

Chapitre. 1. La production de la viande

1.1. Croissance et développement, approche physiologique

La croissance des animaux supérieurs, entendue au sens large comme la réalisation progressive de l'état adulte, regroupe deux phénomènes distincts mais de fait inséparables:

La croissance au sens strict qui représente l'accroissement de la taille et du poids, le développement qui concerne l'évolution de la morphologie, des fonctions, de la composition des tissus et donc de la composition chimique de la masse corporelle.

La croissance au sens strict revêt deux aspects : l'accroissement de la masse corporelle ou croissance pondérale et l'augmentation de la taille.

La croissance pondérale présente une ampleur variable selon l'espèce, la race et le sexe.

1.1.1. Évolution de la masse corporelle chez quelques espèces animales

L'accroissement de la taille s'observe en mesurant la hauteur au garrot d'un quadrupède à plusieurs reprises ;

Par exemple, chez les femelles bovines, pour une race de format moyen, entre la naissance et l'âge adulte :

La hauteur au garrot passe d'environ 0,70 m à 1,35-1,45 m (x 2) alors que, chez les chevaux de selle, cette hauteur, de l'ordre de 1,00-1,05 m à la naissance se situe vers 1,50-1,60 m au stade adulte (x 1,5).

Ainsi, le développement correspond à la transformation progressive du jeune en adulte par l'acquisition de fonctions ainsi que par des modifications dans les proportions des régions, des tissus et des composants chimiques.

Figure. 1. Poids vif à la naissance et à l'âge adulte chez différentes espèces

Espèce	Masse corporelle à la naissance (kg)	Masse corporelle à l'âge adulte (kg)	Coefficient multiplicateur
Porc (♂)	1,5	300-400	200-270
Porc (♀)	1,5	200-250	110-170
Lapin	0,05	3,5-4,5	70-90
Ovin (♂)	3	100-120	30-40
Ovin (♀)	3	60-80	20-25
Bovin (♂)	35-50	900-1100	20-25
Bovin (♀)	35-40	600-700	15-20
Cheval (trait)	60-70	750-850	≈ 12
Cheval (selle)	45-55	450-550	10

1.1.2. Le rendement de ressuyage ou rendement de la carcasse

Durant le processus qui aboutit au produit fini, plusieurs opérations doivent être exécutées par l'abattoir. Après avoir été abattu, l'animal est saigné puis dépouillé. Il est ensuite éviscéré et sa carcasse est fendue par moitié. Une heure maximum après l'étourdissement, la carcasse doit être pesée. On retient alors le poids net qui sera payé à l'éleveur, sur la base d'un classement qualitatif de la carcasse.

Ce poids correspond au poids de la carcasse chaude (juste après la mort) diminué de 2% (pour les espèces bovine). Ensuite, lors de la réfrigération, la carcasse perd aussi du poids. On définit ainsi le rendement de carcasse d'un animal comme le rapport entre le poids de carcasse froide et le poids vif avant abattage. Il dépend de nombreux facteurs, tels que la race, l'âge de l'animal, son régime alimentaire, son type génétique, son état d'engraissement son sexe, etc. Le rendement net en viande d'un jeune bovin de race charolaise peut être décrit de la façon suivante:

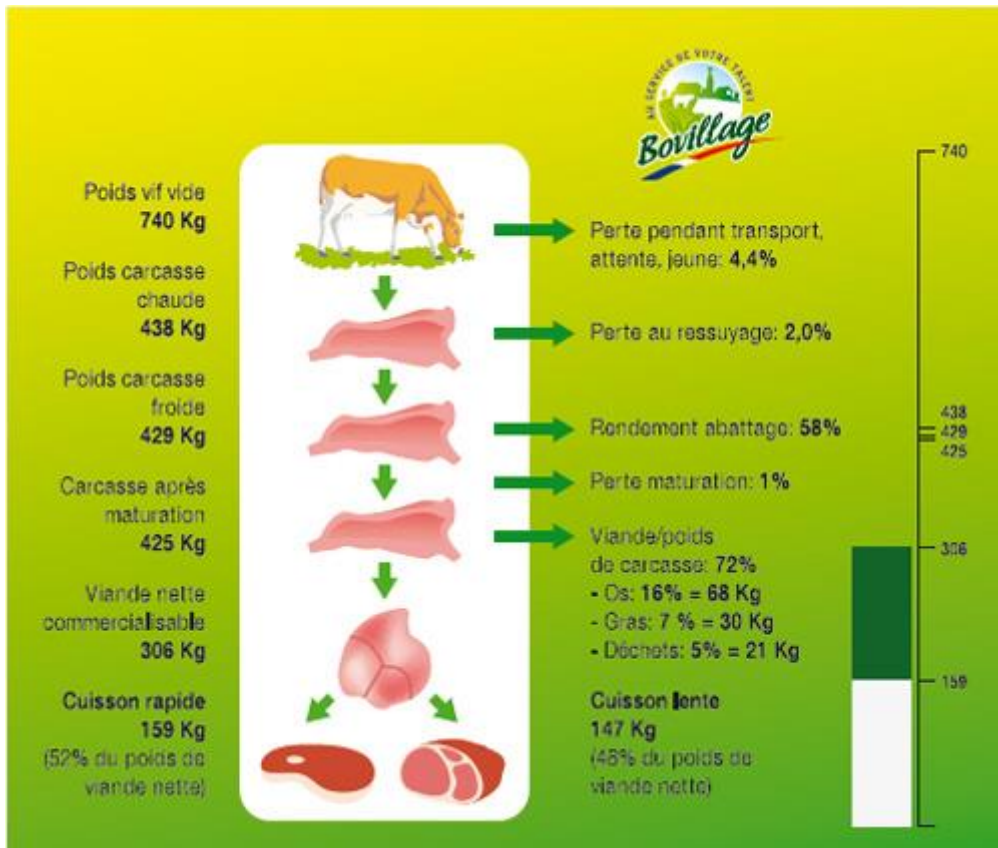


Figure. Rendement net d'un jeune bovin de race charolaise

Le rendement de ressuyage = Poids de la carcasse froide/poids vif vide de l'animal

Rendement carcasse : $\text{Poids de la carcasse froide} / \text{poids vif vide} \times 100$

Exemple: Poids de la carcasse froide 410 kg

Poids vif : 700 kg. Rendement = 58,17 %

1.1.2.1. Les rendements d'abattage selon les races

Les données proviennent de stations et d'essais pour ce qui concerne le poids vif des animaux et d'abattoirs pour les poids carcasse.

Tableau. Rendements d'abattage moyens estimés (en %)

Rdt abattage (%)	Vache	Génisse	Bœuf	Jeune bovin
Prim Holstein	45-46	-	48-49	52-53
Normande	47-49	-	-	55-56
Angus	-	-	54-55	54-55
Charolaise	51-54	54-55	57-58	57-59
Limousine	54-56	58-60	58-60	60-62
Blonde d'aquitaine	58-60	59-60	59-60	63-65
BBB	61-62	-	-	64-65

Les rendements sont très variés, au sein même d'une race mais aussi dans une même catégorie d'animaux (facteur âge de l'animal en jeu).

A partir de la conception, les fonctions se mettent en place à différents âges ; on peut citer deux exemples importants chez les animaux d'élevage :

- La fonction digestive et la fonction reproductive. Par ailleurs, la morphologie de l'adulte n'est pas l'agrandissement pur et simple de celle du jeune.
- Parallèlement, la composition tissulaire est modifiée. Par exemple, chez des taurillons de type Holstein entre 100 et 700 kg, la proportion de tissu musculaire décroît légèrement (- 11%), celle de tissu osseux baisse de façon conséquente (- 39%) et celle des tissus adipeux augmente beaucoup (+420%).

Ces tendances se retrouvent généralement chez les autres espèces animales.

De même, les proportions des composants chimiques corporels (eau, protéines, lipides...etc.) ne restent pas constantes tout au long de la vie. Les évolutions constatées.

(Une forte baisse de la teneur en eau, légère baisse du taux de protéines, très forte augmentation du taux de lipides) ont des conséquences sur le niveau des besoins énergétiques des animaux ainsi que sur les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des produits carnés.

1.2. La croissance

La croissance ou croissance pondérale est l'augmentation de la masse corporelle (PV) dont l'ampleur, la rapidité et la durée sont très variable selon les espèces, les races et les individus.

Elle comprend la croissance de tous les organes sans exceptions, et représente la différence entre ce qui se construit (anabolisme) et ce qui se détruit (catabolisme) dans le corps de l'animal.

Comment expliquer l'évolution de la composition corporelle au cours de la croissance? C'est que chaque composant a un rythme de croissance qui lui est propre.

Elle est résultante de deux processus:

- L'hyperplasie cellulaire (multiplication de cellules),
- L'hypertrophie cellulaire (augmentation de la taille et du volume des cellules).

Exemples

- Les tissus nerveux et musculaires ont un nombre de cellules constant avant la naissance, la croissance se fait donc par hypertrophie.
- La croissance embryonnaire et fœtale se caractérisent par une dominance de l'hyperplasie.

1.2.1. Paramètres de croissance pondérale

Les paramètres de la croissance pondérale sont :

- La vitesse de croissance ;
- La croissance relative ;
- L'efficacité alimentaire ;
- La vitesse de croissance.

1.2.1.1. Le GMQ

Pour mesurer la croissance pondérale d'un animal, on effectue des pesées successives à des intervalles plus ou moins longs selon les espèces. La vitesse de croissance est appréciée par le GMQ.

$$\text{GMQ} = \frac{\text{PV2} - \text{PV1}}{\text{T2} - \text{T1}}$$

Le gain moyen quotidien (GMQ) exprimé en kg de poids vif /jour, traduit la vitesse d'augmentation du poids en fonction du temps. L'allure de sa courbe présente 2 phases principales :

- Un temps de production faible et un meilleur gain de poids.

1.2.1.2. Croissance relative

La croissance pondérale peut-être expliquée en valeur relative au poids vif:

$$\text{Croissance relative (g/j/kg)} = \text{GMQ(g/j)/PV (kg)}$$

Son estimation permet de comparer les résultats entre espèces de tailles différentes et pour une même espèce à différentes périodes de développement.

1.2.1.3. Efficacité alimentaire

La quantité d'aliments ingérée et le GMQ permet de calculer l'efficacité alimentaire de la ration pendant la croissance, appelée l'indice de consommation.

$$\text{IC} = \text{quantité d'aliment ingérée entre deux pesées/GMQ}$$

Chez les monogastriques (volaille), ce calcul permet la comparaison d'un élevage à des valeurs de références et représente ainsi un élément de maîtrise du coût de production en engraissement, on utilise également la formule suivante:

$$\text{IC} = \text{quantité d'aliment ingérée entre deux pesées/gain de poids entre deux pesées}$$

1.2.2. Lois de la croissance pondérale

1.2.2.1. La courbe théorique de croissance

Elle se réalise lorsque les animaux sont en parfaites santé et qu'ils reçoivent une alimentation équilibrée à volonté, les conditions de milieu sont optimales.

La première allant jusqu'à la puberté au cours de laquelle le potentiel de croissance est élevé. Durant cette phase le croît moyen quotidien augmente avec le temps. La deuxième après la puberté où la croissance diminue. Le croît journalier diminue avec le temps.

Il est recommandé d'opter pour :

- Des animaux maigres achetés de race croisée à un poids vif moyen de 200 Kg environ;
- Un âge à l'abattage de 15 à 18 mois ;
- Une alimentation de concentration énergétique élevée, donnée à volonté à l'âge, pouvant assurer une croissance continue proche du potentiel des animaux.

La croissance ou "prise de poids" a une importance primordiale sur la valeur commerciale de l'animal. La valeur d'un animal destiné à la boucherie dépend avant tout:

- De la quantité de muscle de la carcasse, donc de sa "conformation" ;
- De la quantité et qualité du tissu adipeux (critère influant sur le prix du kilo de viande), ou son "état de gras", appelé « persillé » chez le boucher.

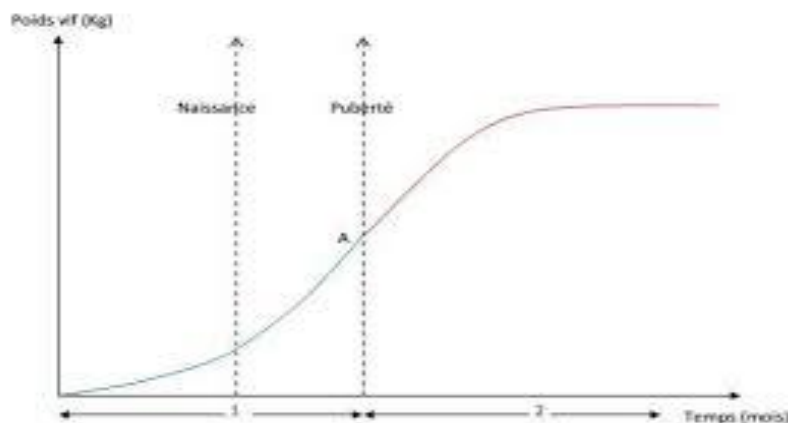


Figure. La courbe théorique de croissance

La courbe sinusoïde (en forme S) se caractérise par deux phases :

- Une phase de croissance accélérée (1) : qui va de la naissance à la puberté. Pendant cette phase, il y a multiplication et accroissement de la taille des cellules.
- Une phase de croissance ralentie (2) : de la puberté à l'âge adulte. Le croît quotidien se ralentit.
- Le point d'inflexion (A) : il correspond le plus souvent à la puberté. En général, l'animal a atteint à ce point 1/3 du poids adulte.

- La phase de croissance accélérée se divise en plusieurs phases : une phase prénatale et une phase postnatale.
- La phase prénatale :
 - La croissance de l'œuf libre : de la fécondation à 10 jours, date à laquelle il nide.
 - La croissance embryonnaire de 10 à 34 jours ; pendant cette étape, on observe une différenciation et la mise en place des principaux organes. Cette croissance dépend du génotype mais des aussi des apports en nutriments.
 - La croissance fœtale de 24 heures à la mise-bas. La multiplication et le grandissement des cellules sont très intenses. Le jeune se développe surtout pendant le dernier tiers de gestation, d'où l'intérêt de distribuer aux animaux les besoins de gestation définis, voire un supplément : c'est le steaming. Il se réalise au moins un mois avant la mise-bas. Il va assurer d'une part la croissance du ou des fœtus et préparer d'autre part la future lactation.
 - La phase postnatale : la croissance va être sous la dépendance de la production laitière de la mère.

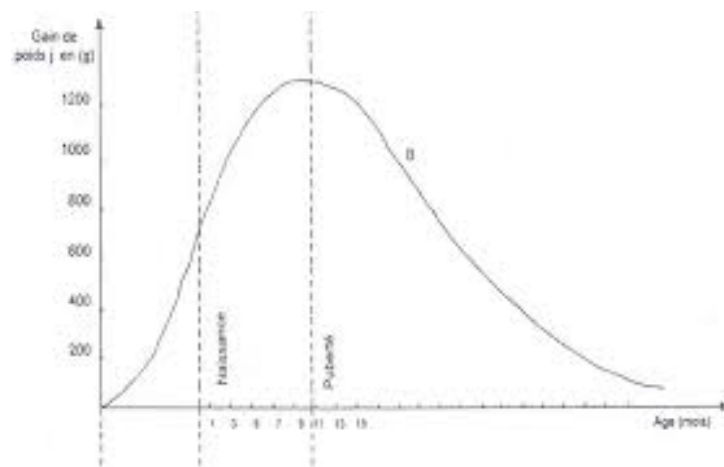


Figure. La courbe théorique de croissance

1.2.2.2. La courbe pratique de croissance



Courbe 1 : croissance veau de boucherie ou taurillon de 12 à 20 mois

Courbe 2 : croissance taurillon 24 à 30 mois

Courbe 3 : croissance bœufs et génisses de boucherie vendus entre 30 et 36



Figure. Courbe pratique de croissance

On distingue 3 types de croissance:

- Une croissance continue, régulière et forte pour les animaux élevés de façon intensive comme les veaux de boucherie (abattus entre 5 et 6 mois, entre 200 et 260 kg de poids vif) ou les taurillons précoces (abattus avant 20 mois, au-delà de 500 kg de poids vif) (courbe 1).
- Une croissance discontinue avec une période de ralentissement pour les jeunes bœufs et les génisses « précoces », de 2 ans (courbe 2).

- Une croissance discontinue avec plusieurs périodes de ralentissement en hiver pour les animaux élevés de façon extensive, bœufs et génisses de plus de 3 ans (courbe 3).

1.2.2. Lois de développement

1.2.2.1. Définition

C'est la réalisation de l'état adulte qui se caractérise par des changements de forme, de composition chimique et des fonctions.

Exemple:

- Modification des fonctions ;
- Lait et fourrages pour le ruminant ;
- Modification de forme. Exemple: Mesure à la naissance en % de la valeur adulte à 5 ans chez les bovins: hauteur au garrot: 51%, largeur de poitrine: 37%, poids/ 6%.
- Modification de la composition chimique ;
- Modification des fonctions ;
- Appareil digestif ;
- La capacité à se reproduire ;
- Notions d'allométrie.

L'évolution pondérale des principaux éléments corporels (tissus, organes) au cours du temps par rapport à un élément de référence (le poids vif) se fait selon 3 situations:

- Isométrie $b = 0$, croissance en même temps entre l'organe ou le tissu et le PV.
- Allométrie majorante (positive) $b > 1$: organe croît plus vite que le PV, le tissu adipeux.
- Allométrie minorante (négative) $b < 1$: organe croît moins vite que le PV. Exp le tissu osseux.

Le coefficient d'allométrie est exprimé par la lettre (b) est le rapport d'un élément (y) (organe par exemple) au PVV.

L'augmentation de la taille et du poids d'un animal résulte du développement des différents éléments qui le compose: tissus, organes et régions corporelles.

Ces éléments ont chacun une vitesse de croissance propre et un ordre de développement déterminé :

- Courbe de développement des tissus ;

- Courbes de développement des tissus adipeux ;
- Développement des régions et des organes.

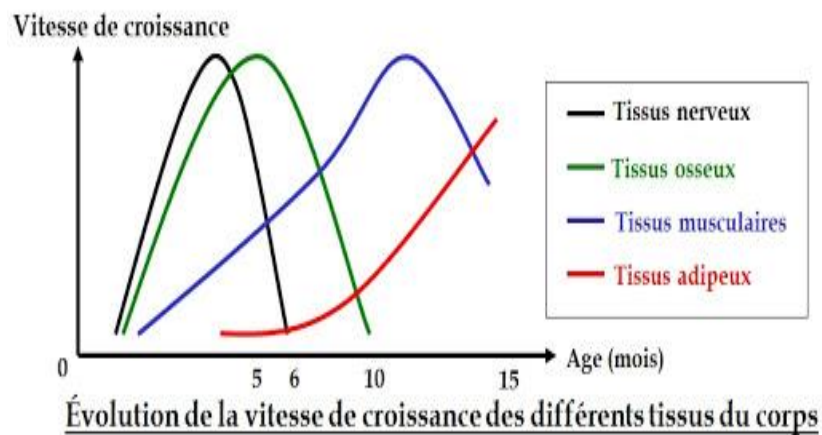
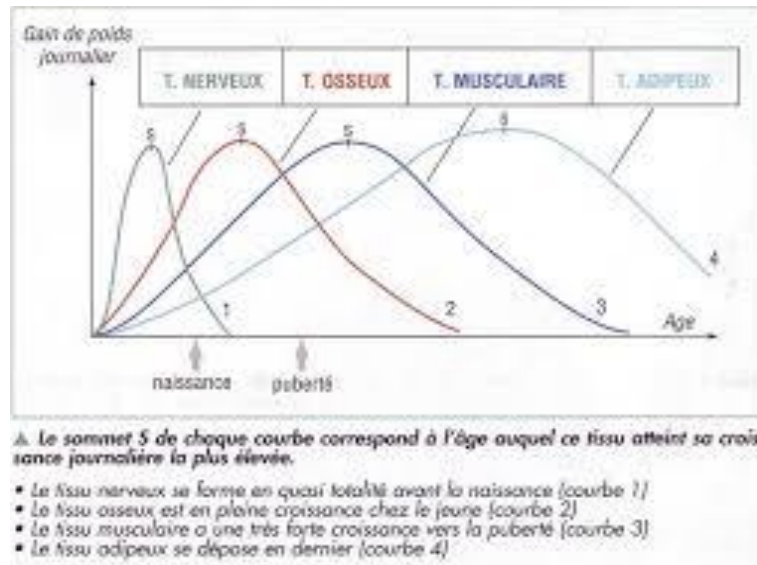


Figure. Courbe de développement des tissus

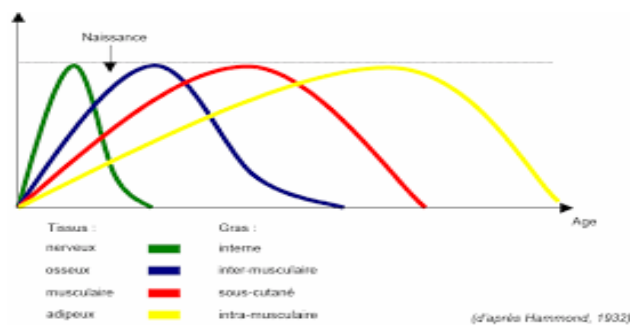


Figure. Courbes de développement des tissus adipeux

Tableau. Développement des régions et des organes

Courbe	Tissus	Régions du corps	Régions des membres
1	Nerveux	Crane	Canon
2	Osseux	Cou	Radius Tibia
3	Musculaire	Tronc	Humérus Fémur
4	Adipeux	Bassin	Ceintures (épaules, bassin)

Courbe	Tissus	Régions du corps	Régions des membres
1	Nerveux	Crane	Canon
2	Osseux	Cou	Radius Tibia
3	Musculaire	Tronc	Humérus Fémur
4	Adipeux	Bassin	Ceintures (épaules, bassin)

Les valeurs données dans le tableau illustrent le fait que, par rapport au poids vif, il y a une allométrie nettement majorante; ($b > 1$) pour les lipides, une allométrie minorante; ($b < 1$) pour l'eau et pour les minéraux et une isométrie ($b = 1$) pour les protéines.

1.2.3. Développement des régions et des organes

Par ailleurs, le coefficient d'allométrie du poids de carcasse par rapport au poids vif est de l'ordre de 1,05 - 1,10, ce qui se traduit par une augmentation du rendement de carcasse avec le poids vif.

L'évolution de la composition chimique de la masse corporelle au cours de la croissance est en fait la résultante de deux phénomènes : - d'une part, et surtout, la modification de la composition tissulaire (muscle, gras, os) de la carcasse - d'autre part, la modification de la composition chimique de chaque tissu.

Par ailleurs, les dépôts adipeux ont des coefficients d'allométrie différents selon leur localisation : rapportés au poids total des dépôts adipeux, les poids du gras intermusculaire,

du gras interne (tapissant la cavité abdominale) et du gras sous-cutané présentent des coefficients d'allométrie égaux respectivement à 0,9, 1,0 et 1,3 dans l'espèce bovine.

1.2.4. Développement des membres

- Des zones de déplacement de la croissance se déplacent, ces zones sont appelés les courbes de croissance

Après un développement des extrémités, celui-ci se propage aux membres pour se terminer au bassin, phénomènes appelés vague ou gradient de croissance, ces dernières concernent aussi bien les tissus que les régions corporelles.

1.3. Développement du tissu adipeux

Le tissu adipeux est le principal organe de stockage d'énergie permettant d'assurer un équilibre entre les besoins et les apports chez de nombreux animaux. En dehors de ce rôle métabolique, il a un intérêt particulier chez les animaux producteurs de viande, car il détermine en partie la valeur commerciale de la carcasse et la qualité de la viande.

Son développement se déroule en trois étapes successives : prolifération cellulaire, différenciation et enfin grossissement des adipocytes. L'ontogenèse du tissu se fait à partir de cellules précurseurs (adipoblastes) qui se multiplient. Sous l'influence de gènes de détermination, ces cellules s'engagent dans le processus de différenciation et acquièrent en plusieurs étapes les caractéristiques fonctionnelles de l'adipocyte.

La mise en place des différents dépôts adipeux chez les bovins a lieu durant la vie foetale. Pendant cette période et durant le début de la vie postnatale, la prolifération des cellules adipeuses est très active. Ensuite, l'hypertrophie devient le facteur prépondérant de la croissance du tissu adipeux.

Les dépôts adipeux représentent environ 5 % du poids du corps d'un veau nouveau-né. Ce pourcentage reste stable durant les 3 premiers mois de la vie postnatale, puis s'accroît de plus en plus rapidement et atteint environ 25 % chez l'adulte.

Le tissu adipeux joue le rôle d'un réservoir d'énergie, destiné à assurer l'équilibre instantané entre les besoins de l'animal (entretien, thermogenèse, locomotion, croissance, lactation...etc.) et les apports alimentaires.

Il permet à l'animal d'accumuler du gras pendant les périodes d'excédent alimentaire et d'utiliser les lipides pendant les périodes de déficit. Il se développe dans de multiples sites anatomiques, au niveau des couches les plus externes comme au niveau des organes plus profonds.

Le tissu adipeux constitué de cellules appelées adipocytes, capables de synthétiser des acides gras, de les estérifier en triglycérides, et ultérieurement d'hydrolyser ces lipides pour mettre les acides gras à la disposition des autres tissus.

1.3.1. Structure du tissu adipeux

Le tissu adipeux est constitué de cellules spécialisées, les cellules adipeuses, ou adipocytes, enfermées dans un treillis de fibres conjonctives.

Ce tissu qui est en communication étroite avec les autres tissus et organes, est irrigué par un réseau dense de vaisseaux sanguins. Au niveau macroscopique, le tissu adipeux se développe préférentiellement le long des gros vaisseaux, ce qui est bien visible au niveau du tissu adipeux omental, localisé autour des préestomacs des ruminants.

1.3.1.1. La cellule adipeuse

La cellule adipeuse est une cellule de forme ovoïde, qui mesure une dizaine de microns de diamètre lorsqu'elle commence à stocker des lipides dans ses vacuoles, et plus de 150 microns lorsqu'elle est très hypertrophiée.

Dans ces conditions, la cellule présente alors une énorme vacuole lipidique centrale, avec un noyau rejeté sur un bord, dans un cytoplasme qui semble peu abondant en valeur relative.

1.3.1.2. Rôle métabolique de l'adipocyte

Les deux rôles principaux de la cellule adipeuse sont le stockage sous forme de lipides de l'énergie en excès, et la restitution de cette énergie en période de bilan négatif.

Les deux rôles principaux de la cellule adipeuse sont le stockage sous forme de lipides de l'énergie en excès, et la restitution de cette énergie en période de bilan négatif.

Stockage de l'énergie excédentaire : Les principales formes d'énergie circulantes sont les triglycérides et les phospholipides transportés dans les lipoprotéines, les acides gras non estérifiés et enfin les acides gras volatils.

Lorsque l'animal est en bilan énergétique positif, le métabolisme de l'adipocyte est orienté vers la synthèse et le stockage des lipides, le message étant transmis par le relais de l'insuline notamment.

Le stockage comporte deux étapes successives : accroissement des acides gras libres dans l'adipocyte, puis estérification de ces acides gras en triglycérides.

Approvisionnement en acides gras. Il existe deux sources d'acides gras pour l'adipocyte, soit l'hydrolyse des lipides circulants grâce à la lipoprotéine-lipase. Soit la synthèse de novo à partir des acides gras volatils absorbés (acétate notamment chez les ruminants). Chez les monogastriques, les acides gras sont synthétisés surtout à partir du glucose.

Estérification des acides gras. Cette réaction nécessite un apport de glucose pour la synthèse du radical glycérol des triglycérides.

1.3.3. Restitution de l'énergie

Lorsque les conditions nutritionnelles ne suffisent pas à couvrir les besoins de l'animal, l'équilibre hormonal est modifié (diminution du taux d'insuline, accroissement de la sensibilité aux catécholamines), le flux d'énergie est inversé. Il y a hydrolyse des triglycérides en acides gras et glycérol grâce à la lipase hormono-sensible.

Les produits de la lipolyse passent alors dans la circulation sanguine où le taux d'acides gras non estérifiés (AGNE) s'accroît ; ces précurseurs énergétiques sont ainsi mis à la disposition des tissus utilisateurs (muscles, foie...etc.).

1.3.4. Ontogenèse et différenciation de la cellule adipeuse

1.3.4.1. Etapes du développement cellulaire du tissu adipeux

La formation du tissu adipeux débute par une phase de prolifération ou hyperplasie à partir de cellules précurseurs. La prolifération cellulaire ne peut intervenir que sur des cellules indifférenciées ou en cours de différenciation.

Après avoir acquis les caractéristiques qui leur sont propres, et en particulier l'équipement enzymatique nécessaire à la lipogenèse, ces cellules sont devenues des adipocytes. Elles sont alors capables de stocker des lipides et peuvent donc accroître leur volume (hypertrophie).

Chez des rongeurs soumis à un jeûne alimentaire sévère, la masse adipeuse ne diminue que par hypertrophie alors que le nombre d'adipocytes ne varie pas. Les observations effectuées chez des bovins vont dans le même sens. Il est donc important de caractériser les facteurs *in vivo* qui contrôlent la prolifération cellulaire, ainsi que ceux qui induisent les différentes étapes conduisant à l'adipocyte.

1.3.4.2. La différenciation adipocytaire / Principes généraux de la différenciation cellulaire

La différenciation cellulaire correspond pour une cellule à l'acquisition au cours du temps d'un phénotype déterminé (phénotype adipeux ou musculaire par exemple). Les cellules adipeuses et musculaires dérivent de cellules embryonnaires identiques à l'origine.

Ces cellules originelles acquièrent de nombreuses protéines spécifiques au type cellulaire (protéines indispensables à la synthèse des lipides dans l'adipocyte, protéines nécessaires à la contraction musculaire pour les cellules musculaires par exemple).

L'acquisition de ces protéines a lieu en réponse à la stimulation du génome (matériel héréditaire de la cellule) par différents facteurs tels que les hormones.

1.3.4.3. Caractéristiques de l'adipocyte mature

C'est une cellule capable de stocker des lipides sous forme de triglycérides et de les libérer à la demande de l'organisme (période de jeûne, de stress, d'exercice prolongé, de lactation).

Outre les protéines indispensables au bon fonctionnement de toutes les cellules, ceci nécessite la présence d'au moins trois groupes de protéines plus ou moins spécifiques à l'adipocyte :

Les protéines qui permettent la captation, la synthèse et le stockage des lipides (lipoprotéine lipase, acide gras synthétase entre autres), les protéines qui permettent l'hydrolyse et la libération de ces lipides stockés (lipase hormono-sensible)

Les protéines nécessaires à la réception des signaux hormonaux émis par l'organisme (récepteurs à l'hormone de croissance, à l'insuline, aux catécholamines etc..) qui modulent les fonctions de l'adipocyte (stimulation ou inhibition de la lipolyse ou de la lipogénèse).

1.3.5. Croissance cellulaire du tissu adipeux des bovins

La mise en place des différents dépôts adipeux a lieu durant la vie fœtale chez les bovins. Le tissu périrénal est visible dès le deuxième tiers de la vie fœtale.

Les autres dépôts internes et les dépôts intermusculaires apparaissent vers le 6ème mois tandis que les dépôts sous-cutanés ne sont décelables que 1 ou 2 mois avant la naissance.

Jusqu'à la naissance, les différents tissus adipeux présentent les caractéristiques du tissu adipeux brun. Ils renferment une protéine spécifique, appelée protéine découplante, dont la caractéristique est de permettre la production de chaleur à partir de l'oxydation des lipides de réserve.

C'est par cette voie que le nouveau-né assure sa thermogénèse. Cette caractéristique disparaît chez le veau après quelques semaines de vie postnatale.

On distingue deux étapes dans le développement des tissus, la phase de multiplication cellulaire ou hyperplasie, et la phase d'accroissement de la dimension des cellules ou hypertrophie.

Le nombre d'adipocytes passe de 19 milliards vers la fin de la vie fœtale à 124 milliards environ chez le bovin adulte.

Le tissu adipeux renferme une population d'adipocytes dont le diamètre est très variable. Par exemple, chez un bovin atteignant 30 % de son poids adulte, le diamètre des adipocytes varie de 25 à 100 microns.

On caractérise la taille des adipocytes par le diamètre ou le volume moyen de cette population. Le diamètre moyen des adipocytes à la fin de la vie foetale est voisin de 40 microns.

1.3.5.1. Le diamètre de l'adipocyte

Il atteint une valeur de l'ordre de 120 microns chez le bovin adulte. Ainsi, le volume des cellules adipeuses s'accroît d'un facteur 30 environ, alors que le nombre de cellules ne s'accroît que d'un facteur 6 dans le même temps.

1.3.5.2. Accroissement de la teneur en lipides du tissu adipeux

La vacuole lipidique des adipocytes de petite taille est relativement peu importante par rapport au reste de la cellule. Au fur et à mesure que la cellule stocke des lipides, cette vacuole prend une importance relative grandissante. A un niveau plus global, la teneur moyenne.

1.3.5.3. Evolution de l'ensemble des dépôts adipeux

Le poids des dépôts adipeux totaux s'accroît de 5 % du poids vide (sans contenu digestif) chez le nouveau-né, à 25 % environ chez le bovin mâle adulte de race Pie-noire. Cependant, le croît des tissus adipeux est assez lent après la naissance dans les conditions normales d'élevage. Le pourcentage de dépôts dans le poids vide reste presque constant jusqu'à l'âge de 3-4 mois.

A partir de cet âge, on assiste à un accroissement rapide du dépôt de lipides. Le coefficient d'allométrie des tissus adipeux passe alors de la valeur 1 à une valeur voisine de 2 chez les animaux au stade 70 % du poids adulte. Ainsi, à partir du poids de 450 kg, le croît journalier de dépôts adipeux dépasse même celui des muscles chez les animaux des races à forte adiposité telle que la Pie-noire.

La distinction de deux phases (croissance et engraissement) au cours du développement est surtout justifiée dans le cas (assez fréquent dans la pratique) où les animaux sont conduits

avec un rythme de croissance modéré dans le jeune âge et reçoivent un régime beaucoup plus libéral durant une courte période avant l'abattage.

Dans le cas d'animaux à croissance continue et rapide, la distinction de ces deux phases devient arbitraire : l'accroissement du dépôt de lipides est un phénomène continu, qui commence dès l'âge de 3 mois, et en tout cas bien avant ce que l'on appelle traditionnellement la phase d'engraissement.

1.3.5.4. Différences selon le site anatomique des dépôts adipeux

Chez l'animal au stade 50 % du poids adulte, les tissus adipeux intermusculaires (situés entre les muscles) représentent environ 55 % de la masse adipeuse. On trouve ensuite par ordre décroissant, les dépôts sous-cutanés (15 %), omentaux (10 %), périrénaux (7 %) et mésentériques (6 %), puis d'autres dépôts de moindre importance.

Les tissus adipeux abdominaux et sous-cutanés ont une croissance relative très rapide. Leur proportion dans la masse adipeuse totale s'accroît entre la naissance et l'état adulte.

De 7 à 13 % pour les tissus omentaux, de 4 à 9 % pour les dépôts périrénaux et de 6 à 17 % pour les dépôts sous-cutanés. En revanche, la proportion de dépôts intermusculaires décroît durant la même période de 60 à 43 %.

La croissance différentielle des dépôts a des conséquences pratiques importantes. Tout d'abord, l'appréciation du gras de couverture est un bon reflet de l'état d'engraissement global, puisque la croissance relative des dépôts sous-cutanés est plus rapide que celle de la masse adipeuse. Par ailleurs, l'obtention d'une quantité suffisante de gras intramusculaire (persillé) est tributaire d'un état d'engraissement assez élevé.

La vitesse de développement du tissu adipeux :

- Selon la race:

La vitesse de développement du tissu adipeux est très variable chez les bovins, selon la race des animaux. Chez des animaux de même poids vide (450 kg), le poids des tissus adipeux totaux varie de 72 kg en race Charolaise, à 90 kg en race Pie-noire et même 125 kg en race Angus ou Hereford. On observe aussi des différences entre races dans la répartition des dépôts.

- **Selon le sexe:**

Les différences selon le sexe sont également bien connues. Les femelles renferment 30 à 60 % de plus de tissus adipeux que les mâles entiers de même race au même stade de développement, tandis que les animaux mâles castrés occupent une position intermédiaire.

Enfin, il est possible de maîtriser la croissance des tissus adipeux grâce au niveau des apports alimentaires, et cela quelle que soit la période de croissance considérée.

Ainsi, une restriction alimentaire pendant la période d'alimentation lactée de 0 à 3 mois chez des veaux Pie-noirs provoque une réduction du poids des lipides corporels au sevrage de près de 7 kg et une réduction de la taille des adipocytes.

Une restriction alimentaire durant la période de croissance et d'engraissement produit également une réduction du poids des tissus adipeux à l'abattage, d'autant plus marquée que la réduction des apports est plus sévère et que la vitesse de croissance est plus faible

Par ailleurs, cette réduction est plus importante chez les animaux des races à forte adiposité (Pie-noire), que chez ceux des races à viande plus maigres (Charolaise, Limousine).

Cependant, cette réduction de l'adiposité n'est pas définitive, et peut être compensée totalement si les animaux sont à nouveau alimentés de façon libérale.

Il faut donc définir des systèmes de production de viande, c'est-à-dire des rythmes de croissance et des régimes adaptés aux différentes catégories d'animaux (races, types sexuels) selon leur aptitude à déposer des lipides.

On peut envisager de maîtriser la masse adipeuse selon trois approches :

- Contrôle des substrats nécessaires à la cellule adipeuse pour se développer.
- Contrôle des facteurs hormonaux qui régulent la lipogenèse et l'accroissement de la taille de la cellule.

Contrôle du nombre de cellules adipeuses chez l'adulte.

Ceci pourrait se faire par:

Un contrôle nutritionnel

Administration de substances 'antagonistes à un type de récepteurs'

Réduire le potentiel de développement de la population adipocytaire dans les différents dépôts, et au contraire de favoriser le développement des adipocytes entre les fibres musculaires et cela grâce à la biotechnologie.

On trouve aussi des dépôts lipidiques au sein même du tissu musculaire :

1.3.6. Les types de gras

- Le gras interne: il se dépose en premier dans la cavité abdominale autour viscères (appelé suif).
- Gras intermusculaire ou "marbré" entre les faisceaux de fibres,
- Gras intramusculaire ou "persillé" entre les fibres elles-mêmes.
- Le gras de couverture: Il se dépose sous la peau et est à la base des manèges utilisés pour l'appréciation de l'état d'engraissement des animaux.

1.4. Le tissu musculaire

Le tissu musculaire représente quantitativement 40 à 50 % du poids vif des animaux domestiques. A ce titre, c'est un acteur essentiel du métabolisme protéique et énergétique.

C'est aussi, avec le squelette sur lequel il s'attache, le tissu à l'origine du mouvement, capable de transformer l'énergie des nutriments en force motrice. Enfin, c'est le tissu « noble » des animaux domestiques élevés pour la production de viande.

Les fibres sont regroupées en faisceaux primaires enveloppés par une gaine conjonctive (perimysium) renfermant des fibroblastes, des adipocytes (gras intramusculaire), des vaisseaux sanguins irriguant le tissu, et des nerfs moteurs. Ces faisceaux primaires sont regroupés en faisceaux secondaires enveloppés dans une gaine de perimysium un peu plus épaisse.

Enfin, ces gros faisceaux sont regroupés dans une trame conjonctive plus épaisse, l'épimysium, pour former le muscle lui-même. Cette enveloppe conjonctive s'épaissit aux extrémités du muscle pour former les tendons et les aponévroses qui assurent la liaison avec le squelette, et constituent le relais de la force motrice développée par le muscle.

Ces différents niveaux de tissu conjonctif, constitué de fibres de collagène forment une trame dont l'organisation est en relation étroite avec la tendreté de la viande.

1 / Caractéristiques fonctionnelles et métaboliques des fibres A l'intérieur d'un muscle donné, les fibres diffèrent par leurs caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques. En dehors des différences de pigmentation (muscles plus ou moins rouges) remarquées depuis très longtemps, on constate surtout des différences dans la vitesse de contraction des fibres ainsi que dans leur métabolisme énergétique.

Les travaux concernant l'origine, la multiplication et la différenciation des fibres musculaires ont surtout été effectués sur les rongeurs et les oiseaux. Nous nous appuyons sur ces travaux pour décrire les aspects généraux de la mise en place et du développement du tissu musculaire.

1.4.1. Développement des muscles

Le muscle squelettique est constitué de:

- Cellules allongées et plurinuclées.
- Les fibres musculaires, organisées en faisceaux entourées par une gaine de tissu conjonctif riche en collagène.

Les fibres musculaires diffèrent par leur caractéristiques fonctionnelles:

- Activité contractile,
- Activité métabolique (métabolisme et énergétique).

La combinaison de ces deux critères de classification conduit à distinguer trois types de fibres musculaires:

- La croissance du tissu musculaire résulte à la fois de l'accroissement du nombre des fibres musculaires
- De l'accroissement de la taille des fibres musculaires (longueur et diamètre).
- Augmentation du nombre de fibres au cours de la période fœtale (avec une synthèse protéique très intense.
- Et une augmentation de la taille des fibres après la naissance. Il est dit que le nombre des fibres musculaires est fixé à la naissance.

1.4.2. Structure du muscle

On distingue ainsi, du centre du muscle vers la périphérie,

-L'endomysium qui enveloppe chaque fibre musculaire,

Le périmysium qui délimite les faisceaux de fibres musculaires

et l'épimysium, qui est l'enveloppe externe du muscle.

Différents types de muscles

Les tissus musculaires squelettiques en muscles « rouges » et « blancs », marquant ainsi un ensemble de différences dans leurs propriétés morphologiques et physiologiques, on distingue:

- Les muscles blancs: capables de contractions rapides et brèves, utilisent essentiellement la glycolyse pour couvrir leurs besoins énergétiques.
- Les muscles rouges: qui peuvent se contracter pendant de longues périodes, puisent principalement leur énergie dans les mécanismes oxydatifs.

L'ensemble de la musculature, essentiellement contenue dans la carcasse, représente la part la plus importante de la masse corporelle (poids vif vide). Chez ce type d'animal, par exemple, le tissu musculaire augmente de 68 à 193 kg, sa part dans la masse corporelle décroît de 43 à 40 % au cours de la période d'engraissement.

En effet le dépôt de muscles, limité chez ce type d'animal, décroît avec l'âge. La proportion de muscles dans le gain de la masse corporelle atteint 43 % au début et se réduit à 32 % à l'abattage

Il existe des vagues de croissance partant des régions distales de l'animal et se rejoignant dans les derniers stades du développement au niveau des reins.

1.4.3. Ontogenèse et développement des fibres musculaires

Les travaux concernant l'origine, la multiplication et la différenciation des fibres musculaires ont surtout été effectués sur les rongeurs et les oiseaux. L'origine embryonnaire des cellules musculaires est localisée au niveau du mésoderme, et plus exactement des somites (Kieny et al 1988). La carte présumptive des différents territoires embryonnaires est mieux connue chez les amphibiens et les oiseaux que chez les mammifères. La mise en place d'un tissu met en jeu deux processus successifs distincts, la multiplication cellulaire (hyperplasie),

puis la différenciation de ces cellules, qui met fin à leur pouvoir de division. Nous présentons ces deux aspects séparément pour la clarté de l'exposé, cependant il existe au même instant des cellules en cours de prolifération et des cellules en cours de différenciation.

1.4.4. Différenciation et maturation des fibres musculaires des bovins

a / Différenciation durant la vie foetale

A la fin du premier tiers de la vie foetale, le poids du fœtus est encore très réduit (de l'ordre de 100 g) et, tandis que les muscles sont bien identifiables macroscopiquement, leur organisation au niveau cellulaire n'est pas encore très avancée. En particulier, on ne distingue pas encore très bien les faisceaux. Les cellules sont caractérisées en coupe transversale par une taille assez grande (diamètre de 20 microns) et par un espace clair au centre souvent occupé par un noyau : ce sont des myotubes. Elles ne manifestent pas d'activité oxydative, et réagissent toutes comme des cellules de type rapide (ATPase stable en milieu alcalin). Au milieu de la vie foetale, alors que le poids du fœtus atteint entre 2 et 3 kg, la plupart des myotubes se sont transformés en fibres musculaires caractérisées en coupe transversale par une section plus petite, des noyaux disposés à la périphérie et ne présentant plus d'espace clair au centre. Il reste cependant encore une population peu nombreuse de myotubes de section plus grande occupant une position centrale au milieu de chaque faisceau de fibres. L'activité oxydative des fibres n'est pas plus intense qu'au stade précédent. En revanche, la mesure de l'activité ATPasique révèle déjà deux types de cellules. Les myotubes présentent des caractéristiques de type lent, alors que la majorité des autres cellules (fibres différenciées) ont le caractère rapide. Cette évolution rappelle la description précédente à propos des myotubes primaires qui s'orientent vers le caractère lent, alors que les myotubes et les fibres secondaires manifestent un caractère rapide.

Vers les deux tiers de la vie foetale, le poids du fœtus est alors voisin de 10 kg, il ne reste plus de myotubes. Les fibres de plus en plus serrées prennent une forme polygonale. Elles forment des faisceaux semblables à ceux que l'on observe chez l'adulte. Les deux populations de fibres à caractère rapide et lent se distinguent de plus en plus clairement. Enfin, on distingue aussi deux populations de fibres selon l'activité oxydative. Ces deux modes de classification qui ne coïncident pas, permettent donc de mettre en évidence les trois types de fibres évoqués précédemment. Ces étapes recouvrent l'ensemble de la vie foetale chez les espèces à naissance tardive comme les ovins et les bovins chez lesquels le poids du nouveau-né est supérieur à 4 %

du poids adulte. Elles se poursuivent au-delà de la naissance chez les animaux plus légers à la naissance, tels que le porcelet ou le lapereau.

b / Maturation durant la vie périnatale et post-natale

On observe encore une évolution importante des fibres musculaires au delà des deux tiers de la vie foetale, notamment en relation avec le développement de la fonction motrice des muscles squelettiques après la naissance. Il s'agit essentiellement d'une évolution des types de myosine, c'est-à-dire des caractéristiques contractiles. Le pourcentage de fibres lentes oxydatives (type I) reste constant à partir de la naissance. En revanche, parmi les fibres de type II (rapides), on observe une évolution du caractère oxydo-glycolytique (rouge) vers un caractère glycolytique plus marqué (blanc). On peut interpréter cette évolution en relation par une réduction de l'irrigation sanguine avec l'âge, résultant de l'accroissement du diamètre des fibres, et entraînant un moindre approvisionnement en oxygène. L'exercice physique qui accroît le flux sanguin entraîne simultanément une évolution inverse, avec le passage de fibres de type rapide-glycolytique vers un type rapide oxydoglycolytique. Chacun des muscles est en général constitué d'une population hétérogène de fibres, avec une dominante qui dépend du muscle. Ainsi chez le bovin, le Masseter est constitué essentiellement de fibres rouges lentes et oxydatives. Le Tensor du fascia lata est un muscle à dominante blanc rapide et glycolytique, alors que le Longissimus dorsi, le Semitendinosus et le Semimembranosus sont intermédiaires (plutôt de type rouge rapide et oxydo-glycolytique). La période périnatale du développement musculaire chez les bovins, que l'on qualifie parfois de maturation myofibrillaire, correspond à l'ajustement définitif de ces types musculaires. Ces différentes étapes de la différenciation musculaire des bovins sont résumées au tableau 2.

1.4.5. Croissance du tissu musculaire

1.4.5.1. Hyperplasie et hypertrophie

Les fibres musculaires sont des cellules plurinucléées. La croissance des muscles intègre donc plusieurs dimensions: le nombre de fibres, le nombre de noyaux, le diamètre et la longueur des fibres. Ce nombre n'est évidemment pas strictement égal au nombre de fibres. Cependant, on peut penser qu'étant donné l'orientation longitudinale des fibres dans ce muscle, il est en relation étroite avec le nombre réel de fibres. Il s'accroît de façon continue de l'âge de 80 jours

(36000 fibres) à l'âge de 240 jours (1,2 millions de fibres), puis n'évolue plus significativement. Pour les bovins le fait généralement admis (à partir de résultats obtenus chez le rat) que le nombre de fibres musculaires est fixé à la naissance. Il est multiplié par 30 alors que le poids du muscle est multiplié par 500. Ces deux valeurs montrent l'importance relativement faible de l'accroissement du nombre de fibres sur la croissance globale du muscle. Sachant que ce nombre reste stable au-delà de la naissance, cela signifie que la majeure partie de la croissance musculaire des bovins au delà du premier tiers de la vie foetale est dû à l'accroissement de la taille des fibres.

1.4.5.2. Accroissement de la taille des fibres

La taille des fibres musculaires s'accroît au cours du développement par fusion de cellules satellites. Ces cellules sont des fibroblastes qui se différencient le long des fibres au cours de la croissance, qui fusionnent avec elles et provoquent ainsi un accroissement du nombre de noyaux. Cette lignée de cellules à différenciation tardive est à la base de la régénération musculaire. On peut observer leur multiplication en mesurant le DNA musculaire. Cet accroissement du nombre de noyaux par fibre (hyperplasie) est accompagné d'un accroissement de la taille (hypertrophie) de l'unité nucléoplasmique, c'est-à-dire de la quantité fictive de protéines par noyau, matérialisée par le rapport protéines/DNA. Ces deux phénomènes conjoints se traduisent au niveau histologique par un accroissement de la section transversale des fibres.