

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEU ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de BEJAIA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Technologie et qualité des viandes

Présenté par

CHOUGUI Nadia

2015

Sommaire

	Page
Fiche descriptive	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1
I. Généralités.....	2
1. Types de viandes.....	2
2. De l'animal sur pied à la viande.....	2
2.1. Transport des animaux.....	3
2.1.1. Chargement.....	3
2.1.2. Transport.....	3
2.1.3. Déchargement et stockage des animaux avant abattage.....	4
2.2. Conditions physiques de l'animal.....	5
2.3. Abattoir.....	5
2.3.1. Etourdissement.....	5
2.3.2. Abattage.....	5
II. Le muscle squelettique/ la viande.....	10
1. Définition du muscle.....	10
2. Composition du muscle.....	10
2.1. Protéines du stroma (tissu conjonctif).....	11
2.2. Protéines sarcoplasmiques.....	12
2.3. Fibres musculaires.....	13
3. La contraction musculaire.....	15
4. Transformation du muscle en viande.....	16
4.1. Etat pantelant.....	16
4.2. Etat rigide : Installation de la rigidité cadavérique (Rigor Mortis).....	17
4.3. Etat rassis (résolution de la rigor mortis ou maturation de la viande).....	17
5. Viandes anormales.....	19
6. Qualité de la viande.....	19
6.1. Qualité hygiénique.....	19
6.2. Qualité nutritionnelle.....	20
6.3. Qualité technologique.....	20
6.4. Qualité organoleptique.....	20
7. Attendrissage de la viande.....	22

8. Influence de la cuisson sur la valeur nutritionnelle de la viande.....	22
III. Méthodes de conservation de la viande.....	23
1. Réfrigération.....	23
1.1. Objectif de la réfrigération	23
1.2. Incidences microbiologiques du stockage de la viande.....	23
1.3. Influence des paramètres de réfrigération (température, vitesse de réfrigération)	25
1.3.1. Température de stockage en réfrigération.....	25
1.3.2. Vitesse de réfrigération.....	26
1.4. Techniques de réfrigération.....	27
2. Congélation.....	27
2.1. Méthodes de congélation.....	27
2.2. Influence de la congélation sur les microorganismes.....	28
2.2.1. Action du procédé de congélation.....	28
2.2.1.1. Influence de la température de congélation.....	28
2.2.1.2. Influence de la vitesse de congélation.....	28
2.2.2. Action du stockage en congélation.....	29
2.2.3. Sensibilité des microorganismes à la congélation.....	29
2.2.4. Action de la congélation sur les parasites de la viande.....	30
2.3. La décongélation.....	30
2.3.1. Mode de décongélation (température et vitesse).....	30
2.3.2. Méthodes de décongélation.....	30
2.3.3. Température de stockage après congélation.....	31
2.4. Recongélation.....	31
3. Traitement thermique (fumage)	31
3.1. Application de la fumée.....	32
3.1.1. Fumage à froid	32
3.1.2. Fumage à chaud	32
3.2. Rôle de la fumigation.....	32
4. Salaison.....	32
4.1. Action du sel.....	33
4.2. Pénétration du sel dans la viande.....	33
4.3. Dosage	34
4.4. Les techniques de salage	34
5. Atmosphère modifiée et autres.....	35
5.1. Atmosphère non modifiée.....	35
5.2. Atmosphère modifiée.....	35
5.3. Le sous vide.....	35
5.4. Procédé CAPTECH.....	36

6. Additifs alimentaires.....	36
7. Autres procédés de conservation.....	37
7.1. Séchage.....	37
7.2. L'irradiation.....	37
7.3. La fermentation.....	37
IV. Volaille.....	39
1. Les différents types d'oiseaux consommés.....	39
2. Production.....	39
3. Viande de volaille.....	40
4. Valeur nutritionnelle de la viande de volaille.....	41
5. L'œuf de poule.....	41
5.1. Structure.....	41
5.2. Composition chimique de l'œuf de poule.....	41
6. Les ovoproduits.....	42
6.1. Classification des ovoproduits.....	42
6.1.1. Les ovoproduits intermédiaires.....	42
6.1.2. Les ovoproduits élaborés.....	43
6.2. Fabrication des ovoproduits.....	43
V. Poissons.....	45
1. Produits de la pêche.....	45
2. Les poissons.....	45
2.1. Structure et composition chimique de la chair de poisson.....	46
2.2. Valeur nutritionnelle.....	47
2.4. Méthodes de conservation du poisson.....	47
2.4.1. Réfrigération.....	48
2.4.2. Congélation.....	48
2.4.3. Conserves de poisson.....	48
2.4.4. Autres procédés de conservation.....	49
2.5. Dérivés de poissons.....	50
VI. Contrôle de qualité de la viande.....	51
1. Contrôles sanitaires.....	51
1.1. Contrôle sanitaire des animaux avant abattage.....	51
1.2. Contrôle ante mortem.....	51
1.3. Contrôle après abattage.....	51
2. Les principales causes de retrait des viandes ou carcasses.....	54
Références bibliographiques.....	55

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I	Composition d'un muscle squelettique.....	10
Tableau II	Les protéines musculaires.....	11
Tableau III	Germes d'altération de la viande.....	24
Tableau IV	Germes pathogènes de la viande.....	24
Tableau V	Nombre de bactéries en % de la flore totale présente sur la viande de poulet en fonction de la température.....	26
Tableau VI	Evolution des productions avicoles entre 1996 et 2004.....	40
Tableau VII	Différentes formes de commercialisation des ovoproduits intermédiaires.....	42
Tableau VIII	Présentation commerciale des ovoproduits élaborés.....	43
Tableau IX	Composition des muscles de poissons.....	47
Tableau X	Critères microbiologiques.....	53

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Etourdissement de l'animal par l'électricité.....	6
Figure 2	Etourdissement de l'animal par un coup de pistolet.....	6
Figure 3	Diagramme de production général.....	7
Figure 4	Abattage de l'animal : entaille transversale dans le cou.....	8
Figure 5	Coupe transversale du muscle montrant les trois types de tissus conjonctifs.....	11
Figure 6	Structure d'un muscle squelettique.....	13
Figure 7	Vue longitudinale d'un sarcomère.....	14
Figure 8	Représentation schématique de la structure de la myosine du muscle squelettique.....	14
Figure 9	Représentation schématique de la structure de l'actine du muscle squelettique.....	15
Figure 10	Contraction musculaire.....	16
Figure 11	Les étapes de transformation du muscle en viande.....	16
Figure 12	Schéma récapitulatif des différents changements qui ont lieu après l'abattage de l'animal.....	18
Figure 13	Principales voies de la technologie des ovoproduits	44
Figure 14	Étalons de couleur (de gauche à droite du rouge pâle au rouge sombre) de la réglette japonaise.....	52

Liste des abréviations

AA:	Acide aminé
ADP:	adénosine diphosphate
AGE :	acides gras essentiels
AGPI :	acides gras polyinsaturés
AMP:	adénosine monophosphate
ASR :	anaérobies sulfito-réducteurs
ATP:	adénosine triphosphate
Aw :	activité d'eau
DFD :	dark ferm and dry « sombre ferme et sèche »
DHA	acide docosahexaénoïque
DLC :	date limite de consommation
DLC :	date limite de consommation
DLUO :	date limite d'utilisation optimale
EPA :	acide éicosapentaénoïque
ESB :	encéphalopathie spongiforme bovine
f:	fréquence
FMAR :	flore mésophile aérobie revivifiable,
Gly:	glycine
IMP :	inosine monophosphate
IR:	infrarouge
KDa:	Kilodalton
Mb :	myoglobine
MO :	microondes
pH :	potentiel hydrogène
PRE :	pouvoir de rétention d'eau
PSE :	pale soft and exsudative « pâle mole et exsudative »
T° :	température
TMA :	triméthylamine
Tps :	temps
V:	volte

Introduction

On appelle viande la chair des animaux dont on a coutume de se nourrir. On inclut dans ce groupe la chair des mammifères, des oiseaux et quelques fois des poissons.

Les viandes se caractérisent par une grande hétérogénéité, elles sont principalement constituées de muscles striés squelettiques qui comportent aussi d'autres tissus en quantité très variables selon l'espèce, la race, l'âge et le régime alimentaire. Ce sont surtout les tissus conjonctifs, adipeux, parfois des os et la peau.

Les viandes possèdent une valeur nutritionnelle très élevée car elles sont constituées de protéines digestes, riches en acides aminés indispensables. C'est aussi une bonne source de fer et de vitamines hydrosolubles.

Les viandes sont de première nécessité. Cependant, il s'agit de calories chères. La consommation de viandes reflète le niveau de vie d'un pays et d'une famille. Dans les pays industrialisés, la viande représente environ 10% du budget familiale soit 25% des dépenses alimentaires.

La qualité de la viande est, en générale, déterminée par la valeur de sa composition et par les facteurs liés au goût tels que l'apparence visuel, l'odeur, la tendreté, la jutosité et la saveur.

De plus en plus, le consommateur exige des produits diversifiés et de bonne qualité. La satisfaction de cette demande variée, en matière de qualité des viandes, se traduit au niveau de la recherche par la nécessité d'identifier les caractéristiques des tissus favorables aux différentes composantes de la qualité, ainsi qu'une meilleure connaissance des facteurs de variation pouvant influencer cette qualité.

I. Généralités

1. Types de viandes

Il existe différents types de viandes ; il convient de distinguer :

➤ la viande de boucherie qui correspond à toutes les parties de la carcasse des animaux domestiques propres à la consommation humaine tels que les bovins, les ovins, les caprins, les équidés et les porcins (pour la communauté non musulmane). Traditionnellement, ces viandes sont classées par rapport à la couleur de leur chair :

- viandes blanches (veau, agneau de lait, chevreau) ;
- viandes roses (porc),
- viandes rouges (bœuf, mouton),
- viandes dites noires (cheval),

➤ la viande de volaille qui regroupe toutes les parties comestibles des volailles et du lapin. La couleur de la chair permet également de les classer :

- volailles à chair blanche (poules et coqs, chapons, dindes),
- volailles à chair brune (canards, oies, pintades, pigeons, cailles),
- volailles à chair rose (lapins d'élevage),
- gibiers dit à chair noire (venaison, lièvre, gibiers à plumes).

➤ Poissons : la couleur de leur chair varie selon plusieurs paramètres (la saison, le sexe, l'âge, etc.) allant du blanc au rouge.

2. De l'animal sur pied à la viande

Le parcours menant de la bête à la ferme au morceau de viande en boucherie comprend :

- ✓ le transport de l'animal vers le lieu de l'abattage ;
- ✓ la stabulation ;
- ✓ l'abattage de l'animal suivi de la saignée et des autres étapes de transformation ;
- ✓ l'inspection post-mortem par les services vétérinaires ;
- ✓ l'installation de la rigidité cadavérique (maintenue environ 20 h), puis sa résolution obtenue par entreposage dans un local frais et ventilé pendant une semaine ;
- ✓ la découpe et le conditionnement effectués en ateliers de découpe ou dans les boucheries de détail.

2.1. Transport des animaux

Trois phases distinctes sont mises en évidence dans le transport des animaux:

- le chargement à la ferme;
- le transport proprement dit (durée, arrêts, repos, qualité de conduite);
- le déchargement et les conditions de stabulation et de manipulation en bouverie avant abattage.

Quel que soit son mode, le transport constitue une phase difficile pour les animaux. Les modifications d'environnement qui interviennent (température, humidité, bruit, nouveaux congénères...) conduisent à un stress plus ou moins important, avec des conséquences sur la qualité de la viande.

2.1.1 Chargement

Pour être réalisé de façon optimale, il convient que ce dernier respecte au maximum l'état de tranquillité naturelle des animaux. Le chargement de nuit est pour cela préférable, puisque l'obscurité permet de masquer une majorité des modifications du milieu extérieur (forme du camion, rampe de chargement).

L'animal devrait être amené de la stabulation jusque dans le camion de sa propre initiative ; une amenée par petits lots (3 ou 4 individus) serait préférable.

2.1.2 Transport

Pendant le transport, l'animal passe 3 phases : - stresse violent ;
- phase d'adaptation (se calme) ;
- stresse de la fatigue.

Le transport proprement dit requiert, quant à lui, le respect de plusieurs règles :

■ *Aménagement du camion*

- *Le sol*: de préférence antidérapant en matière composite, facilitant ainsi nettoyage et désinfection. Le paillage du plancher peut être utilisé pour les animaux habitués à cette matière.
- *Les séparations*: l'emploi de barrières coulissantes sur rails fixées sur les parois du camion est facile et permet d'adapter facilement la capacité de la case à la taille du lot. Il s'agit de limiter au maximum le mélange des animaux, source d'interaction agressive entre eux et parfois de phénomènes d'écrasement. La perte de poids par mouvements excessifs est également diminuée.

■ *Durée et conditions de transport*

Bien qu'il se produise un phénomène d'adaptation physiologique :

- la durée du transport ne modifie pas l'amplitude des réponses des animaux au stress ;
- la fatigue musculaire est directement proportionnelle au temps de transport.

Des arrêts doivent donc être faits régulièrement pour permettre aux animaux de s'abreuver, de s'alimenter et de se reposer.

■ *Conditions de confort*

- Espace suffisant (3.5m²/porc) ;
- Plancher non glissant ;
- Système de ventilation,
- Température régulée entre 10 à 20°C ;
- Protection contre le vent, soleil et pluie ;
- Temps du voyage de 1h30 à 2h.

2.1.3 Déchargement et stabulation des animaux avant abattage

■ *Déchargement*

Il doit intervenir le plus rapidement possible dès l'arrivée du camion, afin de réduire le stress dû au transport et au changement d'environnement.

■ *Logement*

La stabulation est un moyen de corriger plus ou moins les défauts du transport. Cependant, les parcs collectifs en bouverie n'offrent pas la possibilité d'un vrai repos des animaux.

Le type de logement actuellement le plus satisfaisant est la logette individuelle, séparée de celle d'en face d'un couloir large de 2,6 m minimum, facilite l'entrée et la sortie des animaux. L'adjonction d'une barrière coulissante venant cloisonner le couloir, favorise l'avancée des animaux tout en améliorant la sécurité des personnes.

Les conditions à respecter :

- Séparer les animaux par espèce et par taille ;
- Limiter leur nombre pour qu'ils puissent se coucher ;
- Régler la Température entre 10 et 20°C ;
- Aérer suffisamment les locaux.

■ *Amenée à l'abattage*

Un long couloir permet l'attente d'un nombre suffisant d'animaux pour alimenter la chaîne d'abattage sans précipitation ni bousculade.

Des portes anti-recul sont disposées pour éviter les entassements, des barres anti-chevauchement placées à 1,7 à 1,8 m du sol ainsi que des parois pleines contribuent à préserver le calme des animaux.

2.2. Conditions physiques de l'animal

Des cas de bactériémie, de fatigues et d'indigestion peuvent être à l'origine de stress de l'animal, par conséquent, il est préférable que celui-ci soit à jeun, calme avant son déplacement. Parfois des injections de tranquillisants et du glucose sont autorisés pour réduire le stress et compenser la perte de réserves énergétiques.

2.3. Abattoir

L'abattoir est l'établissement assurant l'abattage, le traitement et éventuellement, dans certain pays, la distribution d'animaux de boucherie pour vente en détail.

2.3.1. Etourdissement

Dans certains pays, les animaux doivent être étourdis avant l'abattage à l'aide d'une méthode appropriée et reconnue qui entraîne un état d'inconscience immédiat se prolongeant jusqu'à la leur mort. Ce traitement rend les animaux insensibles à la douleur au moment de l'abattage. Toutes les méthodes d'étourdissement devraient entre autre:

- Minimiser le stress ;
- Minimiser l'hémorragie capillaire ;
- Sécuriser le personnel

Les procédés utilisés pour l'étourdissement des animaux sont les suivants :

a. Electricité

Selon l'intensité du courant, on distingue :

- Electroma : bas voltage (70 V/10-30 s)
- Electrochoc : haut voltage (190 V/5 s ; 300V/1-2 s)

Le passage du courant électrique provoque une chute de pression sanguine suivie d'une contraction violente de tous les muscles volontaires induisant un arrêt de la respiration. Après une dizaine de secondes, les muscles se relâchent et après environ 45 s, le mouvement et la respiration reprennent (figure 1).

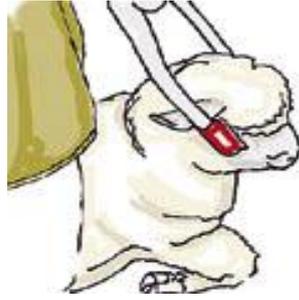


Figure 1 : Etourdissement de l'animal par l'électricité

b. CO₂

Les animaux sont placés dans une enceinte : 70 % CO₂, 30 % air /15 s. Il s'agit d'un anesthésiant, il y a diminution rapide de l'influx nerveux par anoxie (décharge de catécholamine). Après 45 s à 1 min, l'animal devient conscient.

c. Ondes électromagnétiques

Cette méthode amène la température du cerveau de l'animal entre 41 à 50°C pendant 10s par le moyen d'ondes électromagnétiques (f=100 à 10 000 mégacycles). Cependant, elle présente un risque élevé pour le personnel.

d. Coup de massue, Pistolet

Les porcs sont parfois insensibilisés par un coup de massue ou de pioche pour défoncer la boîte crânienne.

L'étourdissement des bovins peut se faire au pistolet à tige perforante et à masse (soit pneumatique soit cartouche) placé au milieu du front (figure 2). Pour ces modes d'étourdissement avant abattage, la perte de conscience n'est pas clairement établie.



Figure 2 : Etourdissement de l'animal par un coup de pistolet

2.3.2. Abattage

L'abattage est réalisé dans des conditions minimales de stress, après un repos et une diète de 24 h, suivi de la saignée.

Cette phase regroupe un ensemble d'étapes précises, conduisant à l'obtention de carcasses, de muscles ou de pièces (abats) prêts à la commercialisation. Ainsi présenté (figure 3), ce diagramme met en évidence toute l'élaboration mise en œuvre à partir de l'animal vivant.

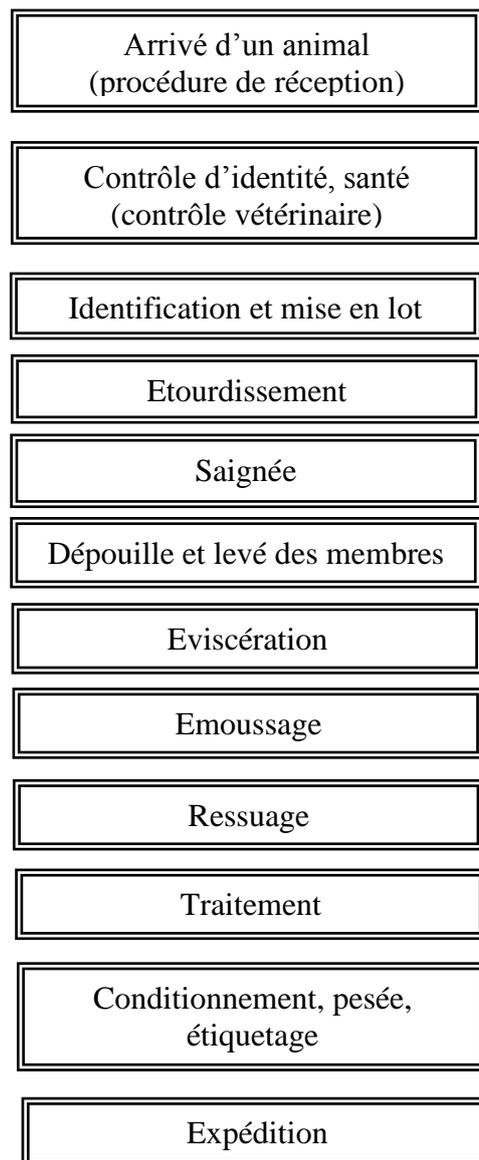


Figure 3 : Diagramme de production générale

A. Saignée

Elle se situe immédiatement après l'étourdissement. L'opération doit être rapide pour que les activités cardiaques et respiratoires subsistent et aident à l'éjection du sang.

La saignée se pratique de différentes manières :

- Gros bétails par rupture de la carotide et de la veine jugulaire ;
- Veau et ovins par rupture de la veine jugulaire ou égorgement ;
- Porcs par rupture de la veine cave antérieure.

La saignée peut se faire horizontalement ou verticalement (l'animal est suspendu aux rails), soit au couteau ou au trocart (figure 4).

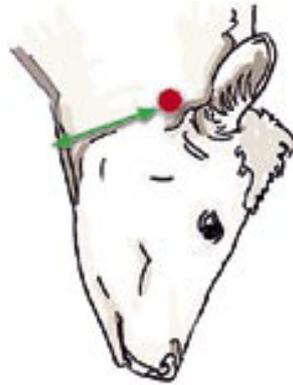


Figure 4 : Abattage de l'animal : entaille transversale dans le cou

B. Les étapes suivent la saignée

- Echaudage :** opération qui permet d'attendrir de la peau en vue de faciliter l'épilage. Elle se fait par action de la chaleur et de l'humidité (60°C/5-6 min) ;
- Epilage :** peut se faire manuellement (couteau) ou mécaniquement (machine à épiler) ;
- Flambage :** est une méthode d'épilation par combustion des poils plus. Elle est le plus souvent une opération complémentaire d'échaudage ;
- Grattage :** elle permet d'éliminer les poils brûlés (brosse, douchage) ;
- Finition :** permet d'éliminer les résidus ;
- Dépouille :** a pour but de retirer le cuir ou la peau des animaux. Pendant cette étape il y a aussi ablation de la tête, des pieds et ligature du rectum ;
- Eviscération :** est l'élaboration de tous les viscères thoraciques et abdominaux d'un animal ;
- Emoussage :** c'est une opération de finition de la préparation des carcasses. Consiste à enlever une partie des graisses externe ;

i. Traitement : effectuée dans l'heure qui suit la mort de l'animal. Comprend tous les sous-produits que donne l'abattage en dehors de la viande (cuirs, abats rouges et blancs, boyaux, sang, graisse, os...).

k. Inspection vétérinaire : Un agent de la direction départementale des services vétérinaires inspecte la carcasse pour détecter tout problème sanitaire. S'il juge qu'une carcasse présente des lésions, il consigne la carcasse. Un vétérinaire viendra le lendemain inspecter la carcasse et s'il juge que toute ou une partie de la carcasse peut poser un [problème de santé publique](#), il a le droit de la saisir totalement ou partiellement. Une carcasse est apte à la consommation dès lors qu'elle est [estampillée](#).

j. Pesée fiscale : La carcasse est pesée moins d'une heure après la saignée.

l. Conservation (ressuage) : La carcasse est ensuite mise en réfrigérateur de [ressuage](#) pour faire descendre progressivement, en 10 h, la température de la carcasse jusqu'à 10°C, puis en réfrigérateur de stockage pour quelle atteigne 4°C après 24 h. Si ces conditions ne sont pas respectées un [choc thermique](#) dit « cryo-choc » ou « contracture au froid » peut se produire induisant un sur-durcissement de la viande.

NB/ Les étapes de **a** à **e** concernent les animaux à qui la peau n'est pas retirée.

II. Rappel sur le muscle squelettique

1. Définition

Le muscle (appelé partie noble) représente 50 à 60 % de poids vif. Il est capable de transformer l'énergie en mouvement. Le muscle squelettique est un muscle à contraction volontaire qui s'active grâce à une stimulation par le système nerveux.

2. Composition du muscle

Le tableau suivant résume la composition d'un muscle squelettique :

Tableau I : Composition d'un muscle squelettique

Composé	Teneur
Eau	60-70 %
Protéines	sont majoritaires 10 - 20% : - Protéines myofibrillaires (50- 75% des protéines musculaires) - Protéines sarcoplasmiques (enzymes) - Protéines du stroma (collagène, élastine)
Glucides	0,5 à 1 %
Lipides	varient selon l'espèce, l'âge et le morceau: Cheval: 2 % Bœuf: 20 % Veau: 10 % Agneau: 25 % Mouton: 19 % Porc: 26 % La proportion en phospholipides est relativement constante : 1/5 de la teneur en lipides.
Minéraux	1 % englobent: Fer: 2-3 mg/100 g P: 200 mg/100 g K: 300 mg/100 g Na: 60 mg/100 g Cu, Zn, Mg... en faibles quantités
Vitamines	Majoritairement du groupe B : B1 0.3 mg/100 g B2 0.2 mg/100 g PP, A, D, C sous forme de traces

Le tableau suivant récapitule les différents types de protéines musculaires.

Tableau II: Les protéines musculaires

	Type	Teneur %	Propriétés
Protéines myofibrillaires	- <u>Protéines contractiles</u>	(50- 75)	Intracellulaires peu solubles
	Myosine	53	
	Actine	22	
	- <u>Protéines régulatrices de la contraction</u>	25	
	Tropomyosine	8	
	Troponine Actinine α et β	8	
Protéines sarcoplasmiques	Pigments (myoglobine)	(25-30)	Intracellulaires Solubles
	Enzymes		
Protéines du stroma	Collagène	(10-15)	Extracellulaires insolubles
	Elastine		

2.1. Protéines du stroma (tissu conjonctif)

On distingue trois types de tissus conjonctifs (figure 5) :

- Epimysium : Entoure le muscle
- Pérmysium : Entoure le faisceau de fibres musculaires
- Endomysium : Entoure chaque fibre musculaire

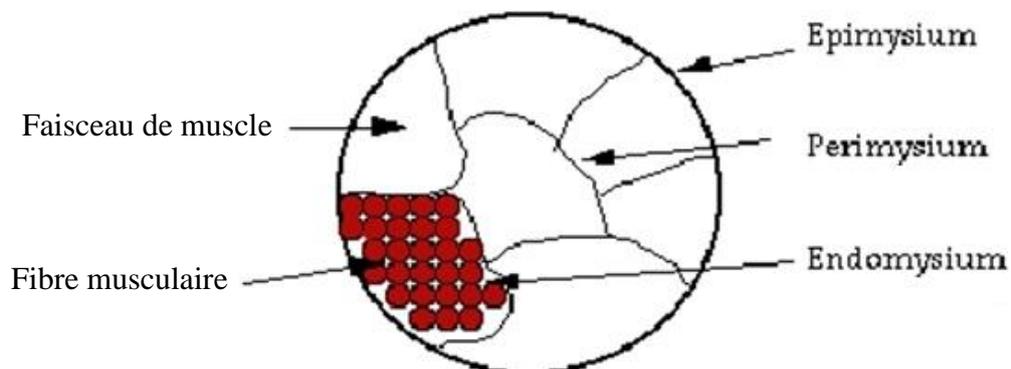


Figure 5: Coupe transversale du muscle montrant les trois types de tissus conjonctifs

Le tissu conjonctif du muscle est constitué de deux protéines principales : collagène, élastine.

a. collagène

Ce sont des protéines les moins solubles, fibreuses et extracellulaires. Il s'agit de protéines les plus abondantes (cartilage, os, peau, muscles, système cardiovasculaire). Elles représentent 50 % des protéines totales du tissu conjonctif. Ce sont des protéines de structure

qui ont pour rôle de maintenir en place les fibres musculaires. Elles sont résistantes à la traction et elles sont composées par des sous-unités appelées trypocollagènes constituées de trois chaînes peptidiques dont deux au moins sont les mêmes dans tous les collagènes. Ce sont des chaînes cylindriques non ramifiées d'un millier d'AA (en bâtonnet) de 280 nm de longueur, 1,4 nm de diamètre et d'un poids moléculaire de 300 KDa.

Soixante-dix pour cent du total des résidus sont constitués de 3 acides aminés seulement : Glycine 35 %, Alanine 12 %, Proline et hydroxyproline 20 %.

Ces acides aminés forment des triplets et dont la glycine occupe la même position : Gly-x-x

Le collagène a une conformation hélicoïdale (triple-hélice) liées par des liaisons hydrogènes.

b. L'élastine

C'est une protéine abondante dans la paroi des artères et des ligaments. Elle a une structure fibreuse, résiste à la plus part des protéases (pepsine, trypsine, chymotrypsine). Elle est partiellement hydrolysée par l'élastase des pancréas et papaïne. Elle n'est pas attaquée par les acides et les bases relativement concentrés.

L'élastine est composée de 1/3 glycine, une teneur plus élevée en proline-alanine et une faible teneur en hydroxyproline.

L'élastine possède une forme de pelote et confère au tissu conjonctif de l'élasticité.

Solubilité :

Le collagène : sa solubilité dans une solution saline ou acide diminue avec l'âge.

L'élastine : gonfle dans l'eau.

Traitement thermique :

Le collagène en milieu aqueux devient gélatineux à 80°C. Dans une viande cuite, la tendreté dépend uniquement des fibres musculaires dénaturées et de l'élastine.

2.2. Protéines sarcoplasmiques (l'hémoglobine)

L'hémoglobine est le principal pigment des viandes ; elle représente 90 % des pigments totaux du muscle de bœuf et elle est responsable de la couleur rouge. L'hémoglobine étant le deuxième déterminant de la couleur (10 %).

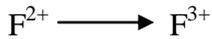
La concentration en myoglobine varie selon l'espèce animale, du type de muscle, de l'âge, de l'exercice et du régime alimentaire.

Les différents états chimiques de la myoglobine sont :

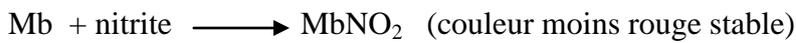
Oxymyoglobine



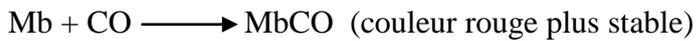
Metmyoglobine



Nitrosomyoglobine



Carboxymyoglobine



2.3. Fibres musculaires

La fibre musculaire est une cellule longue, mesurant 1 mm à plusieurs cm de long et 10 à 100 µm de diamètre. Elle est constituée de 100 filaments parallèles de 1 µm de diamètre appelés myofibrillaires (Figure 6).

Le cytoplasme « sarcoplasme » contient des noyaux, mitochondries, une centaine de protéines (enzymes, créatine...) entouré par une membrane appelée « sarcolème ».

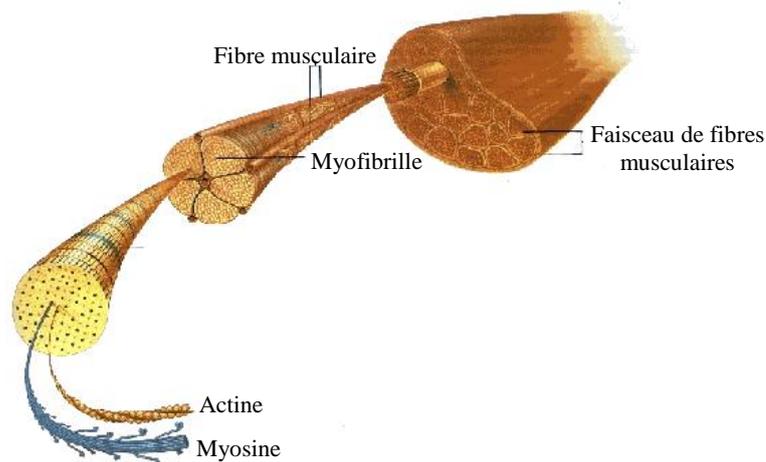


Figure 6: Structure d'un muscle squelettique

Chaque myofibrille est une succession d'unités répétées « sarcomère ». Le sarcomère est limité par des stries Z alternées par des bandes épaisses de myosines et des bandes fines d'actines (Figure 7).

Les protéines myofibrillaires sont dominantes, ont une solubilité inférieure à celle des protéines sarcoplasmiques mais supérieure à celle des protéines du tissu conjonctif. Elles sont extractibles dans un milieu aqueux.

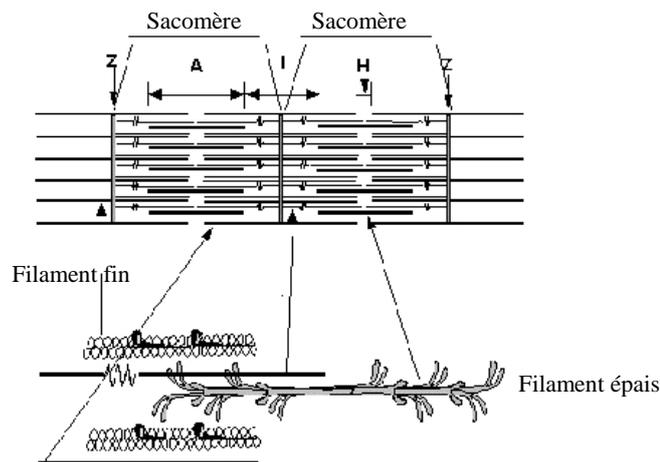


Figure 7: Vue longitudinale d'un sarcomère

Les protéines myofibrillaires englobent :

a. Myosine

C'est une protéine formée de 6 unités :

- 2 chaînes lourdes 200 KDa
- 4 chaînes légères 16,5 à 20,2 KDa

La myosine est constituée d'une partie fibreuse C-terminal. Et d'une partie globulaire N-terminal. Elle est constituée de 2 chaînes lourdes reliées au niveau de leur tête à 2 chaînes légères (Figure 8).

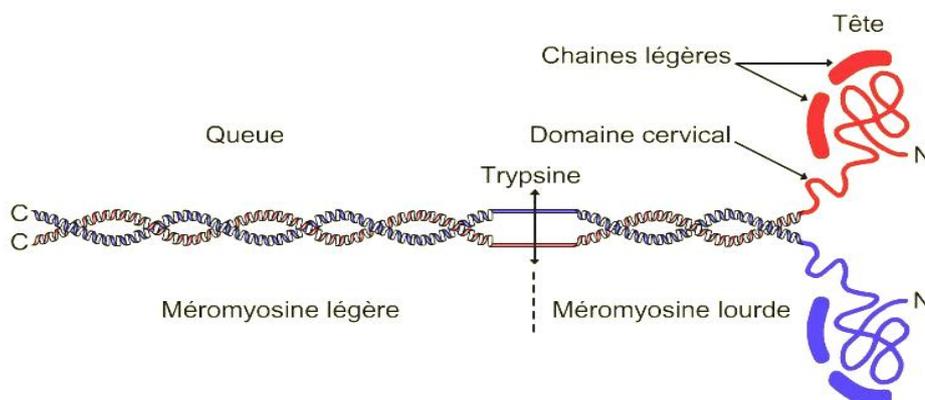


Figure 8: Représentation schématique de la structure de la myosine du muscle squelettique

La myosine a une activité ATPasique qui se situe au niveau de la chaîne lourde et permet la transformation de l'ADP en ADP et p libérant de l'énergie permettant la contraction musculaire.

b. Actine

Elle a une structure plus simple avec PM 42 KDa, existe sous deux formes :

- Globulaire : G actine
- Fibreuse : F actine résulte de la polymérisation de la G actine.

L'actine est constituée de deux formes en double-hélice et comprenant 300 à 400 monomères. Ces filaments comprennent d'autres protéines (Figure 9):

- Tropomyosine
- Troponine
- α Actinine ayant un rôle dans l'adjonction des stries Z et des filaments d'actine.

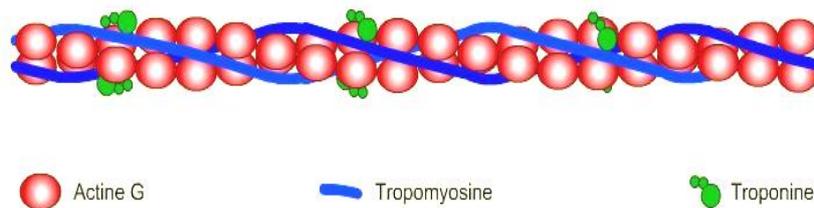


Figure 9: Représentation schématique de la structure de l'actine du muscle squelettique

3. La contraction musculaire

La contraction myofibrillaire fait intervenir un flux d'ions de calcium dont la contraction accroît l'activité ATPasique. Cette activité est portée par la fraction globulaire lourde de la myosine.

Le Ca en se fixant sur la troponine déplace partiellement les molécules de tropomyosine qui masque une partie des sites de l'actine sur lesquels se fixe la myosine. Simultanément, l'hydrolyse de l'ATP, lié aux têtes de myosine, provoque un pivotement de celles-ci ce qui induit une progression de filaments fins d'actine entre les filaments épais (rétrécissement des sarcomères) et formation du complexe actino-myosine (Figure 10).

Les têtes de myosine se détachent de l'actine lorsque des nouvelles molécules d'ATP viennent se fixer.

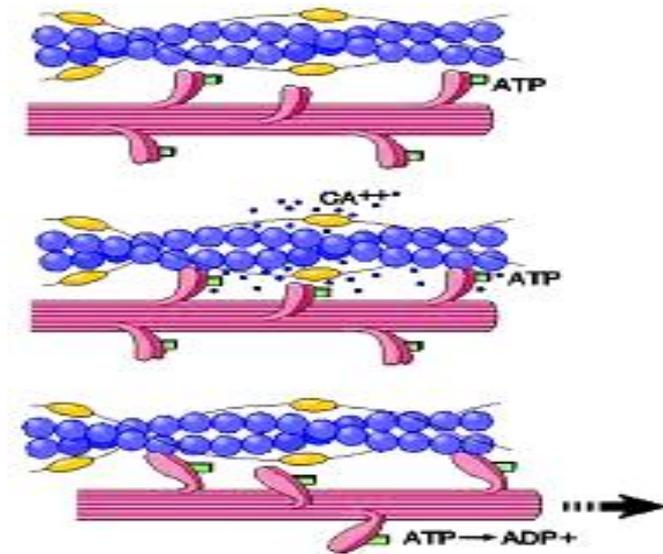


Figure 10: Contraction musculaire

4. Transformation du muscle en viande

Le muscle, après abattage, passe par trois étapes (figure 11) dont la durée varie selon l'espèce animale :

<u>Etape</u>	<u>Boeuf</u>	<u>Mouton</u>
1. Pré-rigor (état pantélant)	30min	≤30min
2. Installation de rigidité cadavérique (rigor-mortis)	20-24h	20-24h
3. Post-rigor (résolution de la rigidité cadavérique)	8-10J	4-6J

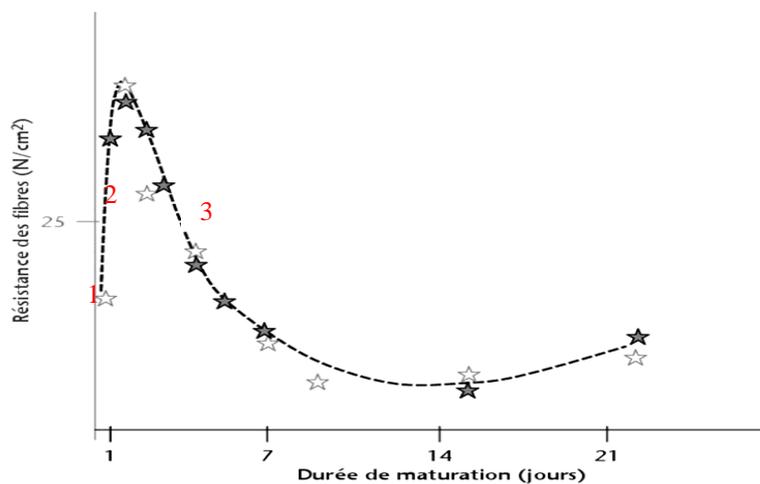


Figure 11: Les étapes de transformation du muscle en viande

4.1. Etat pantelant

Se situe juste après l'abattage de l'animal et dure environ 30 min (mouton), pendant laquelle le muscle conserve son état contractif et sensible.

4.2. Etat rigide : Installation de la rigidité cadavérique (Rigor-Mortis)

L'évolution post-mortem des muscles doit être parfaitement contrôlée car la qualité de la viande en est étroitement tributaire.

a. Modifications physiques

La rigidité cadavérique ou « Rigor-Mortis » est un état transitoire initial correspondant à une perte de l'élasticité du muscle. Cet état intervient plusieurs heures après la mort (10-12 h pour le bœuf à 20°C) ; il résulte de la liaison irréversible entre la myosine et de l'actine. L'irréversibilité découle de la diminution de la teneur en ATP. En effet, la vitesse de production devient inférieure à la vitesse d'hydrolyse de l'ATP. Le muscle perd, devient raide inextensible.

b. Modifications chimiques

L'arrêt de la circulation sanguine et de l'approvisionnement en oxygène entraîne la baisse du taux de celui-ci au niveau musculaire. La respiration s'arrête et la glycolyse anaérobie s'installe. Le métabolisme anaérobie épuise les réserves de glycogène qui est dégradé en glucose puis fermenté en acide lactique. Les réserves énergétiques directes (ATP, phosphocréatine) sont aussi utilisées entraînant une libération importante de phosphate inorganique; le pH de la viande s'abaisse progressivement de 7 à 5,5 favorisant la dénaturation plus ou moins importante des protéines musculaire entraînant également une chute de la capacité de rétention en eau.

Le degré de sévérité des phénomènes accompagnant la rigidité cadavérique dépend de :

- Réserves alimentaires (glycogène)
- T° de conservation

Cas particulier : si on réalise une conservation à T°= 10°C avant que le pH de la viande ait baissé à moins de 6, l'enzyme ATPase s'active, il en résulte une sur-contraction de cette viande ; on parle alors de contracture au froid.

4.3. Etat rassis (résolution de la rigor-mortis ou maturation de la viande)

La résolution de la « rigor-mortis » se produit ensuite progressivement avec une amélioration de la texture et de la tendreté. Cette évolution est l'œuvre essentiellement des enzymes protéolytiques intracellulaires libérées au niveau du complexe actino-myosine qu'ils détruisent progressivement :

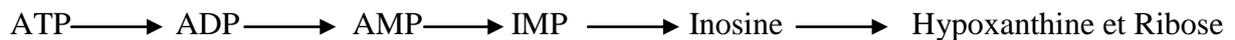
- Calpains (CASF) : pH 7 – 7.5
- Protéasomes : pH 7- 8
- Cathepsines : pH 4.5- 6

La résolution cadavérique dépend de la température et du temps.

- Entre -1 et -5°C: 3 à 4 semaines
- 0°C : 15 J
- 20°C : 2 J
- 43°C : 1 J

Il apparaît que la température favorise la tendreté de la viande. Cependant, l'élévation de la température augmente le risque du développement des microorganismes d'où l'utilisation des températures fraîches variant entre 10 à 15°C.

La maturation conduit au développement de propriétés organoleptiques favorables telles que la jutosité, la saveur, la succulence.... En outre, l'action de nombreuses hydrolases autres que les protéases contribue également à l'apparition de faibles quantités de substances aromatisantes telles que les diacétyles, l'acétone, le sulfure d'hydrogène, l'acétaldéhyde, l'ammoniaque, etc. D'autres métabolites issus de la dégradation des nucléotides apparaissent avec le vieillissement de la viande donnant naissance à l'inosine qui est un indicateur de la maturation:



La figure suivante résume les transformations que subit le muscle après l'abattage de l'animal.

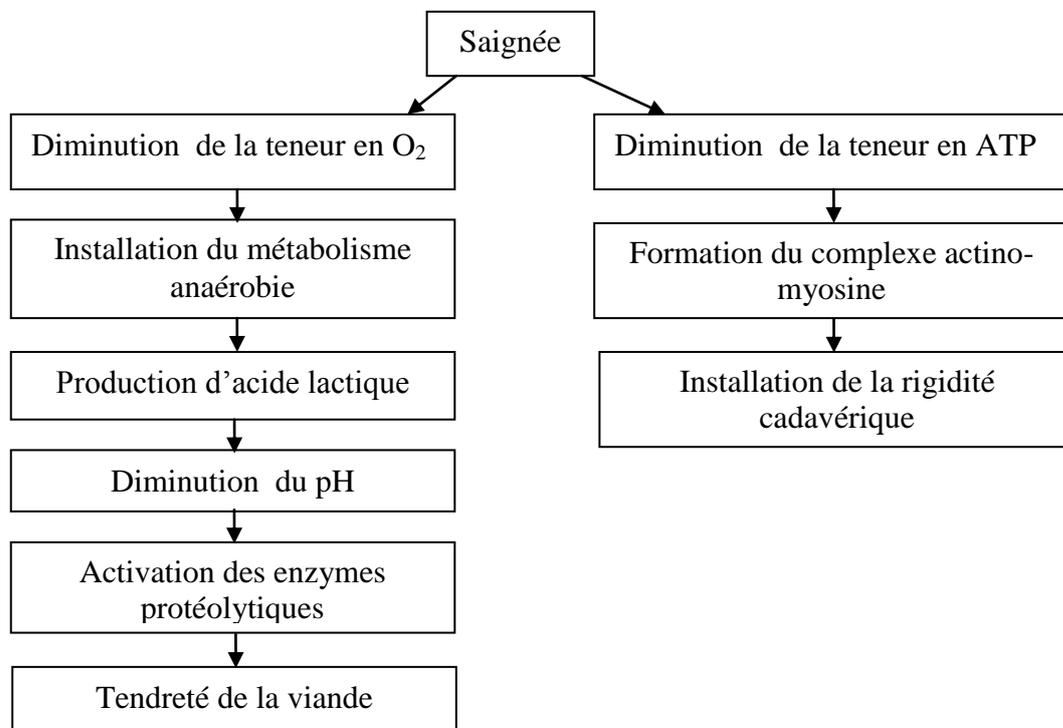


Figure 12: Schéma récapitulatif des différents changements qui ont lieu après l'abattage de l'animal

Bilan de la transformation du muscle en viande:

- Il y a diminution des composés suivants : Glycogène, pH et ATP
- Il y a augmentation des composés suivants : Arômes et acide lactique

5. Viandes anormales

On distingue les viandes anormales suivantes :

- ❖ **DFD** : dark firme and dry : sombre ferme et sèche, due au stress subi avant l'abattage. Elle a un pH >6 et un pouvoir de rétention élevé. Elle est de mauvaise conservation.
- ❖ **PSE** : pale soft and exsudative, due à la sensibilité de l'animal à l'halothane, cas de certains animaux (race piétrain). Cette sensibilité engendre la dégradation importante du glycogène se traduisant par une diminution rapide du pH avant que la température ait diminué ; l'hyperthermie provoque alors la mort de l'animal. Cette viande a un pH=5,1, un pouvoir de rétention bas et sa couleur est pâle,
- ❖ **Acide** : due à une mutation d'un gène responsable de l'accumulation importante du glycogène. La diminution du pH est importante, peut aller jusqu'au pH_i des protéines (pH<5). La tendreté de la viande obtenue est altérée et le rendement de cuisson de celle-ci est mauvais.

6. Qualité de la viande

Selon la définition ISO 8402, estimer la qualité d'une entité c'est définir l'ensemble des caractéristiques de cette entité (activité, produit ou organisme) qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites en vue de son utilisation à la consommation et/ou à la transformation. La qualité est l'aptitude du produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs.

En ce qui concerne la viande cette qualité regroupe plusieurs critères qui sont :

6.1. Qualité hygiénique

La qualité hygiénique de la viande constitue l'exigence élémentaire du consommateur. Elle peut être altérée par la prolifération de microorganismes néfastes, de parasites et/ou la présence de composés toxiques. La viande peut être contaminée par des microorganismes à différentes étapes de la chaîne de transformation. Le contrôle des proliférations microbiennes dépend avant tout du respect de la chaîne du froid.

L'utilisation de certaines molécules en élevage (antibiotiques, facteurs de croissance, pesticides, produits de fabrication) qui peut entraîner la présence de résidus dans les viandes, devient aussi une préoccupation grandissante pour le public.

6.2. Qualité nutritionnelle

La viande est un élément qui apporte de nombreux nutriments indispensables à une alimentation équilibrée. C'est une source de protéines d'excellentes qualités car ces protéines contiennent 40 % d'acides aminés essentiels. Cet aliment apporte également des minéraux tels que le fer, en particulier, dans les viandes rouges et le zinc et aussi des vitamines du groupe B. La viande peut être une source d'acides gras polyinsaturés à chaîne longue (C18:2 et C18:3).

6.3. Qualité technologique

La qualité technologique de la viande correspond à ses aptitudes à subir une transformation. La qualité de la matière première doit être définie par rapport à l'utilisation envisagée.

Le pouvoir de rétention en eau de la viande fraîche est la capacité des 20 % de protéines musculaires à retenir les 75 % d'eau présents ; c'est une caractéristique essentielle pour la fabrication de viande cuite. Il est fortement influencé par la vitesse de chute du pH *post mortem* ; une chute trop rapide du pH combinée à une température élevée provoque la dénaturation des protéines, conduisant à une réduction du pouvoir de rétention. Cela, entraîne une diminution du rendement de fabrication de viande cuite.

6.4. Qualité organoleptique

- ***Couleur***

La couleur de la viande détermine la décision d'achat de la viande. Le consommateur recherche, en général, une viande ni trop pâle ni trop foncée et de couleur homogène. La couleur dépend de la quantité de myoglobine, liée au pourcentage de fibres rouges, de l'état chimique de ce pigment, de l'âge ainsi que de la structure du muscle. L'abaissement du pH augmente la quantité d'eau extracellulaire et, en conséquence, la réflexion de la lumière incidente, ce qui confère un aspect clair aux viandes à bas pH.

- ***Flaveur***

Elle correspond aux perceptions olfactives et gustatives perçues lors de la digestion et elle dépend essentiellement de la teneur en lipides dont le rôle important est attribué aux

phospholipides dans le développement de la flaveur caractéristique de la viande cuite, du régime alimentaire et de l'espèce.

- **Jutosité**

La jutosité, ou impression de libération de jus au cours de la mastication, est liée à la quantité d'eau libre subsistante dans la viande et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les lipides. Elle varie avec le pouvoir de rétention d'eau (PRE) de la viande, les pertes à la cuisson et la présence de lipides. L'évolution *post mortem* du pH, qui influence fortement le pouvoir de rétention et les pertes à la cuisson, joue un rôle important dans la détermination de la jutosité de la viande.

- **Tendreté**

Mesure la facilité avec laquelle la viande va se laisser mastiquer. Elle est considérée comme la qualité primordiale, elle doit atteindre un seuil minimal pour que l'on puisse apprécier la saveur et la jutosité de la viande.

Paradoxalement, la tendreté est souvent exprimée par son contraire : la dureté. Ce paramètre peut facilement être mesuré puisqu'il représente la résistance mécanique lors du cisaillement ou de la mastication. Ce paramètre est très souvent mesuré sur des viandes cuites puisque les viandes non divisées sont consommées le plus souvent après cuisson.

La dureté de la viande dépend essentiellement de deux composants structurels protéiques :

- Le premier est le collagène, constituant principal du tissu conjonctif. On n'observe pas de modification importante du collagène *post mortem* (dureté de base).

- Le deuxième composant est constitué par les myofibrilles, plus particulièrement par les protéines myofibrillaires. Leur résistance mécanique n'est pas constante *post mortem*. On distingue habituellement 3 périodes :

- la première précède l'état de rigidité cadavérique,
- la deuxième est l'installation de la rigidité cadavérique : valeurs maximales de résistance mécanique
- la troisième est la diminution de la résistance mécanique de la viande correspondant à un attendrissement de la structure myofibrillaire.

La contribution respective de la dureté myofibrillaire et de la dureté de base peut varier en fonction de divers facteurs tels que l'espèce, la race, le sexe, l'âge, le muscle, les conditions de transport, les techniques d'abattages, de traitement et de transformation des carcasses et des viandes (pH, T°) et la conservation de celles-ci (T°/tps, T°/pH).

7. Attendrissement de la viande

Les dispositions à prendre lors de la conservation dans des chambres froides sont:

- Carcasses selon :
 - la taille,
 - teneur en graisse,
 - épaisseur: surface refroidit +rapidement: zone contracture au froid; cœur prend + de temps : zone risque de putréfaction; intermédiaire : zone normale.
- Condition de réfrigération : choix de T°, vitesse de refroidissement, pH.
- Réalisation du refroidissement après que le pH soit <6 et T°≠10°C
- Hormones : β-agoniste (augmente la teneur en protéine et la tendreté)
- Enzymes
- Stimulation électrique
- La castration

8. Influence de la cuisson sur la valeur nutritionnelle de la viande

- **Protéines** : la chaleur provoque leur coagulation à la surface de la viande et qui évolue au cœur de celle-ci, on note alors une formation de la croûte et un changement de la couleur.
- **Lipides** : seule la graisse sous-cutanée fond sous l'action de la chaleur et passe dans le jus de la cuisson.
- **Minéraux** : la perte en sels minéraux est pratiquement nulle pour les viandes grillées et rôties ; pour la cuisson dans l'eau, les minéraux passent.
- **Vitamines** : les vitamines sont détruites :
 - pour les grillades et rotis : 25 % de perte,
 - pour la cuisson dans l'eau : 40 % B₁ et 55 % B₂.

III. Méthodes de conservation de la viande

Les viandes sont des denrées très périssables ; leur production industrielle n'est envisageable que si elle est associée à de méthodes de conservation fiables et de durée convenable.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour conserver les viandes. La conservation est le procédé de traiter et manipuler la nourriture d'une manière telle qu'elle arrête ou ralentit la croissance des bactéries, champignons et autres microorganismes pour éviter l'intoxication alimentaire, ainsi que de retarder l'oxydation des graisses qui provoque la rancissement tout en maintenant la valeur nutritionnelle, la texture et le goût.

1. Réfrigération

C'est le développement progressif de la chaîne du froid qui a donné à l'industrie de viande leurs ampleurs actuelles.

Elle consiste à abaisser la température de la viande à une température légèrement supérieure à son point de congélation (-0.4°C pour les carcasses).

1.1. Objectif de la réfrigération

- Limiter ou arrêter la croissance de la flore pathogène
- Limiter la croissance de la flore d'altération

Il existe 3 règles à respecter dans l'application du froid :

- réfrigération appliquée à un aliment sain,
- réfrigération précoce,
- réfrigération continue.

1.2. Incidences microbiologiques du stockage de la viande

Pratiquement seules les germes superficiels peuvent évoluer.

a. Germes d'altération

La croissance des germes psychrophiles aérobies gram négatifs responsables d'altérations (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Serratia*, *Staphylocoques*...) des viandes est en général ralentie entre 0 et 4°C et des $A_w < 0.96$ (Tableau III).

Tableau III: Germes d'altération de la viande

Types d'altération	Bactéries	Mécanisme
Putréfaction profonde	<i>Clostridium perfringens</i>	Protéolyse
Putréfaction superficielle	<i>Pseudomonas</i> <i>Acinetobacter</i>	Protéolyse
Production d'odeurs: acide fromage soufrée	Bactérie lactiques <i>Brochotrix thermosphacta</i> <i>S. liquefaciens/ Alteromonas</i>	Glucidolyse AG volatils AA soufrés
Altération de couleur verdissement	<i>Pseudomonas</i> <i>Brochotrix thermosphacta</i> <i>Lactobacilles</i>	Production H ₂ S Production H ₂ O ₂

- les sucres sont rapidement épuisés puis il y a utilisation des protéines et des lipides ;
- le verdissement est dû à l'action de H₂S et H₂O₂ sur l'amyoglobine ;
- odeur : il y a dégradation des acides aminés en indole, mercaptans, ammoniac, hydrogène sulfureux et production d'amines (putrescine, cadaverine...)

b. Germes pathogènes

La réfrigération limite l'activité des germes susceptibles de provoquer des intoxications alimentaires. Leur multiplication s'effectue surtout au voisinage de 37°C (Tableau IV).

Tableau IV: Germes pathogènes de la viande

Bactéries	Intoxication/Symptômes
<i>Clostridium botulinum</i> * A et B E	Dédoublage de la vision Gorge sèche puis paralysie des muscles (respiratoires) Mort en absence de traitement
<i>Staphylococcus aureus</i> *	Vomissement suivi quelques heures après de diarrhées Guérison rapide mais risque d'hypotension parfois mortelle,
<i>Salmonella, Shiguella</i>	Gastro-entérite aiguë, forte fièvre, vomissements 2j après Convalescence longue-Mort parfois
<i>Clostridium perfringens</i> <i>Bacillus cereus</i>	Douleurs abdominales, diarrhées, parfois vomissements 14j après- Guérison rapide
<i>E. coli vérotoxigène</i>	Coliques hémorragiques, défaillance rénale aiguë
<i>Listéria monocytogene</i>	Si immuno-déprimé : méningite (maux de tête), avortement.....

* Production de toxine

Les températures et arrêt de la croissance des microorganismes sont:

- Pathogènes vers 7°C (3°C pour *Clostridium botulinum* E)
- Toutes les bactéries vers -8°C
- Les levures vers -10°C
- Les moisissures vers -12°C

1.3. Influence des paramètres de réfrigération (température, vitesse de réfrigération)

Pendant le refroidissement il y a un échange de chaleur entre une ambiance froide et le produit. Si la teneur en eau de l'environnement et de surface du produit n'est pas en équilibre, il se produira aussi un transfert de masse à l'interface provoquant :

- * une dessiccation en surface,
- * des changements de poids dus à l'évaporation,
- * migration de l'eau dans le produit.

La viande chaude dans une ambiance froide va donc perdre à la fois de la chaleur et de la vapeur d'eau. Résultat, la température de la viande va baisser progressivement et sa masse va diminuer avec le temps jusqu'à obtention d'un équilibre.

La vitesse de refroidissement est très variable selon les conditions appliquées (température de l'air, vitesse de l'air, humidité relative, durée) et selon les caractères du produit (composition en matière grasse, géométrie, dimension, épaisseur).

Le refroidissement est d'autant plus rapide que la température est plus basse et la vitesse de l'air est plus grande.

1.3.1. Température de stockage en réfrigération

Les altérations que la viande va subir après la mort dépendront du niveau de la température. La température a un effet sélectif: le type de bactérie se développant sur la viande est différent selon la température de stockage.

Selon une étude réalisée sur la viande de poulet, le tableau ci-dessous montre qu'à :

- * 1°C : la flore dominante est constituée par les *Pseudomonas* à 90 % ; leur nombre baisse au fur et à mesure que la température et augmente ;
- * 15°C : les Enterobactriaceae et les Acinebacter dominant.

Tableau V : Nombre de bactéries en % de la flore totale présente sur la viande de poulet en fonction de la température

Température	1°C	10°C	15°C
<i>Pseudomonas</i>	90	37	5
<i>Acinebacter</i>	7	26	34
<i>Enterobactériaceae</i>	3	15	27
<i>Streptococci</i>	-	6	3
<i>Actomonas</i>	-	4	6
Autres	-	12	10

1.3.2. Vitesse de réfrigération

Une carcasse chaude (35-40°C) introduit dans une chambre à -1°C se refroidit rapidement en surface. Il faudrait 2 h30 à 3 h pour qu'une épaisseur de ½ cm atteigne une température de 0°C.

Le refroidissement en profondeur est beaucoup lent. Pour atteindre une température de 5°C, il faudrait 60 h en réfrigération lente et 24 h en réfrigération rapide. Cette durée peut être réduite jusqu'à 8 h mais avec risque de congélation de la surface de la carcasse.

Plus la vitesse de refroidissement est rapide plus le temps de conservation est plus long.

a. Influence sur la flore superficielle de contamination

La vitesse de réfrigération et la vitesse de l'air conditionnent la dessiccation de la viande. Il a été montré que la vitesse de dessiccation est un facteur aussi important que la vitesse de refroidissement dans la limitation du développement microbien.

Pour obtenir un meilleur résultat, il est préférable que la dessiccation des tissus superficiels se produise au moins pendant les premières 24 h de réfrigération (plus la vitesse de l'air est rapide plus la teneur en eau de la viande est faible et plus le développement microbien est réduit).

Pour réduire les pertes d'eau il faut maintenir une humidité élevée dans les chambres de réfrigération (80-95 %) et de préférence augmenter la vitesse de refroidissement en début de refroidissement, pendant un temps réduit, puis diminuer la vitesse une fois la température de surface atteint une température basse.

b. Influence sur les germes anaérobies profonds

Pendant les 10 premières heures *post-mortem*, les éventuels contaminants anaérobies profonds ne peuvent se multiplier en raison de la réserve en oxygène. Quand celui-ci est épuisé, la prolifération microbienne des anaérobies commence si la carcasse n'a pas refroidi rapidement.

1.4. Techniques de réfrigération

Cas de grosses carcasses

Réfrigération lente : Procédé traditionnel de refroidissement à l'air ambiant à une température voisine de 15°C.

Refroidissement rapide : Dans une chambre moderne de réfrigération avec circulation forcée d'air à des températures voisines de 5°C. C'est la technique la plus utilisée actuellement.

Cas du poulet

Refroidissement par immersion : Les carcasses sont immergées dans un fluide d'eau continu à des températures 0-4°C pendant 45 min

Refroidissement par air : Les carcasses sont placées dans un tunnel à circulation d'air à 0°C.

Refroidissement par voie sèche : Passage de carcasses dans un congélateur à -35°C pendant 75 min.

2. Congélation

La congélation consiste à abaisser suffisamment la température du produit de façon à transformer une grande partie de son eau en glace et à maintenir cet état pendant toute la durée de la conservation.

La température de congélation de la viande est -1.1°C mais au fur et à mesure que la température s'abaisse, le pourcentage d'eau congelée augmente, mais il reste toujours une certaine proportion d'eau liquide (26 % à -5°C, 14 % à -40°C et plus).

La qualité de la viande reste associée à la quantité d'eau liquide résiduaire. D'où la congélation de la viande en quartiers, désossée ou en portion individuel.

2.1. Méthodes de congélation

Dans les chaînes de production, les produits de viandes sont transportés de façon mécanique sur un tapis roulant à travers une soufflerie qui produit des températures basses (-40 °C) : congélation par air pulsé.

Les produits suivants : azote liquide, fréon, gaz carbonique, saumure de chlorure de calcium - 29 °C peuvent être utilisés pour la congélation des aliments.

NB/ De la fabrication à la vente, puis à la conservation chez le particulier, il est capital que la « chaîne du froid » ne soit jamais brisée. En effet, le procédé de congélation ne tue pas toutes les bactéries, et celles qui survivent sont réactivées lors de la décongélation. Elles se développent alors très rapidement. La moindre élévation de température au cours des procédés d'élaboration ou du transport met donc en péril toute la procédure.

2.2. Influence de la congélation sur les microorganismes

2.2.1. Action du procédé de congélation

La congélation empêche les microorganismes (bactéries, champignons microscopiques) de se multiplier.

La congélation agit sur la flore microbienne de plusieurs manières :

- abaisse la température (réduit la vitesse de multiplication)
- transforme l'eau en glace (réduit l'Aw)
- altère la structure ou du métabolisme des germes (lésions des membranes et dénaturation des protéines par les cristaux d'eau).

2.2.1.1. Influence de la température de congélation

Les températures de congélation élevées sont plus létales que les basses températures (de -4°C à -10°C), un plus grand nombre de microorganismes sont inactivés jusqu'à -15°C, et à -30°C l'inactivation est nulle.

Ex. la survivance des Salmonelles sur le poulet est plus grande à -20°C qu'à -2°C.

Il semble qu'aux températures de congélation élevées un grand nombre de protéines (enzymes) soient détruites.

La vitesse de destruction des germes est rapide aux hautes températures et lente à basse température d'où l'utilisation de la conservation des souches de bactéries à très basse température.

2.2.1.2. Influence de la vitesse de congélation

La congélation très lente (0,05°C/min) favorise la formation de gros cristaux de glace de ce fait elle a un effet plus néfaste que la congélation rapide (1 à 10°C/min) sur les pertes d'eau lors de la décongélation (augmentation de la concentration des cellules en soluté) et sur la

survie des bactéries. Cet effet est plus marqué dans les premières minutes de la descente en température.

C'est pourquoi la congélation ultra rapide est utilisée pour la conservation des germes car la pénétration rapide du froid maintient l'eau sous forme de cristaux de tailles très fines.

De plus certains constituants de la viande ont un effet protecteur vis-à-vis de l'action létale de la congélation (NaCl, glycérol, glucose..).

La congélation rapide préserve mieux l'intégrité des tissus de la viande et même celle des microorganismes.

2.2.2. Action du stockage en congélation

La destruction des microorganismes est d'autant plus importante que plus le stockage est plus long. La destruction des germes est graduelle, touchant plus les cellules les plus sensibles. Les plus résistantes persistent et survivent à la congélation le long de la durée de stockage.

2.2.3. Sensibilité des microorganismes à la congélation

La sensibilité des microorganismes à la congélation varie selon :

- nature de l'espèce ;
- phase de développement des microorganismes (les cellules sont plus sensibles en phase exponentielle qu'en phase de latence ou en phase stationnaire). L'activité métabolique est réduite donc moins influencée par l'abaissement de la température.
- facteurs physico-chimiques du milieu : pH (survie microbienne à pH neutre est plus importante) ;
- vitesse et température de congélation ;
- température et la durée de stockage en congélation

La multiplication des microorganismes à des températures inférieures à -12°C est rares. Cependant les enzymes produites auparavant par les germes et transférées à la viande sont encore actives à basse température ce qui entraîne des modifications protéiques de la qualité au cours du stockage en congélation.

On distingue les germes suivants :

Germes très sensibles : Levures et moisissures en phase de bourgeonnement, cellules végétatives de bactéries Gram négatif (*Coliformes*, *Pseudomonas*, *Salmonelles*...);

Germes moyennement résistants : Germes résistants : cellules végétatives de bactéries Gram positif (*Staphylocoques*, *Microcoques*, *Entérocoques*..).

Germes résistants : formes végétatives de levures et de moisissures et les spores bactériennes (*Bacillus*, *Clostridium*).

2.2.4. Action de la congélation sur les parasites de la viande

Si la majorité des microorganismes résistent au froid, il n'en est pas de même pour les parasites. Les levures et les formes embryonnaires de ténias et de trichines sont tuées par une congélation bien conduite (-7°C).

2.3. La décongélation

Réalisée par fente progressive de tous les cristaux de glace qui étaient présents dans le produit lorsqu'il était congelé.

La congélation stabilise seulement la flore microbienne, présente dans la viande. La qualité microbienne finale de la viande décongelée dépend de celle avant congélation.

La multiplication des microorganismes après décongélation est fonction de plusieurs facteurs :

- La nature des contaminants survivants
- Le nombre de microorganismes viables et leur activité (aptitude à se multiplier)
- Le mode de congélation (température et vitesse).

2.3.1. Mode de décongélation (température et vitesse)

Le mode de congélation joue un rôle important sur la flore microbienne. Une décongélation lente entraîne des changements physico-chimiques et des pertes de poids par exsudation. Cette dernière est favorable à la croissance des germes de surface telle que les Salmonelles. En plus de l'exsudation, la température de la surface de la viande atteint plus rapidement une température favorable au développement de ces germes, alors qu'elle est congelée à coeur. Il est donc préférable de décongeler rapidement à température assez élevée (si le produit est immédiatement consommé).

2.3.2. Méthodes de décongélation

La décongélation peut être réalisée

- en air chaud ou froid :

- tunnel climatisé (14-16°C, H^o> 95 %)
- chambre froide (<5°C)

- Par immersion dans l'eau (la viande étant dans un emballage étanche)

- Four à ondes (décongélation rapide)
- A la vapeur sous-vide

Tous ces procédés, excepté la dernière méthode, utilisent un transfert de chaleur par conduction et ne diffèrent que par la rapidité de l'opération.

2.3.3. Température de stockage après congélation

Le stockage de la viande entre 2 et 5°C favorise la multiplication rapide des germes psychrotrophes particulièrement les *Pseudomonas*. Alors que les mésophiles restent pratiquement inchangés dont la croissance est plus favorisée à température ambiante.

2.4. Recongélation

Rappelons que la température inhibitrice des germes pathogène est 3°C. Si au cours de la décongélation-recongélation, cette température n'est pas dépassée alors il n'y aura aucun risque de développement de ce type de germes.

3. Traitement thermique (fumage)

La fumigation est une méthode de traitement par les fumées (mélange de gaz, de vapeur d'eau et de fines particules) obtenues en brûlant du bois préférentiellement durs (chêne, hêtre, noyer, frêne, châtaignier, utilisés généralement en mélange avec des bois tendres) et de sciures dans des générateurs de différents types. Les générateurs alimentent les fumoirs, chargés de viandes, en fumées dans les températures variant entre 20 et 80°C et qui possèdent des compositions variables en eau, en oxygène, en composés volatiles et en particules.

Les bois sont principalement constitués de 3 polymères prépondérants : deux parties de cellulose (D glucose); une partie d'hémicelluloses à base de pentosanes (D xyloses ; L arabinoses) et d'hexosanes (D mannoses ; D galactoses) ; une partie de lignine, composé complexe, synthétisée par polymérisation d'alcools aromatiques (alcools coniférylique, p. coumarique, p. hydroxycinnamique sinapinique, etc....) dérivés du métabolisme de l'acide phénylpyruvique.

Au cours de la pyrolyse des bois, 300 à 1000 constituants apparaissent en quantités variables (phénols, carbonyles, acides furanes, alcools, éthers, esters, lactones, hydrocarbures, polycycliques, etc....) et 70 environ sont retrouvés dans les produits fumés auxquels s'ajoutent les composés apparus dans les viandes au cours du fumage.

3.1. Application de la fumée

3.1.1. Fumage à froid :

Utilisé surtout pour les produits sensibles comme le poisson. Dans ce type de fumage, la température de la fumée est maintenue entre 20-25°C, elle n'excède pas 28°C, régulée par admission d'air et par passage de la fumée dans un échangeur.

L'humidité est contrôlée par admission de vapeur par un humidificateur de la sciure. Le pourcentage d'humidité varie entre 20-28 %. La durée de fumage varie de quelques heures à quelques jours.

3.1.2. Fumage à chaud :

Suivant la température, le produit subit un début de cuisson véritable. Le fumage à chaud peut commencer à 30-35°C pour se terminer à 50-55°C voir 75-80°C suivi d'un étuvage ou cuisson. La durée de fumage peut aller jusqu'à 20 à 60 min.

Ex : produits traités à chaud : poulets, pentades, truites, maquereaux, saucissons...

3.2. Traitement par les arômes de fumée ou condensat

Le traitement peut être réalisés par différentes manières :

- Addition à la mûlée (condensat est liquide) ;
- Trempage ;
- Injection ;
- Pulvérisateur.

3.3. Rôle de la fumigation

La fumigation des viandes possède 4 effets principaux :

- ❖ colore les viandes ;
- ❖ apporte des flaveurs spécifiques ;
- ❖ augmente la durée de conservation des produits traités par ces actions acidifiantes, antimicrobiennes et antioxydantes ;
- ❖ déshydrate partiellement la viande.

4. Salaison

Le sel (chlorure de sodium : NaCl), l'or blanc, est présent à 3 % dans l'eau de mer, qui est une réserve inépuisable. Le sel comestible ne représente que 10 % de la quantité totale utilisée chaque année.

La conservation par le sel est connue et pratiquée depuis la plus haute antiquité (avant Jésus Christ). A l'origine de cette pratique, nos ancêtres furent alertés par les phénomènes appelés aujourd'hui organoleptiques qui se manifestent sur les produits avariés :

- mauvaise odeur et goût anormaux, goût acide, goût putride,
- modifications de couleur et de texture

et par les conséquences graves voir mortelles de leur ingestion.

Le salage se définit comme l'action d'imprégner du sel associé à une denrée pour favoriser sa conservation.

Cette méthode est encore très répandue de nos jours. Elle est parfois associée à divers ingrédients ou additifs dans la viande et est généralement accompagnée d'un ou plusieurs traitements : fermentation, séchage, cuisson, fumage...

4.1. Action du sel

Le sel agit sur la viande par différentes actions :

- ❖ rôle bactériostatique : selon la concentration en % :
 - à partir de 5 %, le sel inhibe la plupart des bactéries et les *Pseudomonas* et ralentit la croissance des aérobies ;
 - à 10 %, il inhibe la croissance de nombreux germes, ce qui constitue son pouvoir conservateur.
- ❖ rôle d'agent de sapidité : apport de goût salé, ce qui a évolué chez le consommateur, on est passé de 7 à 8 % avec une date limite de consommation (DLC) assez longue à moins de 3 %. On est alors contraint pour assurer une meilleure protection de prévoir soit un maintien au froid positif, soit une solution mixte ;
- ❖ l'action sur l'activité d'eau (A_w) ;
- ❖ l'action sur les protéines : augmentation de leur solubilité (protéines musculaires ou myofibrillaires) qui attendrit la viande ;

4.2. Pénétration du sel dans la viande

La pénétration du sel dans la viande est liée à l'établissement d'un équilibre entre les concentrations de sel à l'intérieur et l'extérieur de la viande. La vitesse de pénétration du sel est influencée par différents facteurs:

a. Facteurs externes

- ❖ température : l'élévation de la température favorise la pénétration du sel.

- ❖ concentration du sel : il existe une relation linéaire entre la concentration du sel et la vitesse de pénétration de celui-ci.

b. Facteurs internes :

- ❖ pH : plus le pH est élevé moins le sel pénètre facilement.
- ❖ présence de gras freinerait la pénétration du sel.

4.3. Dosage

Les saumures utilisées sont de concentrations variables en NaCl (les teneurs finales des produits en sel varient entre 1 % et 3 %).

4.4. Les techniques de salage

a. Salage au sec

Le produit est enrobé de sel fin épuré puis séché et stocké entre 12 et 15°C. Cette technique est utilisée pour les filets de gros poissons : morue, thon, ... disposés sur des chariots à grille. Afin d'éviter la cristallisation du sel à la surface des filets, l'excédent de sel est éliminé par un rinçage uniforme, léger et rapide.

b. Salage en saumure (saumurage)

Le produit est immergé dans une solution aqueuse avec un pH entre 5, 6 et 6,2 à $T^{\circ} \leq 10^{\circ}\text{C}$. Elle peut être épicée. Il existe des échelles et degrés de salinité de 0 à 100 ; la valeur 100 correspond à une saturation. En générale, les solutions de force moyenne de 18 à 20 % sont utilisées.

Les temps d'immersion sont variables selon plusieurs facteurs :

- l'épaisseur du produit ;
- la concentration du sel ;
- la présence de la matière grasse.

Ce temps peut varier de 30 min pour un filet de poisson de 200 g à 3 J pour la poitrine de porc.

Un rinçage par trempage est effectué pour retirer l'excédent de sel.

NB/ La saumure doit être renouvelée souvent notamment dès l'apparition d'odeur.

c. Salage par injection

Dans une machine munie d'aiguille creuse, la saumure est injectée dans les produits qui défilent. Ce procédé est d'un meilleur rendement que le saumurage, la répartition de la

saumure est homogène dans les muscles. Ce procédé est développé pour les poissons. Cependant, il existe un risque de contamination.

5. Atmosphère modifiée et autres

5.1. Atmosphère non modifiée

L'atmosphère que l'on respire comporte 80 % d'azote et 20 % d'oxygène. La viande peut être conservée à une température fraîche ou froide dans cette atmosphère non modifiée, sans protection particulière : c'est le cas de la viande sur os conservée dans la chambre froide du boucher ou de la tranche présentée sous film étirable, très représentée au niveau du détail. Mais l'oxygène de l'air ambiant oxyde les graisses, ce qui conduit au phénomène de rancissement. La dégradation microbiologique est relativement rapide et le développement de microbes aérobies entraîne la putréfaction de la viande.

Une viande provenant d'un bovin abattu dans de bonnes conditions hygiéniques et maintenue à température froide ou fraîche peut se conserver en carcasse, jusqu'à environ trois semaines au maximum après l'abattage. Lorsque la viande est vendue au détail dans du papier d'emballage ou sous film, elle se conserve trois à cinq jours, parfois plus dans de très bonnes conditions de froid et d'hygiène.

5.2. Atmosphère modifiée

Le plus ancien (>25 ans) est celui sous atmosphère modifiée avec oxygène (O₂). La viande est conservée dans une ambiance composée pour l'essentiel d'oxygène (60/80 %) auquel il a été ajouté du gaz carbonique (CO₂) qui ralentit la multiplication des microbes. La durabilité de la viande ainsi conservée est très faiblement augmentée. Par contre, cette méthode permet de conserver plus longtemps une couleur rouge caractéristique de la viande.

NB/ Au cours de la conservation, les mélanges gazeux évoluent à cause de la respiration mitochondriale, du métabolisme microbien et de la dissolution des gaz dans la viande.

5.3. Le sous vide

Le sous vide est un mode de conservation où l'air ambiant a été éliminé, c'est-à-dire qu'aucun gaz n'est présent dans l'emballage. La durée de conservation des viandes ainsi présentées peut atteindre, selon les pratiques constatées pour une température comprise entre 0°C et +2°C, quatre à six semaines au stade de gros et deux à trois semaines au détail.

5.4. Procédé CAPTECH

Un mode de conditionnement sous atmosphère sans oxygène est apparu récemment. Il consiste à placer les viandes sous gaz carbonique ou sous azote, purs ou en mélange. Cette méthode de conservation est sans conteste la plus efficace pour allonger la durée de vie des produits réfrigérés. Elle permet d'avoir une durabilité jusqu'à quatre à six mois pour le bœuf et de trois mois pour l'agneau, mais la température de réfrigération doit être abaissée à -1,5°C. Cette technique de conservation a été développée par la Nouvelle-Zélande et l'Australie pour abaisser la contrainte temps liée au transport et augmenter leurs exportations de viandes, notamment vers l'Europe. En effet, pour commercialiser des viandes dans des pays lointains, il fallait soit les congeler, soit les transporter par voie aérienne, ce qui en augmentait le prix.

Avec la conservation sous atmosphère sans O₂, il est possible de transporter les viandes réfrigérées par voie maritime et donc d'avoir des prix compétitifs et de les présenter aux rayons « boucherie » (traditionnelle et libre service).

Cette pratique concerne pour l'essentiel le stade de gros et, à ce jour, il n'y a que très peu de produits carnés vendus au détail qui soient sous ce mode de conditionnement.

6. Additifs alimentaires

Composés, qui ne sont généralement pas des produits alimentaires, ajoutés à des aliments dans le but d'améliorer leur conditionnement, leur fabrication, leurs propriétés de conservation, leur arôme, leur couleur, leur texture, leur apparence ou de rendre leur consommation plus pratique.

A tous les stades de la technologie des viandes dans le but de limiter les développements des flores microbiennes, des applications de produits divers ont été expérimentées et ont été ou sont encore employées selon les réglementations en cours. Voici quelques produits susceptibles d'être utilisés :

a- les produits ingérés par les animaux ou injectés avant l'abattage sont principalement les antibiotiques, des antioxydants et des tranquillisants.

b- les produits appliqués sur les carcasses dès l'abattage sont des gaz (l'ozone, la vapeur d'eau) des liquides et des solutions (l'eau chaude au dessus de 70°C, l'hypochlorique de sodium à 200-250 mg/l, des solutions diluées d'eau oxygénée, des solutions d'acides organiques, d'acide borique et de borates).

c- les auxiliaires de la conservation sont : les nitrates (NaNO₃ à 500 ppm), les nitrites (NaNO₂ à 200 ppm), les polyphosphates, métabilsulfites (Na, K), les acides organiques (acétique, propionique, sorbique, benzoïque) et leurs sels (Na, K, Ca), les antibiotiques, les

antifongiques (tétracycline, griséofulvine, piméricine, rimocidine, nystatine), les épices et les condiments (poivres, oignon, clou de girofle, thym, moutarde, etc.).

7. Autres procédés de conservation

7.1. Séchage

Méthode traditionnelle de conservation par la déshydratation de certains produits alimentaires. Dans ce cas, la viande subit une dessiccation naturelle (au soleil, au vent, à la chaleur). Le produit obtenu titre entre 60 et 90 % de matière sèche et il est consommé en l'état ou après réhydratation.

Dans les pays industrialisés, des techniques de prétraitement, des séchages et d'emballage permettent de maintenir les niveaux d'hydratation désirés.

7.2. L'irradiation

La stérilisation des viandes par les radiations a été largement expérimentée. Les rayons ultra violets, les rayons infra rouges, les rayons électroniques, haute énergie, les rayons X, les rayons Y obtenus à partir d'isotopes radioactifs (Cobalt 60, Césium 137), les micro-ondes ont été principalement essayés. Les traitements par les rayons infra rouges et les micro-ondes sont en effet des traitements thermiques : l'un superficiel (IR), l'autre à cœur (MO) ; quant aux radiations ionisantes (rayons X, Y, électrons haute énergie) elles agissent en libérant à partir des constituants irradiés, des électrons, des protons, des radicaux libres qui désorganisent la matière et tuent les microorganismes. Aux doses stérilisantes pourtant appliquées aux basses températures (-5°C à -40°C), les modifications chimiques sont détectables par l'apparition de flaveurs, la variation de couleur, la diminution de la capacité de fixation de l'eau et la réduction des vitamines.

Par ailleurs les viandes irradiées doivent être conservées au froid ou chauffées à 65-70°C, sinon, entreposées aux hautes températures positives, elles sont progressivement hydrolysées par les enzymes résiduelles.

7.3. La fermentation

La fermentation est une méthode de conservation peu coûteuse. Avant d'être fermentés, les produits sont souvent salés et épicés. Elle favorise l'implantation de flores bénéfiques, qui apportent des équilibres protecteurs. Les espèces bactériennes : les bactéries lactiques (Lactobacilles, Leuconostoc) et les bactéries du genre Micrococcus.

La fermentation présente les avantages suivants:

- ❖ inhibition de l'altération microbiologique et développement des bactéries pathogènes par l'abaissement du pH, de la production de bactériocines, de peroxyde d'hydrogène...
- ❖ amélioration de la qualité organoleptique (flaveur, couleur ...);
- ❖ amélioration, dans une certaine mesure, de la valeur nutritionnelle ou de la digestibilité du produit initial.

IV. Volaille

1. Les différents types d'oiseaux consommés

Une volaille est un oiseau domestique, appartenant généralement aux gallinacés ou aux palmipèdes, élevée pour sa chair ou ses œufs, soit en basse-cour traditionnelle soit en élevage industriel.

Les volailles les plus courantes sont, par ordre de masse décroissante :

- l'oie (le mâle est le jars, le petit l'oison) : possède une chair fine et délicate et sert à produire du foie gras,
- la dinde (le mâle est le dindon, le jeune mâle le dindonneau) : sert, également, à produire du foie gras,
- la poule (le mâle s'appelle le coq). La volaille élevée pour sa chair : le poulet. On vend aussi des petits poulets sous le nom de coquelets. L'œuf de poule est de loin l'œuf le plus courant dans la consommation humaine,
- le canard (la femelle est la cane, le petit le caneton),
- la pintade,

Le chapon est un poulet mâle castré et spécialement élevé pour une plus grande tendreté. Sa masse est plus élevée que celle d'un poulet normal. L'analogue femelle est la poularde, plus petite, une poulette dont on a ôté les ovaires.

On élève aussi les oiseaux suivants pour leur chair et parfois leurs œufs :

- la caille
- le faisan
- le pigeon

Un autre oiseau d'élevage est apparu depuis quelques années : l'autruche, qui fournit sa chair, ses œufs et aussi ses plumes pour la haute-couture et la chapellerie.

2. Production

La France a produit en 2004 près de deux millions de tonnes de volailles dont 40 % proviennent de Bretagne et 23 % des Pays-de-Loire. Elle est le premier producteur européen avec 36 %

Les trois premiers producteurs mondiaux sont (en 2004) les États-Unis avec 18 millions de tonnes, la Chine avec 14 millions de tonnes et le Brésil avec 9 millions de tonnes.

En Algérie, la production avicole a évolué différemment, selon que l'on s'adresse à la filière chair ou ponte. Indéniablement, c'est la production des viandes blanches qui a

enregistré la régression la plus importante, alors que la production des œufs a fortement progressé (Tableau VI) en raison de soutien apporté par l'état à ces activités dans le cadre de multiples programmes de développement (développement rural, reconversion des systèmes de production, soutien à l'emploi des jeunes,...).

Tableau VI: Evolution des productions avicoles entre 1996 et 2004

Période	Viandes blanches (tonnes)	Œufs (millions)
Moyenne (1996-1999)	185 585	1805
Moyenne (2000-2004)	174 454	2805
Evolution (%) 2000-2004/1996-1999	-6,0	+53,7

3. Viande de volaille

La préparation de la viande de poulet (abattage, épilation, éviscération, conservation) est similaire à celle de la viande rouge (voir premier chapitre). On distingue selon la législation :

❖ une volaille effilée est un sujet ayant subi l'ablation de l'intestin par l'orifice cloacal sans enlèvement des autres viscères (jabot, foie, gésier, cœur et poumons) ni des abattis (pattes, tête et cou).

❖ une volaille éviscérée (ou prête à cuire) a subi l'ablation totale de l'oesophage et du jabot, de la trachée, des viscères thoraciques (cœur et poumons) et abdominaux (proventricule, gésier, intestin, foie), du cou (celui-ci étant coupé à sa naissance thoracique et un morceau de peau du cou suffisamment grand mais non excessif étant rabattu de telle sorte que l'ouverture soit masquée) et des pattes. Ces dernières étant coupées à l'articulation du jarret ou, au maximum, un centimètre au-dessous de cette articulation.

La volaille éviscérée peut être présentée soit sans abats, soit avec abats, auquel cas ceux-ci font obligatoirement l'objet d'un conditionnement comprenant le foie (dépourvu de vésicule biliaire), le gésier (dépourvu de revêtement corné), le cœur (dépourvu de membrane péricardique), éventuellement la tête et le cou.

On distingue les parties suivantes dans la découpe de la volaille :

- les « blancs », grands muscles dorsaux. Ceux-ci ont parfois tendance à se dessécher lors des cuissons rôties,
- les cuisses,
- les ailles.

4. Valeur nutritionnelle de la viande de volaille

La viande de volaille apporte environ 18 % de protéines. Cette teneur ne varie pas selon le sexe et l'âge de l'animal contrairement aux lipides. En effet, on trouve plus de lipides chez la femelle (8 %) et les animaux âgés (14 %-20 %). La teneur en lipide dépend, également, de la nature du régime alimentaire.

5. L'œuf de poule

5.1. Structure

Un œuf est composé :

- d'une **coquille** protectrice, pesant en moyenne 7 g. Elle est calcaire, de couleur blanche ou rousse. Cette différence de couleur n'a aucun rapport avec la qualité ni la nourriture de la poule pondeuse : elle est génétique. La coquille de l'œuf est fragile mais hermétique. C'est pourquoi il ne faut jamais la laver : elle devient alors poreuse et n'exerce plus son rôle protecteur. Elle est doublée d'une membrane qui, au sommet le plus arrondi, laisse un espace appelé "chambre à air" : celle-ci augmente de volume au fur et à mesure du vieillissement de l'œuf.

- d'un **blanc** ou **albumen** dont le poids moyen est de 20 g. Il est translucide, constitué une très grande quantité d'eau (87 %) et 12,5 % d'une protéine du groupe des albumines: l'ovalbumine, qui représente plus de 50 % du total protéique du blanc. Peu de lipides sont contenus dans le blanc. Les protéines du blanc d'œuf sont riches en acides aminés soufrés.

- d'un **jaune** ou vitellus qui pèse en moyenne 35 g. Il est entouré d'une membrane qui le sépare de l'albumen. Ce jaune d'œuf contient de l'eau et des protéines mais aussi des lipides, du cholestérol, des vitamines, des sels minéraux et des lécithines qui lui confèrent des propriétés émulsifiantes, d'où son utilité dans la mayonnaise.

5.2. Composition chimique de l'œuf de poule

L'intérêt nutritionnel de l'œuf réside dans le subtil équilibre et la diversité de ses constituants : des protéines parmi les meilleures pour l'homme, des lipides de très bonne qualité, nombre de vitamines et de minéraux. Boudé un temps par les consommateurs, notamment du fait de sa teneur en cholestérol, l'œuf est aujourd'hui largement plébiscité. Sa composition riche et variée en fait un des aliments préférés des nutritionnistes et des chercheurs qui en explorent les richesses.

La composition en nutriment de l'œuf est la suivante :

- Protéines: 12,3 %
- Glucides: 0,7 %,
- Lipides: 10,3 % dont
 - Acides gras saturés: 2,7 %
 - Acides gras mono-insaturés: 3,9 %
 - Acides polyinsaturés: 1,8 %
 - Cholestérol: 0,35 %

6. Les ovoproduits

Selon l'arrêté du 15 avril 1992, les ovoproduits sont les produits qui ont été obtenus à partir de l'œuf, de ses différents composants ou de leurs mélanges, après élimination de la coquille ou des membranes, et qui sont destinés à la consommation humaine ; ils peuvent être partiellement complétés par d'autres denrées alimentaires ou additifs ; ils peuvent être soit liquides, soit concentrés, séchés, cristallisés, complétés, surgelés ou coagulés.

6.1. Classification des ovoproduits

Il existe deux grandes classifications sur le marché :

- les ovoproduits intermédiaires
- les ovoproduits élaborés

6.1.1. Les ovoproduits intermédiaires

Ils servent à différentes préparations en cuisine. Leur utilisation représente 20 % du marché des ovoproduits. Le tableau VII illustre les formes de commercialisation des ovoproduits intermédiaires.

Tableau VII: Différentes formes de commercialisation des ovoproduits intermédiaires.

Forme	Méthode de conservation	Conditionnement
Œufs entiers (naturels ou additionnés de sel ou de sucre)	Réfrigérés Congelés Concentrés Déshydratés Lyophilisés	Bidon Brick

6.1.2. Les ovoproduits élaborés

Sont classés sous cette appellation, les produits ayant subi une transformation technologique importante s'utilisant tels quels (Tableau VIII).

Tableau VIII : Présentation commerciale des ovoproduits élaborés.

Forme	Conditionnement	Observations
Rouleau d'œuf dur	Tube (œufs prétranchés)	Goût et aspect plus traditionnels
Œufs pochés	Seau+solution conservatrice (saumure)	
Œufs durs	Seau+solution conservatrice Sachet sous atmosphère contrôlée	Durée de conservation 28 à 35 jours
Omelette déshydratée	Boite hermétique	DLUO=1 an
Omelette déjà cuite	Emballée en barquette sous atmosphère contrôlée	Portion de 2 à 3 œufs 21 j de conservation
Œufs brouillés	Sac scellé de 2 Kg	Proche de la fabrication traditionnelle

DLUO : date limite d'utilisation optimale

6.2. Fabrication des ovoproduits

Les ovoproduits sont obligatoirement préparés en amont dans une casserie agréée par les services vétérinaires. Elle fournit la matière première aux entreprises de transformation.

Lors des étapes de fabrication, les ovoproduits intermédiaires subissent systématiquement une pasteurisation (65°C/ 2 min) ou ionisation afin de détruire un maximum de germes pathogènes. La fabrication des ovoproduits passe par plusieurs étapes et les principales opérations de la technologie de la production des ovoproduits sont résumées dans la figure 13.

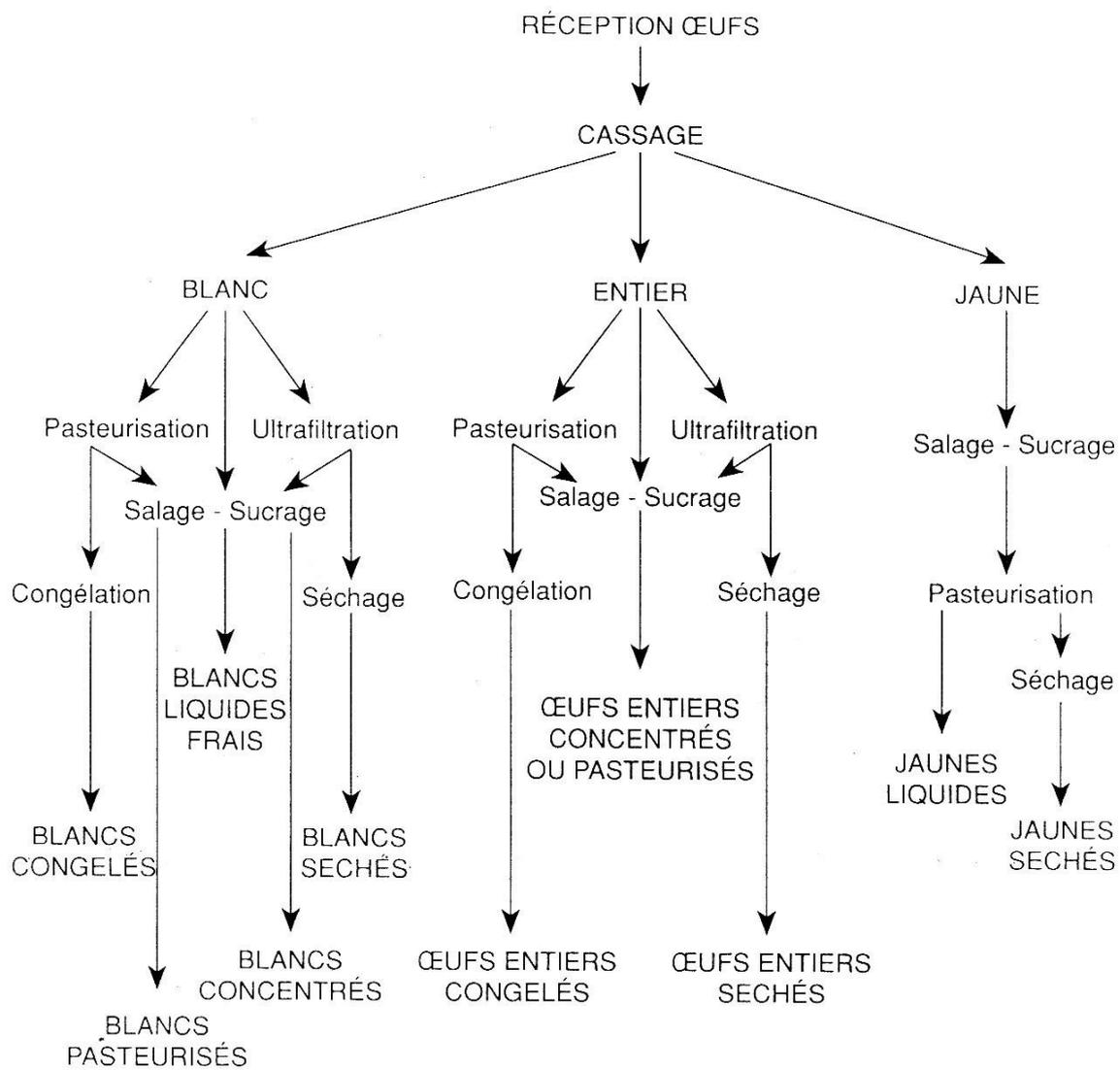


Figure 13 : Principales voies de la technologie des ovoproduits

V. Poissons

1. Produits de la pêche

Les poissons constituent plus de la moitié du nombre total des vertébrés actuels. Les zoologistes estiment à 25 000 le nombre d'espèces de poissons, pour un total de 45 000 espèces actuelles de vertébrés. En outre, de nouvelles espèces de poissons continuent à être découvertes à un rythme rapide et on s'attend à ce que le nombre final d'espèces connues dépasse les 30 000.

Les produits de la pêche sont des produits d'origine animale que l'homme puise dans le milieu aquatique. Ils englobent :

- **Les poissons** : sont des vertébrés au même titre que les animaux producteurs de viande. Les principales espèces suivantes : sardines, morues, thons, maquereaux, poissons plats (soles, turbots, limandes), colins, bars, raies, lottes, etc. ;
- **Les mollusques et crustacés** : sont des invertébrés ; les principaux mollusques font l'objet d'un élevage important: ostréiculture (huitres) et mytiliculture (moules). D'autres mollusques sont également consommés : les coquillages sont très diversifiés (palourdes, coques, coquilles Saint-Jacques, bigorneaux, patelles, ormeaux, etc.) alors que les céphalopodes sont sans coquille (seiches, encornets, calmars). Les crustacés les plus consommés sont les crevettes et langoustines, les homards et langoustes, les différents crabes ;
- **Les cétacés** (baleine, cachalot, dauphin).

2. Les poissons

Les poissons peuvent être classés selon :

a. la famille

- les gades ou gadidés : poissons à tête volumineuse et corps allongé (morue, cabillaud, merlan, colin, aiglefin, tacaud, lieu, capelan),
- les pleuronectes : poissons couchés sur un flanc qui est aveugle (sole, raie, limande, carrelet),
- les scombridés : dont le corps est en forme de fuseau et irisés (sardine, maquereau, thon).

b. le milieu de vie

- poissons d'eau douce (truites brochets, perches, carpes, etc.),
- poissons de mer,

- poissons mixtes, mer et rivière, comme le saumon et l'anguille, esturgeons.

c. la teneur en lipide

-poissons maigres dont la teneur en lipides est inférieure à 5 % (majorité des gadidés et des pleuronectes),

- poissons demi-gras dont la teneur en lipides varie entre 6 % et 10 % (majorité des scombridés),

- poissons gras dont la teneur en lipides est supérieure à 10 % (saumon, anguille, thon, lamproie).

d. le squelette

- poissons cartilagineux dont le squelette est encore mou (raie, roussette) ;

- poissons osseux dont le squelette est dur.

2.1. Structure et composition chimique de la chair de poisson

La part comestible du poisson correspond à son tissu musculaire dont l'importance quantitative varie beaucoup selon le type de poisson. En tant que muscle de vertébrés, la chair de poisson présente des analogies profondes avec celle des animaux à viande. Cependant, quelques différences méritent d'être soulignées :

- l'organisation générale des muscles de poisson est marquée par une **structure métamérique** : les muscles longs sont divisés en segments de forme conique (myotomes) dont le sommet est dirigé vers la tête ; chaque segment est constitué de lamelles résultant de la juxtaposition de fibres musculaires relativement courtes (3 cm au maximum) contenant chacune un appareil contractile de myofibrilles ;

- la **teneur en tissu conjonctif** de la chair de poisson est réduite et les protéines de ce tissu (collagène surtout) ne représentent que 2 à 5 % des protéines totales ;

- la **teneur en lipides** est basse et la **qualité des lipides** est aussi intéressante car les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont en proportion importante (35 %) avec surtout les acides gras essentiels (AGE) de la série n-3 ou ω 3 (25 à 30 % ; exemple : DHA (acide docosahexaénoïque) et EPA (acide éicosapentaénoïque)), mais également de la série n-6 ou ω 6 (2 à 8 % ; exemple : acide arachidonique).

Le tableau suivant illustre la composition des muscles de poissons :

Tableau IX: Composition des muscles de poissons

Constituants	Teneur (%)
Eau	70- 80
Protéines	15- 26
Lipides	1-10
Glucides	0,3- 1,0
Minéraux	1,0- 1,5
Protéines du stroma	2- 5 *
Protéines sarcoplasmiques	20- 35*
Protéines myofibrillaires	60- 75*

* : Il s'agit du pourcentage par rapport aux protéines totales.

2.2. Valeur nutritionnelle du poisson

Les poissons représentent la source la plus importante de protéines animales pour les humains. Ils constituent aussi une excellente source de vitamines D et B12 et de plusieurs minéraux tels le sélénium, le fer et l'iode. Bien entendu, ils offrent une quantité appréciable d'acides gras ω 3.

2.3. Qualité et fraîcheur des poissons

L'évolution post-mortem des poissons présente des particularités qui permettent de comprendre leur grande fragilité :

- l'**apparition et la résolution de la « rigor mortis »** sont rapides (terminés en 24 h à 0°C). La rigidité et l'abaissement du pH sont peu importants : le pH chute de 7 à 6, ce qui est insuffisant pour inhiber le développement microbien ;

- l'**altération de la chair de poisson** se produit vite même à basse température. La présence d'une flore microbienne psychrotrophe et un arsenal enzymatique actif à basse température provoquent une dégradation protéolytique, l'apparition d'ammoniac et d'amines volatils (TMA : triméthylamine), une oxydation des AGPI, qui rendent le produit impropre à la consommation. Des signes extérieurs sur les poissons, et l'apparition d'odeurs caractéristiques révèlent aisément cette évolution.

2.4. Méthodes de conservation du poisson

L'altération rapide de la chair du poisson après la pêche a incité l'homme à mettre en œuvre d'autres procédés de conservation, autre que la simple réfrigération. Certains procédés sont utilisés depuis des siècles.

2.4.1. Réfrigération

Ce procédé de conservation est utilisé sur le bateau après capture des poissons. Ces derniers sont maintenus à une température de 0°C jusqu'à l'arrivée chez le détaillant où ils sont exposés sur un lit de glace. A 0°C, la durée de conservation est d'environ de 3 à 6 j pour les poissons non éviscérés et de 10 à 12 j pour les poissons éviscérés.

2.4.2. Congélation

La congélation peut être effectuée soit à bord des bateaux, soit à terre. Elle consiste à abaisser la température du poisson à -18°C ou même à une température inférieure et à maintenir en permanence et sans aucune rupture cette température jusqu'au moment de la consommation du produit. La congélation respecte la valeur nutritionnelle du poisson.

2.4.3. Conserves de poisson

On considère les conserves tous les denrées alimentaires dont la conservation est assurée par l'emploi combiné des deux techniques suivantes :

- conditionnement dans un récipient étanche aux liquides, aux gaz et aux microorganismes,
- traitement par la chaleur ou par tout autre mode autorisé. Ce traitement ayant pour but de détruire ou d'inhiber totalement, d'une part les enzymes, d'autre part les microorganismes et leurs toxines dont la présence ou la prolifération pourrait altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à l'alimentation.

Trois types de conserves peuvent être dégagés : thons, sardine, maquereau. Généralement, on retrouve les mêmes opérations de fabrication microbienne suivantes :

- étêtage et éviscération pour éliminer les foyers de prolifération microbienne ;
- lavage ;
- saumurage ;
- parage qui consiste à enlever toutes les parties qui n'entrent pas dans la fabrication de la conserve : peau, arrêtes, parties oxydées, muscle rouges ;

- cuisson qui varie suivant le poisson. Une exception, le thon au naturel est l'emboîtement à cru. Le thon, destiné aux conserves de thon à l'huile, est cuit soit en saumure, soit de plus en plus en atmosphère de vapeur. La cuisson des sardines se fait à l'eau, à l'air chaud ou à la vapeur et de plus en plus rarement à l'huile. Les maquereaux sont cuits en saumure ou à la vapeur ;

- emboîtement qui se fait manuellement ou mécaniquement ;
- remplissage de la boîte. Il se fait avec une légère saumure (thon au naturel), avec de l'huile (thon, sardine), avec une marinade (maquereau) ou avec de la sauce (maquereau) ;
- sertissage des boîtes ;
- stérilisation à l'autoclave : la température étant supérieure ou égale à 115°C.

2.4.4. Autres procédés de conservation

- **Le salage**

Le salage permet de conserver certains poissons comme l'anchois, le hareng, la morue, la sardine, le maquereau et le thon dans la mesure où les poissons traités contiennent au moins 15 % de sel. Après ablation de la tête et des viscères, puis nettoyage, le poisson est empilé entre des couches de sel dans des barils. Le sel entraîne l'eau hors du poisson, donc le déshydrate partiellement et pénètre aussi dans le poisson. C'est la concentration du sel à l'intérieur des cellules qui empêche la croissance de microorganismes.

Le poisson ainsi traité peut se conserver plus d'un an à 0°C et de 4 à 6 mois à 15°C.

- **Le fumage**

Consiste à faire passer les poissons dans des tunnels ou cheminées de fumage. Le fumage peut s'effectuer à froid (la température ne dépassant pas 30°C) ou à chaud (la température de l'ordre de 60°C). Ce procédé est utilisé surtout pour le hareng, le saumon et le haddock.

Les composés volatiles de la fumée (aldéhydes, cétones, phénols et hydrocarbures polycycliques) confèrent au poisson un goût et une couleur caractéristiques et contribue aussi à sa conservation. Mais cette conservation n'est valable qu'associé au salage et au séchage. La durée de conservation dépend de l'intensité du traitement (plusieurs mois). Cependant, avec un traitement poussé, on obtient un produit à un goût trop fort. La tendance actuelle est le fumage peu important ce qui oblige à recourir à la congélation et la réfrigération.

2.5. Dérivés de poissons

De nombreux produits non alimentaires peuvent être tirés des poissons. La farine de poisson est non seulement une excellente source de protéines, mais elle est fournie également au régime alimentaire un apport en huile de poisson. Jusqu'aux années 1940, l'huile de poisson, et en particulier l'huile de foie de morue, était utilisée comme source de vitamines A et D. On accordait peu d'attention à la teneur en acide gras des aliments. Au cours des 10 dernières années, des recherches ont été effectuées sur les effets bénéfiques que pouvaient avoir les acides gras type $\omega 3$, en particulier l' $\omega 3$ contenu dans les huiles de poisson, sur la santé.

Les déchets de l'industrie de la pêche permettent aussi la fabrication d'aliments pour animaux et de l'engrais azotés.

L'ichthyocolle, une forme de gélatine, est préparée à partir de la vessie natatoire de certaines espèces et on peut également fabriquer de la colle à partir de déchets de poissons.

VI. Contrôle de qualité de la viande

Le contrôle de la qualité s'est accru dans les industries de transformation de la viande ; il est réalisé à différentes étapes de transformation du produit.

1. Contrôles sanitaires

Ils ont lieu avant et après l'abattage.

1.1. Contrôle sanitaire des animaux avant abattage

En premier lieu, chaque animal subit un contrôle d'identité; une vérification est faite de la concordance du numéro à 10 chiffres porté à l'oreille avec celui inscrit sur le DAB (document d'accompagnement du bovin, appelé aussi passeport du bovin), ainsi que de la date de validité de l'attestation sanitaire.

1.2. Contrôle ante mortem

C'est le contrôle des signes extérieurs de maladie (atrophies musculaires, abcès, souffrance...), de blessures ayant pu survenir lors du transport (fractures, plaies). Les animaux repérés sont alors écartés de la file d'abattage, pour être inspectés par les services vétérinaires.

1.3. Contrôle après abattage

Les méthodes de contrôle les plus usuelles sont visuelles et physiques :

➤ **L'aspect visuel** des produits est un bon indicateur de qualité. Lorsqu'un problème majeur apparaît, comme une forte contamination bactérienne de surface (sécrétion de mucus) il se manifeste par une couleur anormale (couleur verte).

➤ Paramètres physiques (poids et température)

a. Le contrôle du **poids** se justifie d'un point de vue technologique pour quelques produits ayant subi certaines transformations (conservation, séchage, ajouts d'ingrédients...) ; il permet la mise en œuvre d'un process de fabrication homogène.

b. La **température** constitue par ailleurs un indicateur primordial du respect des règles d'hygiène, surtout dans les phases de transport ou d'entreposage. Il s'agit de s'assurer du maintien de la chaîne du froid, que ce soit des produits frais ou congelés. Bien qu'elle soit parfois difficile à mesurer, seule la température à cœur du produit est considérée.

Ex : La température des salles de préparation est adaptée et surveillée pour limiter les risques de développement des microorganismes sur et dans les produits. On travaille le plus souvent vers 3 à 4°C.

c. Un autre paramètre physique fait l'objet d'une attention toute particulière : la présence d'objets ou particules **métalliques** dans la viande utilisée comme matière première. Le contrôle se fait au moyen d'un détecteur de métal. Il s'agit, entre autre, de protéger les appareils lors de la transformation ultérieure.

Les contrôles portent sur la présence:

- de ganglions, signe d'infection,
- d'abcès,
- d'hématome, consécutif à des contusions,
- de fractures, survenues lors de l'abattage,
- du facteur ESB (Encéphalopathie spongiforme bovine) se fait sur chaque carcasse issue d'animaux de plus de 24 mois, par l'intermédiaire de prélèvement au niveau de l'obex (jonction de la moelle épinière et du cerveau),

Et visent à déterminer :

- la qualité technologique : Il s'agit d'évaluer le pouvoir de rétention d'eau (PRE) par un contrôle de la couleur et une mesure de pH. La couleur se vérifie à l'œil nu ou par comparaison avec une réglette japonaise (échantillons colorés de matière plastique) (figure 14).



1 PSE 2 PSE 3 Normale 4 Normale 5 DFD 6 DFD

Viande PSE : pale soft and exsudative « pâle mole et exsudative » PRE très bas

Viande DFD : dark firm and dry « sombre ferme et sèche » PRE élevé

Figure 14 : Étalons de couleur (de gauche à droite : du rouge pâle au rouge sombre) de la réglette japonaise

- les teneurs en lipides, eau et en protéines : sont les principaux dosages effectués. Ces mesures d'évaluation de la qualité des produits carnés mettent en œuvre des techniques d'analyses qui nécessitent un temps de réponse le plus souvent long. Elles permettent

d'assurer le respect d'un cahier des charges, particulièrement pour la « qualité de composition » des produits.

- **Contrôles bactériologiques:** fait partie des analyses régulièrement réalisées sur les produits carnés afin de vérifier si la qualité hygiénique est satisfaisante. Les germes recherchés sont présentés dans le tableau X.

L'inconvénient majeur réside dans le temps de réponse des analyses effectuées, souvent de l'ordre de quelques jours. Il existe toutefois des kits de détection pour les bactéries pathogènes *Salmonella*, *Listeria*, qui permettent, grâce à leur court délai de réponse, un blocage rapide du lot suspecté.

Tableau X : Critères microbiologiques

Microorganisme	Niveau
FMAR (/g)	10 ⁴
Coliformes 30°C (/g)	10 ³
Coliformes fécaux (/g)	10 ²
<i>Staphylococcus aureus</i> (/g)	10 ²
ASR (/g)	Absence
<i>Salmonelles</i> (/25 g)	Absence
<i>L. monocytogenes</i> (/25 g)	Absence

FMAR : flore mésophile aérobie revivable,
 ASR : anaérobies sulfite-réducteurs
 DLC : date limite de consommation

- Le respect de la chaîne du froid sera bien entendu la condition indispensable de salubrité, tout particulièrement pour les produits élaborés crus. Certains distributeurs ont, pour ce faire, mis en place une « puce fraîcheur » sur les produits réfrigérés, qui garantit le maintien à une température réglementaire.

- Il faut enfin signaler que le conditionnement sous atmosphère modifiée s'est développé pour allonger la durée de vie des produits élaborés. Mais il nécessite une mise au point par test de vieillissement et un contrôle du respect des mélanges gazeux retenus.

À l'issue de l'ensemble des contrôles, si la carcasse ou la viande ne présente aucune anomalie, l'estampille sanitaire de l'abattoir est apposée, preuve de sa salubrité alimentaire.

2. Les principales causes de retrait des viandes ou carcasses

Les principales causes de retrait des viandes ou carcasses de la chaîne alimentaire humaine sont aujourd'hui:

- Pour les *animaux* vivants:
 - un état de maigreur excessif (animaux de réforme souvent âgés: vaches laitières),
 - une fracture lors du transport (animaux de plus de 24 mois),
 - la présence de signes extérieurs de pathologies infectieuses graves (abcès généralisés).

 - Pour les *carcasses*: la présence d'abcès intramusculaires (lésion ancienne), d'hématome (lésion récente). Des saisies partielles sont effectuées; seule la partie en cause est retirée. Des saisies totales peuvent intervenir dans le cas de purpura (microhémorragie intramusculaire liée à un stress à l'abattage) ou de dégénérescence musculaire généralisée suite à une maladie.

 - Pour les *abats*: la présence de nécroses et d'abcès, quasi exclusivement dans le foie, concerne principalement les animaux âgés, vaches et taureaux de réformes.
- Concernant la recherche de substances anabolisantes (hormones) ayant pu être utilisées lors de l'élevage des animaux, il n'existe plus aujourd'hui de contrôle systématique.

NB/ En cas de doute sur un animal ou une carcasse, il appartient aux acteurs de la filière de faire procéder par prélèvement, à des contrôles ponctuels.

Références bibliographiques

- Association française de normalisation. La filière des viandes : organisation de la qualité et maîtrise de la production. Paris: AFNOR, 1998, 381p.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. and Burghagen, M.M. 2004. Food chemistry. Berlin : Springer, 1070 p. ISBN 3540408185
- Comité français des techniques de la viande. Viandes et produits carnes. France : decombat, 1979-1998, 84 p. ISSN 02410389.
- Ferrah, A. 2005. Aide publique et développement de l'élevage en Algérie. Contribution à une analyse d'impact (2000-2005), p8.
- Fosse, J., Magras, C. 2004. Dangers Biologiques Et Consommations des viandes. [Editions Tec et Doc](#). 222 pages. ISBN 2743006633.
- Fournaud, J. 1982. Type de germes rencontrés aux différents stades de la filière, Hygiène et technique de la viande fraîche, CNERNA - Commission « viande et produits carnés », 109 - 131 pages.
- Girard, J.P. 1988. Technologie de la viande et des produits carnés, Technique et documentation - Lavoisier, 280 pages.
- Laurent, C. 1981. Conservation des produits d'origine animale en pays chauds, ACCT - Paris (France), 157 pages.
- Linden, G. et Lorient, D. 1994. Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole, Masson SA, Paris, 367pp.
- Maiga A.M. 1976. Principes de technologie des viandes, Office Malien du bétail et de la viande, 200 pages.
- [Olesen Nyström B.](#), Muus-Bent J. et Nielsen, J.G. Dahlstrom, P. Guide des poissons de mer et de pêche: biologie, pêche, importance économique. Delachaux et Niestlé, 2011. 335 p. Les guides du naturaliste / Jean Dorst, 10222707. ISBN 9782603017531.
- Nathier-Dufour, N. Les oeufs et les ovoproduits. Paris : Educagri éditions, 2005. 80 p. ISBN 9782844443847.
- Ouali, A. 1990. La maturation des viandes, Facteurs biologiques et technologiques de variation, Viandes et produits carnés, vol. 11, 290 pages.

Rosset. Qualités microbiologiques: viandes et produits carnés. Paris : APRIA., 1982, 115 p.

Sainclivier, M. L'industrie alimentaire halieutique. Vol.3, La conservation par des moyens physiques. Première partie, Conserverie de poissons. Rennes : Sciences agronomiques, 1988. 298 p.

Thapon, J.L. et Bourgeois C.M. 1994. L'œuf et les ovoproduits, ed. Lavoisier, coll. Sciences et Techniques agroalimentaires.

Thapon, J.L., Bourgeois, C.M. et Sauveur, B. L'oeuf et les ovoproduits. Paris : Tec & Doc, 1994. 334 p. Sciences et techniques agro-alimentaires. ISBN 2852069032