

I. Généralités sur la viande et poisson

I.1. Organisation et composition du muscle de viande et de poisson

Diverses propriétés gastronomiques ou nutritionnelles de la viande et du poisson, telles que la tendreté, l'aptitude aux divers modes de cuisson ou de conservation, la perte de « sucs », sont liées à la structure du système protéique musculaire et aux réactions biochimiques dont il est le siège.

La connaissance de cette structure et de ces réactions, malgré leur complexité, présente par conséquent un intérêt certain du point de vue technologique. Même si à l'heure actuelle bien des problèmes restent encore à élucider, seule leur études approfondie pourra permettre de les mieux comprendre et progressivement de les résoudre.

I.1.1. La viande

Les carcasses des animaux terrestres est constituée de plusieurs types de tissus musculaire, conjonctifs, adipeux, sanguins, nerveux et osseux. Chacun d'eux contribue aux qualités organoleptiques de la viande : les tissus musculaires et conjonctifs à tendreté, le tissu sanguin à la couleur, les tissus adipeux à la saveur, etc.

Il existe chez les animaux deux grands types de muscles : les muscles striés et les muscles lisses. Ils se différencient non seulement par leur aspect strié ou non, bien visible au microscope optique, mais également par la couleur : les muscles lisses sont de couleur blanche alors que les muscles striés sont plutôt rouges. Cependant il existe des muscles striés de couleur blanche comme ceux du pectoral de poulet par exemple. Les muscles lisses se retrouvent principalement au niveau des organes (estomac, intestin, etc.) et ne sont pas consommés en tant que viande. Pour cette raison nous nous intéresserons essentiellement aux muscles striés

a) Description

La viande est le muscle strié ; sous ce terme, on rassemble les muscles squelettiques et cardiaques, qui forment en moyenne 35% du poids d'un animal.

Dans la viande maigre, les protéines sont toujours dominantes (**tableau 1**) ; leur proportion est d'environ 65% de la matière sèche pour le bœuf et 85% pour le cheval et les poissons. La répartition des principaux constituants protéiques du muscle est donnée dans le **tableau 2**.

Viandes et poissons

Tableau 1 : composition moyenne des viandes (en g/100g de partie comestible)

	Eau	Protides	Lipides	Glucides	Minéraux	Energie (en Kcal)
Viande mi-grasses						
Bœuf	66	20	13	Traces	1.3	200
Agneau (gigot)	65	18	16	Traces	1.3	220
Viandes maigre						
Cheval	73	21	5	Traces	1.0	130
Filet de bœuf	66	28	4	Traces	1.3	150
poulet	73	22	4	Traces	1.4	130

Tableau 2 : Protéines musculaires

Localisation	Proportion (% des protéines musculaires)	Principaux constituants (% de la catégorie)		Propriétés
Protéines du stoma	10 à 20	Collagène Elastine	50 10	Insolubles, extra-cellulaires, tissu conjonctif.
Protéines sacroplasmiques (cytoplasme)	30 à 35	Myoglobine Enzymes	5	Solubles, intra-cellulaire, activité biologique
Protéines myofibrillaires	50 à 55	Myosine Actine Tropomyosine et troponine	50 20 10	Peu soluble, intracellulaires, propriétés contractiles

Après cette fraction dominante, viennent les lipides. Si la teneur en lipides des carcasses peut varier dans une fourchette assez large, les lipides intramusculaires, ceux que l'on mange, ne dépassent pas 4 à 5% du poids frais à l'exception de certains animaux de races très précoces pour lesquelles on peut observer des teneurs intramusculaires pouvant atteindre 9%. La proportion de phospholipides est relativement constante –environ 1/5 de la teneur en lipides. Enfin, on trouve les glucides et les minéraux, autour de 1% chacun.

Sur le plan anatomique, l'unité essentielle est la fibre musculaire, qui est constituée de très nombreuses myofibrilles parallèles, d'environ 1µm de diamètre, enrobées dans un cytoplasme, appelé sarcoplasme, qui contient des noyaux et des mitochondries ainsi que plusieurs composés solubles, notamment ATP, créatine, myoglobine, enzymes glycolytiques, glycogène, etc.

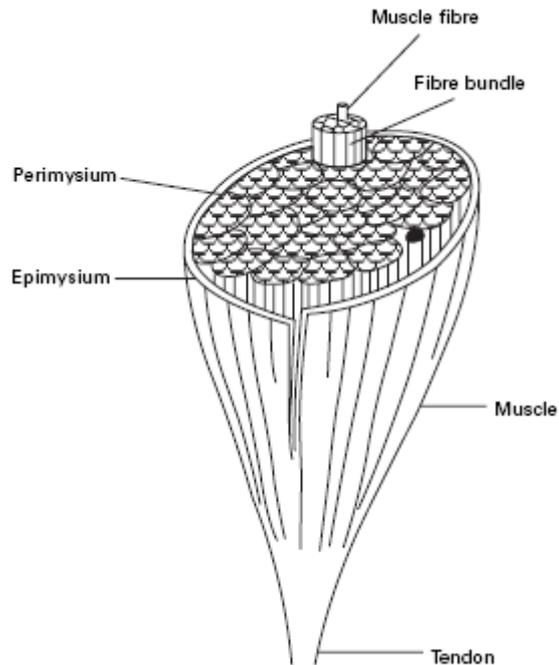
La fibre (diamètre : 10 à 100 µm ; longueur jusqu'à 35cm) est entourée d'une membrane, le *sarcolemme*, qui reçoit le stimulus nerveux et dont la dépolarisation déclenche la contraction (**Figure 1**).

Viandes et poissons

Chaque myofibrille est pour sa part enveloppée par un réseau riche en ions Ca^{++} , le *reticulum sarcoplasmique*, et par des tubules qui communiquent avec le *sarcolemme*. Ces tissus participent à la transmission de l'influx nerveux et aux échanges ioniques.

La myofibrille enfin se compose de filaments parallèles, alternativement épais et minces, de myosine et d'actine respectivement ; c'est la disposition de ces filaments qui confère à la myofibrille son aspect strié, en délimitant des bandes sombres (bandes A) et claires (bandes I), bien visibles au microscope (**Figure 2, 5, 6, 7, 8 et 9**).

Figure 1 : Composition d'un tissu musculaire



La **figure 2** représente schématiquement en section longitudinale la structure d'un élément de myofibrille, ou sacromère, telle qu'elle a pu être déduite des spectres de différenciation de rayons X, des images obtenues au microscope électronique et grâce à la solubilisation de certains de ses constituants protéique.

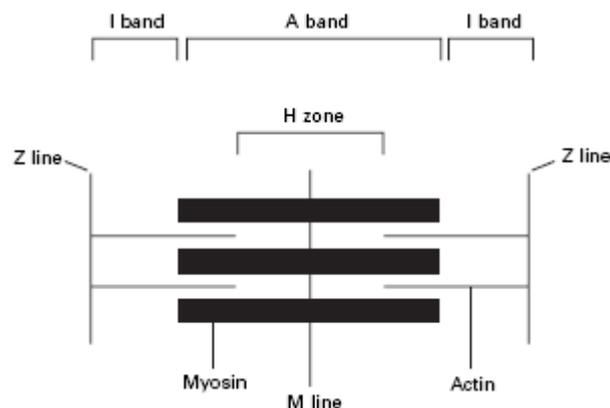


Figure 2 : Section longitudinale d'un sacromère

Viandes et poissons

Muscle blanc et muscle rouge

Ils sont caractérisés par une plus ou moins grande proportion de fibre rouges et de fibres blanches qui, mis à part leur couleur, se distinguent par leur vitesses de contraction et leur type métabolique. A l'inverse des fibres blanches, les fibres rouges présentent les caractéristiques suivantes :

- Contraction lente et prolongée ;
- Forte vascularisation et richesse en myoglobine
- Processus respiratoires importants et fonctionnement en aérobose ;
- Processus d'oxydation des graisses insaturées rapide (viandes sapides).

Dans chaque muscle coexistent toujours des fibres rouges et des fibres blanches ayant donc une composition et un métabolisme différent. C'est leur proportion relative qui détermine le type de muscle qui par ailleurs présente des différences morphologiques.

Poisson

Le muscle du poisson est également constitué d'un tissu musculaire et d'un tissu conjonctif, mais leur organisation est différente de celle du muscle de viande. En effet, l'interpénétration de ces deux tissus est moins forte. Par ailleurs, les muscles de poisson ont une structure métamérique. La chair de poisson est formée de muscles longs divisés en feuillets de forme conique, dont le sommet est dirigé vers la tête (tissu musculaire). D'une longueur égale ou inférieure à 3cm, les feuillets également appelés myotomes, sont emboîtés les uns dans les autres mais restent séparés par des cloisons de tissus conjonctif, les myocomes. Il y a environ 10% de muscle brun, muscle moteur lent et aérobie, riche en hémoprotéines (qui catalysent l'oxydation des lipides après la mort).

Les protéines de structure représentent 65 à 75% des protéines totales ; la myosine (environ 40%), qui varie d'une espèce de poisson à l'autre, y est plus difficile à séparer de l'actine (15 à 20%), et est plus riche en groupement -SH libres ; elles est plus sensible aux enzymes protéolytiques, à la chaleur, à la dessiccation, que la myosine du muscle des animaux à sang chaud. L'actine au contraire est moins variable, et plus proche de son homologue des mammifères.

La matière grasse du poisson est localisée différemment dans un poisson maigre ou gras. Chez le poisson gras, les lipides servent surtout de réserves énergétiques et se trouvent dans les tissus sous-cutanés, dans les viscères et dans le tissu conjonctif. Chez le poisson maigre, une faible proportion des lipides entre dans la constitution des membranes cellulaires et donc dans le tissu musculaire, le reste se trouvant dans les viscères. Les lipides du tissu musculaire sont des phospholipides. Ils ne constituent pas une réserve énergétique mais peuvent être utilisés en tant que tel par les poissons à chair blanche pendant les périodes de diète prolongée.

Viandes et poissons

Les muscles de poisson sont dits maigre quand leur composition moyenne en lipides ne dépasse pas 1%, gras lorsqu'elle est supérieure à 5%, et intermédiaires lorsqu'elle est comprise entre 1 et 5%.

Globalement, la teneur moyenne en lipides dans le muscle de poisson est plus faible que celle du muscle squelettique de la viande. Inversement, la teneur en eau du poisson est un peu plus élevée, ce qui le rend plus vulnérable aux altérations microbiologiques.

Une spécificité du poisson : ses gras polyinsaturés

La grande richesse en acides gras polyinsaturés du poisson (Tableau 4) lui confère des propriétés nutritionnelles particulièrement intéressantes pour prévenir les maladies cardiovasculaires. En revanche, les nombreuses insaturations rendent les produits aquatiques très vulnérables vis-à-vis des phénomènes d'oxydations. Cette richesse en acides gras polyinsaturés est une limite à la conservation des poissons gras, même à l'état congelé, puisqu'une fois initiés, les phénomènes d'oxydation sont très peu ralentis par les températures basses et la réduction de l'activité de l'eau (a_w).

Tableau 4 : Comparaison en acides gras saturés et insaturés de quelques produits halieutiques (en% de lipides totaux).

Produits	Saturés	Insaturé	Mono-insaturé	Poly-insaturés
Foie				
Aiguillat	20.4	71.2	55	16.2
Morue	15 à 19	76 à 80	47 à 60	21 à 29
Huiles				
Anchois	30.5	69.7	32.6	37.1
Hareng	26.1	73.5	55	16.2
Maquereau	27.5	72.5	48.9	23.6

La myosine

La molécule de myosine, d'un poids moléculaire d'environ 475kDa, est constituée par deux chaînes protéiques enroulées ensemble qui présentent, surtout vers l'une des extrémités, plusieurs zones en α hélice, et à l'autre extrémité plusieurs groupements $-SH$; c'est cette partie, plus volumineuse, de la molécule de myosine, qui interagit avec l'actine, et qui possède, caractère très important, une activité ATPasique.

Un filament de myosine mesure environ 10nm de diamètre et environ 1.5 μm de longueur ; il est constitué par un faisceau d'une vingtaine de molécules, décalées d'environ

Viandes et poissons

6nm l'une par rapport à l'autre, de telle sorte que leurs extrémités volumineuses forment des projections ou « doigts » disposés en spirale tout autour du faisceau (**Figures 3 et 5**) ; ce sont ces doigts oscillants qui réalisent la contraction du muscle : ils s'accrochent aux sites actifs des filaments d'actine, tirent ceux-ci sur une certaine distance (environ 10nm), les abandonnent, reviennent à leur position initiale, s'accrochent en un autre point du filament d'actine, le tirent encore d'un « cran », et ainsi de suite. La vitesse de la contraction musculaire implique qu'un doigt accomplisse 50 à 100 tractions par seconde, ce qui est compatible avec la vitesse de l'action ATPasique de la myosine ; c'est en effet l'hydrolyse de l'ATP qui fournit l'énergie nécessaire à la contraction du muscle.

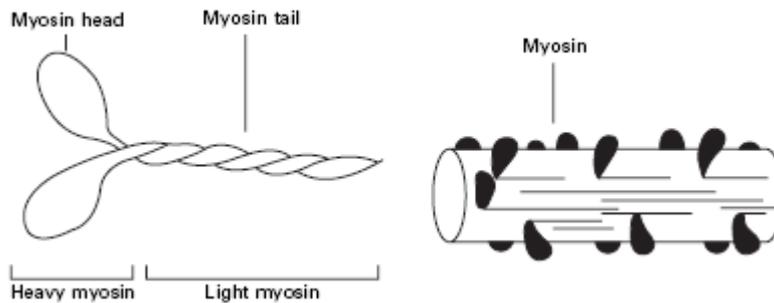


Figure 3 : Myosine

II.2.2. L'actine

L'actine se rencontre sous deux formes : l'une globulaire, G-actine, qui résulte de la polymérisation de la première en filaments constitués par deux chaînes enroulées en double hélice et comprenant chacune 300 à 400 monomères, tous orientés dans le même sens (**Figures 4 et 5**). Ces filaments, dont le diamètre est d'environ 5nm et la longueur 2 μ m, comprennent aussi d'autres protéines, disposées le long de l'hélice de F-actine, notamment la tropomyosine, la troponine et l' α -actinine ; les deux premières sont sensibles aux ions Ca^{++} et participent par ce fait au déclenchement de la contraction, la dernière intervient dans la jonction entre le filament d'actine et la strie Z.

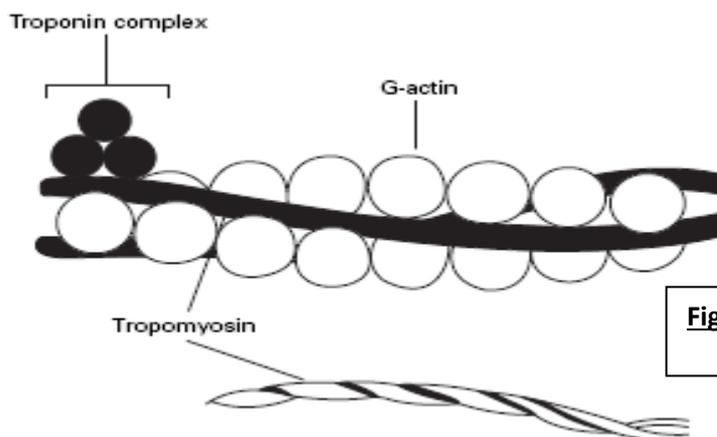


Figure 4 : Filament d'actine

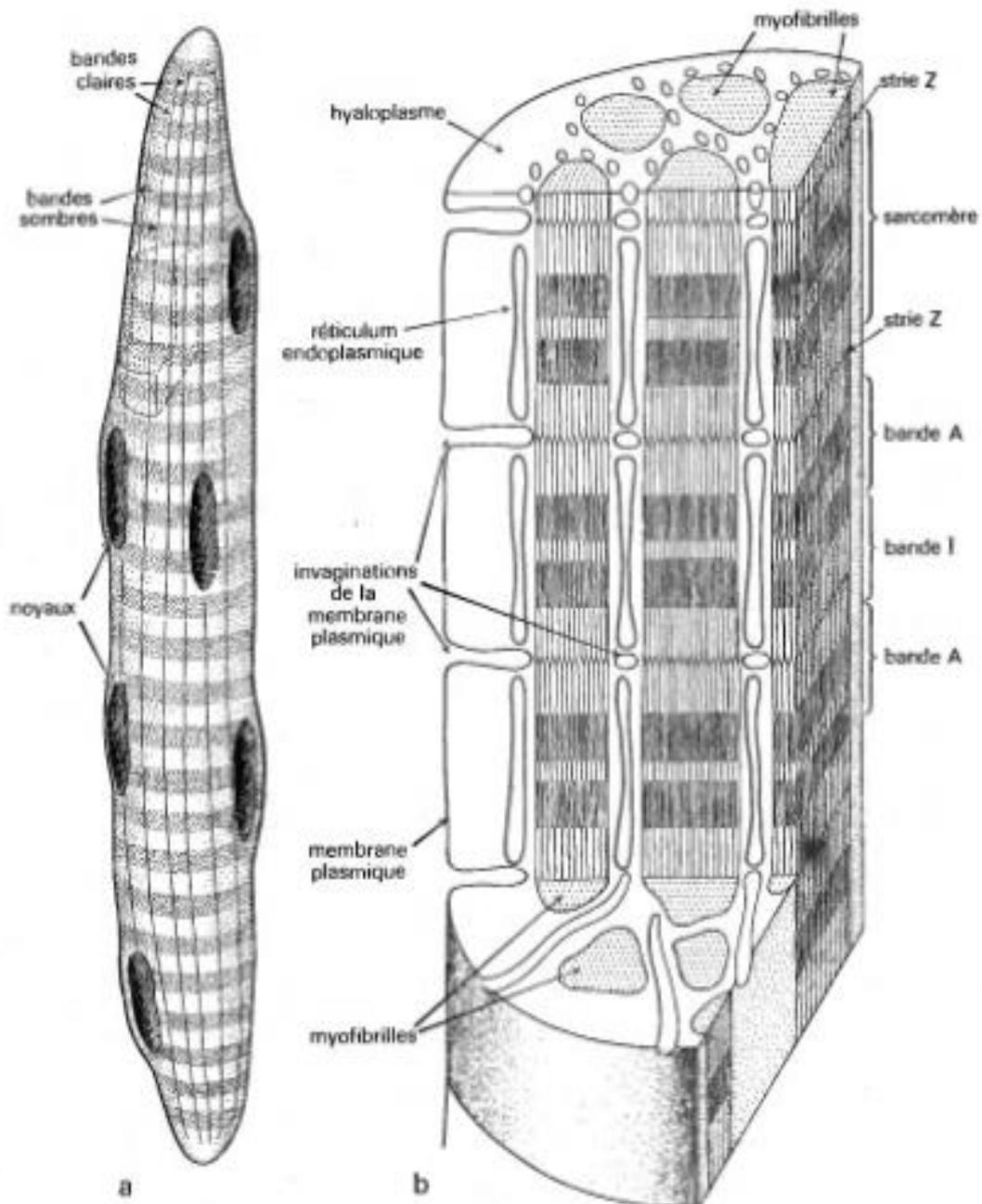
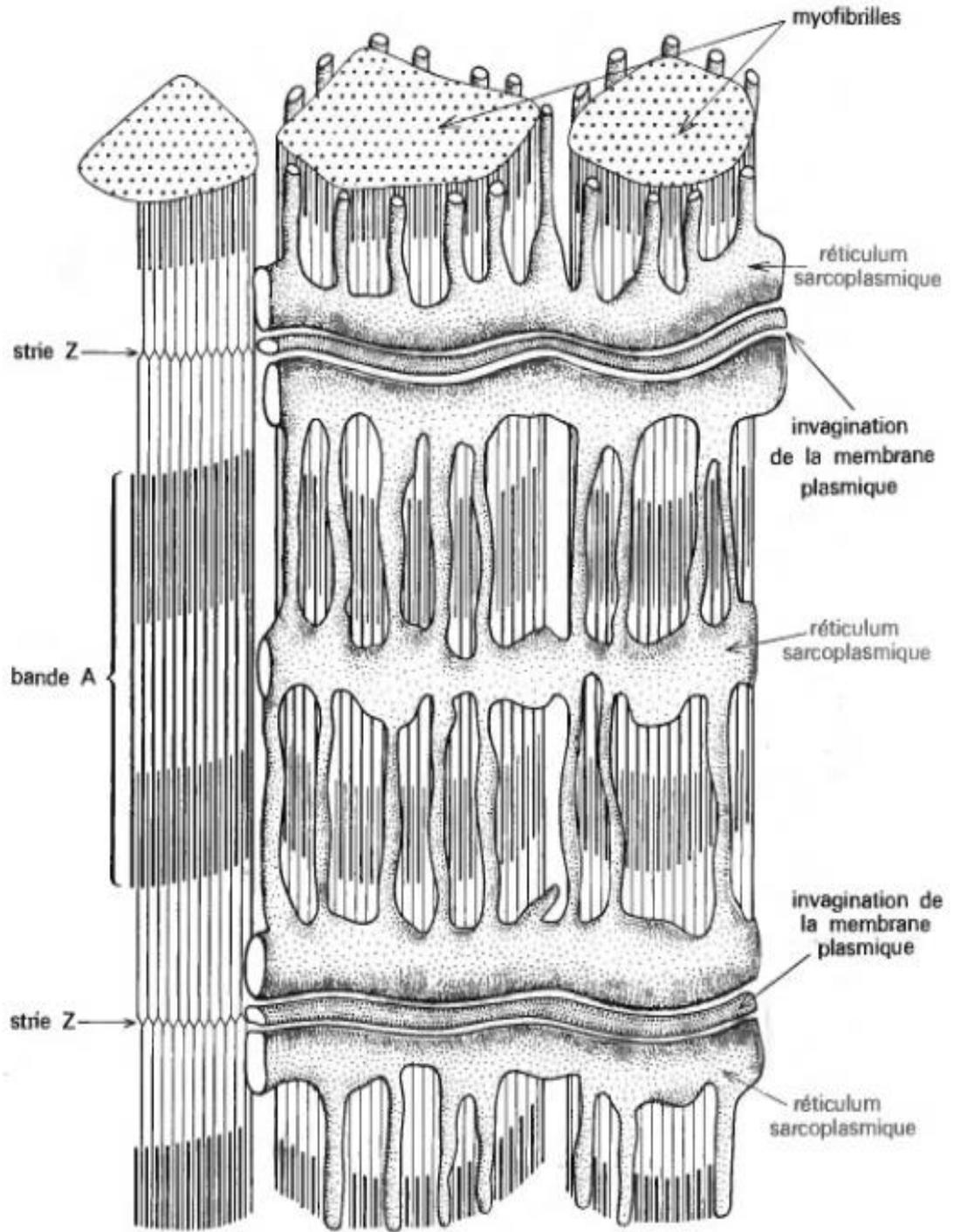


Figure 7 : Réticulum endoplasmique des cellules musculaires striées. Ce réticulum, appelé encore réticulum sarcoplasmique, entoure les myofibrilles et joue sans doute le rôle de réseau distributeur de calcium et d'ATP, nécessaire à la contraction. Il est accolé perpendiculairement à de profondes invagination de la membrane plasmique.

Viandes et poissons



Viandes et poissons

Muscle blanc et muscle rouge

Ils sont caractérisés par une plus ou moins grande proportion de fibre rouges et de fibres blanches qui, mis à part leur couleur, se distinguent par leur vitesses de contraction et leur type métabolique. A l'inverse des fibres blanches, les fibres rouges présentent les caractéristiques suivantes :

- Contraction lente et prolongée ;
- Forte vascularisation et richesse en myoglobine
- Processus respiratoires importants et fonctionnement en aérobiose ;
- Processus d'oxydation des graisses insaturées rapide (viandes sapides).

Dans chaque muscle coexistent toujours des fibres rouges et des fibres blanches ayant donc une composition et un métabolisme différent. C'est leur proportion relative qui détermine le type de muscle qui par ailleurs présente des différences morphologiques.

I.1.2. Poisson

Le muscle du poisson est également constitué d'un tissu musculaire et d'un tissu conjonctif, mais leur organisation est différente de celle du muscle de viande. En effet, l'interpénétration de ces deux tissus est moins forte. Par ailleurs, les muscles de poisson ont une structure métamérique. La chair de poisson est formée de muscles longs divisés en feuillets de forme conique, dont le sommet est dirigé vers la tête (tissu musculaire). D'une longueur égale ou inférieure à 3cm, les feuillets également appelés myotomes, sont emboîtés les uns dans les autres mais restent séparés par des cloisons de tissus conjonctif, les myocomes. Il y a environ 10% de muscle brun, muscle moteur lent et aérobie, riche en hémoprotéines (qui catalysent l'oxydation des lipides après la mort).

Les protéines de structure représentent 65 à 75% des protéines totales ; la myosine (environ 40%), qui varie d'une espèce de poisson à l'autre, y est plus difficile à séparer de l'actine (15 à 20%), et est plus riche en groupement -SH libres ; elles est plus sensible aux enzymes protéolytiques, à la chaleur, à la dessiccation, que la myosine du muscle des animaux à sang chaud. L'actine au contraire est moins variable, et plus proche de son homologue des mammifères.

Viandes et poissons

Tableau 3 : comparaison en protéines des muscles de viande et de poisson (en g pour 100g de protéines totales).

	Muscle de poisson	Muscle squelettique de mammifère
Protéines sarcoplasmiques (fraction soluble)	20 - 35	30 – 35
Protéines myofibrillaires (fraction peu soluble)	60 - 75	50
Protéines du stoma (protéines extracellulaires)	3 - 10	15 - 20

La matière grasse du poisson est localisée différemment dans un poisson maigre ou gras. Chez le poisson gras, les lipides servent surtout de réserves énergétiques et se trouvent dans les tissus sous-cutanés, dans les viscères et dans le tissu conjonctif. Chez le poisson maigre, une faible proportion des lipides entre dans la constitution des membranes cellulaires et donc dans le tissu musculaire, le reste se trouvant dans les viscères. Les lipides du tissu musculaire sont des phospholipides. Ils ne constituent pas une réserve énergétique mais peuvent être utilisés en tant que tel par les poissons à chair blanche pendant les périodes de diète prolongée.

Les muscles de poisson sont dits maigre quand leur composition moyenne en lipides ne dépasse pas 1%, gras lorsqu'elle est supérieure à 5%, et intermédiaires lorsqu'elle est comprise entre 1 et 5%.

Globalement, la teneur moyenne en lipides dans le muscle de poisson est plus faible que celle du muscle squelettique de la viande. Inversement, la teneur en eau du poisson est un peu plus élevée, ce qui le rend plus vulnérable aux altérations microbiologiques.

❖ Une spécificité du poisson : ses gras polyinsaturés

La grande richesse en acides gras polyinsaturés du poisson (Tableau 4) lui confère des propriétés nutritionnelles particulièrement intéressantes pour prévenir les maladies cardiovasculaires. En revanche, les nombreuses insaturations rendent les produits aquatiques très vulnérables vis-à-vis des phénomènes d'oxydations. Cette richesse en acides gras polyinsaturés est une limite à la conservation des poissons gras, même à l'état congelé, puisqu'une fois initiés, les phénomènes d'oxydation sont très peu ralentis par les températures basses et la réduction de l'activité de l'eau (a_w).

Viandes et poissons

Tableau 4 : Comparaison en acides gras saturés et insaturés de quelques produits halieutiques (en% de lipides totaux).

Produits	Saturés	Insaturé	Mono-insaturé	Poly-insaturés
Foie				
Aiguillat	20.4	71.2	55	16.2
Morue	15 à 19	76 à 80	47 à 60	21 à 29
Huiles				
Anchois	30.5	69.7	32.6	37.1
Hareng	26.1	73.5	55	16.2
Maquereau	27.5	72.5	48.9	23.6

I.2. Biochimie de la contraction musculaire

La contraction musculaire se traduit par un glissement de filaments minces entre filaments épais, sans modification de la longueur (**Figures 3**). Les réactions qui entrent en jeu dans la contraction musculaire sont très complexes et encore imparfaitement connues. La force motrice vient de la liaison des têtes de myosine sur un site de fixation dans l'actine, suivi d'une modification de structure des têtes.

En présence d'ATP et d'ions Mg^{++} , mais aussi longtemps que les ions Ca^{++} sont retenus dans le réticulum sarcoplasmique, la myosine ne manifeste pas d'activité ATPasique et le muscle est en relaxation : il n'y a donc dans ces conditions aucun empêchement au glissement des filaments d'actine le long de ceux de myosine sous l'effet d'une force externe. Les deux protéines seraient sous la forme de deux complexes : myosine- Mg^{++} -ATP et actine-ADP.

Toujours en présence d'ATP et de Mg^{++} , lorsque le réticulum sarcoplasmique relâche des ions Ca^{++} en réponse au stimulus nerveux, l'activité ATPasique de la myosine se manifeste, l'hydrolyse de l'ATP libère de l'énergie (environ 10 kcal par mole) et la contraction musculaire se produit par l'interaction temporaire myosine-actine. Ensuite le calcium est repris par le réticulum sarcoplasmique, et la contraction prend fin à condition qu'il y ait toujours de l'ATP et des ions Mg^{++} disponibles. La contraction commence dès que la concentration en ions Ca^{++} atteint $10^{-7}M$, et s'arrête quand celle-ci descend au-dessus de ce niveau (**Figures 4**).

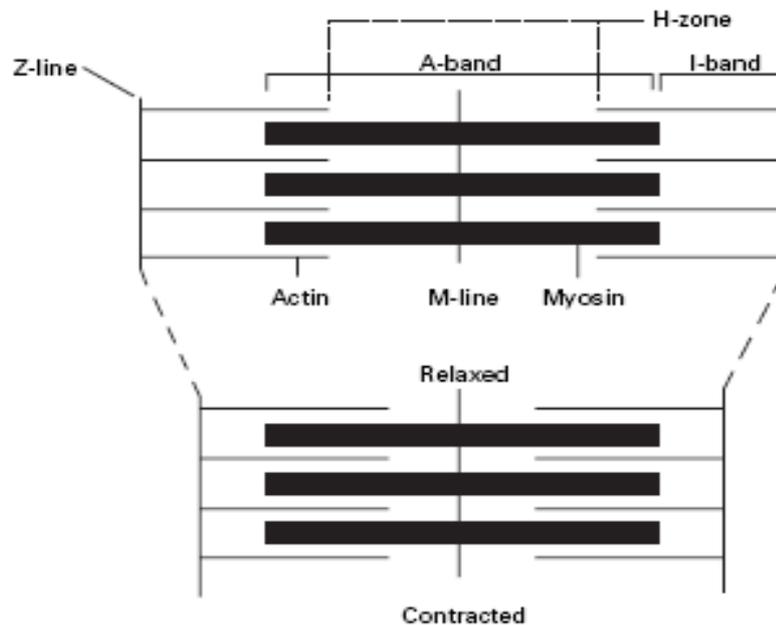
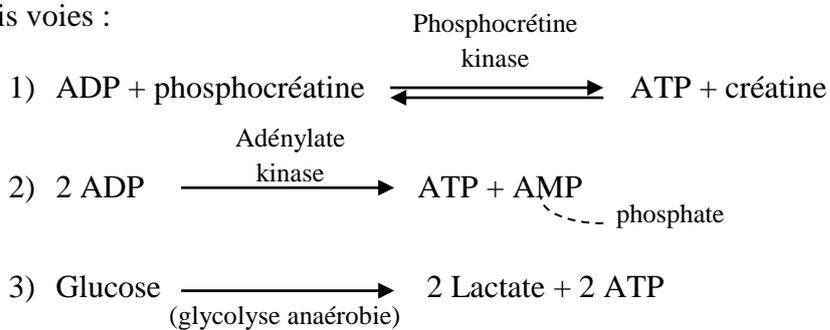


Figure 3 : Contraction musculaire

Normalement, la teneur en ATP reste à peu près constante ; ce composé se forme en effet par trois voies :



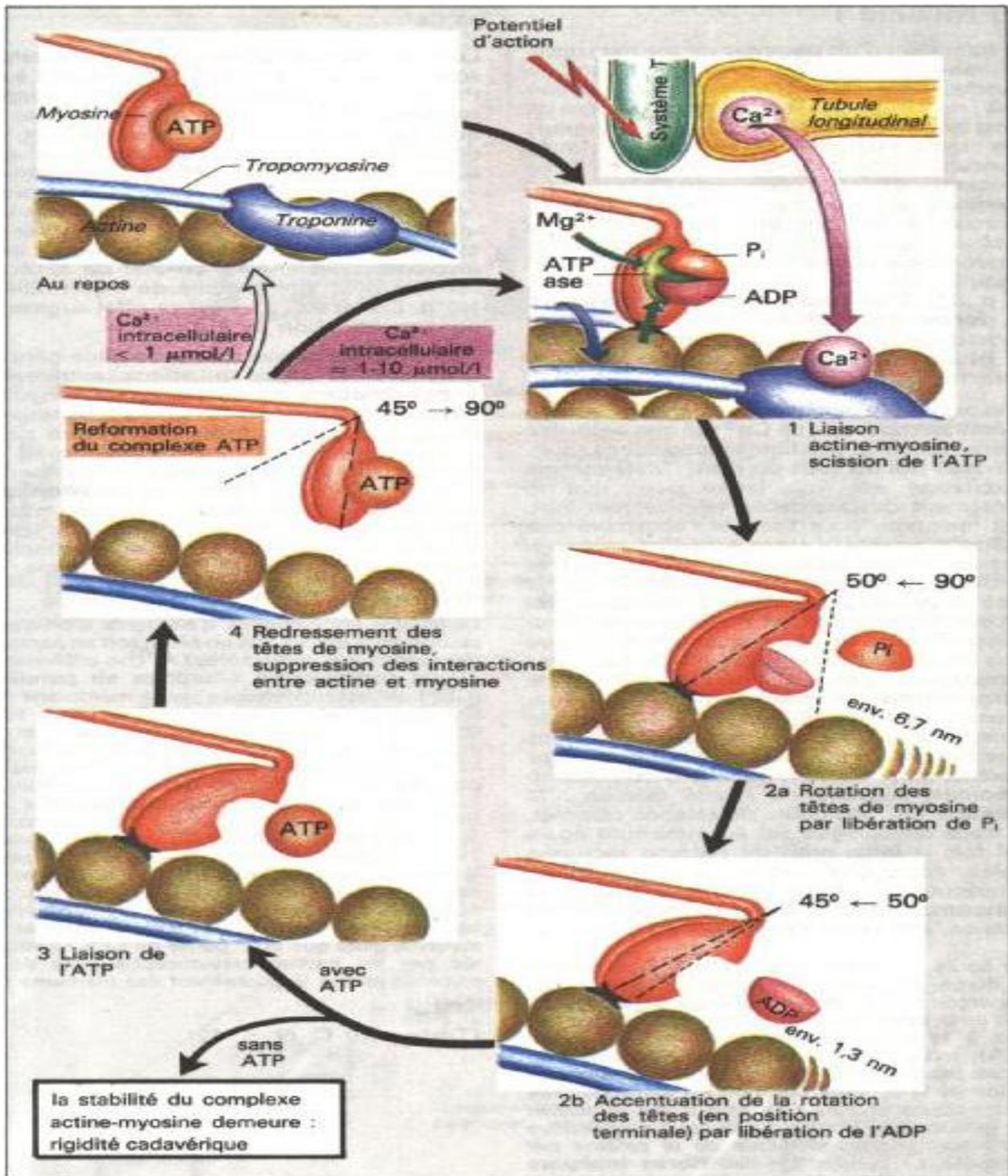


Figure 4 : Mécanisme moléculaire de la contraction par glissement des filaments (contraction isotonique).

Viandes et poissons

Les deux premières réactions interviennent immédiatement ; la troisième entre en jeu quand l'apport d'oxygène par le sang n'est plus suffisant pour que le métabolisme demeure aérobie, ce qui arrive par exemple lors de la contraction violente du muscle normal. La contraction musculaire est donc accompagnée de l'apparition de créatine et de phosphate, d'une baisse de la teneur en glycogène (lequel fournit le glucose) et de la formation de l'acide lactique.

Au cours de la récupération aérobie (repos ou travail musculaire modéré), l'acide lactique disparaît, et de l'ATP est formé par l'intermédiaire de l'acide pyruvique (cycle de Krebs) et sert à rétablir la réserve de phosphocréatine (**Figure 5**).

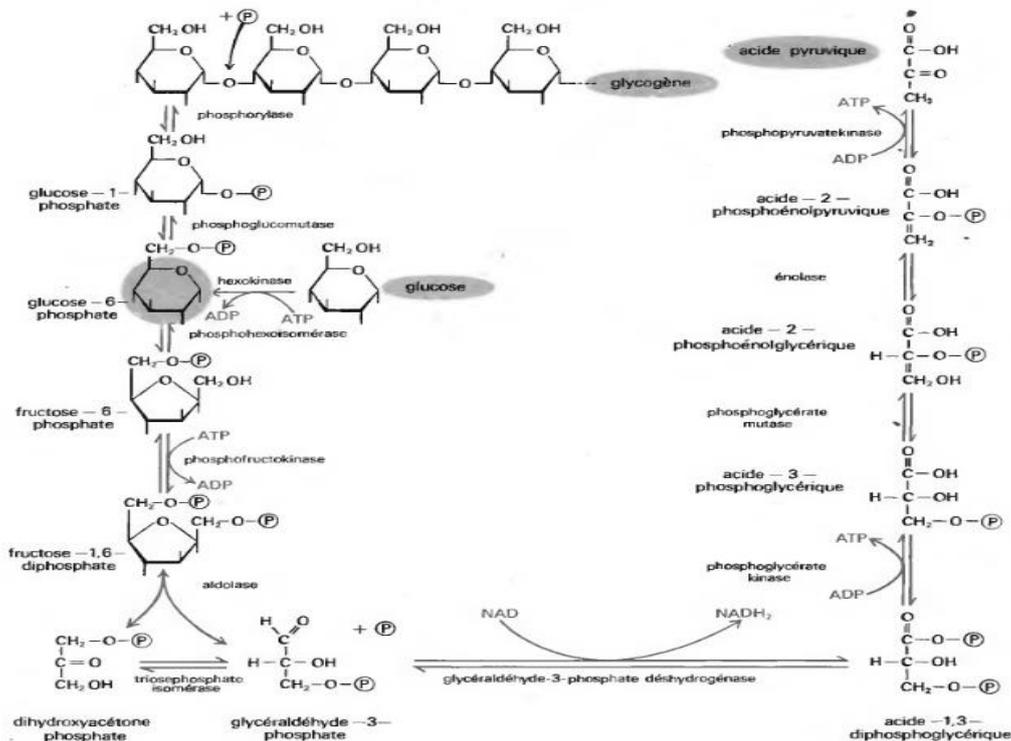


Figure 5 : Etapes successives de la glycolyse.

I.3. Le système protéique musculaire après la mort

Nous avons insisté, à propos des réactions que nous venons de décrire, sur une condition importante : la présence d'ATP et d'ions Mg^{++} .

En absence d'ATP, en effet, l'actine et la myosine se lient de façon irréversible ; il en résulte la rigidité cadavérique (ou rigor mortis) qui intervient après la mort de l'animal.

L'arrêt de la circulation sanguine prive le muscle de l'apport d'oxygène : la respiration cellulaire s'arrête, le potentiel d'oxydo-réduction passe d'environ +250 à environ -50mV, et la glycolyse anaérobie s'installe ; dans ces conditions le glycogène, au lieu d'être dégradé en eau

Viandes et poissons

et anhydride carbonique avec régénération d'ATP en quantité importantes à partir d'ADP, est transformé en acide lactique. Les quantités d'ATP produites lors de la glycolyse anaérobie ne suffisent plus à compenser les pertes résultant de son hydrolyse par l'ATPase sarcoplasmique ; la phosphocréatine disponible fournit bien de l'ATP, mais elle est vite épuisée. D'autres part, la formation d'acide lactique provoque un abaissement du pH, ce qui a pour effet d'inhiber progressivement diverses enzymes, notamment la phosphorylase ; en définitive la glycolyse s'arrête, même si la réserve de glycogène n'est pas complètement épuisée, et la teneur en ATP se rapproche de zéro. Actine et myosine se lient alors irréversiblement en actomyosine. Dans le muscle de bœuf ce processus demande environ 8 heures (après la mort de l'animal) à la température ambiante ordinaire.

Voici comment l'on peut résumer les transformations survenant dans le muscle après l'abattage, en tenant compte de la modification de la myoglobine :

1. Arrêt de la circulation sanguine.
 - Baisse de la teneur en oxygène.
2. Arrêt de la respiration cellulaire.
 - Baisse de la teneur en ATP.
 - Chute du pH.
3. Formation d'actomyosine (rigidité).
4. Agrégation des protéines (pI 5.5).
 - Chute de la rétention d'eau.

I.4. Les facteurs influençant la cinétique de la *rigor mortis*

Le degré de sévérité des phénomènes accompagnant la rigidité cadavérique dépend notamment de l'état nutritionnel de l'animal au moment de l'abattage, et de la température à laquelle les carcasses sont entreposées.

Chez l'animal affamé ou soumis à un stress, la réserve de glycogène est faible ; il s'ensuit une baisse rapide, après la mort, de la teneur en ATP du muscle. Le durcissement est alors maximum ; la capacité de rétention d'eau diminue aussi très notablement, même si l'abaissement du pH est relativement faible en raison du manque de glycogène. Cela entraîne d'ailleurs un sérieux inconvénient sur le plan microbiologique : une baisse importante du pH ralentit en effet considérablement la prolifération de la flore microbiologique de surface.

Lorsque la température de la carcasse n'est pas abaissée rapidement après l'abattage, le pH descend vite à un niveau très bas ; cela peut entraîner une telle dénaturation des protéines musculaires qu'une grande partie de l'eau du gel myofibrillaire est expulsée dans les espaces intercellulaires ou exsude hors du tissu. La texture de la viande est modifiée très défavorablement : lors de la mastication, l'eau est expulsée rapidement, et laisse un résidu fibreux et sec. Il y a parfois aussi une perte de poids et un changement d'aspect.

En revanche, si le muscle atteint 0 à 1°C avant l'apparition de la rigidité cadavérique, ou s'il est congelé et que la rigidité cadavérique ne se produit qu'à la décongélation, le

Viandes et poissons

durcissement est particulièrement rapide et intense et est précédé d'une contraction du muscle, surtout lorsque ce dernier n'est pas maintenu en extension par le squelette. Ce comportement serait dû à un relâchement d'ions Ca^{++} dans le sarcoplasme, ce qui donne lieu à une hydrolyse rapide de l'ATP encore présent en quantité élevée, et par conséquent à une libération d'énergie ; ces conditions, analogues à celles qui prévalent lors de la traction normale, provoquent aussi une contraction, et le durcissement ultérieur est d'autant plus prononcé que la surface d'interaction entre actine et myosine est grande.

On voit quelle influence ces phénomènes peuvent avoir sur la qualité de la viande. En pratique on fait en sorte de ne pas refroidir trop rapidement, de manière que le muscle entre en état de rigidité cadavérique à une température comprise entre 14 et 19°C ; c'est à cette température que la contraction est minimale. On évite également de congeler la viande avant qu'elle ait assumé complètement la rigidité ; à défaut, on doit veiller à décongeler très rapidement. On ne doit jamais cuire une viande en état de *rigor mortis*.

I.5. Mécanisme de la maturation de la viande

Au fur et à mesure que la viande vieillit, sa dureté s'atténue ; la texture après cuisson devient meilleure. Parallèlement, l'extractibilité des protéines musculaires –de l'actomyosine– par les solutions salines augmente, ainsi que la capacité de rétention d'eau.

Cette maturation ne semble pas résulter d'une dissociation des liens qui se sont établis entre actine et myosine, mais plutôt du détachement des filaments d'actines de la strie Z, sous l'influence soit de modifications ioniques, soit d'enzymes, les cathepsines, provenant des lysosomes fragilisés par l'abaissement du pH. Une meilleure connaissance de ces phénomènes permettra peut être de les diriger dans un sens favorable par les interventions au niveau de la force ionique, du pH, etc. ; on a par exemple constaté que l'injection avant l'abattage d'une solution de sulfate de magnésium réduit la perte de liquide qui accompagne la décongélation.

Les enzymes protéolytiques endogènes du muscle n'ont pas d'action sur les myofibrilles, ni sur le collagène, à moins que le tissu soit maintenu à 37°C ; on ne constate en effet aucune protéolyse notable de la viande pendant la maturation, que celle-ci ait lieu à 0 ou à 25°C.

Dans le cas de la viande de bœuf, la résolution de la rigidité cadavérique demande soit 3 à 4 semaines à -1.5°C, soit 15 jours à 0°C, soit 2 jours à 20°C, soit enfin 1 jour à 43°C.

L'atténuation de la dureté est d'autant meilleure que la rigidité était initialement moins sévère.

La maturation de la viande est accompagnée par diverses autres réactions : l'oxydation des lipides peut donner naissance à des odeurs indésirables ; au contraire la formation d'ammoniac, d'hydrogène sulfuré, d'acétaldéhyde, de diacétyl, d'acétone sont –dans certaines limites – favorables pour la saveur et l'arôme.

Au final, le muscle et la viande maigre diffèrent du point de vue biochimique et physico-chimique par :

- ✓ la teneur en ATP (très faible dans la viande) ;

Viandes et poissons

- ✓ la teneur en glycogène (0.8% dans le muscle, 0.02% dans la viande) ;
- ✓ la teneur en acide lactique (0.1% dans le muscle, 0.3% dans la viande) ;
- ✓ le pH (7.0/7.2 dans le muscle, 5.5/6.2 dans la viande).

I.6. Rigor mortis anormale et conséquence « cas de viande à coupe sombre.

C'est une viande anormale de couleur rouge sombre, fade au goût, peu appétissante et se conserve très mal (1 à 2% des bovins, 5 à 10% des taurillons). Son pH est anormalement élevé, les réserves en glycogène du muscle étant épuisées avant la mort. La viande à coupe sombre se rencontre chez les animaux ayant subi un stress avant abattage et, d'autant plus fréquemment que les animaux sont jeunes. Le stress produit des décharges de catécholamine, ce qui accélère la glycolyse. C'est pour cette raison que l'on conseille le transport des animaux quelques jours avant l'abattage. L'administration de tranquillisants avant le transport est également efficace mais interdit par la réglementation. Le pH ultime élevé favorise une forte hydratation (texture collante), une couleur foncée (faible réflectance) et un développement microbien explosif. Les causes à l'origine de cette viande anormale peuvent être :

- une excitation avant abattage ;
- la race : la Limousine est plus sensible que l'Holstein ;
- le mode d'élevage : les animaux élevés en plein air fabriquent plus de glycogènes et donnent moins fréquemment de viandes à coupe sombre.

I.7. La myoglobine, ses fonctions et ses modifications

Les myoglobines, pigments rouges du muscle de nombreux vertébrés et invertébrés, sont constituées par une chaîne polypeptidique, la globine, fixée par un résidu histidyl à un groupement hème ; ce dernier est formé par quatre noyaux pyrrole hétérocycliques entourant un atome de fer bivalent, et liés à celui-ci par leurs atomes d'azote. La myoglobine de bœuf a un poids moléculaire proche de 17800 (**Figure 6**).

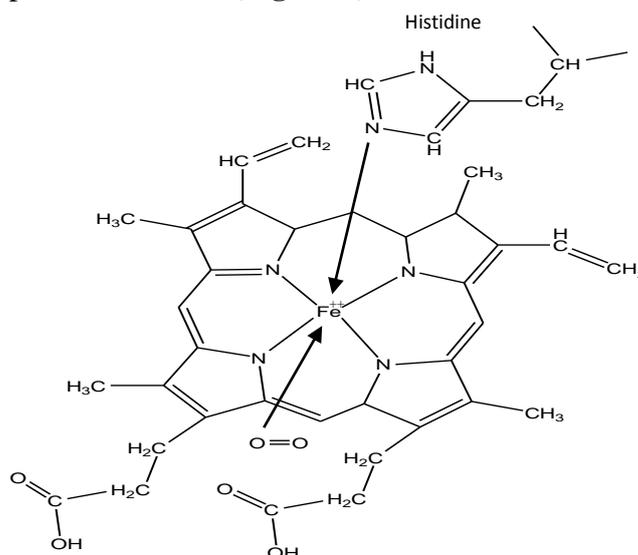


Figure 6 : Structure de l'oxymyoglobine

L'atome de fer⁺⁺ est lié à 5 atomes d'azote, dont 4 appartiennent à l'anneau porphyrinique formé par les noyaux pyrrole, et le cinquième au résidu histidyl de la globine ; la sixième liaison de coordination reste disponible, et peut fixer des molécules comme H₂O, O₂, NO, le fer demeurant à la valence 2.

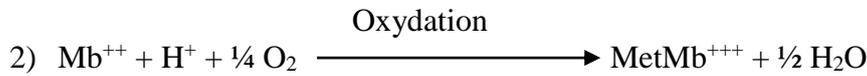
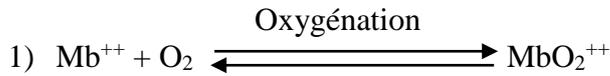
L'hémoglobine, pigment rouge du sang, a une structure analogue à celle de la myoglobine ; elle possède toutefois quatre groupements hème, et un poids moléculaire de 67000 environ.

La fonction essentielle de l'hémoglobine est de transporter l'oxygène des poumons aux tissus ; la myoglobine, dont l'affinité pour l'oxygène est plus forte que celle de l'hémoglobine, sert pour sa part à mettre en réserve dans le muscle l'oxygène qui est fourni par l'hémoglobine.

Dans la viande non soumise à un traitement quel qu'il soit, la myoglobine subit diverses transformations, que schématise la **figure 5**.

Viandes et poissons

Ainsi que l'indique ce schéma, dans certaines réactions la valence de l'atome de fer passe de 2 à 3 ; il s'agit cependant d'une oxydation assez particulière, qui est inhibée par l'oxygène. La myoglobine obéit en effet aux deux réactions suivantes :



Or la réaction 1) conduit à la formation d'oxymyoglobine, forme oxygénée particulièrement résistante à l'oxydation $\text{Fe}^{++} \rightarrow \text{Fe}^{+++}$, et au brunissement qui l'accompagne.

La formation de metmyoglobine est accélérée aux faibles pressions partielles d'oxygène, bien que certaines coenzymes réduites présentes dans la viande soient capables de retransformer la metmyoglobine en myoglobine. Le métabolisme résiduel du tissu, et le développement des micro-organismes, tendent de réduire l'oxygène disponible dans la viande. Pour conserver le plus longtemps possible la couleur rouge vif désirable à la surface de la viande entreposée sous régime de froid, il faut la laisser en contact avec l'air, par exemple en utilisant un emballage plastique perméable aux gaz.

Exposée à la lumière et à la température ordinaire, la viande perd sa couleur rouge vif en 1 à 3 jours ; mais elle peut la garder pendant une dizaine de jours si elle est entreposée à l'obscurité, à -1°C , et si la charge microbienne initiale est faible.

Lorsque la viande est soumise à des traitements tels que la cuisson, stérilisation, salaison, la myoglobine subit d'autres modifications que celles qui se manifestent dans la viande non traitée. La **figure 6** en rappelle les principales.

La molécule de NO, fournie par le nitrite ou provenant de la réduction, enzymatique ou bactérienne, du nitrate, est fixée par le Fe^{++} par les liaisons de coordination, tout comme la molécule H_2O de la myoglobine et celle de O_2 dans l'oxymyoglobine. C'est une particularité de Fe^{++} de l'hème de donner ainsi des composés rouges ou roses, stables et résistants à l'oxydation.

Ces traitements visent ainsi non seulement à inhiber la prolifération bactérienne et certaines actions enzymatiques, mais aussi à garder aux viandes une couleur rouge ou rose appréciée du consommateur.

L'acide nicotinique, et son amide, sui forment un complexe rouge stable avec la myoglobine, ne permettent pas de remplacer les nitrites, car ils n'ont aucun effet sur la croissance des micro-organismes.

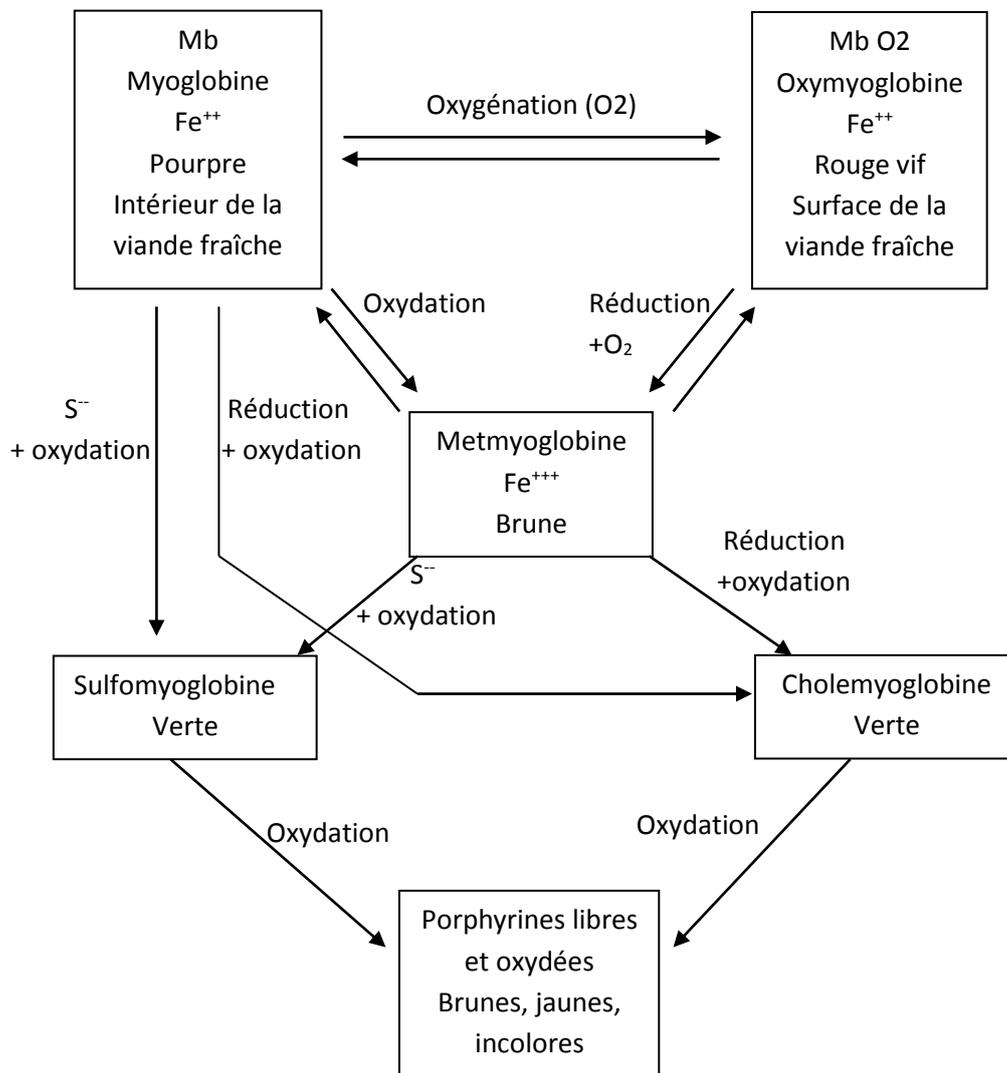


Figure 5 : Modifications de la myoglobine dans la viande non soumise à un traitement

Viandes et poissons

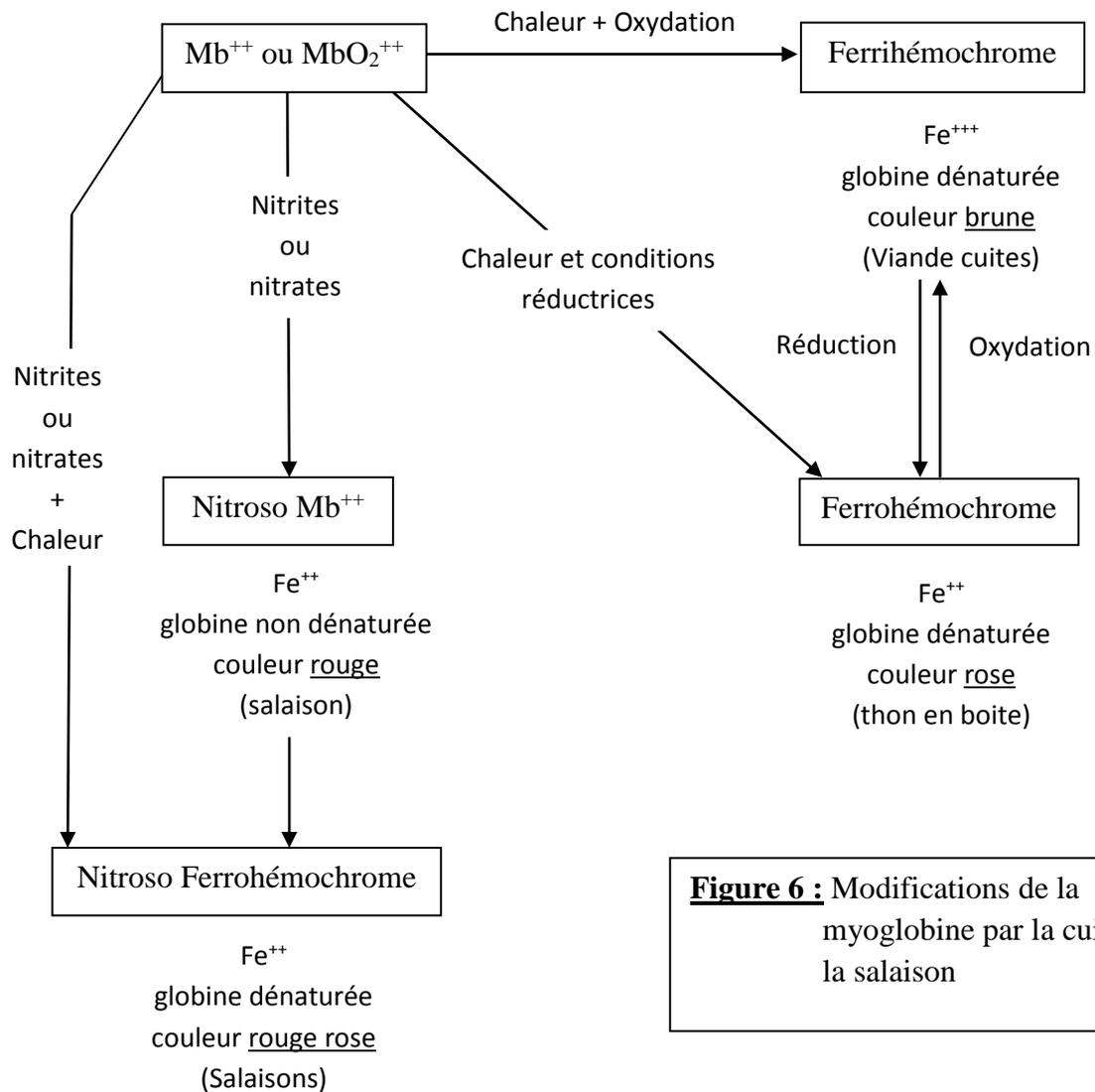


Figure 6 : Modifications de la myoglobine par la cuisson et la salaison

II. Les différentes technologies permettant la conservation de la viande et du poisson

II.1. Entreposage de la viande

Dans des conditions habituelles de maturation, dans une atmosphère d'air humide et froid, la formation à la surface de la viande du limon dû à la prolifération de bactéries aérobies cryophiles a lieu en une dizaine de jours à 0°C, 3-4 jours à 3°C et 1-2 jours à 10°C. une ventilation par l'air froid peut la retarder, mais provoque une déshydratation excessive ; on a recours par conséquent soit à des atmosphères conditionnées : humidité relative 80 à 90% et teneur en anhydride carbonique 10 à 20% (pour inhiber la croissance des *Pseudomonas*), soit à l'emballage dans des films plastiques possédant des caractères particuliers de perméabilité aux gaz : permettre le passage d'une certaine quantité d'oxygène, qui est favorable au maintien de la couleur rouge vif de l'oxymyoglobine ; empêcher une évaporation excessive ; mais éviter aussi l'accumulation d'humidité qui encourage la prolifération microbienne à la surface de la viande. Il n'y a pas, à ce sujet, de règle générales, car le choix du matériau d'emballage doit tenir compte de la dimension de la pièce de viande ; de la composition, de la température, et du taux de renouvellement de l'atmosphère ; de la durée de l'entreposage.

Les carcasses sont souvent entreposées sous film de polyéthylène ou des chlorure de polyvinyle rétrécissables et perméable aux gaz, ou mieux sous vide en films de chlorure de polyvinylidène imperméable à l'oxygène ; le métabolisme *post mortum* conduit, dans ce dernier cas, à l'établissement d'un rapport CO₂/O₂ favorable à la conservation. La viande découpée est emballée, pour la vente au détail, sous film de chlorure de polyvinyle, ou de cellophane avec revêtement imperméable à la vapeur d'eau ; la perméabilité à l'oxygène doit demeurer élevée (environ 5 litres O₂/m².24h, pour une humidité relative de 100% à l'intérieur de l'emballage et de 50% à l'extérieur) afin de maintenir le plus longtemps possible la couleur rouge qu'exige le consommateur. La conservation sous régime de froid de cette viande « préemballée » ne peut dépasser quelques jours, en raison surtout des modifications de couleur et du développement microbien en surface.

II.2. Congélation de la viande

La congélation réalisée correctement, suivi d'un entreposage à une température suffisamment basse permet de préserver pendant plusieurs mois la qualité initiale d'une viande.

La congélation des carcasses ou des grandes pièces de viande est réalisée dans une enceinte à air pulsé, à -30 à -40°C. Certains animaux (agneau par exemple) sont congelés tout de suite après l'abattage, et le plus vite possible ; une décongélation lente à basse température est alors nécessaire pour obtenir une bonne atténuation de la rigidité cadavérique. Les carcasses de bœuf au contraire sont d'abord réfrigérées, puis congelées lentement. Lors de la congélation dans l'air pulsé, il est nécessaire de protéger la viande par un emballage fin pour éviter la dessiccation de la surface et une perte de poids. La viande destinée à la préparation des saucisses peut être congelée avant l'établissement de la rigidité cadavérique ; la

Viandes et poissons

décongélation s'obtient en hachant la viande : il n'y a dans ces conditions ni glycolyse, ni baisse de pH, ni diminution de la capacité de rétention d'eau.

Pour les petites pièces, on pratique la congélation le plus souvent dans les congélateurs à plaques. La vitesse de congélation ne doit pas être inférieure à 0.2cm/h pour éviter l'exsudation lors de la décongélation. Une congélation plus rapide n'est toutefois pas jugée nécessaire pour la qualité. La température d'entreposage doit être égale ou inférieure à -18°C. La viande doit être emballée en films plastiques imperméables à la vapeur d'eau pour éviter la dessiccation. Quant à l'oxygène, sa présence est favorable pour le maintenir prolongé d'une couleur rouge vif en surface, mais accroît le risque d'oxydation des lipides ; cette dernière n'intervient de façon notable qu'avec la viande hachée, les salaisons, les viande cuites avant congélation.

Processus de congélation de la viande : aspect thermique et cristallisation de l'eau

Le processus de congélation se caractérise par le changement d'état de l'eau liquide en glace sous l'action du froid, ou cristallisation de l'eau.

Dans un produit alimentaire, comme la viande, la congélation se traduit en premier lieu par une évolution de la température, non linéaire en fonction du temps et dépendant de la localisation dans l'échantillon. schématiquement, en un point donné du produit, trois étapes se succèdent :

- Le *stade de pré-congélation* au cours duquel la température diminue jusqu'à atteindre celle à laquelle commence la cristallisation ;
- Le *stade de congélation* proprement dit pendant lequel la plus grande partie de l'eau congelable se transforme en glace et la température diminue progressivement ;
- Le *stade de refroidissement* jusqu'à la température d'entreposage.

Le stade de congélation est caractérisé par :

- La *température de congélation* (ou de fusion) commençante ou température cryoscopique (T_c). Le tissu biologique se comporte en première approximation comme une solution diluée, or T_c diminue quand la concentration en solutés croît. Dans la viande, T_c est proche de -1.5°C. la température à laquelle commence à se transformer les premiers germes cristallins (nuclei), ou *point de congélation*, est inférieure à T_c , ce qui caractérise le phénomène de surfusion ou sous-refroidissement. Cette réduction initiale de la température résulte de l'énergie d'activation de la nucléation. Une fois la nucléation commencée, le système cède plus de chaleur latente que ce qui est strictement nécessaire à la croissance des cristaux et la température remonte rapidement jusqu'à T_c . Par la suite, si le régime thermique est suffisant, la température diminue progressivement pour toujours être au plus égale à T_c , qui diminue progressivement du fait de la cryoconcentration des solutés ;

- Le *taux de nucléation* qui est le nombre de nuclei formé par unité de temps. Il est d'autant plus élevé que le refroidissement est rapide : pour chaque Kelvin de sous refroidissement, le taux de nucléation est multiplié par 10 ;

Viandes et poissons

- La vitesse de croissance des cristaux, contrôlée en grande partie par le flux de chaleur évacué de la zone de cristallisation, mais aussi par la cryoconcentration des fluides intra- et extracellulaires en cours de congélation qui ralentit progressivement la croissance.

Lors de la congélation, la masse volumique du produit diminue lors de la congélation corrélativement à l'augmentation de volume qui est de l'ordre de 6% en fin de congélation. La conductivité thermique du produit augmente car celle de la glace est quatre fois plus élevée que celle de l'eau. La conductivité thermique des tissus adipeux est plus faible que celle des tissus musculaires et, dans ces derniers, elle est légèrement plus élevée si le flux de chaleur est parallèle au sens des fibres musculaires que s'il est perpendiculaire.

Dans le muscle, comme dans les produits en cours de congélation la proportion d'eau congelée augmente quand la température diminue. C'est ainsi qu'à -7°C l'eau sous forme de glace représente environ 80% de l'eau totale du tissu musculaire. Quand la température atteint -20°C , près de 90% de l'eau est à l'état solide, ce pourcentage n'augmentant pas notablement pour une température plus basse. Aux températures très basses, il y a soit formation d'un eutectique, soit transition vers l'état vitreux. La fraction d'eau non congelée diminue donc au cours de la congélation jusqu'à une valeur limite, de même que l'activité de l'eau et la température de cristallisation (T_c), tandis que la concentration en solutés augmente.

La taille finale des cristaux dépend à la fois des caractéristiques du produit (composition en soluté ; présence de sel notamment), du taux de nucléation, de la vitesse de croissance des cristaux et de la température finale. Elle est directement liée au régime thermique et donc à la vitesse d'avancement du front de congélation qui sépare les parties du produit en phase de pré-congélation et de congélation. Or, la vitesse d'avancement du front de congélation varie en fonction de la distance à la surface de l'échantillon et en fonction de la quantité de chaleur à extraire à chaque instant, cette dernière évoluant au fur et à mesure que la congélation progresse. Au cours de la conservation du produit congelé, les variations de la température provoquent successivement fusion et recristallisation de la glace et conduisent à une augmentation de la taille des cristaux.

Saucisson sec

Les divers types de saucissons secs présentent une production très importante, notamment en Italie et en France.

Ce sont des produits « à teneur moyenne en eau », dont la conservation est assurée à la fois par la teneur en sel et en nitrite, par le bas pH résultant d'une fermentation lactique, et par la faible activité d'eau conséquence de la dessiccation (et de la teneur en sels).

On emploie de la viande de bœuf, parfois aussi de cheval. On commence par hacher le maigre, puis la viande grasse, et on incorpore ensuite le lard en malaxant lentement ; on doit éviter de former une émulsion. Le sel, et éventuellement les épices, sont ajoutés à la fin. Le mélange ainsi préparé est souvent laissé « mûrir » pendant 24 à 48 heures à $3 - 4^{\circ}\text{C}$. Il est ensuite « repoussé » dans des tubes en matière naturelle ou artificielle - ces derniers de cellulose ou de collagène « régénéré » ; il faut veiller à remplir les boyaux sans laisser de bulles d'air. Les saucissons sont alors suspendus dans le séchoir. Le séchage est une opération

Viandes et poissons

délicate, qui doit être conduite en suivant un cycle approprié: d'abord une phase de « maturation », à 26 - 28°C et 80 – 90 % d'humidité relative pendant 2 à 3 jours, au cours de laquelle, en même temps qu'intervient la lipolyse, s'établit la fermentation lactique et le pH descend à 5.2 – 5.4. Plus le pH est proche du point isoélectrique des protéines musculaires, moindre est la capacité de rétention d'eau – ce qui évidemment facilite le séchage. L'opération est ensuite poursuivie à une température plus basse, 10 à 20 °C selon le cas, et avec de l'air plus sec, à 65 – 75 % d'humidité relative. Il faut sécher à la fois assez vite pour empêcher les altérations microbiennes, notamment la formation de limon en surface, et assez lentement pour éviter de créer une croûte qui empêcherait le séchage en profondeur et pourrait favoriser de ce fait le développement d'espèces anaérobies. Vers la fin du séchage la surface du saucisson se couvre d'une mince couche de moisissure blanche, la « fleur » (*Oidium sp.*) ; on peut en éviter la formation en traitant les boyaux par du sorbate de potassium. Le séchage demande 40 à 60 jours, et entraîne une perte de poids de l'ordre de 35 à 40 %. Le produit fini renferme environ 30 % d'eau, 25 % de protéines et 45 % de lipides, son a_w est de 0.75 à 0.85, et son pH voisin de 5.1 – 5.2.

Pâtes

Les pâtés de foie, etc. répondent à des formules variées. Ils se composent d'environ 50 % de gras, 20 à 40 % de viande ou abats, plus des ingrédients divers agissant comme émulsionnants : œufs, lait, caséine solubilisée, bouillon gélatineux, amidon, polyphosphates, ainsi que des épices et des aromates.

La viande est d'abord hachée, puis broyée finement dans une « cutter » ou dans un moulin colloïdal, on incorpore ensuite le lard, coupé en petits cubes, on ajoute de la glace ou du sérum congelé, pour éviter un échauffement lors du broyage, on incorpore enfin les autres ingrédients et on malaxe la pâte sous vide de manière à éliminer l'air. Il est utile de « pocher » les morceaux de lard en les plongeant quelques instants dans l'eau bouillante avant de les mélanger à la viande, cela a pour effet de coaguler les protéines des parois des cellules du tissu adipeux, et de diminuer l'exsudation de la graisse lors de la stérilisation.

La pâte est ensuite répartie dans les boîtes au moyen de remplisseuses- doseuses volumétriques, puis les boîtes sont fermées, stérilisées et refroidies.

Un défaut qui se présente souvent avec les petites boîtes de pâté est le flochage physique, par surpression interne résultant d'une température de fermeture trop basse. On l'évite facilement en pratiquant le remplissage à chaud.

L'emploi du moulin colloïdal a conduit à préparer des pâtes broyées si finement que l'examen histologique ne permet plus d'y reconnaître les éléments des divers tissus, en même temps l'addition de polyphosphate, de caséinates et d'autres adjuvants a rendu possible l'obtention d'émulsions non seulement plus stables, mais de plus en plus riches en eau. À côté de pâtés d'excellente qualité on en trouve ainsi d'autres qui sont essentiellement des émulsions de graisses dans l'eau, où l'ingrédient viande est à peine présent.

Viandes et poissons

Les protéines solubles (ou solubilisées par le sel) jouent un rôle émulsifiant en formant une couche autour des particules de matières grasses.

Parmi les pâtés, il faut mentionner la « mousse (ou crème) de foie gras », préparation à pâte broyée finement, appertisée, qui doit renfermer au minimum 25 % de foie gras (Décision n° 38 du Centre Technique des Conserves de Produits Agricoles).

Le « *luncheon meat* », ou gélatine de viande, est aussi une sorte de pâté, fortement chargé de féculents et de gélatine, additionné de polyphosphates, dans lequel le gras est dispersé en morceaux relativement gros. Conditionné en boîtes de formes parallélépipédiques, il est stérilisé de préférence en autoclave à panier tournant pour éviter la séparation de la graisse.

Les *rillettes*, comme les confits d'oie ou de canard, représentent une méthode de conservation qui associe la pasteurisation à l'enrobage dans la graisse. Le procédé consiste à cuire longuement dans la graisse les morceaux de viande, jusqu'à élimination à peu près complète de l'eau des tissus. La conservation est assurée par le long chauffage, par l' a_w très basse, et par l'écran que forme la graisse contre les contaminations extérieures. Ce mode opératoire traditionnel était indispensable, et est toujours pratiqué, pour la conservation en terrine. L'emploi de boîtes à fermeture hermétique a permis de préparer des rillettes moins déshydratées, dont la conservation est obtenue par stérilisation à l'autoclave.

Saucisses

Pour la fabrication des saucisses à cuire de type Strasbourg ou Vienne (bœuf), la viande, en général après une brève salaison, est hachée, puis malaxée avec du lard et divers autres ingrédients, comme pour la préparation des pâtés à texture très fine. L'addition de polyphosphate accroît la stabilité de l'émulsion au chauffage. A propos de l'utilisation de la viande congelée, l'intérêt qu'il y a, pour la préparation des saucisses, à congeler la viande avant la rigidité cadavérique, et à la décongeler en la passant au hachoir ; en effet la capacité de rétention d'eau de la myosine est considérablement abaissée par la *rigor mortis*.

L'émulsion est ensuite introduite, au moyen d'un « poussoir », dans un boyau naturel (intestin de mouton) ou artificiel (cellulose par exemple). Le boyau maintient la pâte et évite des pertes d'eau et de graisses lors des traitements ultérieurs. Dans la plupart des cas, il est comestible. Au fur et à mesure du remplissage, le boyau est ficelé automatiquement en tronçons de la longueur prévue.

Selon le type de saucisse on procède ensuite à une cuisson, un fumage, un séchage (avec maturation, comme pour le saucisson sec). Les saucisses type Francfort sont cuites dans l'eau, puis fumées ; la cuisson provoque la coagulation d'une couche protéique superficielle ; si les saucisses sont conservées en boîtes, on peut alors éventuellement enlever le boyau au préalable ; à défaut, on le perce de petits trous, pour éviter qu'il n'éclate au cours de la stérilisation. Les saucisses peuvent également être emballées sous film plastique et conservées réfrigérées.

Viandes et poissons

Un procédé mis au point plus récemment permet d'éviter l'emploi de boyaux. La pâte est injectée dans un moule et chauffée jusqu'à coagulation ; l'obtention d'un degré de coagulation approprié dépend essentiellement de l'état de la myosine, et plus spécialement de l'absence de dégradation protéolytique de la molécule de myosine.

Une connaissance plus approfondie des propriétés des protéines musculaires permettra sans doute d'expliquer les propriétés fonctionnelles de la viande de bœuf, telles que rétention d'eau, émulsification des lipides, coagulabilité par la chaleur. Il sera alors peut être possible d'améliorer ces propriétés fonctionnelles par le jeu de modifications de pH, de force ionique, etc., et éventuellement de les conférer aussi à des protéines végétales ou microbiennes qui en sont normalement dépourvues.

« Corned beef »

Le corned beef a été jadis le sous-produit de la préparation de l'extrait de viande ; il doit son nom au gros sel, qui était appelé « corn » (=maïs) aux Etats Unis.

La matière première est la viande de bœuf, congelée ou non ; on préfère les morceaux riches en tissus tendineux, car ils donnent un produit plus moelleux. Après désossage et parage, la viande est découpée en lanières de 3 à 5 cm de largeur, et mise à cuire dans une saumure à 10 % de chlorure de sodium et 0.5 – 1 % de nitrate de potassium. On cuit pendant 30 à 60 minutes, jusqu'à ce que la viande ait perdu environ 35 % de son poids. La viande est ensuite parée, pour éliminer les vaisseaux et les nerfs, hachée grossièrement, malaxée avec la proportion prévue (5 à 10 %) de gras, et répartie dans les boîtes. Le produit doit être tassé fortement, sans bulles d'air, faute de quoi il ne se laissera pas débiter en tranches et risquera de se détériorer du fait de l'oxydation des lipides ; il existe des remplisseuses spéciales, dont une de conception et de construction française. Après remplissage, les boîtes sont fermées sous vide, stérilisées à 115 °C et refroidies.

Autres préparations de viandes

La tendance actuelle à réduire au minimum le travail culinaire domestique et à prendre au moins l'un des repas en dehors du domicile a eu pour effet de développer beaucoup la préparation de mets prêts à être consommés ou ne nécessitant qu'un bref chauffage : plats cuisinés variés, pâtes farcies. Ces produits sont fabriqués industriellement sur une grande échelle pour servir, à l'état frais, à l'approvisionnement de certaines et de chaînes de restaurants ; ou bien ils sont conservés par congélation ou par appertisation pour la distribution au bétail. Dans de telles conditions l'art culinaire devient technologie alimentaire, car les problèmes qui se posent à propos des matières premières, des cadences de fabrication, du rendement, de la constance des caractères, du contrôle, sont analogues à ceux que l'on a à résoudre dans une usine.

Viandes et poissons

Volaille

•Poulets

La production en quelques 8 semaines de poulets d'environ 1.5 Kg est réalisée à partir de races sélectionnées, dans des poulaillers où les conditions de température, d'humidité, d'hygiène, d'alimentation sont étroitement réglées.

Certains ateliers permettent la préparation et la congélation de 10.000 poulets à l'heure. Les animaux, à jeun depuis 12 heures, sont suspendus à un monorail et successivement tués par choc électrique, saignés, plongés dans l'eau chaude pour faciliter le plumage par des doigts vibrants en caoutchouc, éviscérés, inspectés, lavés, refroidis, séchés superficiellement, emballés et éventuellement congelés. Pour la congélation, on emploie des emballages imperméables aux gaz, afin de ralentir l'oxydation des lipides.

La durée de conservation à l'état réfrigéré dépend de la charge bactérienne superficielle ; si celle-ci est au départ de 10.000 germes par cm², la conservation à 4 °C est de 5 à 6 jours.

La saveur de la chair de poulet dépend de l'alimentation surtout pendant les dernières semaines. Quant à la texture, elle dépend de l'atténuation de la rigidité cadavérique, ce qui demande une dizaine d'heures ; un traitement de « maturation » est cependant superflu lorsqu'on a affaire à des animaux jeunes et tendres.

•Fois gras

Les préparations à base de foie gras tiennent en France une place si importante par leur valeur, qu'il n'est guère possible de les passer sous silence. Le terme foie gras désigne le foie, dégénéré par hypertrophie graisseuse, que l'on obtient en gavant des oies. Il s'agit d'un élevage difficile et coûteux, qui exige beaucoup de main d'œuvre d'où le prix très élevé du foie gras.

L'élevage des oies et la production du foie gras ont été décrits dans une plaquette du Centre Technique des Conserves de Produits Agricoles, et les diverses préparations de foie gras sont définies dans les Décisions n°29 et 32. Il est peut être utile de signaler que le pâté de foie gras est en fait du foie gras, entier ou en morceaux, entouré d'une barde de lard et (ou) d'une farce dont la proportion ne doit d'ailleurs pas dépasser 25 %.

Les foies sont triés, parés (on enlève notamment la vésicule biliaire et les vaisseaux sanguins), trempés dans une saumure légère afin surtout d'enlever le sang. Ensuite, on les place dans des terrines ou des boîtes, éventuellement après les avoir soumis au préalable à un léger pochage. On procède alors à la cuisson, au four ou à l'étuve dans le cas des terrines, dans un bac d'eau bouillante ou à l'autoclave dans le cas des boîtes.

La difficulté principale est d'éviter la séparation de la graisse lors du chauffage. Cela dépend tout d'abord de la matière première elle-même ; on choisit de préférence des foies gras dont le poids ne dépasse pas les 700 à 800 g, de couleur ocre rosée. Mais de toute façon on ne peut élever la température au dessus de 105 °C sans compromettre la texture, qui constitue un des caractères organoleptiques essentiels du foie gras. Il faut par conséquent se limiter à une

Viandes et poissons

pasteurisation, et de ce fait le foie gras est une *semi conserve*, l'étiquetage doit porter la mention « à garder au frais » ; et le produit doit être maintenu constamment à une température ne dépassant pas 10 °C.

Poisson

• Principaux poissons alimentaires

A l'exception des rares cas d'élevage (carpe, truite), et de quelques espèces (saumon, anguille) que l'on capture à l'embouchure de fleuves, la plupart des poissons de mer sont pêchés relativement loin des côtes ; il faut par conséquent, soit les préserver temporairement pour pouvoir les transporter jusqu'à terre, soit les traiter dès la capture dans des bateaux spécialement équipés.

Les espèces ayant une grande importance du point de vue industriel (autrement que pour la préparation de farine ou d'engrais) sont relativement peu nombreuses.

Parmi les poissons dits « gras » on peut mentionner les familles des clupéidés, avec le hareng, le sprat, la sardine, l'anchois ; des scombridés, avec les thons et les maquereaux ; des salmonidés. Ces espèces constituent la principale matière première des industries du saurissage et des conserves de poisson. Leur chair musculaire est souvent riche en lipides présents sous la forme de globules gras extra-cellulaires de réserve ; la teneur en graisse varie considérablement d'une saison à l'autre, en fonction du cycle sexuel, par exemple de 1 à 20 % chez la sardine, mais se maintient à des valeurs moyennes pendant la meilleure saison de pêche.

Chez les poissons « maigres », dont la teneur en lipides ne dépasse pas 5 %, et où les phospholipides intracellulaires représentent 65 % de la matière grasse, la première place revient à la morue, dont on sale et sèche de grandes quantités. Viennent ensuite divers poissons de chalut, dont d'autres gades (cabillaud, merlu, etc.), qui sont vendus à la marée ou transformés en filets que l'on congèle.

La chair de poisson contient des protéines de valeur biologique élevée ; elle est riche en vitamine du groupe B et en iode et, chez les poissons gras, riche également en vitamine A et D. Chez les poissons maigres, au contraire, ces deux vitamines ne sont présentes que dans le foie, à des concentrations d'ailleurs très élevées (ce qui rend cet organe parfois très toxique).

• Grandes altérabilité du poisson. Réfrigération

Dès la mort, les tissus musculaires du poisson sont le siège processus de dégradation particulièrement rapides du fait de l'action d'enzyme endogènes et de bactéries. Ces dernières, présentes en très grand nombre sur la peau et dans l'intestin, se répandent et se multiplient dans les autres tissus, où le pH relativement élevé et l'abondance de substrats de faible poids moléculaire (acides aminés, amines) créent un milieu favorable à leur prolifération ; celle-ci donne lieu à l'apparition de composés volatils malodorants, notamment triméthylamine (formée à partir de l'oxyde triméthylamine naturellement présent dans les poissons), méthyl-mercaptans, sulfure de diméthyle, hydrogène sulfuré, ammoniac. Par

Viandes et poissons

ailleurs, les protéases tissulaires et les protéases bactériennes provoquent un ramollissement rapide du muscle ; en même temps, la diffusion des hémoprotéines modifie la couleur de la chair, et les lipides s'hydrolysent et s'oxydent.

Ces transformations sont ralenties, mais non arrêtées, par un abaissement de la température ; les *Pseudomonas* ne cessent de proliférer qu'à environ $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, et plusieurs enzymes, les lipases notamment, demeurent actives même dans le poisson congelé. On comprend que, dans ces conditions, la simple réfrigération ne puisse pas permettre de conserver longtemps du poisson dans un état satisfaisant. Le procédé le meilleur lorsqu'il est réalisable, consiste à saigner et éviscérer le poisson dès la capture, puis à le refroidir rapidement dans de l'eau de mer à $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, la durée de conservation qui varie beaucoup d'une espèce à l'autre, peut atteindre 1 à 2 semaines, alors qu'à la température ordinaire le poisson se détériore en 24 à 48 heures.

• Congélation du poisson

Une congélation rapide est favorable pour le poisson comme pour les autres denrées, mais comme toujours, la qualité du produit final va dépendre avant tout de la qualité de la matière première ; du poisson, même éviscéré, qui aurait séjourné plus de quelques jours dans la glace ne doit pas être congelé, car il n'a plus de tenue du fait de l'affaiblissement du tissu conjonctif.

Le moment où intervient la congélation est important : si la congélation a lieu avant l'instauration de la rigidité cadavérique, cette dernière se produit lors de la décongélation et ne s'atténue ensuite qu'incomplètement ; cet inconvénient se manifeste surtout dans le cas de filets découpés immédiatement après la pêche et congelés aussitôt ; la texture finale est au contraire acceptable lorsque la congélation avant l'apparition de la rigidité cadavérique est pratiquée sur les poissons entiers ; on pense que la différence provient du fait que les filets se décongèlent rapidement et que la rigidité intervient dans un tissu souple, qui se contracte facilement ; un poisson entier se décongèle plus lentement, et les muscles y sont maintenus étirés.

En pratique, la congélation est faite avant l'apparition de la rigidité cadavérique lorsqu'elle est effectuée en mer sur des poissons entiers, thons par exemple ; le fluide réfrigérant est le plus souvent de la saumure ou de l'air. Pour la préparation des filets, au contraire, on préfère opérer après résolution de la rigidité, d'autant plus que du poisson en état de rigidité cadavérique est difficile à filtrer. On peut accélérer le processus en élevant la température, sans dépasser toute fois $10 - 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. La congélation est obtenue de plus en plus souvent par pulvérisation d'azote liquide ; les procédés classiques par immersion ou par contact continuent néanmoins à être employés. Le trempage avant congélation dans une solution de polyphosphate réduit la perte de liquide à la décongélation ; ce traitement agirait par formation d'une couche de protéines gonflées qui empêcherait le passage de l'eau.

L'entreposage prolongé du poisson à l'état congelé provoque une dénaturation des protéines et un durcissement de la chair. Ce phénomène limite la durée d'entreposage des

Viandes et poissons

poissons maigres, tandis que dans le cas des poissons gras c'est l'oxydation des lipides qui constitue le facteur limitant la durée de conservation à l'état congelé.

Les réactions de détérioration sont ralenties si on abaisse davantage la température ; - 60 °C serait une température qui conviendrait pour un entreposage de très longue durée, mais reviendrait très cher. En pratique, le poisson congelé est entreposé à - 18 °C ; à - 30 °C dans certains pays.

Tableau 05 : Estimation subjective de la qualité du poisson congelé après diverses durées d'entreposage à des températures différentes (d'après l'Institut International du Froid).

	- 9 °C		- 21 °C		- 29 °C	
	B	NC	B	NC	B	NC
Poisson maigre (éviscéré)	1 mois	4 mois	4 mois	15 mois	8 mois	>4 ans
Hareng (éviscéré)	1 mois	3 mois	3 mois	6 mois	6 mois	>1,5 an

B = Bon

NC= non consommable

Laisser la température remonter vers -5 à - 2 °C nuit particulièrement à la texture du poisson congelé. D'autre part celui-ci doit être protégé contre la déshydratation, qui entraîne perte de poids, modification de la texture, formation de tâches, ainsi qu'une plus facile pénétration de l'oxygène et oxydation des lipides. La protection peut être obtenue par un glaçage superficiel réalisé en pulvérisant de l'eau, parfois additionnée d'antioxydants, sur le poisson ; ou par emballage sous vide dans un film plastique imperméable à la vapeur d'eau.

Le comportement à la décongélation dépend de la façon sont conduites les opérations de préparation et de congélation ; le volume d'exsudat donne une mesure des dommages subis par les protéines du tissu musculaire ; la présence de certaines activités enzymatiques dans le liquide à la surface d'un poisson indique d'autre part que l'on a affaire à un poisson qui a été congelé – la congélation provoque en effet l'éclatement de nombreuses cellules et la libération d'enzymes intracellulaires que l'on ne rencontre normalement pas à la surface d'un poisson.

•Salage, fumage et séchage du poisson

Cette catégorie de produits comprend des préparations variées, très différentes les unes des autres.

Les morues sont ouvertes en deux, mises à plat, désarêtées, puis empilées entre des couches de sel ; elles sont laissées ainsi une trentaine de jours, et leur teneur en eau tombe à environ 50 %. Il est important d'employer du sel de qualité bactériologique appropriée, de préférence du sel décrépité, pour éviter certaines altérations microbiennes provoquées par des bactéries halophiles. Lorsque le salage est terminé le poisson est séché à l'air. La teneur finale en eau est de 20 à 40 %, la teneur en sel de l'ordre de 30 % ; on ajoute du bisulfite pour éviter le brunissement non enzymatique et garder à la chair sa blancheur. Le produit se conserve plus d'un an à 0 °C, et 4 à 6 mois à 15 °C.

Viandes et poissons

De nombreux poissons sont traités par salage et fumage : hareng, sprat, flétan, plie, anguille, saumon, etc. Ils sont d'abord salés, au sel sec ou en saumure concentrée, plus ou moins selon le degré de fumage qu'ils vont recevoir ensuite.

Pour le fumage les poissons sont en général enfilés par les yeux sur des tiges métalliques appelées ainetes, que l'on dépose ensuite sur des cadres ; ces derniers transporteuses continues, qui parcourent les tunnels ou les cheminées de fumage.

La fumée est obtenue par combustion incomplète de sciure de bois non résineux ; il existe aussi des générateurs dans lesquels la fumée est produite mécaniquement par frottement de copeaux de bois.

Le fumage peut être fait à froid, à 15 – 20 °C, et exige alors quelques heures ou plusieurs jours selon le degré d'imprégnation recherché ; c'est la méthode employée pour la préparation des divers types de harengs saurs. Il peut aussi être fait à chaud, à environ 60 °C ; le sprat destiné à la préparation de conserves appertisées est soumis, en Norvège, à ce mode de fumage, pendant 20 à 30 minutes.

La fumée contient de nombreux composés volatils tels que formol, acide acétique, acétaldéhyde, acétone, phénols et polyphénols, qui apportent à la fois couleur, arôme et pouvoir antiseptique. Mais la fumée contient aussi des hydrocarbures aromatiques polycycliques dont certains sont cancérigènes, il est bon d'éviter les températures trop élevées, et l'emploi de bois de récupération de navires qui est souvent goudronné.

A la place de la fumée on peut employer, pour donner l'arôme de fumée, des extraits obtenus en faisant barboter de la fumée dans de l'eau ou dans l'huile. Ces extraits, qui se trouvent dans le commerce, ont l'avantage de ne pas contenir de composés cancérigènes, et d'apporter l'arôme de fumée sans dessécher le produit ; mais ils n'ont pratiquement pas d'action antiseptique.

Le fumage lui-même, du reste, n'a d'effet conservateur que s'il est associé au salage et au séchage, ainsi seuls les poissons très salés, très secs et fortement fumés sont ils aptes à se conserver tels quels.

Parmi les techniques de salage du poisson, il faut mentionner le traitement des anchois, qui consiste à inhiber par le sel toute prolifération bactérienne, mais à laisser agir les enzymes, protéolytiques surtout, présentes dans le poisson. La « maturation » dure 6 à 8 mois de préférence à 10 – 15 °C. Lorsqu'ils sont « murs » les anchois sont dessalés pour être consommés tels quels, ou bien pour être filetés et mis en boîtes avec de l'huile. Etant donné qu'ils ne sont soumis à aucun traitement thermique, ils constituent, une fois dessalés, une denrée périssable (semi- conserve) ; d'ailleurs, les actions enzymatiques se poursuivent quelle que soit la teneur en sel, et peuvent être ralenties uniquement par le froid.

On doit rappeler aussi les autolysats de poisson, tel le nuoc-mam, que l'on prépare en Extrême-Orient.

• Conserve de poisson

Les principes de l'appertisation et de la technologie des conserves sont exposés dans d'autres chapitres. Nous nous bornerons ici à donner quelques indications sommaires sur la préparation des conserves appertisées les plus importantes en France : sardines à l'huile, thon à l'huile et thon au naturel, hareng-pilchards à la tomate, maquereaux marinés.

➤ **Sardines**

La figure ci après décrit schématiquement les diverses méthodes employées.

C'est la friture qui donne le produit le meilleur du point de vue gastronomique, à condition toutefois que l'huile de friture soit renouvelée assez souvent.

➤ **Thon**

On emploie diverses espèces de thon, dont seuls le Germon de l'Albacore ont droit à l'appellation « thon blanc ».

Pour la préparation du thon à l'huile, le poisson est d'abord cuit à la vapeur ou, mieux, dans une saumure légère, ensuite paré, laissé sécher superficiellement, mis en boîtes en morceaux assez tassés, recouvert d'huile ; les boîtes sont enfin fermées et stérilisées.

Le thon « au naturel » est le plus souvent mis cru dans les boîtes, et recouvert d'une saumure légère aromatisée.

➤ **Hareng- Pilchard à la tomate**

Le terme « pilchard » désigne, en Angleterre, une vraie grosse sardine. Il a été surtout appliqué aux « sardines » de Californie, conservées en boîtes de forme ovale avec une sauce tomate. C'est au début, pour concurrencer les importations de Californie que l'on a entrepris de préparer, dans les ports français de la Manche, un produit analogue avec les harengs.

Le poisson, après étêtage et éviscération, est placé cru dans les boîtes, dans lesquelles on a mis au préalable du concentré de tomates. Les boîtes sont alors préchauffées fermées et stérilisées. L'eau que cède le poisson dilue le concentré de tomates en donnant une sauce ayant la consistance voulue. A l'encontre des conserves de thon à l'huile et de sardines à l'huile, les pilchards à la tomate représentent un produit à bon marché...tant que les apports de harengs sont abondants.

➤ **Maquereaux marinés**

La méthode la meilleure pour la préparation des conserves de maquereaux marinés consiste, après étêtage et éviscération des poissons, à la cuire dans un court- bouillon acidifié et aromatisé. Les poissons sont ensuite placés dans des boîtes, et recouverts d'une sauce aromatisée à base de vin blanc et surtout de vinaigre ; les boîtes sont alors fermées, stérilisées et refroidies.

Viandes et poissons

En raison de la teneur élevée en acide acétique, ces conserves présentent quelques difficultés du fait de la corrosion. L'emploi de boîtes vernies n'est pas une solution ; on a plutôt recours à du fer-blanc type K à taux d'étamage élevé, au choix de poissons pauvres en oxyde de triméthylamine, au préchauffage et à l'entreposage dans des bocaux frais.

➤ **Huiles et farines de poisson**

Les résidus provenant de la préparation des filets et des conserves de poisson, plusieurs espèces de poissons qui ne sont habituellement pas consommées, et de grandes quantités de clupes pêchées au large du Pérou et du Chili sont transformés en huile et en farine. Cette production absorbe environ 30 % des quelques 60 millions de tonnes de poissons pêchés en un an dans le monde, tandis que le poisson salé représente 15 % et les conserves de poisson 10 %.

Pour la transformation en huile et farine le poisson est broyé, cuit et pressé à chaud, ce qui a pour effet d'enlever la plupart de la graisse et une partie de l'eau. Le tourteau qui reste, séché et broyé, constitue la farine, utilisée en alimentation animale. Le séchage doit être fait avec grand soin, car une température trop élevée risque de compromettre la valeur nutritionnelle du produit.

L'huile de son côté est raffinée, désodorisée, le cas échéant hydrogénée ; elle sert à la fabrication de margarine, comme huile alimentaire de cuisson et de savonnerie. La phase aqueuse, qui contient des protéines, est concentrée et utilisée en alimentation animale.

Certaines farines de poisson sont préparées pour l'alimentation humaine. On doit partir d'une matière première de qualité parfaite. Le procédé le plus employé est l'extraction quasi complète des lipides et de l'eau au moyen d'un solvant comme par exemple l'iso-propanol. La farine séchée contient environ 80 % de protéines, 10 % de sels minéraux, 0.1 % de lipides ; elle a peu d'odeur et de saveur, ne pose pas de problèmes d'oxydation des lipides, et peut être utilisée pour enrichir en protéines des aliments comme le pain, les pâtes alimentaires, les potages, les saucisses, et même, après solubilisation, certaines boissons.

On a essayé aussi d'extraire directement les protéines au moyen de solution acides, alcalines ou salines.