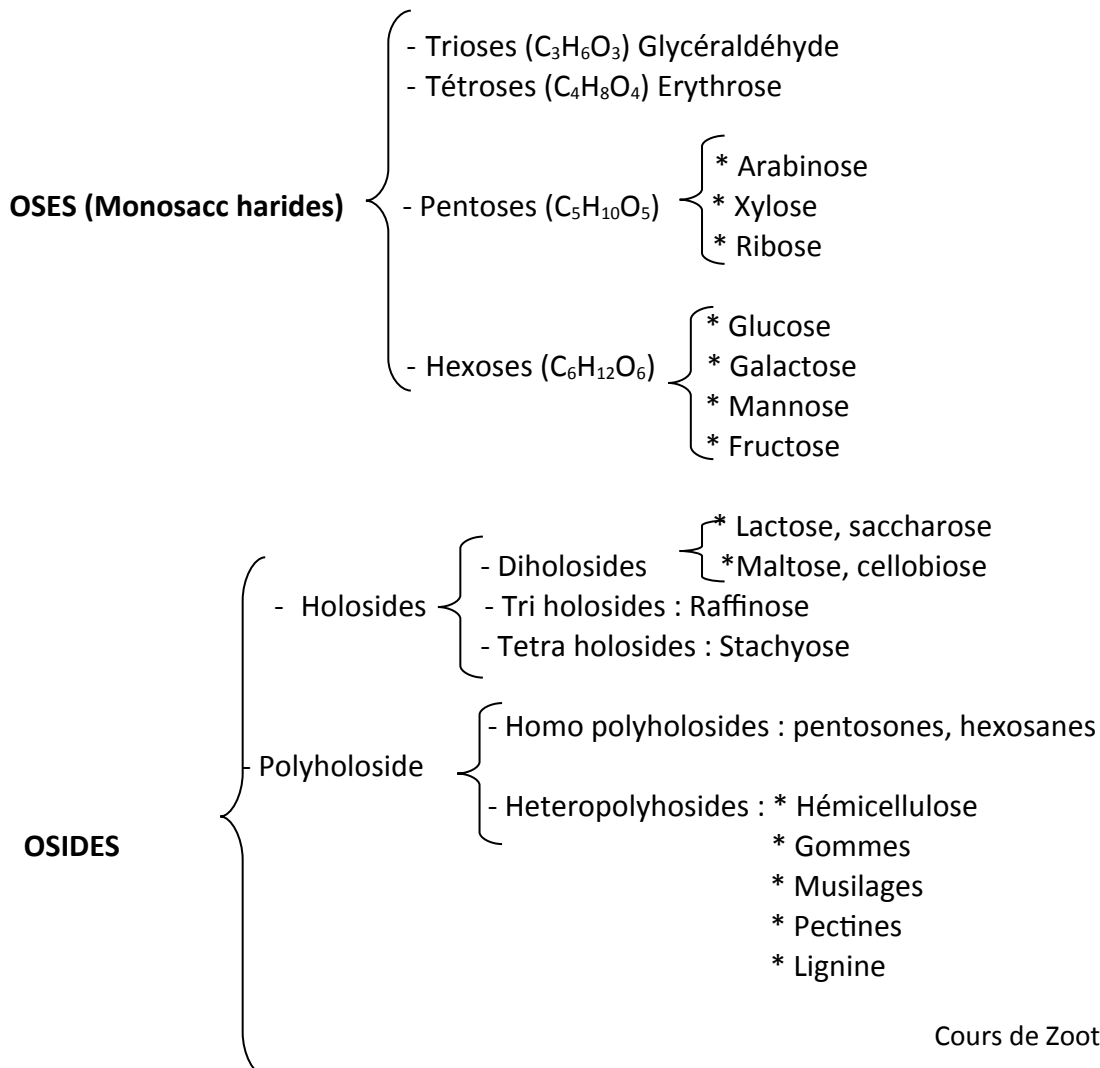
7.3.1. Les combinaisons organiques

Elles comprennent les glucides ou hydrates de carbone, les lipides ou matières grasses, les protéines et les vitamines.

a. Hydrates de carbones

Groupe de substances qui répondent à la formule $(CH_2O)_n$ ou l'oxygène se trouve dans les proportions de 2 : 1.

a.1. Classification des hydrates de carbone



- Hétérosides

A. LES OSES

Parmi les oses, les pentoses et les hexoses sont les plus répandus dans la nature.

a.1. Les Pentoses

Les plus connus sont les riboses, arabinoses et xyloses. Ces sucres se rencontrent rarement à l'état libre dans la nature, excepté comme produits de dégradation pendant la fermentation.

a.2. Les Hexoses

Les plus connus sont : les Glucoses, fructoses, mannoses et galactoses. Parmi lesquels, le glucose et le fructose sont les plus importants dans l'organisme animal.

a.2.1. Glucose

Le Glucose se rencontre à l'état libre ou combiné dans les végétaux, les fruits, le miel et les liquides des organismes animaux comme le sang et la lymphe.

a.2.2. Fructose

Il se rencontre dans les fruits murs, les feuilles vertes, le miel à l'état libre. On le trouve aussi dans les holosides comme le saccharose et le raffinose à l'état combiné.

a.2.3. Les Galactoses, Mannoses

Ils n'existent pas à l'état libre dans la nature mais sous forme combinée.

B. LES OSIDES

Parmi lesquels, il y a les holosides et les hétérosides

b.1. Les Holosides

Sont composés de plusieurs oses dont le nombre est variable. Les plus importants sont les diholosides.

b.1.1. Les Diholosides

Les plus importants sont ; les saccharoses, les lactoses et les maltoses.

b.1.1.1. Les saccharose

Formés par une molécule de glucose et une molécule de fructose. C'est le sucre de canne et de betterave que l'on rencontre aussi dans d'autres végétaux.

b.1.1.2. Les lactoses

Formés par une molécule de galactose. C'est le sucre de lait qui n'existe pas chez les végétaux.

b.1.1.3. Les maltose

Formés par deux molécules de glucose. Il est rare à l'état libre dans les végétaux. Il est produit par l'hydrolyse de l'amidon et du glycogène sous l'action des enzymes. Il se produit lors de la germination des céréales et sous l'action de l'amylase.

b.1.1.4. Cellobiose

N'existe pas dans la nature sous forme libre. Ce sont des fractions de cellulose.

b.1.1.5. Tréhalose

Se rencontre dans les champignons et certaines plantes de mer.

b.1.2. Tri holosides

Formés de 3 molécules d'hexoses

b.1.2.1. Raffinose

Il est très répandu dans les plantes. Existe en petite quantité dans le sucre de betterave, il s'accumule dans la mûlasse lors de la préparation du moût. Il est formé de glucose + fructose + galactose.

b.1.3. Le Tétra holosides

Formés de quatre hexoses

b.1.3.1. Stachyose

Se rencontre dans les graines légumineuses. Formés de 2 galactoses + 1 glucose + fructose

b.2. Les Polyholosides***b.2.1. Homo Polyholosides***

Les homo polyholosides les plus importants que l'on rencontre dans les aliments pour bétail appartiennent aux groupes de pentosanes et hexosanes.

b.2.1.1. Les pentosanes

Les plus importants sont : les arabanes et les xylanes formés par la polymérisation de pentose, arabinose et xylose. On les trouve surtout dans les végétaux comme les gommés et les matières pectiques. Ils font aussi partie des composants hémicelluloses des plantes.

b.2.1.2. Les hexosanes

Les plus importants dans l'alimentation animale sont l'amidon et la cellulose.

L'AMIDON

C'est le produit de polymérisation de plusieurs molécules de glucose par liaison en position α -D-Glucose. Cette liaison est facilement cassable par les enzymes du tube digestif. D'où l'amidon est très digestible aussi bien chez les monogastriques que chez les polygastriques. L'amidon est la source principale de l'énergie pour les animaux. Il est très abondant dans les céréales, les tubercules, les racines tubéreuses et les fruits. L'amidon se présente sous deux formes chimiques : Amylose et Amylopéctine. Les graines de céréales et la patate douce contiennent souvent 20 à 28 % d'amylopéctine.

LA CELLULOSE

C'est le constituant principal des parois cellulaires des végétaux. Il est formé par la polymérisation de molécules des glucoses dont la liaison est en position β -Glucose. Cette liaison est inattaquable par les enzymes du tube digestive, mais relativement attaquable par les enzymes de certains microorganismes, enzyme appelé « Cellulose ».

Chez les végétaux, la cellulose se rencontre rarement à l'état pur. Elle est associée à d'autres polyholosides voisins. De plus au cours de la croissance des plantes, la paroi cellulaire cellulosique s'imprègne d'autres substances telles que : la lignine, hémicellulose, résines, tannins, gommes, matières peptiques, etc.

b.2.2. Les polyholosides complexes ou hétéro polyholosides

Dans ce groupe, on peut citer : hémicelluloses, gommes, matières pectiques, mucilages et le lignite.

b.2.2.1. Les hémicellulose

Sont des composants glucidiques qui accompagnent la cellule dans la paroi cellulaire des végétaux. Ils sont plus digestibles que les celluloses mais moins digestibles que les amidons.

b.2.2.2. Les gommes

Composés très complexe que l'on trouve dans les exsudant qui se produisent au niveau des blessures des végétaux.

b.2.2.3. Les lignines

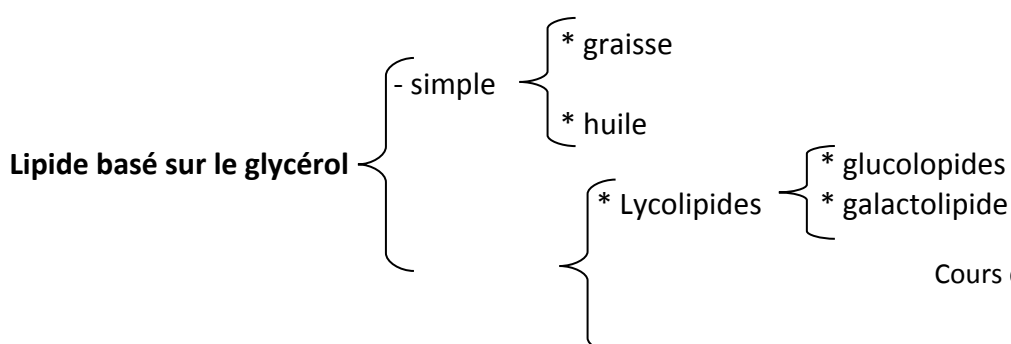
Sont des substances non glucidiques à composition non bien définies et qui forment ensemble avec l'hémicellulose et la cellulose, les parois cellulaires des végétaux. Les teneurs en lignine augmentent avec l'âge de la plante. La lignine résiste aux dégradations chimiques et enzymatiques. D'où la lignine diminue la digestibilité de la plante même chez les herbivores.

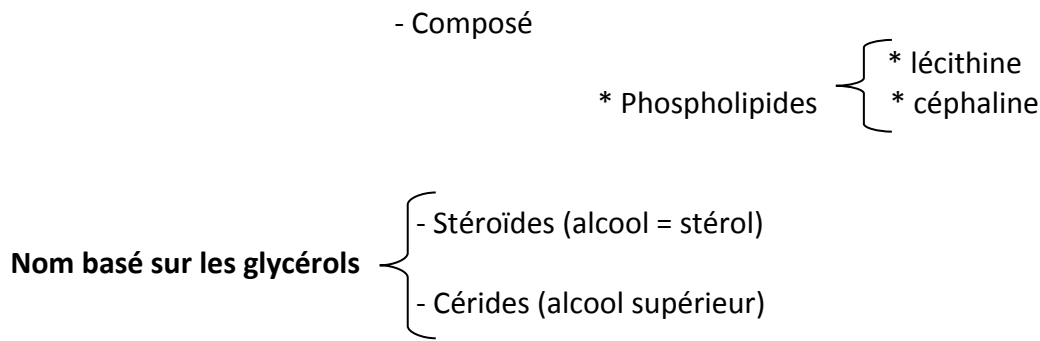
b.3. Les Hétéroside

Sont des composés appelés souvent les glucosides. Ils sont formés par un ou plusieurs glucides avec un ou plusieurs composés à groupement variés (alcool, acide, phénol, etc.) non glucidiques. Ils n'ont pas de rôle d'aliments direct. Certains sont utilisés comme médicaments (hétérosides cyanogénétiques des sorghos, manioc, etc.).

C. LES LIPIDES

c.1. Classification





La nature de l'alcool, de l'acide gras, le nombre d'atome de carbone de la molécule d'acide gras et le nombre de double liaison entre atomes de carbones (saturé ou insaturé) constituent d'autres critères de classification.

a. Les lipides simples

Les lipides simples dans tous les types d'alcool sont des glycérides, stérides et des cérides.

a.1. Les glycérides

L'alcool c'est le glycérol qui est un tri alcool qui peut être estérifié par trois acides gras identiques ou différents. Les glycérides sont les lipides les plus importants du point de vue quantitatif dans la nature. Les acides gras les plus rencontrés dans la nature sont : Acide palmitique, Stéarique, Oléique, Linoléique, Linolénique et Arachidonique.

Les deux premiers sont saturés, les autres sont insaturés et essentiels. Les acides gras linoléique ($C_{18:2}$) et linoléniques ($C_{20:3}$) ne peuvent pas être synthétisés par les tissus des animaux ou du moins pas en quantité suffisante.

L'acide arachidonique ($C_{20:4}$) peut être synthétisé à partir de l'acide linoléique. D'où l'acide arachidonique est essentiel seulement en absence de l'acide linoléique.

Le mécanisme par lequel les acides gras essentiels fonctionnent pour maintenir un bon fonctionnement du corps n'est pas bien connu. Mais on pense que leur rôle est joué de deux manières :

- Partie intégrante de lipoprotéine cellulaire
- Rôle important dans la structure de la prostaglandine

a.2. Les stérides

Groupe des lipides où l'alcool est un stérol qui est un alcool cyclique tel que cholestérol, ergostérol, etc.

a.3. Les cérides

Sont des esters d'alcool supérieur.

b. Les lipides complexes

Ce sont des lipides ayant des groupements supplémentaires autres que le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Dans ces lipides, un ou plusieurs acides gras peuvent être remplacés par :

- Acide phosphorique : phospholipide
- Acide phosphorique + amine : phospho-amino-lipide
- Une molécule de glucose : glucolipides

b.1. Rôle des lipides

- Source d'énergie
- Formation de graisses de réserve
- Les acides gras essentiels jouent un rôle comparable à celui des vitamines

b.2. Signes de carences des acides gras essentiels

b.2.1. Chez la volaille

- Faible taux de croissance
- Retard dans la formation des plumes
- Taux de mortalité élevé

b.2.2. Chez le porc

- Lésion sur la peau
- Faible taux de croissance

D. LES PROTEINES

d.1. Classification

D'après leur composition chimique, leur forme et leur solubilité, on peut classer les protéines en Holoprotéines et Hétéro Protéines. Dans ce groupe, on peut aussi citer les matières azotées non protéiques utilisées à la nutrition des ruminants.

a. Les holoprotéines

Sont des protéines vraies qui ne donnent à l'hydrolyse que des acides aminés.

Exemple :

- Chez les végétaux : les protamines, les glutélines
- Chez les animaux : les protamines, les histones, les scléroprotéines
- Chez les végétaux et animaux : les albumines, les globulines

b. Les hétéro protéines

Donnent les pigments respiratoires tels que l'hémo globine des animaux et la chlorophylle des végétaux.

c. Les holoprotéines

Sont des protéines vraies qui ne donnent à l'hydrolyse que les acides aminés.

Exemple :

- chez les végétaux : les protamines, les glutélines
- chez les animaux : les protamines, les histones, les scléroprotéines
- chez les végétaux et animaux : les albumines, les globulines.

d. Les hétéroprotéines

Donnent à l'hydrolyse les acides aminés et d'autres substances non protéines.

d.1. les glucoprotéines

d.2. les phosphoprotéines

Exemple : caséine du lait, vitelline de l'œuf

d.3. les chromoprotéines

Surtout les pigments respiratoires tels que l'hémoglobine des animaux et la chlorophylle des végétaux.

e. Les matières azotées non protéines

e.1. les amides

Parmi les amides on peut citer :

Les glutamines, l'asparagine et l'urée. L'asparagine et les glutamines sont très répandues dans les végétaux, surtout chez les légumineuses et les graminées.

L'urée est sous forme de trace dans les végétaux, mais assez abondant dans les champignons.

e.2. les amines

Sont à l'état de trace chez les végétaux. On les trouve en plus grande quantité chez les animaux lors de métabolisme des protéines (Histamines, cadaverines, putréscine, etc.). Ils sont toxiques.

e.3. les alcaloïdes

Très répandu chez les végétaux. Ils sont pour la plupart toxiques chez les animaux.

Exemple : Mimosine de certaines légumineuses, nicotine, strychnine, cocaïne, solanine, etc.

d.2. Composition

Les protéines sont formées par la polymérisation des molécules plus petites appelées acides aminés. Les acides aminés sont des acides organiques qui contiennent un ou plusieurs groupements aminés (NH_2). Il y a environ 20 acides aminés ou plus présents dans la protéine des aliments. De ces 20 acides aminés, 10 ou 11 sont dits acides aminés essentiels, les autres sont non essentiels.

Les acides aminés essentiels sont ceux dont l'animal a besoin dans la ration car ne peuvent pas être synthétisés par l'animal, contrairement aux acides aminés non essentiels. Ainsi, nous avons :

Acides aminés essentiels

1. Arginine
2. Histidine
3. Isoleucine
4. Leucine
5. Lysine
6. Méthionine
7. Phénylalanine
8. Thréonine
9. Tryptophane
10. Valine

Acides aminés non essentiels

1. Glycine
2. Alanine
3. Acide aspartique
4. Citrine
5. Cystine
6. Acide glutamique
7. Hydrocypoline
8. Proline
9. Serine
10. Tyrosine

d.3. Rôle des protéines

- Construction et entretien des cellules (rôle plastique)
- Procurer l'énergie

E. LES VITAMINES

Le terme vitamine a été introduit par Funk en 1912 pour désigner les substances organiques spéciales qui sont contenues dans la nourriture et qui sont capables de prévenir les maladies de cette époque (béribéri, pellagre, etc.)

Les vitamines sont classées en deux groupes à savoir celles solubles dans les graisses et huiles (vitamines liposolubles) et celles solubles dans l'eau (vitamines hydrosolubles).

e.1. LES VITAMINES LIPOSOLUBLES

Ces vitamines sont : vitamine A, vitamine D, vitamines E et vitamine K.

e.1.1. Vitamine A

- Nature chimique

La vitamine A peut apparaître sous forme de vitamine A alcool (rétinol), vitamine A aldéhyde (rétinal) ou sous forme d'acide estérifié avec l'acide gras comme dans le cas de palmitate de vitamine A.

- **Forme précurseur**

Il y a plusieurs pigments qui sont précurseurs de la vitamine A ou provitamine A. il y a au moins 10 provitamines A, parmi les quels on peut citer : les carotides α , β et γ , les cryptoxanthines de plantes supérieures et les myxoxanthines des algues bleu vertes.

Parmi ces précurseurs, le β -carotène est plus active. La formule chimique de carotène est le double de celle de la molécule de vitamine A aldéhyde. La vitamine A et ses précurseurs possèdent des doubles liaisons qui donnent la couleur jaune à ces substances. L'ultra violet détruit ces doubles liaisons.

- **Activité et unités de mesure**

Les besoins en vitamine A des animaux peuvent être couverts soit par la vitamine A ou soit pas le β -carotène. La conversion de carotène en vitamine A se produit dans les intestins et dans le foie. En théorie, une molécule de β -carotène devrait donner après hydrolyse deux molécules de vitamine A. malheureusement l'efficacité de conversion et d'absorption de carotène en vitamines A est faible.

Ainsi :

1 UI de Vitamine A = 0,3 μ g de Vit. A Alcool = 2 μ g de β -carotènes (Porc)
 = 0,34 μ g de Vit. A acétate = 2 μ g de β -carotènes (Porc)
 = 0,55 μ g de Vit. A palmitate = 2 μ g de β -carotènes (Porc)
 = 1 μ g de β -carotènes (volaille)
 = 2,5 μ g de β -carotènes (Bovin)

D'où ;

1 μ g de β -carotènes = 0,5 U de Vit. A chez le porc $\frac{1 \text{ UI de Vit.A}}{2 \mu\text{g de } \beta\text{-carotènes}}$

= 0,15 μ g de Vit. A Alcool (porc)
 $\frac{0,55 \mu\text{g de Vit.A palmitate}}{2 \mu\text{g de } \beta\text{-carotènes}}$ = 0.275 μ g de Vit. A Palmitate

1 μ g de β -carotènes = 1 UI de Vit. A (Volaille)
 = 0,3 μ g de Vit. A Alcool (volaille)
 = 0,55 de Vit. A palmitate (Volaille)

$\frac{1 \text{ UI Vit.A}}{2 \mu\text{g de } \beta\text{-carotènes}}$ = 0,04 UI de Vit. A (bovin)

$\frac{0,3 \mu\text{g de Vit. A Alcool}}{2 \mu\text{g de } \beta\text{-carotènes}}$ = 0,12 UI de Vit. A (bovin)

= 0,13 7 μ g de Vit. A acétate (bovin)
 = 0,220 μ g de Vit. A palmitate (bovin)

1 µg Vit. A alcool = 3 UI Vit. A

$$\frac{2 \mu\text{g } \beta\text{-carotène}}{0,3 \mu\text{g Vit. A Alcool}} = 6 \mu\text{g } \beta\text{-carotène (porc)}$$

$$\frac{1 \mu\text{g } \beta\text{-carotène}}{0,3 \mu\text{g Vit. A Alcool}} = 3 \mu\text{g } \beta\text{-carotène (volaille)}$$

$$\frac{1 \mu\text{g } \beta\text{-carotène}}{0,12 \mu\text{g Vit. A Alcool}} = 8 \mu\text{g } \beta\text{-carotène (bovin)}$$

1 UI β-carotène = 0,6 µg β-carotène

- **Source**

La vitamine A n'existe que dans les produits d'origine animale (lait, foie et autres). Les végétaux contiennent la provitamine A. les vitamines A et les provitamines A sont détruits par la lumière, la chaleur et par l'oxydation à l'air. C'est pourquoi les fourrages mal conservés sont pauvres ou même dépourvus de provitamine A.

- **Fonction**

- Intervient dans la vision nocturne
- Importante pour l'intégrité des cellules des tissus épithéliales (respiratoire, urogénitale, peau, etc.)
- Importance pour la formation des os.

- **Signes de carences**

1. Signes généraux

- Anorexie
- Perte de poids et retard de croissance
- Poils et plumes ébouriffés

2. Yeux

- Cécité chez les animaux de ferme
- Xérophtalmie (Bovin)
- Opacité de la corné (Bovin)

3. Système respiratoire

- Pneumonie (souris, bovin)

4. Système urinaire

- Néphrite (animaux de ferme)

5. Reproduction

- Dégénération des testicules (souris)

- Cycle œstral anormal (souris, bovin)
- Résorption de fœtus (souris)

- **Toxicité**

La vitamine A n'est pas rapidement excrétée. D'où l'ingestion répétée de fortes doses peut résulter à des intoxications.

Les signes de toxicité sont : Anorexie, perte de poids, dermatose écailleuse, gonflement des paupières, etc.

e.1.2. Vitamine D

- **La nature chimique**

On reconnaît environs 10 formes de vitamines D dont deux sont les plus importantes. Il s'agit de vitamine D₂ et de vitamine D₃. La molécule principale de la vitamine D est stéroïdique. La plus part de mammifères peuvent utiliser les deux formes (D₂ et D₃) mais les oiseaux n'utilisent que la vitamine D₃.

- **Provitamine D**

L'ergostérol est la provitamine D₂ tandis que le 7- deshydrocholesterol est la provitamine D₃.

- Chez les plantes
 - Plantes vertes contiennent la Provitamine D appelée : Ergostérol (Phytostérol)
 - Plantes sèches : sous l'influence des UV l'ergostérol est converti en ergocalciférol (Vit. D₂) d'où les plantes sèches sont riches en vitamine D₂.

- Chez les animaux

La peau des animaux contient la provitamine D appelé 7- déhydrocholestérol qui sous l'action des UV est converti en vitamines D₃ ou cholécalciférol.

Les vitamines D₂ et D₃ sont toutes les deux stables à l'oxydation.

- **Rôle**

La vitamine D est appelée depuis sa découverte comme un facteur antirachitigène car il prévient le rachitisme. Deux mécanismes aident à prévenir le rachitisme, à savoir :

- Elle augmente l'absorption de calcium dans l'intestin
- Son métabolisme, le 1-25-dihydroxycholecalciférol est responsable de la mobilisation de calcium des os et stimule l'absorption de calcium dans l'intestin.

- **Métabolisme**

La vitamine D sous forme de 25-hydroxycholecalciférol stimule la formation dans l'intestin d'une protéine spéciale qui a le rôle de se combiner avec le calcium et former un complexe Ca-Protéine. Ce complexe Ca-Protéine favorise le transport de calcium à travers les parois intestinales jusque dans la circulation portale.

Le 25-OH-D₃ est formé dans le foie à partir de la vitamine D₃ par réaction d'hydroxylation. Le 25-OH-D₃ n'agit pas directement sur le corps animal. Il doit d'abord être converti en 1-25 (OH)₂-D₃ est la plus active que le 25-OH-D₃.

Une ration riche en calcium diminue la production de 1-25(OH)₂-D₃ par les reins, alors qu'une ration faible en calcium stimule sa production. De même, la production de 1-25 (OH)₂-D₃ est contrôlé aussi par la concentration de calcium dans le sérum par l'action de l'hormone parathyroïde qui catalyse la conversion de 25-OH-D₃ en 1-25-(OH)₂-D₃.

Le schéma ci-après montre le mécanisme du contrôle de métabolisme du calcium par la vitamine D.

Quand le taux de calcium diminue dans le sang, ceci est senti dans l'hypothalamus qui à son tour va augmenter la sécrétion de l'hormone parathyroïde à partir de la glande parathyroïde.

L'hormone parathyroïde va convertir le 25-OH-D₃ en 1-25-(OH)₂-D₃ dans les reins qui à son tour va augmenter la mobilisation de calcium des os et la formation de la protéine transporteur de calcium dans les intestin pour augmenter l'absorption de calcium de l'intestin dans le sang. Quand le niveau de calcium sanguin atteint le seuil limité supérieur, l'hormone calcitonine bloque la formation de 1-25-(OH)₂-D₃ pour arrêter la mobilisation de calcium des os et diminuer l'absorption de calcium des intestins.

- **Signes de carences**

Mauvais développement des os (pattes arquées, fractures spontanées)

- **Toxicité**

L'excès de vitamine D peut provoquer le dépôt de calcium dans les tissus mous (calcification des tissus mous).

- **Unités**

1 UI Vit. D = 0,025 µg vit D₃

e.1.3. Vitamine E

- **Nature chimique**

Il y a environ huit formes de vitamine E dans la nature dont quatre saturées et quatre autres insaturées.

Les quatre saturées sont nommées α, β, γ et δ tocophérol. De ces quatre saturées, le α-tocophérol est le plus actif biologiquement et le plus répandu, les trois autres n'ont que 25 %, 10 % et 1 % d'activité de α-tocophérol respectivement.

Les quatre vitamines E insaturées sont α, β, γ et δ tocophérols et seule la forme α paraît être active avec une activité biologique de 25 % à celle de α-tocophérol.

- **Source**

Très répandue dans le règne végétal. Les feuilles vertes, les jeunes herbes en sont très riches. Les grains de céréales sont aussi de très bonnes sources de vitamines E. Les produits d'origine animale sont très pauvres en vitamine E.

- **Stabilité**

La vitamine E est très stable à la chaleur, elle s'oxyde très vite en présence des minéraux et des acides gras poly insaturés. Dans le commerce, on la trouve surtout sous formes estérifiée : d.1 α -tocophérol acétate.

- **Conversion**

La vitamine E est exprimée en UI

1 UI Vit. E = 1mg de : d.1 α -tocophérol acétate

1 mg : d.1 α -tocophérol naturelle = 1,49 UI Vit. E

1 mg : d.1 α -tocophérol synthétique = 1,1 UI Vit. E

- **Fonctions**

Antioxydant : Elle maintient l'intégrité des membranes cellulaires.

- **Signes de carences**

Troubles de reproduction

- Dégénérescence embryonnaire chez la souris
- Atrophie testiculaire chez les volailles, chien et cobaye
- Trouble ovarien chez la souris

Trouble de perméabilité cellulaire

- Nécrose de foie chez le porc et souris
- Hémolyse de cellule de globule rouge chez la poule, souris et enfant
- Inflammation des tissus adipeux chez les poules et porcs
- Encéphalomalécie : (incoordination et ataxie dues à l'hémorragie et œdème dans le cerebellum) chez la poule
- Diathèse exsudative chez la poule (œdème sévère provenant de la perméabilité élevée de capillaires)
- Dystrophie musculaire nutritionnelle : très commun chez l'agneau, le veau, le poussin (il y a dégénérescence de muscle du squelette et du cœur.

- **Relation entre vitamine E et acides gras polyinsaturés**

Une ration riche en acide gras polyinsaturé augmente les besoins de l'animal en vitamine E.

e.1.4. Vitamine K

- **Nature chimique**

Il y a deux formes naturelles les plus importantes de vitamine K, ce sont la vitamine K₁ (Phyllo quinone) et la vitamine K₂ (Menaquinone). La troisième forme, la vitamine K₃ (mena) est produite synthétiquement dans le commerce.

- **Sources**

La vitamine K₁ est abondante dans les feuilles vertes, on la trouve aussi dans les produits d'origine animale (jaune de l'œuf, farine de poisson). La vitamine K₂ synthétisée par les bactéries du tube digestif des animaux et de l'homme.

- **Rôle**

La vitamine K intervient dans la coagulation du sang par la formation de la prothrombine dans le foie.

- **Signe de carences**

Augmentation de temps de coagulation du sang, hémorragie généralisée.

e.2. LES VITAMINES HYDROSOLUBRES

e.2.1. Thiamine (Vit. B₁ ou Aneurine)

- **Source**

Très répandue dans la nature, très abondante dans la levure de bière, dans les germes de graines de céréales, dans les haricots et dans les feuilles vertes. Dans les produits d'origine animale, on la trouve dans le jaune d'œuf, le foie, les reins et les muscles de porc.

Elle est synthétisée commercialement sous forme de l'hydrochlorure de thiamine. La Thiamine est sensible à la chaleur surtout en milieu alcalin.

- **Fonctions**

Agit comme Thiamine pyrophosphate (TPP) dans les réactions de décarboxylation des acides α -cétoniques, surtout lors du métabolisme des glucides. D'où la carence en vitamine B₁ se traduit surtout par des troubles métaboliques de cellules qui demandent le glucose pour leur nutrition telles que les cellules cardiaques et les cellules nerveuses.

- **Signes de carence**

Troubles dans le métabolisme de glucides et de lipides conduisant aux troubles nerveux et cardiaques.

- Beri-Beri chez l'homme

Faiblesse de cuisse, œdème de pieds et de jambe, symptôme de paralysie et douleur de la colonne vertébrale.

- Polynévrite chez le poussin

Tête retraitée en arrière, mauvaise croissance.

- Faible rythme cardiaque chez toutes les espèces

Parfois accompagné de la destruction de myocarde.

- **Toxicité**

Très faible à cause de son élimination rapide par les urines.

e.2.2. Vitamine B₂ (Riboflavine ou lactoflavine)

- **Source**

La vitamine très répandue dans la nature mais instable à la lumière, particulièrement aux UV. Les sources les plus riches sont les levures, le foie, le fourrage vert, etc. Les graines de céréales sont pauvres en Riboflavine.

- **Rôle ou fonction**

Fonctionne dans les coenzymes FAD et FMN.

- **Signes des carences**

- Chez les porcs

- ✓ Anorexie
- ✓ Vomissement,
- ✓ Mort-né ou naissance de petits très faibles.

- Chez la volaille

Paralysie de membre avec orteils recourbés.

- Chez l'homme

- ✓ Dermatoses de lèvre et bouche
- ✓ Dermatoses scrotales
- ✓ Conjonctives

- **Toxicité**

La toxicité est peu probable à cause de son élimination rapide dans les urines.

e.2.3. Nicotinamide (Vit. PP)

- **Nature chimique**

La Nicotinamide est un amide qui dérive de l'acide nicotinique ou niacine. Souvent l'acide nicotinamide est décrit comme la vitamine. Or en réalité, le composé qui fonctionne dans le corps n'est pas l'acide nicotinique mais l'amide. Néanmoins, niacine et nicotinamide sont équivalents en ce qui concerne l'activité biologique chez les animaux et l'homme. L'acide nicotinique et la nicotinamide sont tous les deux stables à la chaleur, à la lumière et aux alcalins.

L'acide aminé tryptophane peut se convertir en nicotinamide pour couvrir une partie des besoins en vitamine niacine en raison de 60 mg de tryptophane pour 1 mg de niacine chez le porc. Mais l'efficacité de la conversion varie souvent suivant le type de nourriture, l'espèce animale et l'état métabolique.

- **Source**

L'acide nicotinique peut être synthétisé dans le corps animal à partir de tryptophane. Le foie, les grains d'arachides et de tournesol sont très riches en niacine. Cependant, une grande partie de niacine de graines d'arachides est sous forme liée, non disponible au porc et volaille.

Le lait et les œufs sont presque dépourvus de niacine, le maïs est très pauvre en niacine et tryptophane. D'où le porc et volaille nourris avec une ration riche en maïs sont exposés aux carences en niacine.

- **Fonction**

Agit dans deux coenzymes : NAD (Nicotinamide Adénine Di nucléotide) et NADP (Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate).

- **Signes de carences**

- En général

Diminution de l'appétit et de la croissance

- Chez le Porc

Vomissement, diarrhée, dermatose

- Chez la volaille

Mauvais plumage, dermatose écailleuse

- Chez l'homme

Pellagre (rougeur de la langue, lésion de la bouche, anorexie nausée, ...)

e.2.4. Vitamine B₆ (Pyridoxine)

- **Nature chimique**

Cette vitamine existe sous trois formes qui sont inters convertibles dans le corps. Il s'agit de *Pyridoxine*, *Pyridoxal* et *Pyridoxamine*. Birch et Gyorgy en 1936 ont découvert d'abord une substance qui avait les propriétés de soigner la dermatose chez le rat. Cette substance fut nommée *Pyridoxine*. Plus tard, on a découvert deux autres substances ayant les mêmes propriétés que *Pyridoxine*. Il s'agit de *Pyridoxal* et du *Pyridoxamine*. Toutes ces trois substances sont appelées vitamine B₆.

La *Pyridoxine* et la *Pyridoxal* sont moins stables que la *Pyridoxamine*. Ils sont vite détruits par la chaleur.

- **Source**

La vitamine est très répandue dans la nature. Les sources les plus riches sont les levures, le foie, le lait et les graines de céréales.

- **Fonction**

Joue le rôle de coenzyme de plusieurs systèmes enzymatiques associés au métabolisme de protéines et d'Azote.

- **Signes de carences**

Le signe le plus commun est lié au système nerveux entraînant des convulsions

- Porc

✓ Retard de croissance

✓ Anorexie

✓ Convulsion

- Volaille

✓ Retard de croissance

✓ Mauvais plumage

- ✓ Faible taux de ponte
- ✓ Faible taux d'éclosion

e.2.5. Acide Pantothénique (Vitamine B₅)

- **Nature chimique**

C'est un dérivé dipeptidique avec un groupement acide dihydroxy-diméthyl-butyrique et un groupement acide aminé β -alanine.

- **Source**

Très répandue dans la nature. Les sources les plus riches sont : le foie, jaune d'œuf, graine d'arachides. Synthétiquement, il se présente sous forme de sel de calcium. Dans la ration, on le présente sous forme de sel de calcium qui est moins hygroscopique que le sel de sodium.

- **Fonction**

L'acide pantothénique fonctionne comme un composant de coenzyme A.

- **Signes de carences**

- Porc
 - ✓ Faiblesse de croissance
 - ✓ Démarche sautillante
- Volaille
 - ✓ Mortalité embryonnaire d'où faible taux d'éclosion des œufs
 - ✓ Faible taux de croissance
 - ✓ Dermatose

e.2.6. Acide Folique

- **Source**

Elle est synthétisée par les bactéries de l'intestin. D'où les carences chez nos animaux de ferme sont rares, sauf les jeunes poussins.

- **Signes de carence**

En général, chez tous les animaux, on remarque :

- La diminution du taux de croissance
- Anémie macrocytique et hyper chromique

e.2.7. Biotine (Vitamine H)

- **Source**

Très répandue dans la nature, le foie, les levures, le lait, les céréales et les herbes vertes sont des bonnes sources.

- **Fonctions**

Intervient dans plusieurs systèmes enzymatiques pour le métabolisme et protéines, glucides et lipides.

- **Signes de carences**

- Volaille
- ✓ Dermatoses
- ✓ Relâchement du tendon d'Achille (Pérose)

N.B. : Le blanc de l'œuf contient une protéine : Avidine qui rend la biotine non disponible pour l'absorption.

e.2.8. Choline

- **Source**

La Choline est très répandue dans la nature soit sous forme de choline libre, d'acétylcholine ou soit comme composant de phospholipides. La choline libre a la formule.

Dans le commerce, on trouve le chlorure de choline ou de citrate dihydrogène choline. Le chlorure de choline est très hygroscopique. Le fourrage vert, le jaune de l'œuf et les graines comme acétylcholine.

- **Fonction**

- Composant structural des tissus (Lécithine, sphingomyéline, ...)
- Transmission des impulsions nerveuses comme acétylcholine.

- **Signes de carences**

- Volaille
- Relâchement du tendon d'Achille (Pérose)

- Porc
- ✓ Mauvaise démarche chez les porcelets
- ✓ Troubles de reproduction chez la femelle
- ✓ Foie gras

e.2.9. Vitamine B₁₂ (Cyanocobalamine)

- **Sources**

La vitamine B₁₂ est synthétisée exclusivement par les micro-organismes. Les sources principales de la vitamine B₁₂ sont d'origines animales (le foie).

- **Fonctions**

La vitamine B12 fonctionne comme coenzyme dans une série de système enzymatique.

- **Signes de carences**

- Volaille

Faible croissance, mauvais plumage, pérose, faible taux d'éclosion due aux mortalités embryonnaires vers le 17^{ème} jour d'incubation.

- Porc
- ✓ Poils ébouriffés chez le jeune, incoordination de membres postérieures, anémie normocytaire
- ✓ Avortement chez les femelles, fœtus anormaux, nichées à petit nombre de gores difficulté d'élever les petits.

7.3.2. Les combinaisons minérales

7.3.2.1. Le calcium

a. Distribution dans le corps

De tout le calcium du corps, 99% se trouve dans le squelette comme constituant des os et des dents.

Le calcium se trouve dans les os, dans le rapport de 2 et 1 avec le phosphore. Le calcium se trouve aussi dans le sang particulièrement dans le plasma à la concentration d'environ 10 mg par 100 ml.

b. Fonctions

- Composant structural du squelette
- Contrôle l'excitation de nerfs et des muscles. Les faibles concentrations de calcium augmentent l'excitation des nerfs, les fortes doses causent les effets opposés.
- Le calcium est aussi important pour la coagulation de sang.

c. Signes de carence

- Cas de carence simples
- ✓ Chez le jeune animal : le Rachitisme
- ✓ Chez l'adulte : l'ostéomalacie
- ✓ Pour les 2 cas : les os deviennent mous par manque de calcification de matrice de cartilage et se déforment.
- Cas de carence associés avec l'excès de phosphore
- ✓ Dans ce cas, il y a un excès de résorption de calcium résultant à l'ostéodystrophie fibreuse (remplacement du tissu osseux par le tissu fibreux).
- Dans les 2 cas
- ✓ Diminution de teneur de cendres des os
- ✓ Hypocalcémie pouvant résulter en tétanie et convulsion. Exemple : Fièvre du lait ou fièvre vitulaire chez la vache laitière.

d. Toxicité

- Ostéopétrose : Épaississement anormal et exagéré des os
- Calcification des tissus mous (comme athérosclérose)
- Calcul urinaire
- Diminution de l'utilisation d'autres minéraux conduisant aux carences (Exemple : Zn ; Mg, Fe, I, Mn, Cu).

7.3.2.2. Phosphore

a. Distribution dans le corps animal

Le corps animal contient environs 1,1 % de phosphore sur base des matières sèches dégraissées. De tout cela, 80 % est dans le squelette, la cendre contient 18 % de phosphore.

b. Fonction

- Composant le squelette et se trouve ensemble avec le calcium dans les os
- Composant de phospholipides
- Composant de AMP, ADP et ATP importants pour le métabolisme énergétique
- Composant de l'ARN et ADN

c. Métabolisme

L'absorption de phosphore par diffusion passive, il n'y a pas de transport actif

- Un excès de phosphore en relation avec le calcium diminue l'absorption de calcium à la formation de phosphate de calcium insoluble.

d. Signes de carence

- Rachitisme chez le jeune
- Anorexie
- Retard de croissance
- Pica : appétit dépravé
- Diminution du taux de reproduction chez le bovin
- Amaigrissement excessif : cachexie.

e. Signes de toxicité

- Ostéodystrophie fibreuse souvent quand le calcium et le phosphore sont dans des rapports les plus grands que 1 : 2
- Diarrhée due aux effets laxatifs

7.3.2.3. Le Magnésium

a. Distribution dans les tissus animaux

Plus de la moitié de magnésium du corps se trouvant dans le os à la concentration d'environ 0.5 et 0.7 pourcent.

b. Fonction

- Développement normale du squelette
- Joue un grand rôle important dans la phosphorylation oxydative par les mitochondries du cœur. Le Mg intervient dans l'activation des plusieurs enzymes.

c. Signes des carences

Chez le porc

- Pattes faibles
- Hyper irritabilité
- Tiraillement des muscles
- Tétanie suivi de la mort

- Les faibles teneurs en Ca de ration aggravent la carence en Mg

Chez les bovins au pâturage, il y a :

- Tétanie d'herbage : hypo magnésemie

Les causes de cette hypo magnésemie ne sont pas encore bien connues. On pense que l'excès de K et de N dans le sol ou dans le fourrage en est l'une des causer car le K et N interfèrent avec l'absorption de Mg.

d. Toxicité

- Diminution de la libération de l'acetyl choline au niveau de la jonction neuromusculaire et ganglions sympathiques
- Diminution de pression sanguine.

7.3.2.4. Potassium, Sodium et Chlore

POTASSIUM

a. Fonctions

Le potassium est situé dans les cellules

- Il influence la pression osmotique,
- Il maintient l'équilibre acide base du corps,
- Il influence le métabolisme des hydrates des carbones en favorisant l'entrée de glucose dans les cellules,
- Important pour la synthèse normale des protéines des tissus et pour garder l'intégrité normale de muscles de cœur et reins et pour un électrocardiogramme normal.

b. Signes de carence

- Retard de croissance
- Manque de l'équilibre du corps
- Faiblesse musculaire généralisée
- Pica

SODIUM

a. Fonction

- Il maintient l'équilibre acide base du corps
- Il sert aux impulsions nerveuses

b. Signes de carences

- Retard de croissance et diminution de l'efficacité de l'utilisation des nourritures chez les animaux en croissance
- Diminution de la production laitière
- Pica caractérisé par la tendance de boire les urines.

CHLORE

a. Fonction

- Il régularise la pression osmotique extra cellulaire
- Il participe au maintien de l'équilibre acide base du corps
- Il est le composant du suc de gastrique pour former le Hcl

b. Signe de carences

- Réduction de taux de croissance

c. Toxicité

- Suite à leur diminution facile par le rein, la toxicité du potassium, sodium et chole est peu rencontrée sauf en l'absence de l'eau de boisson.

7.3.2.5. Le soufre

Le soufre est utilisé par le corps animal comme composé organique tels que : méthionine, cystine et vitamine, biotine et thiamine et autres substances organiques.

a. Fonction

- La forme inorganique (SO_4) fonctionne dans l'équilibre acide-base comme constituant intracellulaire.
- Il est aussi important pour la synthèse des protéines et dans le métabolisme des lipides et des hydrates de carbone.

b. Signes de carences

Le soufre inorganique n'est pas essentiel pour l'entretien normal ou la production chez les animaux.

- Les signes de carences en soufre sont surtout liés à ceux de ses composants organiques, tels que la méthionine, thiamine, biotine et autres contenant du soufre, ainsi le soufre est important surtout chez le ruminant qui reçoit une ration avec l'azote non protéinique pour une bonne synthèse de protéine chez les micro organismes.

7.3.3. Les micro-minéraux

1. LE FER

a. Distribution dans les tissus des animaux

Soixante à 70 % de fer du corps sont dans l'hémoglobine et myoglobine, 20% sont conservés dans le foie. La rate et dans les autres tissus pour être utilisé dans la formation d'hémoglobine (forme lobile), l'autre partie (10 à 20%) sont fortement liés dans les tissus tels que : les composants de myosine et actomysine des muscles et des enzymes.

Le fer dans le plasma sanguin est lié sous forme ferrique (Fe^{+++}) à une protéine spéciale, transferrine qui est β -globuline. Le transferrine est transporteur de fer dans le sang et il est saturé seulement à 30-60% de sa capacité totale.

Le fer est stocké dans la rate et la moelle des os sous la forme de complexe Fe-protéine appelé Ferritine et comme composant de hémossidérine.

b. Fonction

- Formation d'hémoglobine et myoglobine
- Composant de plusieurs systèmes d'enzyme contenant hèmes pour le transport des électrons dans les cellules.

c. Métabolisme

Absorption : le fer est absorbé dans le duodénum sous forme ferreux

d. Signes de carences

Anémie micro cytique et hypo chronique

2. LE CUIVRE

a. Fonctions

- Formation normale des globules rouges (action hématopoïèse) grâce à sa fonction de faciliter l'absorption de fer dans l'intestin et par l'oxydation de fer ferreux en fer ferrique grâce à l'enzyme ceruloplasmine contenant du cuivre.
- Formation normale des os à travers la formation des collagènes des os.
- Nécessaire pour une formation des myélines des cellules du cerveau et de la moelle épinière.
- Important pour la formation des pigments des poils et des latines.

b. Signes de carences

- Ataxie et incoordination des mouvements chez l'agneau.
- Mal formation des os chez les porcs, poules, chiens, chevaux
- Diarrhée chez les bovins
- Lésion cardio-vasculaire chez les bovins, porcs et volailles
- Anémie hypo chromique et micro cystique chez le lapin et porc
- Anémie hypo chromique et macro cystique chez les bovins et ovins
- Anémie normo chromique et normo cystique chez les volailles et chats
- Diminution de la fertilité des femelles, souris, cobaye et vache.

c. Toxicité

Les ovins et les bovins sont les plus sensibles à la toxicité du cuivre. Ces signes sont : hémoglobinurie, jaunissement et nécrose des tissus et mort chez les bovins et ovins.

3. COBALT

Les animaux n'ont pas besoin de cobalt comme tel si non à travers la vitamine B₁₂.

a. Fonction

Constituant de vitamine B₁₂

b. Signes de carences

Comme dans le cas de carences en vitamine B₁₂

- Perte d'appétit
- Réduction de croissance chez les jeunes
- Perte de poids chez les adultes
- Anémie normo cystique et normo chromique
- Dégénérescence du foie

4. IODE

a. Fonction

Composant de thyroxine

b. Signes de carences

- Réduction du taux du métabolisme basal
- Crétinisme chez les jeunes (taille courte = cretin)
- Myxedema chez l'adulte
- Diminution de taux de croissance
- Réduction de l'activité des gonades
- Problème de reproduction
 - ✓ Résorption de fœtus
 - ✓ Avortement
 - ✓ Morts nés
 - ✓ Suppression de l'œstrus
 - ✓ Diminution de libido chez le mâle et chez la femelle, pas de chaleur
- Goitre

5. ZINC

a. Fonction

- Composant d'une série d'enzyme
- Important pour la synthèse normale de protéine et leur métabolisme
- Important dans le métabolisme des hydrates de carbones
- Comme composant de l'insuline.

b. Signes de carences

- Anorexie (pas d'appétit)
- Retard de croissance
- Hyper kératinisation des cellules épithéliales (para kératose chez les porcins)
- Mauvaise apparence de laines chez les ovins ?
- Pérose chez la volaille
- Hypogonadisme chez toutes les espèces animales (gonade tout petit)
- Hypogonadisme, manque de caractère sexuel secondaire et nanisme a été observé chez l'homme.

6. MANGANESE

a. Fonction

- Impact pour la formation de sulfate de qui est un composant de la matrices organique des os, d'où important pour la formation des os
- Important pour le cycle œstral normal et l'ovulation
- Important pour le libido chez le male et spermatogenèse
- Important pour une série d'enzyme.

b. Signes de carences

- boitement
- raccourcissement et pliement des jambes (porcs, ovins, bovins, caprins)
- pérose (volaille)
- problème de reproduction
 - ✓ œstrus retardé
 - ✓ pauvre conception
 - ✓ diminution de taille de la nichée
 - ✓ diminution de la survie des petits
 - ✓ diminution de production et du taux d'éclosion
 - ✓ manque de libido et de spermatozoïde

7. LE SELENIUM

Le sélénium était d'abord comme élément toxique pour plusieurs années, son importance en nutrition a été découverte en 1957 par Schwarz et Foltz.

a. Source

Tous les tissus animaux contiennent des séléniums mais les tissus les plus riches sont les foie, les reins et les muscles. La teneur de sélénium des plantes varie selon les plantes et les sols et les espèces végétaux.

b. Fonction

- Composant de l'enzyme glutathion peroxydase. D'où il participe à la destruction de peroxyde provenant de l'oxydation des lipides et par conséquent, il participe au maintien de l'intégrité des membranes cellulaires.

c. Signes de carences

- Dystrophie musculaire nutritionnelle (Agneau, poule, porcs et veau)
- Diathèse exsudative, volaille
- Nécrose de foie (souris, porc)

d. Toxicité

Le sélénium est très toxique, les sols riches en sélénium de l'ordre de plus au moins 0,5 ppm sont dangereux pour les bovins car les plantes de ce sol peuvent contenir plus au moins 4 ppm de sélénium.

BOVIN

Emaciation, perte de poils, érosion des articulations des os longs, boiterie atrophie du cœur, cirrhose de foie, anémie, salivation excessive, grincement des dents, déchaussement des sabots, paralysie, perte de vue et mort.

VOLAILLE

Chute de ponte et éclosion, déformation des poussins

PORC, BOVIN, MOUTON

Déformation du fœtus.

CHAPITRE VIII : EXPRESSION DE LA VALEUR NUTRITIVE DES ALIMENTS

La valeur nutritive des aliments peut être exprimée par :

- sa teneur en substance nutritives

- La digestibilité de ses substances nutritives
- son apport énergétique ou par la consommation volontaire de cet aliment par les animaux.

8.1. COMPOSITION CHIMIQUE

La connaissance de la composition chimique d'un aliment constitue le premier pas d'évaluation de la qualité de cet aliment.

D'après la finesse de la méthode analytique utilisée, les analyses bromatologique peuvent se classer en :

- Analyse bromatologique classique ;
- Analyses bromatologiques complémentaires ;
- Analyse particulières

8.1.1. Analyse bromatologique classique

Cette méthode est aussi appelée la méthode approximative. Elle a été développée vers les années 1860 à la station agronomique de Weende en Allemagne par les chercheurs Hünenberg et Stohman et continue à être utilisée dans la plupart de laboratoire d'analyse d'aliment.

Elle est basée sur la séparation des aliments en plusieurs fractions suivantes :

- L'eau de l'humidité
- Matière sèche
 - ✓ Cendre ou matière minérale
 - ✓ Extrait éthéré
 - ✓ Fibre brute
 - ✓ Extractif non azoté
 - ✓ Protéine brute

Cette méthode est dite approximative car les fractions analysées ne sont pas chimiquement pures. Elles contiennent chacune divers composés chimiques.

La procédure générale pour obtenir et préparer les échantillons à analyser par la méthode Weender est la suivante :

- Pour un lot de nourriture, échantillonnez plusieurs endroits
- Séchez à l'air si l'échantillon est encore humide ou de préférence à 60°C dans une étuve ou séchoir,
- Moudre les échantillons puis mélanger convenablement
- Garder les échantillons bien fermés dans un récipient jusqu'au moment de l'analyse,
- Dans certains cas, garder au frigo.

a. Détermination de l'humidité

- Peser une petite quantité de moins de 10 g de l'échantillon préparé dans un récipient taré,
- Sécher dans une étuve à 105°C pour 8h ou à poids constant,
- Mettre l'échantillon dans un déclicateur pour le refroidir,
- Peser le récipient contenant l'échantillon,

- Déterminer le pourcentage d'humidité par la formule :

$$\% \text{ Humidité} = \frac{\text{Poids perdu après séchage}}{\text{Poids de l'échantillon avant séchage}} \times 100$$

$$\% \text{ Matière sèche (MS)} = \frac{\text{Poids perdu après séchage}}{\text{Poids de l'échantillon avant séchage}} \times 100$$

b. Protéine brute : % PB = %N x 6,25

1. On pèse 1 à 5 g d'un échantillon préalablement préparé, avec du papier fibre d »pourvu d'azote.
2. On introduit le papier filtre contenant l'échantillon dans un ballon Kjeldahl.
3. On ajoute de H₂ SO₄ concentré et du sulfate de sodium ou de potassium et aussi on ajoute le catalyseur. Ceci pour convertir l'azote ammoniacal en sulfate d'ammonium.
4. Digérer jusqu'à l'obtention d'une solution verdâtre.
5. Ajouter un excès de Na (OH) concentré pour rendre le milieu fortement alcalin et de convertir tout l'azote ammoniacal en hydroxyde d'ammonium.
6. Ajouter de l'eau et distiller l'ammonium dans une quantité connue d'une solution standard d'acide.
7. Déterminera par titration avec une base standard la quantité d'acide neutralisée par l'ammoniaque formé à partir de l'azote de l'échantillon.
8. Calculez la quantité de protéines dans l'échantillon à partir de la formule % N x 6,25.

Le coefficient 6,25 provient du fait qu'en moyenne les protéines contiennent 16% d'azote.

c. Matière grasses brutes

1. On pèse 2 à 5 g d'échantillon préparé et mettre cet échantillon dans une cartouche d'extraction.
2. Placer la cartouche dans une étuve pour enlever l'eau de l'échantillon.
3. Extraire les matières grasses de l'échantillon avec l'éther de pétrole dans un Soxhler pour plusieurs heures.
4. Evaporer l'éther de pétrole et peser le reste.

$$\% \text{ Matière grasse brute} = \frac{\text{Poids de matière grasse brute}}{\text{Poids de l'échantillon utilisé}} \times 100 = \% \text{ MG}$$

d. Fibre brute (FB)

1. On pèse environ 2 à 5 g de l'échantillon à l'analyse
2. On sèche l'échantillon dans l'étuve pour enlever l'eau
3. Extraire la matière grasse (on peut utiliser le même échantillon que celui utilisé pour le dosage de matière grasse brute.
4. Bouillir l'échantillon dans une solution de 1,25% d'acide d'hydroxyde de sodium pendant 30 minutes

5. Filtrer et puis bouillir dans une solution de 1,25% d'hydroxyde de sodium pendant 30 minutes et filtrer.

Ces extractions enlèvent les protéines, les sucres, les amidons, les minéraux et les lignines solubles.

6. Sécher les résidus et peser
7. Calciner les résidus et peser la cendre
8. Calculer la quantité de fibre brute dans l'échantillon = poids de résidus sec - poids de cendres

$$\frac{\text{Quantité de fibres}}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100 = \% \text{ FB}$$
9. Calculer le pourcentage de fibre brute : $\frac{\text{Poids de l'échantillon}}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100 = \% \text{ FB}$

e. Matières minérales

1. Peser 2 à 5 g d'échantillon dans un creuset
2. Sécher à l'étuve à 105° C jusqu'à un poids constant
3. Peser de nouveau l'échantillon
4. Calciner dans un four à 600° C pour plusieurs heures
5. Peser la cendre
6. Calculer le pourcentage de matières minérales : $\frac{\text{Poids de cendre}}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100 = \% \text{ MM}$

f. Extractifs non azotés

Les extractifs non azotés sont obtenus par différences % ENA = 100 – (% Eau + % PB + % MG + % FB + % MM)

g. Méthodes d'expression de la composition

g.1. Unités

- En pourcentage
- En partie par million (PPM)

Or 1 million = 10.000 x 100. D'où pour passer de % en ppm ou multiplie par 10.000. Pour changer de ppm en % on divise par 10.000.

- En milligramme par kilogramme (mg/kg) ou en ug/g)

Or 1 kg est égal à 1.000.000 mg. D'où mg/kg = mg/1.000.000 mg = PPM

g.2. Base de matière sèche

La composition des aliments peut être exprimée selon l'une des trois bases, base fraîche, matière séchée et l'air ou matière séchée à l'étuve.

- Base fraîche : sur cette base, la matière sèche peut varier de 0 à 100 %
- Base de matière séchée à l'air : généralement, le taux de matière sèche est de 90 %
- Base de matière séchée à l'étuve : c'est une expression des aliments sur base de 100 % de matières sèches.

Le changement d'une base à l'autre se fait par la formule :

$$\frac{\% \text{ de } n' \text{ importe quel composant dans un aliment sur } n' \text{ importe quelle base}}{\% \text{ de matière sèche dans cet aliment dans la même base}} = \frac{\% \text{ du composant dans la nourriture sur une autre base}}{\% \text{ de matière sèche dans l'aliment sur la même base}}$$

Exemple : si un aliment contient 4 % de P.B. sur base fraîche et 75 % d'eau. Quelle est la teneur en PB sur base de matière séchée à l'air ?

Solution :

% MS dans l'aliment frais = 100 - 75 = 25 %

$$\frac{4}{25} = \frac{X}{90} \Rightarrow 25 X = 360 \Rightarrow X = 14,4 \text{ \% PB } 100$$

8.1.2. Analyses spéciales ou complémentaire

a. Méthode de Van Soest d'évaluations de fourrages

L'une des plus grandes limitations de la méthode d'analyse classique est qu'elle détermine mal les fibres et les extractifs non azotés :

1. En effet, dans la méthode de Weende, les fibres brutes ne sont pas de fractions pures. Elles sont formées par un mélange de : cellulose, hémicellulose et lignine.
 - La cellulose et l'hémicellulose ont une valeur nutritive similaire et cette valeur nutritive est plus grande chez les ruminants que chez les monogastriques.
 - La lignine est indigestible à toutes les espèces animales.
2. Les fibres brutes ne représentent qu'une partie de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. L'autre partie se retrouve dans les extractifs non azotés. D'où la méthode de Weende surestime les ENA c'est-à-dire les sucres et les amidons des fourrages, et sous-estime les fractions indigestibles des fourrages c'est-à-dire la cellulose, hémicellulose et la lignine.

Pour arriver à évaluer ces différentes fractions c'est-à-dire les sucres et les amidons très digestibles, les hémicellulose et cellulose moyennement digestibles et les lignines indigestibles. Van Soest et ses collaborateurs ont mis au point vers les années 1966-1970 dans leur laboratoire de Service de Recherche Agronomique de USDA à Beltsville au Maryland une nouvelle méthode capable de séparer ces fractions.

Cette méthode comprend :

- Séparation du fourrage en deux fractions

- Une fraction soluble dans une solution du détergent neutre (NDS). Cette fraction est très digestible et comprend en grande partie les contenus cellulaires (les lipides, les sucres, les amidons et protéines)
- Une fraction comprend en grande partie les membranes cellulaires des plantes.

C'est pourquoi on l'appelle souvent composant des membranes cellulaires. Ils comprennent surtout la cellulose, lignine, silice, hémicellulose et un peu de protéine dénaturée.

La méthode consiste à bouillir un échantillon de 0,5 à 1 g de fourrage dans une solution du détergent neutre (3 % sulfate lauryl de sodium tamponné à pH) pendant une heure, puis filtrer.

- Van Soest a observé que la digestibilité du NDF est influencée par la teneur en lignines. D'où il faut déterminer la quantité de lignine. Pour cela Van Soest a proposé des étapes suivantes :

- Détermination de l'hémicellulose

On va bouillir 1 g d'échantillon dans une solution de détergent d'acide (19,04 g d'acide sulfurique + 20 g de bromure cetyl triméthyl ammonium par litre) pour une heure, puis on filtre. Le résidu est appelé acide détergent fiber (ADF) et comprend surtout la cellulose, lignine et silice.

La différence entre NDF – ADF = hémicellulose.

- Détermination de lignine

Le résidu ADF est dirigé dans une solution de 72% de H₂ SO₄ à 15° C pour 3 heures puis filtrer, laver et sécher à l'étude, peser et calciner au four.

ADF – Cendre = lignine insoluble dans l'acide (ADL)

b. Analyse des minéraux

Les minéraux comme le C_a, M_g, N_a et K peuvent être déterminés dans les aliments par spectrophotomètre à Absorption Atomique à flamme ou par spectrophotomètre à Emission atomique à flamme.

Le P est déterminé rapidement par calorimétrie

Les micro-éléments Fe, C_u, C_o, Z_n, M_n et M_o peuvent aussi être déterminés par spectrophotomètre à Absorption Atomique à graphite.

Le Se est souvent déterminé par fluorométrie

L'iode et le F sont souvent déterminés par titrimétrie.

c. Les acides aminés

Les acides aminés peuvent être analysés par chromatographie.

d. Les lipides

Les différents acides gras qui composent le lipide peuvent être analysés par chromatographie de différentes sortes.

e. Analyse des produits toxiques

Produit toxiques naturels

Exemples :

- Acide cyanhydrique : dans le manioc, le germe, pousses de sorgho
- Acide oxalique : dans certains fourrages (setaria sphacélâtes, ...)
- Gossypol : graines et tourteaux de coton
- Alcaloïdes : dans les graines de légumineuses

Produits toxiques de contamination

- Les moisissures et leurs toxines. Exemple : Aspergillus, les aflatoxines, ...
- Résidus de pesticide.

f. Analyse pour la détection d'altération par

- Fraude
- Impuretés diverses
- Insectes prédateurs
- Oxydation de produits riches en lipide
- Présence d'ammoniaque dans les aliments

8.2. DIGESTIBILITE

8.2.1. Définition

La composition chimique d'un aliment ne suffit pas pour évaluer la qualité d'un aliment car l'utilisation des composés des aliments varie selon plusieurs facteurs.

La partie d'un composant d'un aliment absorbé après digestion est appelé « digestible » et celle qu'on retrouve dans les matières fécales est appelée « non digérée ».

En d'autres termes, la quantité de nutriments consommée moins la quantité de nutriment dans les fèces donne la quantité de nutriment digérée.

Par cette procédure, on détermine la digestibilité apparente plutôt que la digestibilité vraie. La différence entre les deux types de digestibilité est que :

- La digestibilité apparente ne tient pas compte de perte de gaz comme méthane chez les ruminants.
- La digestibilité apparente considère les nutriments dans les fèces comme non digestibles alors que ces fractions peuvent être :
 - ✓ Digérées mais non absorbées
 - ✓ Des fractions non alimentaires (muqueuse intestinales, bactéries, ...). Ces fractions sont appelées métaboliques.

Le coefficient de digestibilité est donc égale à :

$$CD = \frac{\text{Nutriment consommé} - \text{Nutriment dans fèces}}{\text{Nutriment consommé}} \times 100$$

8.2.2. Méthodes de mesure

8.2.2.1. Méthode in vivo

a. Méthode in vivo directe conventionnelle

La méthode conventionnelle consiste à nourrir les animaux mâles maintenus dans des cages avec un aliment dont on veut connaître la digestibilité pendant 14 jours de préexpérimentation pour stabiliser la consommation de ration et l'excrétion fécale, suivi de 7 jours d'expérimentation proprement dite au cours de laquelle on récolte et pèse chaque jour les fèces amis par chaque animal et un échantillon d'aliment offert. A la fin de l'expérimentation, les nutriments sont déterminés dans les aliments et les fèces. Dans ce model d'évaluation de fourrages, il faut donc suivre les étapes suivantes.

Calculer le coefficient de digestibilité de PB, MG, FB, ENA et le pourcentage nutriments digestibles.

b. Méthode in vivo directe des animaux au pâturage

Cette méthode permet la récolte des matières fécales des animaux journalièrement en faisant porter des harnais aux animaux, mais ne permet pas de connaître directement la quantité et la qualité de fourrage consommée.

Pour déterminé la quantité et la qualité de fourrage consommées, on peut utiliser plusieurs méthodes.

- *Utilisation de deux pâturages identiques*

L'un des pâturages est pâturé par les animaux munis d'harnais pour un nombre de jours donnés. Chaque jour on vide les harnais pour peser les fèces. L'autre pâturage est fauché, puis on fauche aussi les refus de la parcelle pâturée.

Les différences en poids et en composition entre les deux récoltes donnent le fourrage ingéré. Sur les fourrages non pâturé, on détermine la composition en nutriments.

c. Méthode in vivo indirecte

- *Méthode des index des animaux en cages*

Pour éviter les inconvénients des harnais, les besoins de récolter les fèces et de déterminer la quantité d'aliments consommée, on peut utiliser les indexes.

Ces index sont des substances qui peuvent être consommés ou administrés aux animaux mais qui sont entièrement inertes dans les tubes digestif et sont entièrement et complètement excrétés et uniformément mélangés avec les fèces. Par cette méthode, la digestibilité est déterminée à partir de la différence dans la concentration de l'index dans la nourriture et dans les fèces.

On utilise surtout l'oxyde chromique (Cr_2O_3) chez les carnivores, omnivores et volailles. On peut aussi utiliser les marqueurs ou index naturels tels que : la lignine, la silice contenues dans le pâturage chez les ruminants.

$$\text{Le CD\%} = 100 - \frac{\frac{\% \text{ index dans les aliments} \times \% \text{ de nutriments dans les fèces}}{\% \text{ index dans les fèces} \times \% \text{ nutriments dans l'aliment}}}$$

Les traceurs artificiels ne sont à utiliser que si l'on peut connaître la quantité d'aliment consommée et que le traceur soit bien mélangé avec les aliments. Ceci n'est possible que chez les animaux en cage ou à l'étable mais pas en pâturage.

Les traceurs naturels peuvent permettre de déterminer la digestibilité de fourrage pâturé si non connaît avec précision la nature et la composition de fourrage ingéré. On peut récolter les matières fécales au niveau de rectum à des heures différentes et faire la moyenne.

1. Connaître la quantité des aliments consommés en moyenne par jour = L_1
2. Connaître la composition de l'aliment par l'analyse de laboratoire comme vu précédemment = L_2

3. Calculer la quantité de chaque nutriment dans l'aliment consommé par jour : $\frac{L_1 \times L_2}{100} = L_3$

4. Connaître la quantité moyenne journalière de fèces excrétés = L_4

5. Connaître la composition de fèces en nutriment par analyse de laboratoire = L_5

6. Calculer la quantité de chaque nutriment dans les fèces émis par jour : $\frac{L_4 \times L_5}{100} = L_6$

7. Calculer la quantité de chaque nutriment digéré par jour : $L_3 - L_6 = L_7$

8. Calculer le coefficient de digestibilité de chaque nutriment : $\frac{L_7}{L_3} \times 100 = L_8$

9. Pourcentage (%) de nutriment digestible = L_9

$$= \frac{\% \text{ de nutriments dans la nourriture} \times \text{coef de digestibilité}}{100}$$

$$\text{Où \% Nutriment digestible} = \frac{\text{Quantité de nutriment digéré par jour}}{\text{Quantité totale d'aliment consommée par jour}} \times 100$$

$$\frac{L_7}{L_1} \times 100$$

Exemple :

Après une expérience de digestibilité avec le bovin soumis à une ration de foin on a trouvé des valeurs suivantes :

1. Quantité de foin consommé par jour : 9,11 kg
2. Composition du foin : MS = 91,5%, PB = 8,7%, MG = 2,01%, FB = 27,89%, ENA = 48,22%, MM = 4,68%
3. Quantité de fèces excrétées par jour : 20,61 kg
4. Composition de fèces : MS = 20,03%, PB = 1,92%, MG = 0,41%, FB = 8,09%, ENA = 8,1%, MM = 1,51%

- *Méthode des traceurs ou index pour les animaux au pâturage : Détermination de l'aliment consommé et la digestibilité*

Pour les animaux au pâturage, la quantité de nourriture consommée et la digestibilité peuvent être déterminées par méthode indirecte en utilisant les indicateurs internes qu'on rencontre dans les plantes et les indicateurs externes.

Les indicateurs internes (lignine, azote, les chromogènes des plantes, la silice, ...) sont utilisés pour estimer la digestibilité apparente. Les indicateurs externes (oxyde de chrome) sont nourris aux animaux servent à estimer l'excrétion fécale sans sacs.

La base est que si l'on connaît la digestibilité d'un composé dans l'aliment et qu'on connaît l'excrétion fécale alors on peut calculer la consommation d'aliment.

Pour calculer la consommation et la digestibilité de fourrage on peut utiliser la technique des rapports et la technique d'index fécale.

- *Technique d'index fécale*

- On conduit une expérience de digestion avec quelques animaux à qui on nourrit l'herbe de pâturage coupée. Après l'expérimentation on analyse le fourrage et les fèces pour l'indicateur interne, azote, fibre brute, ENA, MG et matière sèche. Puis on établit une équation de régression où X est le pourcentage de digestibilité de nutriments et Y le pourcentage de concentration de l'indicateur dans les fèces.
- Un autre groupe d'animaux est mis au pâturage où ils reçoivent un indicateur externe pendant qu'ils pâturent. Dix jours après que les animaux au pâturage aient commencé à recevoir l'indicateur externe, on récolte par voie rectale au moins 50 échantillons de fèces par animal. On détermine la quantité de l'indicateur externe dans les fèces.

L'excrétion fécale peut être calculée par la formule :

$$\text{MS fécale (g)} = \frac{\text{Indicateur externe ingéré par jour (g)}}{\% \text{ indicateur externe dans les fèces}} \times 100$$

Technique des rapports

$$\text{MS consommée (g)} = \frac{\text{Poids d'indicateur interne dans les fèces (g/j)}}{\% \text{ indicateur dans le fourrage}} \times 100$$

$$\% \text{ CD} = 100 - 100 \times \frac{\% \text{ indicateur interne des fourrage}}{\% \text{ indicateur interne fèces}} \times \frac{\% \text{ nutriment fèces}}{\% \text{ nutriment fourrage}}$$

Exemple : un groupe de moutons pâture le cynodon dactylon.

a. Les moutons ont reçu : 10 g d'oxyde de chrome/j

b. Le cynodon contient : - 13% de lignine (MS)
 - 8,7% de protéine (MS)
 - 27,87% FB (MS)
 - 2% MG (MS)
 - 48,2% ENA

c. Les fèces contiennent : - 1,15% d'oxyde de chrome
 - 22,6% de lignine
 - 1,92% PB
 - 8,06% FB
 - 8,1% ENA
 - 0,41% MG

Calculer la digestibilité, la quantité de matière sèche consommées et la quantité de fèces émises.

Solution :

$$\text{a) Fèces excrétés (g)} : \frac{10 \text{ g}}{1,15} \times 100 = 870 \text{ g de MS}$$

$$\text{b) MS consommés (g)} : \frac{870 \times 22,6\% \text{ lignine fèces}}{13\% \text{ lignine de cynodon dactylon}} = 1512 \text{ g}$$

c) % CD

$$\text{c1. \% CD protéine} : 100 - 100 \times \frac{13\%}{22,6} \times \frac{1,92}{8,7} = 100 - 100 \times 0,575 \times 0,22 = 100 - 12,65 = 87,35\%$$

$$\text{c2. \% CD ENA: } 100 - 100 \times \frac{\frac{13\%}{22,6}}{\frac{8,10}{48,2}} = 90,33\%$$

$$\text{c3. FB} = 100 - 100 \times \frac{\frac{13}{22,6}}{\frac{8,09}{27,87}} = 83,31\%$$

8.2.2.2. Méthode *in vitro*

a. La méthode la plus utilisée est la technique de Tilley et Terry en deux étapes.

b. Méthode chimique.

Nous venons de voir que les végétaux contiennent des éléments de parois cellulaires à faible digestibilité (cellulose, hémicellulose) ou presque pas digestibles (lignine). La digestibilité de fourrage varie donc selon la teneur et la digestibilité des constituants des parois cellulaires. La digestibilité diminue au fur et à mesure que ces constituants de parois cellulaires augmentent.

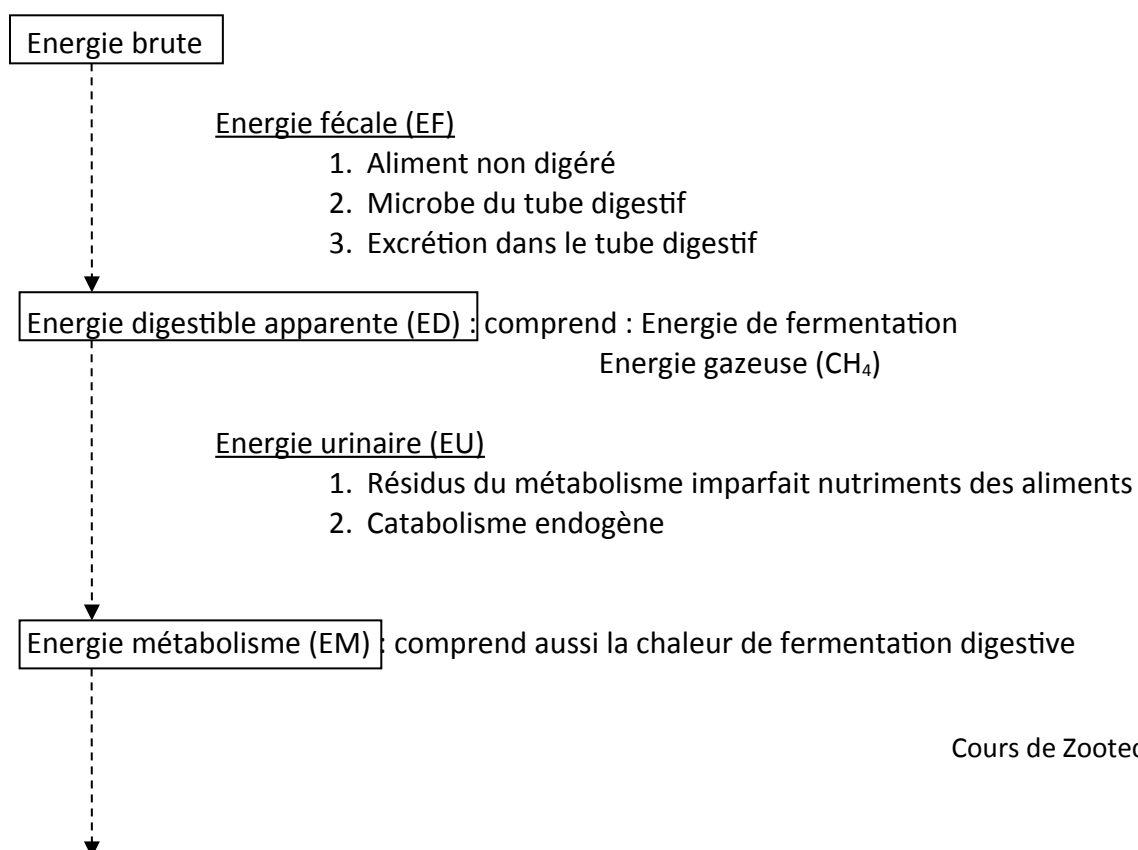
c. Méthodes mathématiques

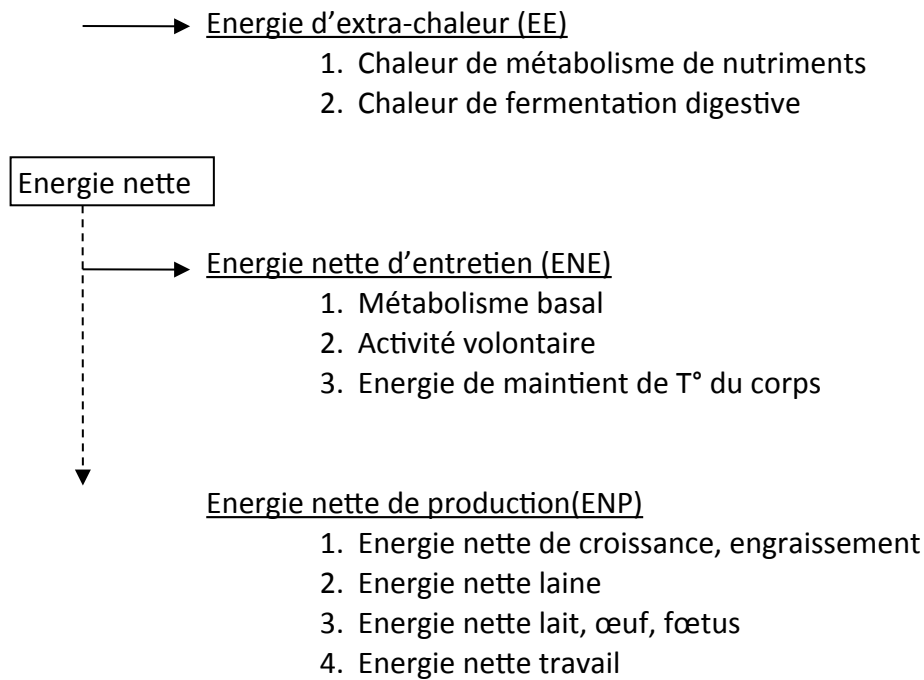
Ces méthodes sont moins précises

8.2.3. Apports énergétiques des aliments

8.2.3.1. Forme d'énergie

Un bon aliment doit fournir à l'organisme animal de l'énergie en quantité suffisante pour couvrir les besoins d'entretien et de production. Il y a différents niveaux d'utilisation de l'énergie des aliments.





8.2.3.2. Modes d'expression de la valeur énergétique des aliments et méthodes de mesures

L'évaluation de l'énergie des aliments est très importante pour apprécier leur valeur nutritive. Mais cette évaluation soulève encore beaucoup de problèmes. Ces problèmes sont surtout liés au fait que l'évaluation directe d'un aliment chez l'animal est laborieuse et onéreuse. Pour cette raison, les chercheurs ont mis au point des méthodes qui permettent de prédire la valeur énergétique des aliments à partir de paramètre facilement mesurables tels que : la composition et la digestibilité des aliments.

La plupart de ces systèmes ont été conçus à la suite d'études réalisées sur les animaux à l'entretien ou engraissement et récemment on effectue des études sur la croissance et lait. Néanmoins de tous ces systèmes, aucun n'est parfait, aucun système n'est capable de prévoir avec exactitude l'efficacité des aliments étant donné que le métabolisme énergétique des animaux dépend de plusieurs facteurs incontrôlés.

a. Le système des TDN (Nutriments Totaux Digestibles)

C'est un système développé aux USA. Il est basé sur des études de la digestibilité.

Le TDN = PB digestible + fibre brute digestible + ENA digestible + (MG digestibles x 2,25)

Le TDN est soit en pourcentage ou soit en kg TDN/kg de ration.

Ce système tend à surestimer la valeur des fourrages chez qui les pertes gazeuses sont élevées et sous-estime les aliments concentrés.

Exemple de calcul de TDN : voir exemple précédent

b. Système de calcul TDN

Le système calorique utilise l'EN, l'EM et l'EN

L'ED est obtenu par différence EB-EF. L'énergie brute et l'énergie fécale sont déterminées par la bombe calorimétrique.

L'EM est obtenu par la différence ED-EU. L'énergie urinaire peut être aussi mesurée par la bombe calorimétrique.

Le système calorie est exprimé en Kcal/kg de ration.

b.1. ED

Peut être mesurée par la différence : EB-EF après avoir déterminé EB et EF par la bombe calorimétrique. Si on ne dispose pas de bombe calorimétrique, on peut utiliser les formules développées par certains auteurs :

$$ED = \text{Kcal/kg} = \frac{\text{TDN}\%}{100} \times 4409$$

$$= \text{Kcal/kg} = \text{TDN (g/kg)} \times 4,41$$

b.2. EM

Peut être mesuré par la différence ED-EU après avoir déterminé l'énergie urinaire dans la bombe calorimétrique. EM – ED-EU

Quand on ne dispose pas de bombe calorimétrique, on peut déterminer l'EM par des formules mathématiques :

- Pour les ruminants : $EM \text{ (Kcal/kg)} = ED \text{ (Kcal/kg)} \times 0,82$
- Pour les porcins : $EM \text{ (Kcal/kg)} = \frac{ED \text{ (Kcal/kg)} \times 0,96 - (0,202 \times \% \text{protéine})}{100}$
- Pour la volaille :
Titus (1955) a proposé la formule : $EM \text{ (Kcal/kg)} = \% \text{ digestible} \times \text{énergie équivalent (Kcal/kg)}$.
L'énergie équivalent est de :
 - Protéine : 3,84 Kcal/kg
 - MG : 9,2-9,5
 - ENA : 3,7-4,2
 - FB : 2,1

b.3. Energie nette

L'énergie nette s'obtient par la différence de l'énergie métabolisable (EM) et l'énergie d'extra chaleur (EE). Cette partie appelée énergie d'extra-chaleur est difficile à mesurer d'autant plus qu'elle ne peut pas être déterminée dans la bombe calorimétrique. Car c'est de l'énergie calorifique perdue dans la nature sous forme de chaleur.

La détermination de cette partie d'énergie c'est-à-dire la production de chaleur et l'énergie retenue peut se faire soit par :

- Un calorimètre : c'est la calorisation directe
- Une chambre respiratoire : c'est la calorimétrie indirecte
- La technique d'abattage
- Utilisation de formule de Lofgreen.

- a. Calorimétrie directe
- b. Calorimétrie indirecte
- c. Technique d'abattage
- d. Utilisation des formules de Lofgreen

$$EM \text{ (Kcal/kg)} = ED \text{ (Kcal/kg)} \times 0,82$$

$$ENE \text{ (Kcal/kg)} = 0,307 \times \% \text{ TDN} - 0,764$$

$$EN_m \text{ (Kcal/kg)} = 0,029 \times \% \text{TDN} - 0,29$$

$$En_g \text{ (Kcal/kg)} = 0,029 \times \% \text{TDN} - 1,01$$

$$EN_{\text{lait}} \text{ (Kcal/kg)} = 0,68 ED - 0,36 = 0,037 \times \% \text{TDN} - 0,77$$

Ou $EN_m = 11/F$ où $F = \text{g de matière sèche/kg de poids métabolique (W}^{0.75})$

$$\text{Log } F = 2,2577 - 0,2213 EM$$

c. Système des unités fourragères

Le système français des unités fourragères a été inspiré du système scandinave et mis au point par Leroy.

Dans cette méthode, la valeur énergétique nette des aliments est évaluée par comparaison avec la valeur de l'orge en grain.

L'orge de référence utilisée a la composition suivante :

Elément	% du produit brut	% de la MS	Coef.de digestibilité %	Principe digestif	
				% PB	% MS
Humidité	12,8	-	-	-	-
MS	87,2	100	-	-	-
MO	84,6	97,0	86	72,6	83,3
Cendre	2,6	3,0	-	-	-
Matières azotées	8,9	10,2	70	6,2	7,1
Cellulose	5,6	6,4	34	1,9	2,2
Extractif étheré	2,5	2,9	92	2,5	2,7
ENA	67,6	77,5	92	62,2	71,3

La valeur énergétique nette de l'orge de référence est prise comme unité fourragère (UF)

- La valeur fourragère en UF =
$$\frac{\text{EN d'un kg d'aliment}}{\text{EN d'un kg d'orge de référence}}$$
- La valeur fourragère est donc égale au nombre d'UF contenu dans 1 kg d'aliment
- L'équivalent fourrager est donc égal à la quantité d'aliment par laquelle on peut remplacer 1 kg d'orge sans faire varier la valeur énergétique.
- Pour trouver l'énergie nette (EN) on part de TDN exprimé en g/kg d'aliment.

On a estimé que 1 g de TDN donne en moyenne 3,65 cal d'énergie métabolisable (EM) pour les ruminants sevrés et 4,10 cal pour les ruminants non sevrés.

$$\begin{aligned} \text{D'où : EM (Calories)} &= \text{TDN} \times 3,65 \\ &= \text{TDN} \times 4,10 \end{aligned}$$

- Pour transformer l'EM en EN, on doit soustraire à l'EM l'extra-chaleur due qui travail de la digestion. Cette extra-chaleur (K) est proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée de l'espèce animale et de l'intensité de la production. Expérimentalement on a trouvé que Kg (cal/g de MS) est de l'ordre de :
 - 0,83 + 0,03 chez le bovin de l'entretien
 - 0,093 chez les vaches laitières
 - 1,01 + 0,07 chez les bovins à l'engraissement

$$\text{D'où : EN} = \text{EM} - \text{MS (g/kg)} \times 1 \text{ Cal}$$

La valeur énergétique de l'orge de référence est de :

$$\text{TDN} = 62 + 19 + 622 + (23 \times 2, 25) = 755 \text{ g/kg}$$

$$\text{EM} = 755 \times 3, 65 = 2.755$$

$$\text{EN} = 2755 - (872 \times 1) = 1.883 \text{ Kcal/kg}$$

La valeur fourragère d'un aliment en unité fourragère est obtenue par la formule :

$$\text{VF} = \frac{\text{EN}}{1883} = \text{UF/kg}$$

CHAPITRE IX : LES ALIMENTS POUR BETAIL

9.1. NOMENCLATURES DES ALIMENTS

Le problème de nomenclature des aliments pour bétail a depuis longtemps préoccupé les chercheurs et les utilisateurs des aliments.

Depuis quelques années, la National Research Council (N.R.C.) a mis sur pieds une méthode de nommer les aliments en utilisant 8 informations qui sont : 1. l'origine ; 2. la variété ; 3. la partie consommée ; 4. Le processus et le traitement subi ; 5. L'état de la maturité ; 6. Numéro de coupe ; 7. Grade ou qualité et 8. Classification.

1. L'origine

Elle désigne de la substance parente d'où provient le matériel qui est consommée. C'est donc le nom de la plante, de l'animal, du minéral ou un autre.

2. La variété ou espèce

Si la variété de la substance d'origine est nutritionnellement importante par rapport aux autres variétés alors la variété est prise comme le deuxième nom pour identifier l'aliment.

Exemple : - Lait de vache, lait de chèvre
- Maïs jaune, maïs blanc

3. La partie consommée

Elle désigne la partie du matériel parental réellement consommée.

Exemple : - pour plantes : feuille, chaumes, graines
- Pour animaux : le lait, le sang, les os

Si cette partie consommée a subi un traitement ou un fractionnement technologique, il faut ajouter la fraction de la partie consommée.

Exemple : cendre des os

4. Le processus

Certains matériels parentaux constituant les aliments ont subi un traitement avant de les donner aux animaux, soit pour leur conservation, soit pour les rendre plus acceptables à l'animal ou pour changer leur forme ou leur état afin qu'il deviennent mieux consommable.

Exemple : par chauffage, mouture, granulation).

5. Etat de maturité ou stade de maturité

L'état de maturité est un facteur important de la définition d'un aliment du type fourrage grossier plus spécialement les plantes :

- Stade de germination : sortie de germe
- Stade de premières feuilles : la plante atteint le 1/3 de sa croissance
- Stade non mature : la plante atteint les 2/3 de sa croissance
- Stade pré-floraison : stade de formation du nœud de fleur
- Stade début floraison : début de floraison à 1/10 de plantes sont en fleur
- Stade de mi-floraison : période quand 1/10 à 2/3 de plants sont en fleur
- Stade de pleine floraison : période quand 2/3 à toutes les plants sont en fleur
- Stade après floraison : période quand les fleurs commencent à sécher
- Stade laiteux : période après floraison quand les graines commencent à se former
- Stade lait avancé : quand toutes les graines sont formés mais encore laiteux
- Stade maturité : période quand les graines sont mures et prêtes à être récoltées
- Stade fanaison : période quand la plante est complètement formée et les graines commencent à tomber
- Stade

6. Nombre de coupe

Cette définition s'applique surtout aux fourrages cultivés dans un pâturage artificiel.

7. Qualité ou grade

La qualité ou grade peut être définie par la législation du gouvernement. Cette qualité peut être la garantie de teneur en certains nutriments : fibre brute, protéine brute.

8. Classification

Le N.R.C. a regroupé les aliments pour bétail en 8 classes basées sur la teneur en certains nutriments.

(1) Fourrages grossiers secs : contient plus de 18%FB

Animaux utilisateurs : RUMINANTS

- Les foin de légumineuses et de graminées
- Les pailles, les gousses, les balles
- Les rafles et les cimes de maïs
- Les fanes, les coques
- Les bagasses, etc.

(2) Fourrages grossiers verts : plus de 18%FB.

Animaux utilisateurs : RUMINANTS

- Pâturages naturels ou artificiels
- Résidus verts de cultures

(3) Ensilage

Animaux utilisateurs : VACHES LAITIERS

- Maïs, sorgho, herbe, légumineuse, résidu de récolte fermentée

(4) Concentré énergétique : contiennent moins de 20%PB

- Grains de céréales et sous-produits de mouture des grains de céréales
- Mélasse, les racines et tubercules
- Fruits et noix
- Sous-produits de brasserie
- Graisse et huile végétales et animales

Animaux utilisateurs : MONOGASTRIQUES

(5) Concentré protéiques : contient plus de 20%PB

- Sous-produits d'origine animale
- Sous-produits volailles
- Sous-produits aquatiques
- Les graines de légumineuses
- Les sous-produits de l'huilerie
- Les bactéries, les levures, les algues
- Azote non protéique

Animaux utilisateurs : MONOGASTRIQUES

(6) Concentré minéraux

- Naturels
- Pur artificiels

Animaux utilisateurs : TOUS

(7) Concentré vitamineux

- Naturels
- Pur artificiels

Animaux utilisateurs : TOUS

(8) Les additifs

Animaux utilisateurs : TOUS

- Antibiotiques, antioxydants, colorants, enzymes, hormones, médicaments, ...

De ce qui précède, on peut donc voir la description de nom des aliments telle que décrite par le N.R.C. est longue. Ainsi, pour conserver de l'espace on utilise des abréviations.

Exemple :

- Herbe de Bermuda, Cynodon dactylon, Foin, S.S., non mature (1)
- Maïs, Zea mays, partie aérienne, S.S., stade laiteux (2)
- Maïs, Zea mays, partie aérienne, ensilé, stade laiteux (3)
- Maïs, Zea mays, grain (4)
- Soja, Glycine max, graines moulues, extraits par solvant fb max 7 (5)

3.2. DESCRIPTION DES ALIMENTS

A. Les fourrages grossiers

Les fourrages grossiers sont également classés comme les aliments volumineux ayant un faible rapport entre le poids/l'unité de volume.

Les fourrages grossiers sont aussi classés comme des aliments ayant :

- Teneur en fibre brute élevée
- Faible digestibilité des nutriments (protéines et énergies)
- Teneur en protéine généralement inférieure à 18%
- Teneur élevée en contenu de membrane cellulaire et faible teneur en hydrates de carbone disponible.

L'élimination de lignite par méthodes chimiques augmente la digestibilité de fourrage grossier. Tous ces facteurs varient selon plusieurs paramètres tels que : l'espèce végétales, l'âge de la plante, la fertilité du sol, la saison, etc.

A.1. Les fourrages verts

A.1.1. Les graminées

Les jeunes graminées au début de leur croissance sont souvent succulentes, riches en eau et en protéines. Ces jeunes herbes tendres sont souvent pauvres en matières sèches et cela peut résulter à la diarrhée chez les ruminants en général et sont aussi pauvres en énergie.

Les protéines des graminées sont souvent riches en acide aminés, arginines avec de quantité appréciables en acide glutamique et lysine. L'application d'azote en cas de carence en soufre résulte à la formation de beaucoup d'azote non protéique sous forme d'acides aminés, amides et de nitrates. Au fur et à mesure que les graminées avancent en âge, les teneurs en énergie et protéines digestibles et en certains minéraux et carotènes diminuent. Au stade de début de l'expiaison, les graminées sont plus riches en énergie, protéine et autres nutriments.

La teneur en minéraux varient selon l'espèce végétale et selon la fertilité du sol. Les herbes sont généralement assez fournies en Ca, Mg et K pour couvrir les besoins des ruminants. Mais par contre, les teneurs en P sont souvent très faibles.

Parmi les graminées fourragères de régions tropicales, nous pouvons citer :

- Andropogon gayanus
- Andropogon schirensis
- Brachiara ruziziensis
- Brachiara brizantha
- Brachiara mutica
- Cenchrus ciliaris
- Cynodon dactylon
- Cynodon plectostachyus
- Cynodon nlemfuensis
- Digitaria decumbens
- Digitaria umfolozi

- Digitaria gayana
- Echinochloa pyramidalis
- Eleusine indica
- Héterropogon contortus
- Hyparrhenia rufa
- Imperata cylindrica
- Loudetia arundica
- Loudetia simplex
- Melinis minutiflora
- Panicum maximum
- Paspalum notatum
- Pennisetum clandestinum
- Pennisetum purpureum
- Setaria sphacelata
- Trypsacum laxum

A.1.2. Les légumineuses

Les légumineuses contiennent beaucoup plus de protéine que les graminées mais les fibres dans les tiges sont relativement élevées et les glucides digestibles faibles. Les feuilles sont plus riches que les tiges. Les légumineuses contiennent beaucoup plus de Ca, Mg, S et Cu que les graminées.

Parmi les légumineuses fourragères de régions tropicales, nous pouvons citer :

- Centrosema pubescens
- Desmodium intortum
- Dolichos lablab
- Leucoena leucocephala
- Macroptilium lathyroïdes
- Pueraria phaseoloïdes
- Stylosanthes guianensis
- Stylosanthes humilis

A.2. Les foins

A.2.1. Généralité

a. Définition

Les foins sont des matériels herbacés résultant de la dessiccation naturelle des fourrages verts et qui contiennent une teneur d'humidité maximum allant de 18 à 22%.

b. Objectifs de fabrication des foins

Réduire l'humidité de fourrage vert à un niveau qui permet la conservation sans perte de nutriment considérable et sans se gâter.

c. Valeur alimentaires de foins

La composition chimique et la valeur alimentaire des foins sont en relation directe avec celle de fourrage vert au moment de la récolte des foins. D'où l'âge à laquelle on récolte le foin est très important. Le foin de graminées récoltées au stade de l'expansion est plus riche en énergie et protéine. Alors que le foin de légumineuses doit être récolté au stade début floraison.

La qualité du foin varie selon les pertes subies lors de la récolte, du séchage et de la conservation. L'espèce végétale a aussi une influence sur la qualité du foin. Le foin de légumineuse est plus riche en protéine et calcium que le foin de graminées.

Les foins lors de la récolte et séchage peuvent subir :

- La respiration après la fourche
En effet, après la fourche, les plantes continuent à vivre jusqu'au flétrissement totale. Cette respiration se fait ou dépend du glucide soluble de la plante. D'où, il y a diminution des glucides solubles et augmentation relative de cellulose et lignine. D'où il faut un séchage rapide.
- Lessivage par l'eau de pluies des constituants solubles tels que glucides, azote, P, Ca, K et vitamine. D'où éviter le séchage de foin en période de grandes pluies.
- La destruction de β -carotène
Bien que le séchage au soleil favorise la transformation de stérol en vitamine D, il provoque par contre des pertes énormes, presque totales en β -carotène.
- Pertes mécanique dues principalement à la perte de feuilles et folioles de fauchage, ramassage et conditionnement. Les légumineuses tendent à perdre les feuilles les plus souvent. Ce qui diminue le rapport feuille/tige et donc diminution de la valeur nutritive.

A.2.2. Les fourrages déshydratés artificiellement

Le séchage rapide de fourrage est un facteur important pour la préparation d'un foin de bonne qualité. Actuellement, on utilise plusieurs types d'appareil pour déshydrater le fourrage.

Le séchage à 140-160° C et le séchage à 600-1000° C sont les plus utilisés.

Les fourrages déshydratés sont toujours par la suite broyés puis agglomérés selon trois procédés :

- Fourrage condensé : fourrage broyé puis aggloméré dans une presse filière
- Fourrage comparé : fourrage aggloméré directement sans broyé, dans une presse à filière
- Fourrage comprimé : en utilisant de presse à piston sans broyage.

Les fourrages déshydratés ont généralement la même valeur nutritive que les fourrages verts d'origine. Puisque le fourrage déshydraté est relativement pourvu en fibre brute, surtout s'il a été récolté au stade jeune, il peut convenir pour les monogastriques volaille et

porcins. Ils conviennent aussi pour les ruminants et les chevaux mais relativement plus cher que les autres fourrages grossiers utilisés pour les ruminants.

A.2.3. Les pailles de céréales

Les pailles de céréales sont en principe constituées de feuilles et des tiges de céréales surtout après la récolte de graines. Ces tiges et feuilles sont de faible valeur nutritive puisqu'ils contiennent de plantes à maturité avec les principes nutritifs qui ont migré vers les graines pendant que les constituants des membranes cellulaires sont en grande quantité.

- La paille de riz est relativement riche en énergie
- La paille de maïs et du sorgho a une valeur nutritive variable selon les parties consommées (cimes, feuilles, tiges ou bien toute la paille)
- La paille de riz est plus acceptée par les animaux que les pailles des autres graminées.

Les pailles peuvent remplacer une partie des foin chez les ruminants. Les pailles constituent un bon aliment d'engrains nécessaire pour le bon fonctionnement du tube digestif des ruminants avec des ensilages très frais ou des concentrés. Dans ce cas, en les broyant finement et les mélanger avec les autres aliments.

Les pailles de céréales sont parfois traitées avec la soude caustique ou avec l'ammoniaque pour augmenter leur digestibilité.

Exemple : 40 à 60 g de soutes dans 2 à 3 litres d'eau par kg de paille.

Les pailles sont parfois broyées puis mélangées avec 10 à 15% de mélasse, puis agglomérées en bouchons pour servir dans la ration des ruminants à l'engrains même de femelles laitières et les jeunes en croissance.

A.2.4. Balles de céréale

Ce sont les légumes et glumelles qui enveloppent les graines de céréales.

Les balles les plus utilisées sont :

- Balles de blé et d'avoine : faible valeur énergétique
- Balles d'orge : sont moins bonnes que celles de blé et d'avoine
- Balles de riz ne doivent pas être utilisées en alimentation car leur teneur trop élevée en silices ($\pm 20\%$) et de plus ont un effet dépressif sur la digestibilité des autres aliments avec lesquelles ils peuvent être associés dans une ration.
- Balles de seigle et orge sont à éviter car possédant des balles irritant les voies digestives
- Balles de mil et sorgho peuvent être utilisées mais sont de très faibles valeurs nutritives.

Les balles de blé, d'avoine, de mil et de sorgho peuvent être mélangées avec d'autres aliments de la ration ou mélangées avec la mélasse ou distribuée comme telle. On peut les réduire en farine ou les donner entières ou après avoir trempée dans l'eau.

Les balles peuvent aussi être traitées avec les alcalins.

A.2.5. Les rafles de maïs

C'est un résidu d'engrainage de l'épis de maïs. Elles représentent environ 20% du poids de l'épi. Elles sont principalement celluloses, leur valeur nutritive est semblable à celle de pailles. Elles sont distribuées après hachage ou broyage puis mélangées à des aliments concentrés jusqu'à 15% dans la ration de vache laitière. On peut les mélanger avec la mélasse.

A.2.6. Les cimes de maïs

Sont des extrémités des tiges de maïs. On pratique l'écimage quand les épis sont bien formés. Ces cimes obtenues constituent un fourrage vert à valeur énergétique moyenne mais avec peu de matière protéiques.

A.2.7. Les fanes d'arachides

Ils comprennent les tiges, les feuilles et une partie du système racinaire qu'on peut récupérer après récolte de gousses. Leur valeur nutritive est variable. Elle est plus élevée quand les fanes sont coupées avant l'arrachage des gousses.

A.2.8. Les fanes de soja

Ils sont comparable aux foin d'arachides mais contiennent beaucoup plus de celluloses et moins de protéines.

A.2.9. Les coques d'arachides

Leur valeur alimentaire est très faible. Souvent on les mélange avec de la mélasse. Quand elles sont mélangées avec la mélasse, elles sont bien acceptées par le bétail.

On peut préparer des rations ayant 40 à 60% de coque d'arachides mélangées à 20%. Le reste est complété par des concentrés énergétiques, protéiques, vitaminiques et minéraux. Les coques non mélangées peuvent aussi être utilisées mais pas plus de 30% dans la ration. Les coques d'arachides peuvent aussi être traitées avec les alcalins pour améliorer la digestibilité.

A.2.10. Les coques des graines de coton

Elles ont une composition voisines à celles de coque d'arachide. Mais elles sont peu appréciées par le bétail. D'où il faut mélanger avec les aliments concentrés pour éviter le tri.

A.2.11. Les bagasses

Ils constituent les résidus de broyage de canne à sucre après extractions du jus. C'est un produit surtout cellulosique à faible valeur alimentaire. On peut les sécher pour la conservation. On peut les distribuer en petite quantité aux porcs mais c'est surtout les ruminants qui sont les

animaux les plus utilisateurs. C'est un bon support de mélasse et c'est sous forme mélassée qu'il est le mieux accepté par le bétail.

A.2.12. La moelle de bagasse

C'est la partie centrale de tiges de canne à sucre. On l'obtient en éliminant les fibres de la partie périphérique de bagasses. La digestibilité de la moelle est supérieure à celle de bagasse. La moelle est aussi un excellent absorbant de la mélasse.

B. Les ensilages (3)

L'ensilage est constitué de fourrage fermenté résultant de la conservation dans des conditions anaérobiques dans des structures appelées silo. Cette fermentation anaérobique produit à partir de glucides, des acides gras volatiles et de l'acide lactique. En présence d'une bonne quantité de glucides fermentables, il y a production de quantité suffisante d'acide lactique qui stabilise et empêche la fermentation de continuer.

De façon générale, quand on place le fourrage dans un silo, il continue à respirer en brûlant des glucides pendant un certain temps qui dépend de la quantité d'oxygène présente. Au fur et à mesure que l'air et l'oxygène diminuent, il se développe une fermentation acétique tant que les conditions aérobiques sont encore suffisantes. Par la suite, il y a installation progressive de bactéries anaérobiques, en conditions anaérobiques qui transforment les glucides restant en acides lactiques. Dans un bon ensilage, la fermentation s'arrête à ce stade. Mais s'il y a trop d'humidité et que le pH n'est pas assez acide, l'acide lactique est dégradé en acide butyrique avec dégradation de protéines.

Pour éviter donc les fermentations nuisibles, il faut :

- Avoir un silo hermétique ;
- Assurer un drainage efficace pour évacuer l'excès d'eau ou alors n'ensiler que des fourrages préfannés avec teneur en MS voisine de 50 % ;
- Remplir rapidement le silo et bien tasser pour éliminer le maximum d'air et de limiter ainsi la production d'acide acétique qui provoque des pertes des glucides assimilables et une perte de valeur énergétiques ;
- Mieux d'ensiler seulement des fourrages dont la teneur en glucide cytoplasmique est supérieure à 12 % de la MS.

Si l'ensilage est trop humide ou bien il n'y a pas beaucoup de glucide soluble, le pH ne va pas baisser au niveau de 4. D'où il y aura beaucoup de bactéries du genre *clostridium* qui vont se développer ; ce qui va résulter à une fermentation plus grande en acide butyrique et une fermentation plus grande aussi de composé d'azote non protéique qui donneront des amines tryptamine, histamine, etc.). Ces amines ont une mauvaise odeur et peuvent être toxiques.

Par contre, si la masse est trop sèche ou mal tassée, il y aura un chauffage excessif et peuvent apparaître aussi les moisissures. Ce qui peut donner un ensilage à mauvais goût et parfois toxique.

La teneur optimum est de 25-35 % MS et 6-8 % de glucide. C'est pourquoi quand on fait des ensilages de graminées ou des légumineuses on commence par les préfaner. Quand on ensile l'herbe ou légumineuse directement après avoir coupé, on ajoute souvent des agents de conservation tel que acide formique, acide chloridrique dilué, métrasulfite de sodium ou des produits sucrés comme la mélasse. Parfois on ajoute de matière sèche pour absorber l'excès d'humidité.

Les légumineuses sont relativement pauvres en glucides cytoplasmiques. Ce qui ne permet pas une acidification convenable du milieu. Dans ce cas, on ajoute soit des agents de conservation facile ou soit des produits sucrés (mélasse).

a) Valeur nutritive des ensilages

La composition de la valeur alimentaire des fourrages ensilés est fonction de celle de fourrages d'origine de la conduite de l'ensilage.

- De façon générale, la consommation de matière sèche sous forme d'ensilage est presque toujours inférieures à celle de la même plante nourrie sous forme de foin.
- L'utilisation digestive des ensilages est souvent inférieure à celle des fourrages verts à cause de perte d'éléments solubles très digestibles lors de la fermentation.
- L'acide lactique stimule la croissance et l'activité des bactéries cellulolytiques de rumen. Ce qui permet une meilleure digestion de la cellulose brute. Les ensilages riches en eau ne permettent qu'une faible production d'acide propionique dans le rumen, ce qui donne beaucoup plus d'acide acétique favorisant la synthèse d'un lait riche en matière grasse. Par contre, les ensilages préfanés provoquent la formation d'une plus grande proportion d'acide propionique favorable à l'engraissement.
- L'ensilage préserve une grande partie de carotènes mais par contre, il n'y a presque pas de vitamine D. les ensilages préfanés sont souvent mieux consommés que les ensilages préparés avec le fourrage frais. Ceci du fait que l'ensilage préfané a plus de matière sèche et plus digestible que l'ensilage non préfané.

Bien que les ensilages ont un pH bas, les animaux n'aiment pas un ensilage trop acide et ceux qui contiennent trop d'acide acétique (> 1 %). Ainsi on est parfois conduit à neutraliser l'acidité des ensilages en ajoutant de la chaux ou carbonate de calcium.

b) Préparation de fourrage pour fabrication d'ensilage

- Le fourrage qu'on doit ensiler doit d'abord murir un peu au champ ou bien présécher au champ à un taux d'humidité allant de 65 à 75 %, 25 à 35 % MS.
- Le fourrage avec un taux de MS inférieur à 25 % donne un ensilage amer et perd beaucoup de jus pendant la conservation (perte des nutriments).
- Les ensilages qui ont plus de 35 % de MS ne se tassent pas bien d'où mauvais ensilage.

- Le fourrage est souvent haché en petites pièces avant l'ensilage pour permettre un bon tassement de la masse.
- Parfois on ajoute les graines de maïs, la mélasse, l'urée (0,5-1 %), le carbonate de calcium (0,5-1 %) soit pour diminuer le pH (cas de carbonate de calcium) ou soit pour augmenter la valeur nutritive de l'ensilage.

Les produits de fermentation dans les silos sont

- Acide organiques : surtout acide lactique, acide acétique, acide butyrique
- Ethanol
- Gaz, CO₂, CH₄, CO, NO et N₂O
- L'eau
- Chaleur.

c) Utilisation des ensilages

- Les ensilages sont d'abord un aliment pour les ruminants, bovin à viande et bovins laitiers, soit comme une partie d'aliment grossier ou soit la seule source d'aliment grossier.
- On les donne parfois au mouton, au cheval mais rarement au porc.
- L'ensilage peut remplacer 2,5 à 3 fois plus de foin.

C. Les concentrés énergétiques

Les concentrés énergétiques sont des aliments qui sont ajoutés à la ration dans le but premièrement d'augmenter la consommation d'énergie.

Dans ce groupe d'aliments entrent :

- Les grains de céréales
- Les sous-produits de moutures des grains
- Les mélasses
- Les graines et l'huiles
- Les racines et tubercules

Les aliments énergétiques sont en général de faible à moyenne teneur en protéine. L'énergie chez les aliments énergétiques est fournie principalement par les glucides directement disponibles. Les monosaccharides, disaccharides, tétrasaccharides et amidon, et par les huiles et graisses.

c.1. Les graines de céréales

a. Généralités sur la valeur alimentaire

Les graines de céréales sont produites par les plantes du groupe des graminées qui sont cultivé particulièrement pour leurs graines. Les céréales les plus cultivées sont : les maïs, le mil, le sorgho et le riz dans les tropiques et l'orge, le blé, l'avoine et le seigle dans le pays tempérés. Parfois on trouve un peu de coix et d'éleusine.

Les graines de céréales sont surtout formées de réserve sous forme d'amidon qui est un glucide très digestible. Parmi ces céréales : les maïs, le blé et le sorgho sont les céréales qui ont des teneurs plus élevées en nutrition digestibles.

L'avoine et le riz paddy peu digestible à cause de leur enveloppe épaisse. Toutefois, l'avoine nue et le riz ont une digestibilité appréciable.

Les graines de céréales ont généralement de teneurs faibles en protéine. L'avoine et le blé sont plus riches (13 à 16 % de protéine). Il a été trouvé que les céréales des pays secs sont plus riches en protéine que les céréales des pays humides.

Les céréales ont des protéines de faible qualité à cause de leur carence en certains acides aminés essentiels tels que lysine et tryptophane. Les grains ont des faibles teneurs en calcium avec des teneurs moyennes en phosphore. Cependant environ 65 à 75 % de ce phosphore est sous forme de phosphore pythique.

Les teneurs en vitamine B varie dans les grains selon l'espèce végétale. Tous les grains ont de teneurs appréciables en thiamine mais pauvre en riboflavine.

b. Les maïs (Zea mays)

Les maïs est le grain le plus utilisé pour l'alimentation animal. La protéine de maïs formée à moitié par le zeine qui est la protéine de l'endosperme.

La zeine est pauvre en lysine et tryptophane et toutes les protéines de maïs sont pauvres en ces acides aminés. Les faibles teneurs en tryptophane qui est un précurseur de niacine chez les monogastriques. La fertilisation du sol avec de l'azote augmente le teneur en protéines mais diminue la qualité de protéine à cause de l'augmentation de la zeine.

La variété de maïs faible : opaque 2 qui est un des mutants de maïs possède des teneurs élevées en protéines, en lysine, tryptophane, méthionine et autres acides aminés essentiels. Ces maïs contient beaucoup plus de gluteline que de zeine.

Le maïs a une teneur faible en fibre brute (2,5 à 3,2 %) et des teneurs élevées en amidon. D'où sa digestibilité est élevée et sa teneur en énergie est très grande. Le maïs blanc et le maïs jaune ont la composition similaire exceptée le maïs jaune à plus de carotène et de xanthophylle que le maïs blanc. Les deux types de maïs sont des sources moyenne vitamine E et de faibles sources de vitamine D et B. Le maïs est très pauvre en Ca et relativement riche en P. Mais le P peu disponible au monogastrique à cause de la forme phytique.

c. Le sorgho (Sorghum vulgare)

Le sorgho est une céréale qui supporte de forte chaleur et sécheresse mieux que n'importe quelle céréale. Les graines résistent aux attaques des insectes.

Il y a plusieurs variétés de sorgho telles que : milo, kaffirs sorgho, sumac, hegari, darso, fetera.

La variété milo est mieux pour les régions sèches. Du point de vue chimique, le sorgho est comparable au maïs. Le sorgho est pauvre en lysine et thréonine. L'utilisation du sorgho comme aliment pour bétail exige la mouture.

Certaines variétés de sorgho contiennent des quantités élevées de tanins. Ce qui réduit la digestibilité du sorgho et qui confère l'amertume et diminue l'acceptabilité par les animaux.

d) Le blé (Triticum)

Le blé est surtout cultivé pour l'alimentation humaine. Le blé dur (Triticum durum) est plus riche en protéine que le blé tendre (Triticum sativum). Le blé est très digestible et bien accepté par les animaux. Mais chez les ruminants, le blé tend à causer plus les indigestions que les autres céréales. Les acides aminés sont mieux distribués chez le blé que les autres céréales.

e) L'orge (Hordeum vulgare)

L'orge contient plus de protéine, de lysine, de tryptophane, de méthionine et cystine que le maïs, mais sa valeur nutritive pour les ruminants est moindre à cause de la teneur élevée des fibres dans ces enveloppes (balles) et la faible teneur en énergie digestible. Les variétés sans balles ont une valeur alimentaire comparable au maïs.

Il y a une nouvelle variété de l'orge en développement qui contient beaucoup plus de lysine de l'orge ordinaire.

f) L'avoine (Avena sativa)

La production d'avoine est très faible dans le monde. On la cultive en Europe et en Amérique. La teneur en protéine est élevée et la distribution d'acide aminé est meilleure que celle de maïs. Mais l'avoine n'est pas utilisée sur une grande échelle chez les monogastriques à cause de ses balles qui représentent environ 1/3 de la graine. Ce qui rend l'avoine peu digestible. L'avoine décortiquée a une valeur alimentaire comparable à celle de maïs mais son prix élevé ne favorise pas son utilisation pour les animaux.

L'avoine en graine entière est surtout utilisée pour les chevaux et les ruminants de reproduction mais pas en feed lot à cause de sa faible teneur en énergie.

c.2. Les sous-produits de mouture de graines

a. Les sous-produits du blé

a.1. Les parties des graines

Les graines de céréales en générale comprennent :

- Une partie centrale en amidon et en gluten,

- Une couche périphérique de grain d'aleurone riche en protéine et matière grasse,
- Une péricarpe ou tégument qui donne le son,
- Une extrémité formée par le germe ou l'embryon.

Périsarpe

Grains d'aleurone

Albumen

Germe ou embryon

Dans les minoteries on répare la farine d'amidon et de gluten, des parties indésirables (de germes, le son et aleurone = issues de blé). Les issues sont utilisées comme aliments concentrés pour bétail.

a.2. Usinage de blé

- On fait le criblage pour éliminer diverses impuretés (balle, paille, terre, ...)
- On humidifie les grains puis on les sèche pour durcir le périsarpe afin de faciliter la séparation
- On aplatit les grains puis broyés plusieurs fois et à chaque on tamise la farine obtenue et on obtient ainsi différents sous-produits qu'on peut distinguer par la taille.
- Le premier sous-produit : plus gros, c'est le son de blé. Les sons peuvent être divisés en : son gros, son moyen et son fin. Les sons sont parfois appelés recoupes.
- Le deuxième sous-produit : les repasses ou farine première
- Le troisième sous-produit : les remoulages, formé par les couches périphériques de blé : grains d'aleurone et fines particules de périsarpe.
- Le quatrième sous-produit : c'est la farine basse.
- Les germes : sont souvent mélangés au son fin mais parfois sont utilisés à la fabrication d'une farine ou d'en extraire l'huile en vitamine E.

a.3. Valeur alimentaire

Les sous-produits de blé sont en général plus riches en protéines, matières grasses, cellulose et minéraux que les graines entières. Le son de blé est riche en vitamine du groupe B, excepté la niacine.

Du remoulage jusqu'aux germes, on remarque une augmentation du taux de protéines, lipides et phosphore et une diminution en cellulose. Les germes de blé sont surtout utilisés pour les monogastriques car ils sont très riches en protéines digestibles.

a.4. Utilisation

Les issues de blé sont bien acceptées par toutes les espèces d'animaux d'élevage. Mais ils sont légèrement laxatifs. Toutes les classes de ruminants aiment de blé. Les sons ayant le prix le plus bas sont les plus utilisés pour les ruminants. La meilleure présentation est de les mélanger avec d'autres aliments. Ne pas dépasser les proportions de 15 à 30 % dans la ration concentrée. Parfois les sons de blé sont falsifiés par ajout de produits tels que craies, kaolin, balle de riz, siure de bois ou coques d'arachides.

b. Les sous-produits du maïs

Le maïs subit deux traitements

- Mouture sèche : pour obtenir de la farine d'alimentation humaine. Les sous-produits sont les sons et les germes.
- Mouture humide : pour la fabrication d'amidon et glucose. Les sous-produits sont les germes, les drèches, le gluten et les solubles du maïs.

b.1. Le son de maïs

Formé de péricarpe de grain, il contient aussi de fragment d'amidon, un peu de grain d'aleurone et un peu de germe. Taux en protéine peu élevé (10 à 15). Le son de maïs de jaune est riche en carotène.

b.2. Les germes de maïs

Riche en graisse utilisée en alimentation humaine et obtenu par pression. Le déchet après extraction d'huile est le tourteau de germe qui est utilisé en alimentation animale (porcs, volaille, vache laitières, ...). Ce tourteau est riche en protéine et en vitamine E.

b.3. Les drèches d'amidon

Les germes et le gluten sont riches en protéines et énergies.

c. Les issues de riz

c.1. Technologie de différents sous-produits

1. Abattage de Panicule (riz paddy) : le riz paddy a un taux cellulosique élevé (8 à 10 %) avec une teneur en silice très grande.
2. Décortiquage : (riz cargo + balles + paddy + brisures + particule de péricarpe + germes).
3. Tamisage : riz cargo, balles, paddy, brisure + péricarpe + germe = son de riz ou farine basse de riz cargo.
4. Blanchissement : dans des cônes à blanchir : (riz blanchi + farine de cône ou son fin + brisure)
5. Tamisage : riz blanc entier + brisure, farine de cône (son fin).

Dans les tropiques généralement le riz paddy est simplement décortiqué et tamisé pour le riz cargo d'une part, les balles d'autre part et le son de riz ou farine basse de riz cargo aussi d'autre part.

c.2. Valeur alimentaire de son riz

Les sons de riz sont généralement riches en cellulose et silice. Ce qui limite leurs digestibilités. La qualité est souvent encore très réduite suite à la présence des fortes proportions des balles. Les teneurs en protéines sont moyennes et les taux de matière grasse dépendent des teneurs en germes. Les taux de calcium sont faibles et ceux de phosphore assez élevés. De façon générale, le son de riz est de faible valeur nutritive.

c.3. Les suppléments énergétiques liquides

Les suppléments énergétique liquide le plus utilisé est la mélasse. La mélasse peut provenir de la fabrication du sucre à partir de canne à sucre ou de betterave. La mélasse de canne à sucre contient : 25 à 40 % de sucroscs 12-35 % de sucre réducteur. Les protéines sont variables ($\pm 3\%$) et les matières minérales sont de 8 à 10 % formé essentiellement de K, Ca et Ci et des sels de sulfate. Les mélasses sont des aliments très digestibles à cause de leur sucre qui est facilement digestible.

a) Modalité d'emploi de la mélasse

La mélasse est surtout utilisée dans la ration de bovin, caprins et chevaux pour :

- Augmenter l'acceptabilité de la ration car la mélasse a une saveur agréable appréciée par les animaux et rend appétissant les produits mélasses même la paille, fanes, balles, bagasses, coques d'arachides, coques de graines de coton, l'urée, ... ;
- Augmenter la valeur énergétique de aliments protéiques (drèches de brasseries, tourteaux, farines de légumineuses, l'urée, ...) ;
- Réduire la poussière de la ration ;
- Servir de liant quand on prépare les agglomérés ;
- Dans les blocs à lécher, mélanger avec les minéraux.

b) Dose d'utilisation

- La dose maximum d'utilisation est de 10 à 15 %
- Les doses de plus de 15 % rendent la ration collante et difficile à manipuler
- Les doses élevées tendent à troubler l'activité microbienne du rumen
- A la dose de 10 à 15 % dans la ration, la mélasse approche la valeur nutritive de maïs, mais à des doses plus élevées, sa valeur nutritive diminue très fortement.
- Chez la volaille, les doses tolérées sont situées entre 5-10 %. Au-delà il y a diurèse.

c.4. Les graisses et huiles

Les graisses et les huiles surtout d'origine animales sont incorporées dans la ration à des taux allant de 1 à 7 % pour les buts suivants :

- Source d'énergie
- Réduire la poussière des aliments
- Améliorer la couleur
- Améliorer la texture

- Améliorer le goût
- Augmenter le taux d'agglomération des rations

c.5. Les racines et tubercules

Les principales racines et tubercules rencontrés dans les pays tropicaux sont : le manioc, l'igname, la patate douce, le taro, la pomme de terre, ...

a. Le manioc

a.1. Valeur alimentaire

- Le manioc contient d'importante quantité de glucide dont 64 à 72 % sont sous forme d'amidon
- Les taux de cellulose sont faibles sauf dans l'écorce
- Les racines sont pauvres en lipides, en protéines et en minéraux surtout le Ca et le P. Certaines variétés de manioc ont 8 % de protéines
- Faible teneur en vitamine
- La digestibilité est très bonne. D'où le manioc a une haute valeur énergétique comparable à celle des céréales.

c.2. Emploi de manioc

Le manioc frais contient 50 à 60 % d'humidité. D'où il faut d'abord le sécher avant l'emploi. Le manioc de variété amer doit d'abord le rouissage pour lui débarrasser de l'acide cyanidrique. Le manioc est très apprécié chez les animaux domestiques (bovins, ovins, caprins, chevaux et volaille).

Chez la volaille, suite à l'hygroscopie de la farine de manioc, elle a tendance à coller au bec des oiseaux présentation de manioc est sous forme de granulé.

D. Les concentrés protéiques

Les concentrés protéiques contiennent généralement un taux protéique supérieur à 20 %. Parmi les aliments considérés comme concentrés, on a :

d.1. Les aliments d'origine animale

dans ce groupe on a :

- a. Les sous-produits du lait tels que les sous-produits de la fabrication du beurre (lait écrémé) et les sous-produits de fabrication de fromages (serum de fromagerie).

De ces deux produits, le lait écrémé contient plus de protéine. Il est souvent séché en poudre (lait écrémé en poudre). Dans ce cas il contient près de 34 % de protéines. Il est utilisé pour les veaux, le porcelet et les agneaux.

b. Les sous-produits d'abattoir tels que la farine de viande, la farine d'os, la farine de sang, la farine de foie, la farine de cornet et d'onglons, le contenu du rumen.

b.1. La farine de viande : Riche en protéine et de bonne digestibilité de protéine de bonne qualité provenant de sous-produits d'abattoir et des animaux morts ou des viandes saines. On a soit la farine de viande intégrale, farine de viande mélangée avec de déchets et abats sans os et farine de viande osseuse.

b.2. Farine de sang : Riche en protéine mais de digestibilité moindre et de faible qualité car pauvre en certains acides aminés tels que isoleucine et méthionine. Toutefois elles sont riches en lysine. La farine de sang n'est pas très appréciée des animaux. C'est pourquoi il est incorporé dans la ration à des taux réduits allant de 2 à 4 % chez la volaille.

b.3. Farine d'os : la farine d'os non calcinés ou farine d'os verts peut contenir 10 à 30 % de protéine.

c. Les sous-produits de volaille

On peut citer de déchets d'abattage de volaille (viscère et carasse impropre à la consommation). Cette farine a la même valeur nutritive que la farine de viande. La farine des plumes comme la farine de poils, des cornes et des onglons ne sont utilisées qu'après hydrolyse.

d. Les sous-produits de pêche

Dans ce groupe, on a surtout les farines des poissons. Les farines des poissons sont des compositions variables selon les matières et le type de poisson utilisé.

Généralement très riche en protéine et en matière minérales (Ca et P). Surtout utilisés pour les monogastriques (porc, volaille), car les protéines sont de très bonne qualité. Les taux d'incorporation va jusqu'à 10 % chez le poulet de chair et 3 à 5 % pour les pondeuses.

d.2. Aliments d'origine végétale

les aliments concentrés protéines d'origine végétale les plus communément utilisés sont : les tourteaux, les graines oléagineuses (légumineuses), les sous-produits de brasserie, etc.

a. Les tourteaux

Les tourteaux sont des déchets obtenus après extractions d'huile dans les grains ou fruits oléagineux. De tous les produits d'origine végétale, les tourteaux sont les plus riches en protéines. Mais leur composition est très variable selon les techniques d'extraction, l'origine botanique et le traitement subi avant extraction (degré de décortilage).

1. Technique d'extraction

L'extraction peut se faire soit par pression ou par solvant au niveau industriel ou par coction au niveau artisanale (mécanique).

1.1. Par pression

Soit par pression discontinue (une de deux pressions successives) dans une presse hydraulique à basse température de l'ordre de 60 à 80° C. Rendement en huile faible et le tourteau contient environs 8 à 12 % d'huile.

Soit par pression continue à température de 90° C. C'est le tourteau expeller se présentant sous forme d'écaille de petite dimension. Teneur en huile résiduelle est de 4 à 8 %.

1.2. Par solvant

On utilise plusieurs solvants tels que bichlorure d'éthylène, hexane. Il y a plusieurs types d'appareillages d'extractions. Avec cette méthode, les teneurs en huile résiduelle sont faibles (moins de 1 %) et les tourteaux se présentent sous forme de farine ou grumeaux (oil meal).

1.3. Extraction par coction

Les graines sont décortiquées, parfois grillées, puis moulues, ensuite en boue avec de l'eau et l'huile surnageante est recueillie par exécrage. On sèche les tourteaux.

Ces tourteaux contiennent encore beaucoup d'huile et peuvent se détériorer très vite. Cependant, leur valeur énergétique est très élevée.

2. Décorticage

Il consiste à enlever les téguments durs de certaines graines qui peuvent retenir l'huile ou la colorer.

3. L'origine botanique

Il y a dans les tropiques 5 espèces végétales les plus produites pour la fabrication de tourteau : arachides, coton, coprah et palmiste.

Du point de vue valeur protéique, on a d'abord les tourteaux d'arachide (45 à 60 % PB) et de coton (45 à 55 % PB). Ces quatre tourteaux sont des tourteaux riches en protéines. Le tourteau de soja qui n'est pas produit en grande quantité dans les tropiques est aussi un tourteau riche en PB, presque plus riche que le tourteau d'arachide 49 % PB ou plus.

Les tourteaux de coprah et palmiste et de cacao sont considérés comme des tourteaux pauvres en PB avec de teneur d'environ 25 à 26 % PB.

Industriellement, on fabrique ces tourteaux en ajoutant une certaine quantité de gousse de coque pour stabiliser le taux en protéine brute à une teneur commerciale standard.

3.1. Tourteau de soja (Soy bean meal, soy bean oil meal)

- Industriellement on produit le tourteau à 44 % PB et à 49 % PB
- Le tourteau de soja décortiqué donne un tourteau de 49 % PB en ajoutant un peu de coque on produit le tourteau à 44 % PB
- Le tourteau à 49 % PB est surtout produit pour la volaille et le porc
- C'est le tourteau le plus utilisé aux USA
- C'est un bon tourteau bien apprécié par tous les animaux , riches en protéine mais pauvres en méthionine et les teneurs en vitamine B sont faibles.
- Toxicité : - le soja contient des substances goitrogéniques
 - Contient un inhibiteur de trypsine qui diminue la digestibilité de protéines chez les monogastriques
 - Contient aussi de rajouine et hémagglutinine

Toutes ces substances sont heureusement détruites par la chaleur.

- Stimulation : le soja contient la genistéine qui est une oestrogénique de plante que l'on croit être responsable de la propriété de stimuler la croissance chez les animaux.
- Taux d'incorporation : - 20-30 % chez la volaille
 - 20-25 % chez les porcins

3.2. Le tourteau de coton (cotton seed meal)

Aux USA, le tourteau de coton est standardisé à 41 % PB avec un minimum de 36 % PB en ajoute une certaine quantité de coque.

- La protéine est pauvre en cystine, méthionine et lysine, en Ca et en carotène
- Il est accepté par les ruminants mais peu accepté par les porcins et la volaille
- Son utilisation est limitée car contient
 - le gossypol : un pigment jaune toxique aux porcs et volaille et rend la jaune d'œuf vert, diminue le taux de ponte et d'éclosion
 - l'acide sterculique peut causer la couleur violette en blanc de l'œuf.

Le gossypol peut être liés aux protéines ou libre . c'est le gossypol libre qui est toxique mais il y a une légère transformation de gossypol lié en gossypol libre dans le tube digestif. Le taux de 0,04 % ou plus diminue la croissance de poulets et les taux de 0,2 diminuent les performances de ponte. L'addition de sulfate atténue les effets toxiques du gossypol en provoquant une combinaison du gossypol et du fer.

Les taux de sulfate ferreux de 0,08 à 0,6 % ont donné de bons résultats. Chez la volaille (poulet et pondeuse) nourrie avec une ration contenant du gossypol. La sélection des variétés presque dépourvue de gossypol est la meilleure solution au problème de gossypol. On peut aussi extraire le gossypol libre par un mélange acétone-eau-éther de pétrole.

3.3. Le tourteau d'arachides (Peanut oil meal)

- Commercialement, la teneur en protéine varie selon la quantité en coque ajouté
- Les protéines sont pauvres en lysine et méthionine et sont peu digestibles
- Contient de teneurs parfois élevées en azote non protéique

- Sont souvent contaminés par des moisissures parmi lesquelles *aspergillus flavus* qui sécrète une toxine appelée aflatoxine.

Les jeunes animaux et les espèces comme le canard, le dindon et le lapin sont les plus sensibles. Les poules et les poulets sont moyennement sensibles. Les porcins sont aussi sensibles. Les tourteaux d'arachides pollués par les aflatoxines peuvent être détoxiqués par le traitement de l'ammoniaque.

- Les tourteaux d'arachides contiennent aussi une antitrypsine
- Peuvent être utilisés jusqu'à 30 % dans la ration de volaille.

3.4. Le tourteau de coprah ou de noix de coco

- Sont pauvres en protéine à 19 à 23 %
- Déficient en lysine
- Riches en cellulose
- Peuvent être utilisés jusqu'à 20 % chez les pondeuses mais chez le poulet ou poulettes leur utilisation est limitée.

3.5. Le tourteau de sésame

- Teneurs protéiques comparables à celles de soja mais qualité plus faible.

3.6. Le tourteau palmiste

- Ressemble du point de vue composition au tourteau de coprah mais avec des valeurs énergétique un peu plus faibles. D'où il n'est pratiquement pas utilisé dans la ration de volaille en croissance. Mais peut être incorporé à des taux maximum de 15 % dans la ration de pondeuses.

b. Les graines

Dans certains cas où les tourteaux sont rares ou ont un prix plus élevé, on peut utiliser pour des raisons économiques, les graines entières ou des noix.

b.1. la graine de soja

- Contient environ 35 % de protéine, bonne source de protéine pour des bovins, ovins, caprins et vaches laitières.
- peut être donné aux porcins et volaille à condition d'être d'abord bouillie ou grillé pour améliorer la qualité et la digestibilité de protéine. Mais produit une graisse molle si incorporé à plus de 10 % de la ration.

b.2. la graine de coton

- contient 23,1 % de protéine
- utiliser chez les bovins, ovins et caprins
- n'est pas utilisé chez le porc et volaille à cause de leur teneur en gossypol et taux élevé en fibre brute (± 17 %).

b.3. la graine d'arachide

- contient environ 28 à 29 % du PB

c. Les sous-produits de brasseries

c.1. Les drèches de brasseries

Sont composés des enveloppes celluloses des céréales et des substances non solubilisées (protéines) lors du brassage. Leur composition varie en fonction des céréales et des méthodes de préparation utilisées (préparation du moût et filtration).

- Taux de protéines et de glucides sont élevés
- Mais les teneurs en cellulose sont tellement élevés qu'on ne peut pas les classer comme concentré énergétique. Ils sont considérés comme source de protéines
- Les drèches fraîches ont une odeur agréable mais suite à leur forte teneur en glucide, ils fermentent vite
- Il faut les sécher très vite pour une meilleure conservation
- Il est surtout utilisé pour les ruminants et rarement pour le porc et les volailles (jusque 5 à 10 % dans la ration de poules)
- Ont une valeur énergétique et un taux de protéines plus élevés que les drèches de brasseries.

c.2. Les levures

Lors de la fermentation du moût, il y a multiplication des levures qui se déposent au fond des cuves de fermentation sous forme d'un liquide pâteux qu'on peut sécher pour obtenir la levure sèche.

- Riche en acides aminés surtout lysine et en vitamine du groupe B.

d. L'azote non protéine (ANP)

Utilisé pour les ruminants

d.1. L'urée

L'urée est de formule $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ou :

- Il est produit synthétiquement
- En forme pure, il contient 46,70 % d'azote équivalent à 292 % de protéine ($\text{N} \times 6,25$)
- Dans le commerce, on a plusieurs types ou présentations de l'urée :
 - 45 % de N $\rightarrow$ 281 % PB
 - 45 % de N $\rightarrow$ (46 $\times$ 6,25)
- Dans le rumen, l'urée est hydrolysée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$

- Au fur et à mesure que l'ammoniac est libéré, il réagit avec les acides organiques de fermentations pour former les acétates d'ammonium et propionate d'ammonium. Ces sels se métabolisés par les microbes du rumen pour former les protéines microbiennes.

Toute fois, pour faire la synthèse de protéine, les bactéries ont besoin d'une grande quantité d'énergie facilement utilisable. En effet, les glucides facilement fermentescible commence de donner de l'énergie aux microbes et de maintenir le pH du rumen bas (< 6), car si le pH du rumen est alcalin, il y a peu d'acide organique pour réagir avec NH_3 , l'uréase est peu actif à pH alcalin (6 à 8), l'excès de NH_3 tend à former du $\text{NH}_4 \text{OH}$ dans le rumen ce qui augmente encore le pH du rumen.

Dans ces conditions du pH alcalin, l'ammoniac non utilisé par les microbes s'accumule dans la panne, puis absorbé dans le sang et provoque l'alcalose avec des troubles de toxique caractéristique.

Mode d'emploi de l'urée

La règle est d'adopter la production de l'ammoniac aux possibilité de synthèse bactéries de rumen. Pour cela, il faut :

- Fournir assez d'envergure facilement digestible à la ration et on recommande un rapport $\text{ENA/ANP} = 8 \text{ à } 10$, soit 1,1 kg de céréale ou de manioc sur 100 g d'urée.
- Eviter d'introduire de quantité excessive d'urée dans la ration : on recommande des doses maximales de 25 g/j pour 100 kg de poids vif pour une vache laitière, 30 g/j pour 100 kg de poids vif pour bovins de boucherie et petite ruminants.
- Eviter de mélanger l'urée avec les aliments riches en protéines.
- Apporter les minéraux et les vitamines pour augmenter l'activité de micro-organismes rumen.
- L'urée doit fournir moins de 1/3 de protéine totale de la ration pour une meilleure efficacité.