

1. Rappels sur la structure et composition du muscle et de la viande

1.1. Structure histologique du muscle

Sous contrôle du système nerveux, les muscles assurent les mouvements du corps et de ses organes.

Les muscles squelettiques, composés de fibres musculaires striées, représentent environ 300 unités anatomiques chez les mammifères. Ils sont liés au squelette par les tendons et se composent de quelques milliers de fibres musculaires réunies en faisceaux.

Les muscles sont faits de très longues cellules spécialisées appelées « fibres » ou « cellules » musculaires.

Ces cellules, qui mesurent parfois plusieurs centimètres de long, contiennent du liquide ainsi que les protéines nécessaires à la contraction, c'est-à-dire l'actine et la myosine. Le coulisement de ces deux protéines l'une sur l'autre à l'intérieur des cellules permet la contraction et le relâchement des muscles.

Chaque fibre musculaire est enveloppée d'une fine couche de collagène appelée « **Endomysium** ».

Les fibres musculaires sont regroupées par centaines, pour former des faisceaux, gainés eux aussi d'une couche de collagène appelée « **Périmysium** ».

Les faisceaux sont regroupés entre eux pour former le muscle, qui est à son tour enveloppé d'une gaine de collagène appelée « **Epimysium** ».

Ces trois niveaux de collagène (**l'Endomysium, le Périmysium et l'Epimysium**) assurent l'attachement des muscles aux os et aux articulations, ainsi que leur mouvement. L'importance de cette trame de tissu conjonctif détermine en grande partie la tendreté, alors que la disposition et la taille des faisceaux musculaires déterminent le grain d'une pièce de viande.

Structure of a Skeletal Muscle

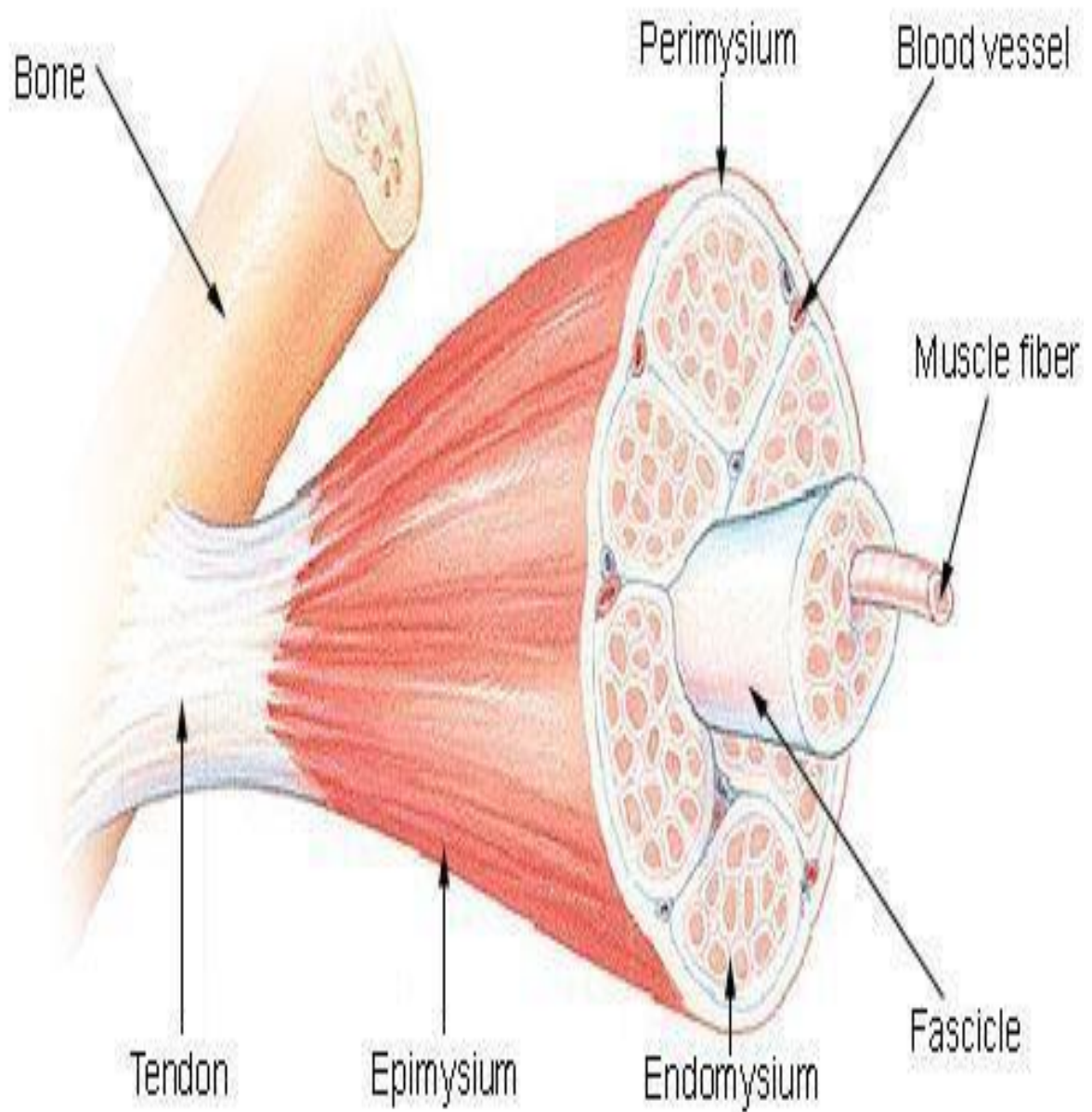
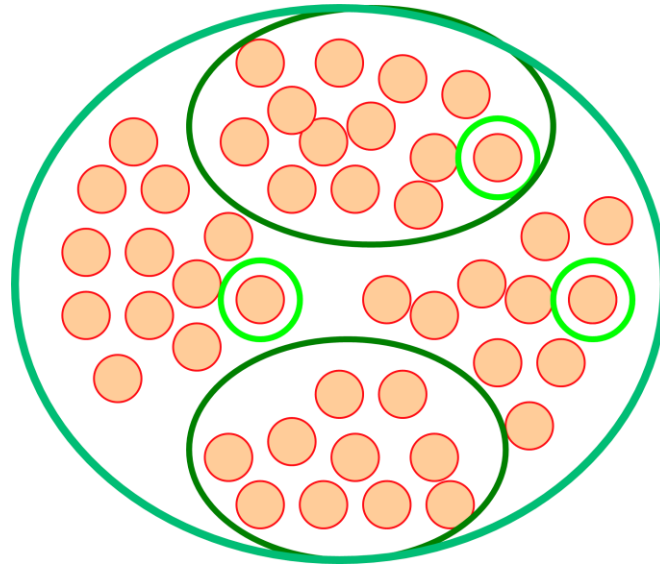


Figure 1



1- Endomysium

2- Périmysium

3- Epimysium

Figure 2

Figure 1 et 2 : Structure du muscle

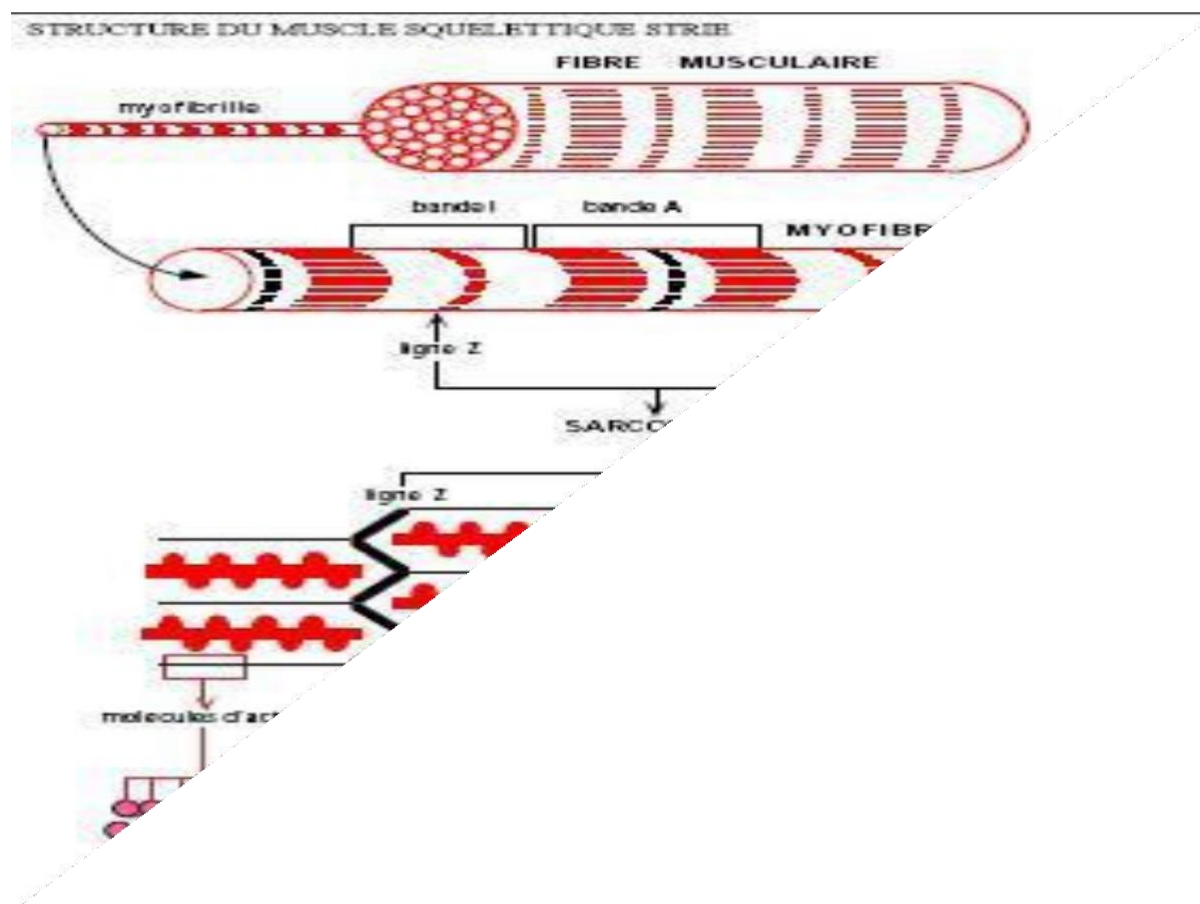
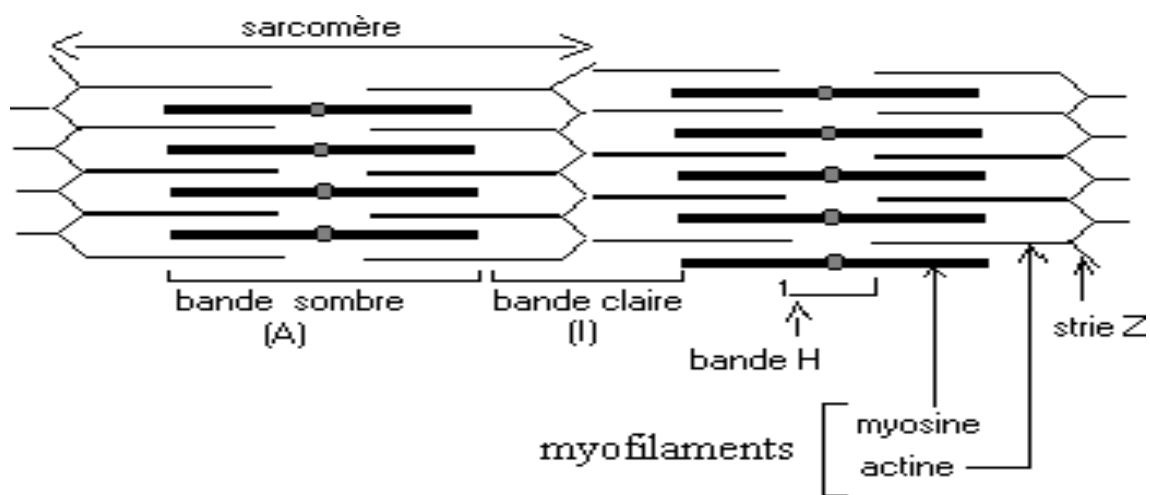


Figure 2 : Structure du muscle squelettique strié



Ultrastructure du sarcomère

Figure 3 : Organisation du sarcomère

Dans la cellule, dans le sarcoplasme : on trouve des noyaux, des lysosomes (digestion intracellulaire), des mitochondries et des grains de glycogène (réserve d'énergie).

Les myofibrilles et la structure du cytosquelette se trouvent dans le sarcoplasme délimitée par le sarcolemme qui forme des invaginations appelées tubules transverses

Ce système tubulaire assure une connexion intense et rapide entre l'extérieur de la cellule et l'appareil contractile situé à l'intérieur de celle-ci (figure 4)

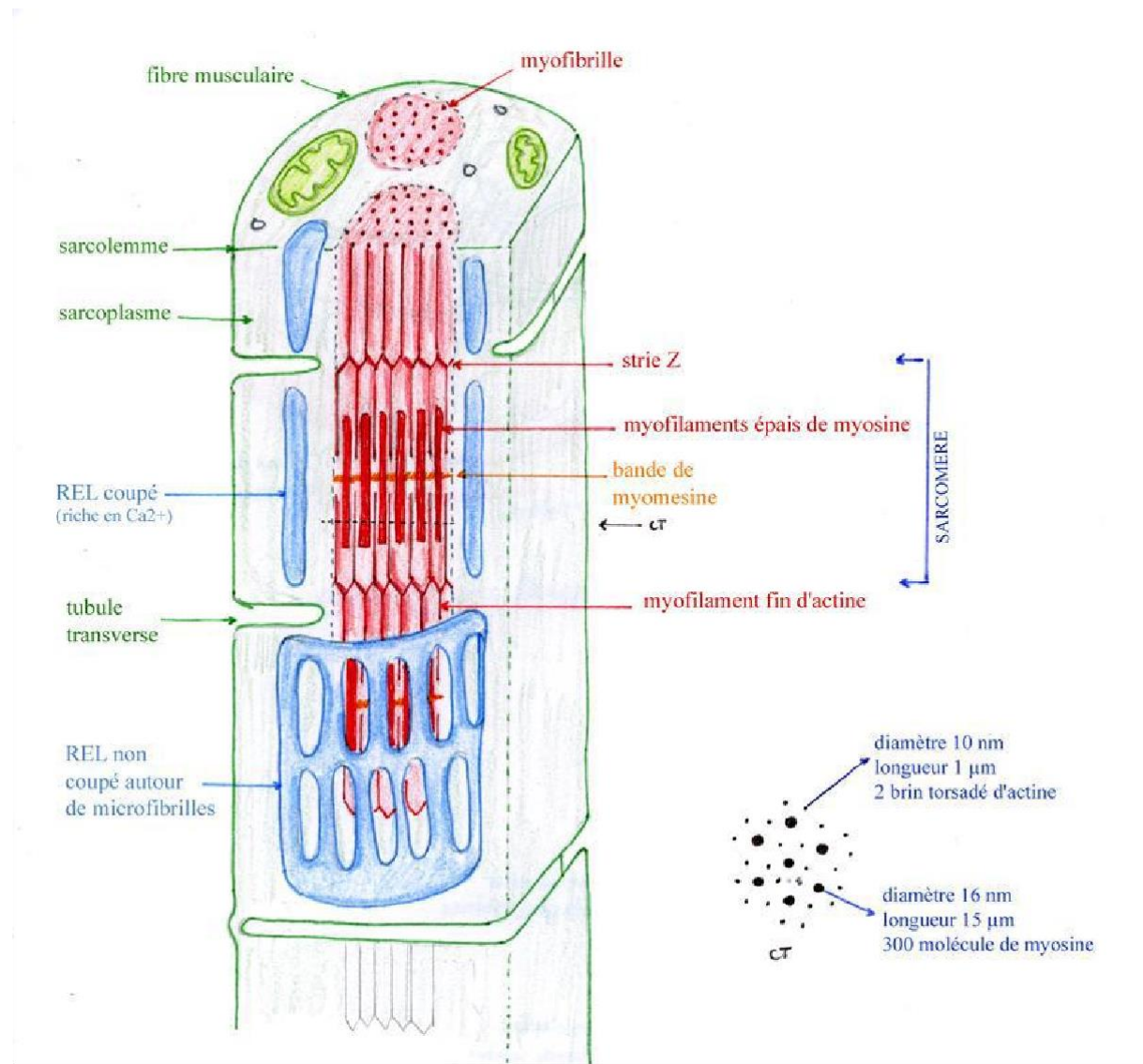


Figure 4 : Organisation d'une fibre musculaire

Toutes les viandes, qu'elles proviennent d'animaux d'élevage, de gibier à plume ou à poil, ont la même structure. Elles sont composées, pour l'essentiel, de fibres musculaires, de tissu adipeux (gras) et de tissu conjonctif (collagène). La proportion de ces diverses composantes, leur couleur et leur texture peuvent cependant varier.

1.2. Classification du muscle

Les muscles peuvent être classés de différentes manières. La classification repose sur la couleur «pâle » ou « rouge » et reflète respectivement une teneur plus faible ou plus élevée en myoglobine, pigment assurant le transport de l'oxygène.

1.2.1. Les muscles rouges

Contiennent plus de myoglobine, sont plus vascularisés et renferment plus de mitochondries, ils s'appuient sur le métabolisme oxydatif et produisent l'énergie de manière plus durable et plus efficiente.

1.2.2. Les muscles blancs

Présentent une vascularisation moins développée et contiennent moins de mitochondries. Ils disposent cependant d'une capacité glycolytique plus élevée et sont principalement actifs dans les poussées d'activité brève, rapide et intense.

Ainsi, les muscles peuvent être constitués de différentes catégories de fibres, souvent classées en types : I, IIA, IIX et IIB ou respectivement lent oxydatif, rapide-oxydo glycolytique et rapide glycolytique (tableau 1).

La nature des fibres peut être modifiée par l'innervation et par l'activité du muscle.

Tableau 1 : Les quatre types de fibres musculaires

	TYPE I	TYPE IIA/IIIX	TYPE IIB
Temps de contraction	+++++	++++/+++	+
Vitesse de contraction	+	+++/++++	+++++
Métabolisme anaérobie	+	+++/++++	+++++
Métabolisme aérobie	+++++	++++/+++	+
Glycogène	+	+++ /+++	++++
Myoglobine	+++++	+++ /++	+
Mitochondries	++++	+++ /++	+

Le muscle est riche en protéines, à côté de protéines intracellulaires, le muscle renferme des protéines extra cellulaires, ou tissus de connexion ou tissus conjonctifs. Il s'agit de deux protéines fibreuses le collagène et l'élastine qui sont impliquées directement dans le phénomène de tendreté de la viande.

1.3. Le tissu conjonctif

La quantité et la structure du tissu conjonctif varie selon les différents types d'animaux et détermine la catégorie d'une pièce de boucherie.

La tendreté de la viande est très dépendante de la teneur en collagène du muscle. Cette teneur varie entre 2 et 12mg/g de produit frais.

Protéine de structure conjonctive, le collagène a pour rôle de transmettre les tensions musculaires.

L'élastine et la réticuline sont les autres composants majeurs du tissu conjonctif.

1.3.1. Le collagène

Le collagène est le composé le plus important puisqu'il représente environ 80% du poids du tissu conjonctif. C'est une protéine fibreuse comprenant une séquence d'acides aminés composée d'une unité tri peptidique qui se répète.

Dans la composition du collagène, trois acides aminés prennent une part assez importante

- La glycine pour 35%
- La proline pour 7 à 9%
- L'Hydroxyproline pour 12 à 14% (selon le type de collagène).

Le collagène constitue une famille de protéines comportant au moins 21 isoformes. Sept ont été localisées dans le muscle squelettique essentiellement les collagènes de type I, III et IV. Il est composé de longues chaînes de protéines enroulées sur elles-mêmes comme des cordes. Ces cordes, appelées « fibres » ou « fibrilles », sont ensuite enchevêtrées à la manière d'un feutre plus ou moins épais et résistant. Les fibres de collagène sont attachées les unes aux autres par des liaisons chimiques dont le nombre varie selon l'âge et l'exercice.

Plus les fibres sont solidement liées entre elles, plus la viande est dure. Les muscles les plus sollicités contiennent davantage de collagène et celui-ci est plus résistant que le collagène que l'on trouve dans les muscles moins exercés. L'âge aussi a un effet : en vieillissant, le nombre de liaisons chimiques entre les fibres de collagène augmente, ce qui explique pourquoi la viande des animaux d'âge mûr est toujours plus coriace que celle des jeunes animaux.

À l'état cru, le collagène est élastique et coriace.

Heureusement, dans les bonnes conditions, la cuisson permet de défaire les liaisons chimiques qui retiennent les fibres de collagène ensemble et de le « solubiliser », c'est-à-dire le transformer en gélatine.

Le collagène des jeunes animaux se transforme plus aisément en gélatine que celui des animaux âgés. Comme nous le verrons plus loin, la méthode de cuisson doit être adaptée à la teneur en collagène d'une viande, pour en révéler la tendreté.

1.3.2. La réticuline

C'est une substance très proche du collagène par son ultra-structure et ses propriétés physiques.

1.3.3. L'élastine

C'est la protéine de structure des fibres élastiques. Elle est peu abondante dans le muscle, on la trouve surtout dans les ligaments et elle entre dans la composition de la paroi de certaines grosses artères.

L'élastine est une protéine présente dans le tissu conjonctif ayant quelques similitudes avec le collagène.

Sa structure est faite de chaînes enroulées au hasard et manifeste des propriétés élastiques, à l'opposé du collagène.

L'élastine a un rôle moindre au niveau de la tendreté mais tout de même est présente dans le tissu conjonctif. Elle possède des propriétés élastiques contrairement au collagène.

Le collagène est le principal responsable de la tendreté de la viande, celle qui n'est pas affectée par la maturation de la viande

1.4. Les matières grasses du muscle

Au sein d'une carcasse, il existe différentes catégories de gras : le gras de couverture qui entoure les parties externes de la carcasse, le gras cavitaire ou interne, le gras inter musculaire (celui qui entoure le muscle) et le gras intra musculaire : **PERSILLE et MARBRE**.

1.4.1. Le persillé : est réparti sous forme de petits amas irréguliers entre les faisceaux primaires et secondaires et myofibrilles.

1.4.2. Le marbré : est constitué d'amas plus volumineux, en veines sinueuses entre les faisceaux secondaires, tertiaires et quaternaires.

Le gras intramusculaire est susceptible de faire varier la tendreté de la viande, non pas sur la tendreté de base due au collagène mais sur la perception de celle-ci qui n'étant pas indépendante des autres critères organoleptiques

A dureté identique, le consommateur jugera une viande persillée plus tendre qu'une autre.

Cette sensation est due à la dilution des constituants de la dureté de la viande.

1.5. Composition chimique de la viande

La viande est avant tout une source importante de protéines, riches en acides aminés indispensables.

Ces protéines ont une **teneur élevée en lysine** (9,1g pour 100g de protéines) et faible en **acides aminés soufrés**.

La viande des ruminants, des bovins en particulier, est également une source de fer héminique. **3 et 4 fois plus importante que les viandes de poulet**. Le fer héminique étant 5 à 6 fois mieux absorbé que le fer non héminique des végétaux. **Le zinc** est également **abondant dans la viande bovine**. Enfin, la viande des ruminants est une **source importante de vitamines du groupe B (B1, B2, B6, B12 et niacine)**, en particulier de vitamines B6, B12 virtuellement absentes des produits végétaux mais synthétisés par les microorganismes du tube digestif du ruminant.

Alors que la composition chimique des muscles est assez constante (**environ 75% d'eau, 19 à 25% de protéines, 1 à 6% de lipides, 1 à 2% de minéraux et 1 à 2% de glucides**). Celle des viandes est très variable, notamment en ce qui concerne leur teneur en lipides. Ainsi la proportion de lipides varie de 2,5% (escalope de veau) à 17,3% (côtelettes d'agneaux grillées) avec des valeurs intermédiaires de 3,6% (rumsteack grillé ou jarret bouilli en pot au feu) et de 11,8% (entrecôte grillée).

Toutefois, afin de rapporter ces valeurs à leur juste mesure, il est important de préciser que la contribution de la viande bovine à la consommation totale de lipides par l'homme n'est que de l'ordre de 5%.

En outre la viande bovine se caractérise aussi par un rapport élevé protéines / lipides qui peut atteindre selon le morceau cuit, des valeurs comprises entre 2 et 12. Ces valeurs sont supérieures à celles d'autres aliments pourtant riches en protéines, tels que les œufs (1,20 jusqu'à 1,50), les fromages (cantal : 0,75) et certains poissons gras (maquereau : 0,80).

2. Transformation du muscle en viande

La transformation du muscle en viande fait appel à un ensemble de processus très complexes, de nature à la fois enzymatique (action des protéases endogènes) et physico chimique (modification du pH et augmentation de la pression osmotique) qui ne sont pas encore totalement élucidés.

C'est un ensemble de phénomènes d'évolution post mortem, naturels et spontanés permettant de transformer le muscle en viande : produit destiné à la consommation.

Cette évolution n'existe pas pour les abats.

Pédagogiquement on distingue trois phases en réalité qui s'enchaînent sans limite nette entre elles. Pendant quelques heures dès l'abattage, on note une excitabilité musculaire c'est l'état pantelant (cette phase n'existe pas pour les poissons et crustacés), puis il y'a apparition de la rigidité cadavérique ou rigor mortis et dans une troisième phase il y'a maturation qui est la phase essentielle correspondant à l'expression du potentiel organoleptique du produit (mûrissement de la viande).

2.1. Etat pantelant

Dès la mort de l'animal

- L'ensemble des masses musculaires est mobilisable
- Les muscles sont mous, flasques, extensibles, signe de la poignée de main de l'inspecteur positif
- La viande est à température élevée qui se maintient et même souvent s'élève de 0,5 à 1°C pendant quelques heures
- La surface de la carcasse est humide
- Il y'a des contractions, des fibrillations musculaires spontanées notamment sur les muscles de la tête et différents muscles superficiels (chez le boeuf ces phénomènes durent pendant 1 à 3 heures maximum). Cette durée varie en fonction de la réserve énergétique persistante dans le muscle, de la température ambiante (maximum à +10°C), des phénomènes pathologiques (viandes surmenées et viandes cadavériques).

A ce stade dit de la viande chaude, les caractères organoleptiques sont convenables mais la viande manque de goût.

Par ailleurs, L'hypothèse de l'implication **de l'apoptose** ou mort cellulaire programmée (MCP) dans les modifications post-mortem du muscle en viande a été proposée pour la première fois par Ouali et al. (2006).

Le terme « apoptose » ou mort cellulaire programmée a été introduit en 1972 et constitue le processus par lequel des cellules déclenchent leur autodestruction en réponse à un signal. Une forme de mort cellulaire morphologiquement, biochimiquement et moléculairement différente de la nécrose, seule forme de mort cellulaire connue jusqu'alors.

Le mot « apoptose » fait référence à la chute programmée des feuilles caduques en automne : « apo » pour éloignement et « ptose » pour chute en grec ancien. L'apoptose est un processus actif et physiologique de mort cellulaire, utilisé pour éliminer les cellules en excès, endommagées ou infectées, potentiellement dangereuses pour l'organisme.

La mise en place des systèmes nerveux et immunitaire fait également appel à l'apoptose qui assure qu'un nombre correct de cellules souches se différencient. Pendant le développement embryonnaire, les neurones sont générés en excès et les cellules surnuméraires vont ensuite mourir par apoptose afin de créer un équilibre entre les neurones et les cibles qu'ils innervent.

L'apoptose peut être mise en évidence par différentes caractéristiques morphologiques ou biochimiques, telles que le rétrécissement des cellules, les modifications mitochondriales par libération du cytochrome c et le changement du potentiel membranaire, la dégradation de l'ADN nucléaire en fragments réguliers, changement de localisation des molécules de phosphatidylsérines (d'une orientation cytoplasmique à une orientation extracellulaire), enfin, la dégradation étendue des protéines cytosquelettiques spécifiques, telle que l'actine, présumé être un marqueur potentiel du processus d'apoptose. L'apoptose peut être aussi distinguée des autres types de morts cellulaires par les caractéristiques biochimiques, y compris l'activation de la cascade des caspases.

D'autre part, les **caspases** sont une classe de **protéases à cystéine** qui reconnaissent chacune une séquence particulière sur certaines protéines et hydrolysent la liaison peptidique côté carboxyle d'un résidu d'aspartate de cette séquence.

Selon cette théorie il existerait une étape supplémentaire dans l'évolution de la tendreté, avant la phase de rigor mortis, durant laquelle l'apoptose a un rôle prépondérant.

2.2. La rigidité cadavérique

C'est l'apparition progressive, quelques heures après abattage d'une rigidification des masses musculaires qui deviennent ferme, inélastiques et inextensibles ; état de contraction musculaire permanent

Ce phénomène apparaît progressivement et s'étend de même façon aux muscles masticateurs puis encolure, tronc épaules et enfin masses fessières de l'espèce animale : immédiat chez le poisson et crustacés, très rapide (2 à 4h) pour les volailles, plus longue pour les animaux de boucherie (plus rapide pour le cheval que pour le boeuf).

L'arrêt de la circulation sanguine, qui accompagne l'abattage des animaux, bouleverse le métabolisme musculaire .Le muscle se trouvant en anoxie, s'acidifie progressivement en raison de la conversion de son glycogène en acide lactique. Son PH décroît d'une valeur voisine de 7-7,2 à des valeurs comprise entre 6- 5,8 et 5,6. Cette diminution du PH favorise la conservation de la viande, en ralentissant le développement bactérien. Mais elle entraîne une plus faible rétention d'eau par le fait que le PH se rapproche du point isoélectrique des protéines.

A l'histologie, on voit la formation de filaments d'actino myosine. Le PH des protéines sarcoplasmiques se rapproche du point isoélectrique des protéines le pouvoir de rétention de l'eau tend à diminuer et il ya sortie du suc musculaire (notamment à la coupe).

- La viande est dure, ferme, sèche, filamenteuse, le simple fait de la cuire permet de perdre le jus)

La rigidité apparait 18 à 24h après la mort et persiste jusqu'à la 36 ou 48ème heure après l'abattage.

Après ce stade il y'a diminution progressive de l'état rigide.

La rigidité peut être modifiée par des phénomènes pathologiques

L'effondrement des réserves énergétiques avec rigidité précoce et intense

Rigidité faible, éphémère voire inexistante dans les phénomènes de viande saigneuse de viande fiévreuse.

Au cours de cette phase, il y'a achèvement du ressuage et amorce du brunissement cadavérique (ressuage entraînant une concentration pigmentaire et oxydation qui entrain la formation de méthémoglobine).

2.3. Phase de maturation

Il y'a progressivement résolution de la rigidité cadavérique, dépressifs, la mobilisation des différents segments est de nouveau possible.

Dès la mort de l'animal et au cours de la conservation de la viande, des altérations plus ou moins importantes vont affecter la structure et la composition biochimique musculaire. C'est ainsi que les protéines contractiles myofibrillaires vont être hydrolysées par des enzymes protéolytiques endogènes : des **protéases à cystéine cytoplasmiques** activées par le calcium (calcium dépendantes) ou CALPAINES et **protéases lysosomaes** ou CATHEPSINES.

Il y 'a libération de métabolites de ces catabolismes (azote non protéique en petite quantité), des lipases (lipides) et une dégradation des protéines en peptone, qui sont responsables de l'odeur et du goût de la viande

Il y a ensuite une légère remontée de pH. Le pouvoir de rétention d'eau est de nouveau important ce qui a pour conséquence une section légèrement humide à la coupe d'où viande juteuse et succulente

La libération d'ions calcium dans le cytosol, la chute du pH et l'augmentation de la pression osmotique influence l'activité des différents systèmes protéolytiques et la sensibilité des substrats.

L'importance de cette hydrolyse se dépend de la durée et de la température de conservation de la viande. Elle dépend aussi du type de fibre, c'est-à-dire de ses propriétés contractiles, de ses réserves énergétiques (ATP, mais surtout glycogène et créatine phosphate) et de son équipement enzymatique (enzymes du métabolisme énergétique et protéases).

- Boeuf traditionnel : quelques jours à +10°C
- Une semaine à +6°C
- Trois semaines à 0°C/+2°C
 - ❖ Des phénomènes pathologiques peuvent intervenir : viandes surmenées
 - ❖ Le degré de maturation peut s'apprécier par le degré de brunissement ou par la consistance de la viande (pression du doigt).Ce phénomène conduit s'il est très développé à la viande fanée qui est encore consommable et que l'on retrouve inévitablement sur les viandes ayant subi un long transport en réfrigération.

2.4. Aspect morphologique

2.4.1. Etat pantelant et mort cellulaire programmée (MCP)

2.4.1.1. Aspect macroscopique

- Muscles mobilisables, mous, extensibles : le signe de la poignée de main de l'inspecteur est positif
- Contraction relaxation
- Couleur de la viande foncée
- Section du muscle sèche (PRE est élevé)
- La température du muscle est élevée (+1°C)
- Le pH=7,2
- Qualité organoleptique

A ce stade la viande est tendre, manque de jus et est peu sapide

Elle est rarement consommée et à ce stade sauf dans quelques cas (méchoui)

2.4.2. Rigidité cadavérique

2.4.2.1. Aspect macroscopique

- Muscles rigides, fermes, inextensibles
- Le signe de la poignée de main est négatif
- Viande dure, structure du muscle est fermée
- Le pouvoir de rétention d'eau diminue
- Viande plus claire, brune en surface car s'oxyde à température ambiante
- Le pH diminue de 6,8 à 5,6 (pH autour du Phi des protéines)

2.4.2.2. Qualités organoleptiques

La viande est très dure, coriace, insipide, non consommable à ce stade

2.4.3. Maturation ou état rassis de la viande

2.4.3.1. Aspect macroscopique

- Résolution de la rigidité cadavérique
- Muscles mous, souples, dépressibles sans élasticité
- A la pression, les muscles gardent l'empreinte du doigt
- La couleur est plus sombre
- Le pouvoir de rétention d'eau augmente légèrement, la viande est juteuse
- La durée de cette phase varie en fonction de l'espèce, de l'âge et de la nature du muscle de l'animal
 - Boeuf traditionnel (2 à 4ans) : 15 à 21 jours
 - (21jours à +2°C) ,4 jours à +15°C
 - Agneau : 8 jours à +2°C
 - Brebis : 15 jours à +2°C
 - Poulet : 12 à 24heures pour la poitrine à +4°C

3. Viandes anormales

Des phénomènes pathologiques peuvent intervenir : viandes surmenées à pH élevé (pH> 6), viandes fiévreuses ou viandes pisseuses à pH bas (pH<5)

4. La qualité de la viande

4.1. La qualité hygiénique

L'aliment doit garantir une totale innocuité et de ce fait préserver la santé du consommateur.

De ce fait, il ne doit contenir aucun résidus toxique, aucun parasite, ni être le siège d'un développement bactérien susceptible de produire des éléments nocifs. Cette caractéristique doit satisfaire aux normes sanitaires et règlements en vigueur. Ainsi, ne peuvent être mis sur le marché que des aliments ne présentant aucun risque pour la santé.

4.2. Les qualités organoleptiques

Il s'agit de caractéristiques perçues par les sens du consommateur. Elles recouvrent l'aspect et la couleur, le goût et la saveur et l'odeur, ainsi que la

consistance et la texture d'un aliment. De ce fait, elles jouent un rôle prépondérant dans la préférence alimentaire. On parle aussi des propriétés sensibles.

5. Les moyens pour obtenir une viande de qualité

Les qualités organoleptiques de la viande bovine sont sous la dépendance, non seulement des conditions de transformation du muscle en viande, mais aussi de la composition et de la structure de ce muscle. Cette composition et cette structure sont elles-mêmes fonction de nombreux facteurs tels que :

- ❖ **Facteurs biologiques** : ce sont les caractéristiques de l'animal et du muscle lui-même ;
- ❖ **Facteurs zootechniques** : il s'agit des pratiques d'élevage;
- ❖ **Facteurs technologiques** : ce sont les transformations conduites après l'abattage ;
- ❖ **Facteurs culinaires** : il s'agit des modalités de préparation et de cuisson de la viande.

5.1. La couleur

5.1.1. LES BASES STRUCTURALES DE LA COULEUR

- ✓ La quantité de myoglobine présente dans le muscle ;
- ✓ La forme chimique de la myoglobine (Mb pourpre, MB oxygénée, Mb oxydé) (méthmyoglobine) ;
- ✓ La structure physique du muscle (lumière).

5.1.2. LES FACTEURS DE VARIATIONS LIÉS À L'ANIMAL ET LE RÔLE DE L'ÉLEVÉUR

- ✓ La nature même de l'animal ou du muscle (âge, pigmentation (race, muscle)) ;
- ✓ L'alimentation ;
- ✓ La phase de pré-abattage.

5.1.3. LES TECHNIQUES MISES EN OEUVRE PAR LES PROFESSIONNELS

- ✓ La qualité bactériologique de la viande
- ✓ Une conservation au froid (0-5°C) : (Sous vide, Film)

5.1.4. LA CUISSON : ULTIME MODIFICATION DE LA COULEUR DE LA VIANDE

- ✓ Température 45°C
- ✓ Température 90

5.2. La flaveur

5.2.1. LES BASES STRUCTURALES DE LA FLAVEUR

- ✓ La graisse (fraîcheur, oxydation, teneur AG P I)

5.2.2. LES FACTEURS DE VARIATIONS LIÉS À L'ANIMAL ET LE RÔLE DE L'ÉLEVEUR

- ✓ Âge, (intramusculaire) persillée, maturité, dépôt de graisse, males et femelles
- ✓ L'alimentation et la finition des animaux (pauvre et riche en énergie) (jeunes et âgés)

5.2.3. LES TECHNIQUES MISES EN OEUVRE PAR LES PROFESSIONNELS

- ✓ Conservation (réfrigération, sous vide), maturation, graisse intermusculaire

5.2.4. LA CUISSON : ÉTAPE INDISPENSABLE À L'EXPRESSION DE LA FLAVEUR

- ✓ Composés volatiles et non volatiles

5.3. La jutosité

- ✓ Gras (engraissement)
- ✓ Cuisson (temps/ température)

5.4. La tendreté

- ✓ Sexe, âge, collagène
- ✓ Conservation (refroidissement)
- ✓ Séparation des muscles
- ✓ Cuisson (température 60° C (pauvre en collagène)
- ✓ La résistance des myofibrilles, Les fibres diminuent de diamètre et se raccourcissent, Une rétraction du collagène

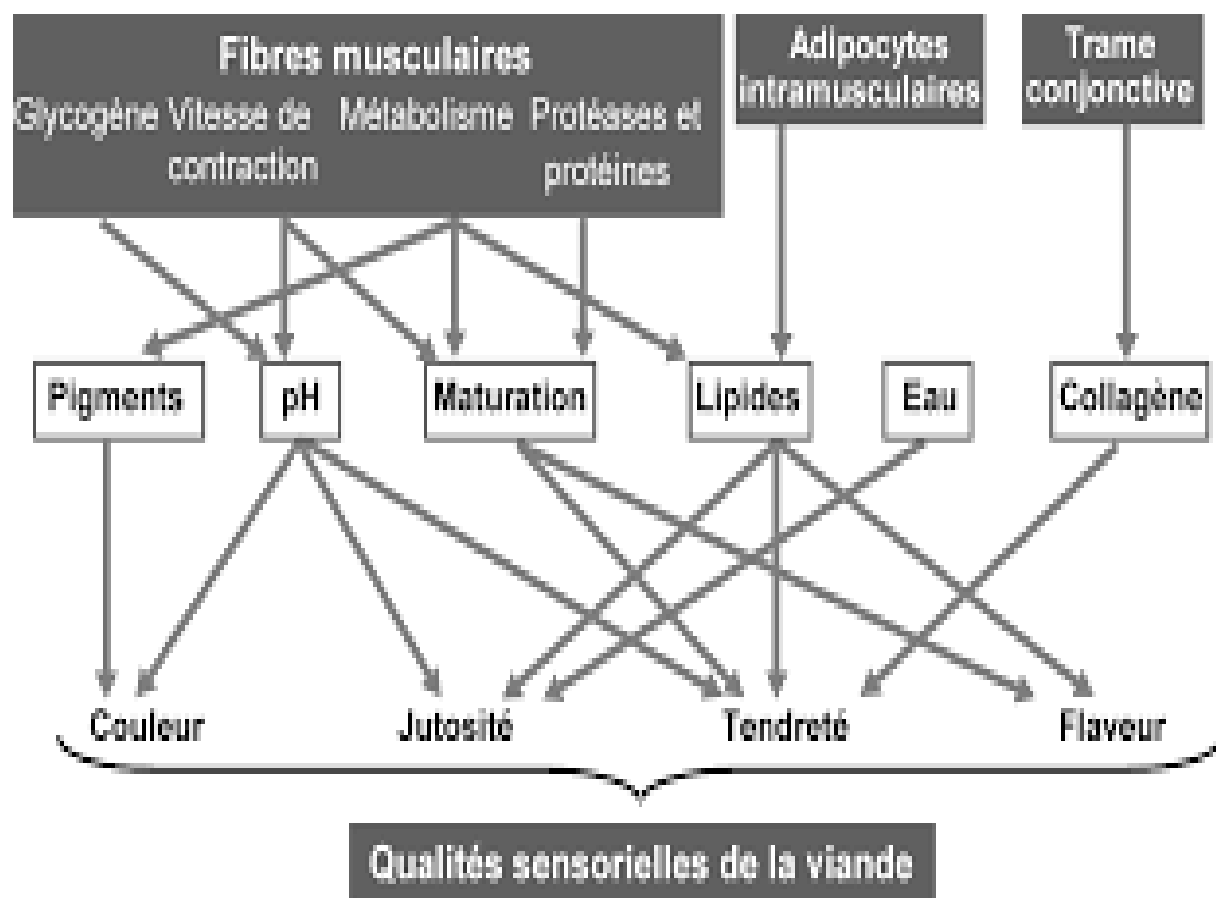


Figure 5 : Qualités sensorielles de la viande