

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université IBN KHALDOUN- TIARET

Institut des sciences vétérinaires



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
diplôme de :**

**« Docteur en médecine vétérinaire »
(Etude bibliographique)**

Sous le thème :

***Les procédés de conservation de
la viande rouge***



Présenté par :

Mr SEHIMI FOUAD

Avec l'encadrement de :

Mme MAHOUZ FATIMA

**Année universitaire
2010 / 2011**

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur la viande	
I- A propos de la viande	2
1- Biologie	3
1-1- La couleur de la viande.....	3
1-2- Facteurs qui régulent la couleur	4
2- Aspects nutritionnels et santé	5
2-1- Propriétés nutritionnelles.....	5
2-2- Santé	6
3- Aspects environnementaux	7
4- Culture et religion	8
5- Économie	10
5-1- Production	10
Chapitre II : Abattage et rigidité cadavérique	
II- Influence du temps de repos (parcage) avant l'abattage	10
1- Etat physiologique	10
2- Opération d'abattage	11
2-1- Amenée et contention	12
2-2- Saignée.....	12
2-3-Le dépouillement : l'habillage.....	13
2-4- Eviscération, fente et emoussage	14
3-les différents quartiers d'un animal abattu	15
4- Conséquences de la saignée	15
5- Installation de la rigidité cadavérique	16
5-1-La rigor Mortis ou rigidité cadavérique	16
5-2- La rigidité	17
5-3- Evolution des caractéristiques physico-chimiques du muscle pendant l'installation de la rigidité cadavérique	18
6- Facteurs susceptibles d'influencer le déroulement de la rigidité cadavérique	19
6-1-Température	19
7- Les agressions non spécifiques accompagnant l'abattage	20

Chapitre III: Procédés de conservation de la viande rouge

III -Procédés de conservation de la viande rouge.....	21
1-Par le froid.....	21
1-1- Aspects <i>généraux</i> de la congélation.....	22
1-1-1- Processus de congélation.....	23
1-1-1-1-Aspects thermiques et cristallisation de l'eau.....	23
1-1-2/ Vitesse et temps de congélation.....	29
1-1-3- congélation, micro-organismes et réglementation.....	33
1-2- Congélation et texture de la viande.....	36
1-2-1-Texture et propriétés technologiques de la viande congelée pre rigor.....	36
1-2-2- Tendreté et jutosité de la viande congelée post rigor.....	39
1-2-2-1-Dénaturation des protéines lors de la congélation.....	39
1-2-2-2- Conséquences sur la texture de la viande.....	41
1-2-2-3- Congélation et jutosité.....	42
1-2-2-4-Propriétés techno-fonctionnelles des viandes congelées.....	42
1-2-2-5- substances cryoprotectrices.....	43
1-2-2-6-applications des modifications des protéines par le froid.....	44
1-2-2-6-1- cryotexturation.....	44
1-2-2-6-2- <i>Reconnaître une viande congelée</i>	44
2-Lyophilisation.....	46
3- Par irradiation	46
4- Par conservateur alimentaire.....	47
5- Par atmosphère contrôlé.....	48
6- Par bactériocines.....	49
7- Impact de la conservation.....	49
7-1- Sur la santé.....	49
8- Sur les circuits économiques.....	49
9-Échec de la protection sanitaire dans la conservation.....	50
Conclusion.....	51
Références bibliographiques :	

Introduction :

La **conservation de la viande rouge** sur le plan alimentaire, comprend un ensemble de procédés de traitement destinés à conserver les propriétés nutritives **le goût, la texture et la couleur de l'aliment cru, mi-cuit ou cuit**, en veillant à le garder comestible préservé de tout élément qui pourrait provoquer une intoxication alimentaire .

L'invention de certains procédés remonte à l'antiquité ; d'autres sont issus des recherches scientifiques des XVIII^e et XIX^e siècles ; les plus récents découlent des découvertes de la physique nucléaire au XX^e siècle et de la biochimie au XXI^e siècle.

La conservation de la viande a toujours constitué une garantie contre la famine mais a acquis une dimension politique et économique supplémentaire par l'accroissement de la population humaine. Dans les pays développés, cette conservation est de moins en moins pratiquée par les particuliers et dépend largement, depuis le XIX^e siècle, de l'industrie agroalimentaire et de sa chimie. Pour les pays les moins avancés, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) considère que « ***l'absence de techniques de conservation de la viande présente un grave obstacle au développement viable de la production de viande par les petits éleveurs de bétail en milieu rural*** ».

I- A propos de la viande :

La **viande** désigne l'ensemble des aliments constitués par les tissus musculaires associés à du gras, des nerfs et du sang, ainsi que la triperie et les abats. C'est une production agricole résultant de l'élevage ou une production résultant de la chasse.

Les animaux producteurs de viande sont les animaux de boucherie, les animaux de basse-cour et les gibiers. La consommation de viande est controversée et, dans diverses cultures et religions, frappée de certains interdits.

***Définitions légales :**

Selon l'organisation mondiale de la santé animale, la viande désigne toutes les parties comestibles d'un animal. Selon la réglementation européenne, ce sont les parties comestibles d'un animal y compris le sang. L'organisation mondiale de la santé animale considère que le mot « animal », dans ce contexte désigne « tout mammifère ou oiseau, ainsi que les abeilles » La segmentation viande / abat, donc cinquième quartier, a été une segmentation fiscale en Algérie, ce qui a d'ailleurs été un des facteurs de confusion, car par exemple l'onglet était un abat, donc, pas de la viande. Le cœur est un muscle et pourtant cela a longtemps été un abat et non de la viande. Abat : ensemble des parties comestibles du cinquième quartier des animaux de boucherie. (AFNOR, 1991 Recueil de normes françaises)

On désigne sous le nom d'abats blancs : la tête, les pieds, l'estomac.

Les abats rouges comprennent : le cœur ; le foie, la langue, la cervelle, la rate, le poumon, le ris ».

*** Typologie :**

Les viandes sont classées également en :

- viandes rouges : bœuf, cheval, canard (magret), mouton
- viandes blanches : porc, certaines volailles, lapin, veau
- viandes noires : gibier
- viande séchée.
- viande de brousse.

D'autres animaux sont également consommés et constituent une source de protéines

dans l'alimentation humaine (poissons, crustacés, mollusques, etc.), mais d'un point de

vue culinaire et culturel, leur chair n'est pas désignée comme de la viande (AFNOR, 1991. Recueil de normes françaises)

1- Biologie :

1-1- La couleur de la viande :

La myoglobine est le principal pigment qui colore la viande puisque l'hémoglobine résiduelle ne présente qu'environ 5 à 10% des pigments totaux dans des conditions correctes de saignée de l'animal. La myoglobine possède un groupement hémunique, responsable de la fixation de l'oxygène, et la globine (considérée comme le support de la spécificité du pigment musculaire) qui est une protéine globulaire monomérique d'un poids moléculaire voisin de 17000. (NOR, 1997. *Maîtrise de la chaîne du froid*).

La couleur de la viande fraîche est définie par la quantité relative des 3 formes de Pigment héminique : la myoglobine réduite, la myoglobine oxygénée ou oxymyoglobine et la myoglobine oxydée ou met myoglobine. La myoglobine réduite héminique : la myoglobine réduite, la myoglobine oxygénée ou oxymyoglobine et la myoglobine oxydée ou metmyoglobine. La myoglobine réduite (Mb-Fe⁺⁺) est le pigment pourpre de la viande en profondeur et de la viande emballée sous vide (M.C. CALVELO A., 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef)...

Exposée à l'air, la myoglobine se combine à l'oxygène pour former l'oxymyoglobine de couleur rouge vif (MbO₂-Fe⁺⁺) qui est synonyme de fraîcheur et attractive pour le consommateur de viande. Au-delà d'un certain délai, influencé par les propriétés intrinsèques de la viande et les conditions de conservation de celle-ci, la couche d'oxymyoglobine en surface disparaît progressivement au profit de la couche de myoglobine oxydée ou metmyoglobine (MetMb-Fe⁺⁺⁺), de couleur brune et souvent liée à une microbiologie indésirable. Quand le pigment en surface contient environ 20% de metmyoglobine, un consommateur sur deux n'achète plus cette viande. (ARAKAWA K., SAGAI M., 1986. Species differences)

1-2- Facteurs qui régulent la couleur :

Si la couleur de la viande et des produits carnés dépend de la concentration en myoglobine et de son état physico-chimique, elle dépend aussi des caractéristiques physiques de la surface de la viande qui vont interférer sur les propriétés de réflexion et de diffusion de la lumière incidente (Renner, 1990). Depuis l'abattage de l'animal jusqu'au stockage de la viande, le taux d'accumulation de metmyoglobine à la surface de la viande est fonction de nombreux facteurs intrinsèques, comme le pH (valeur du pH ultime et/ou vitesse de chute du pH), le type métabolique musculaire, (BLWOW S.M., 1990. Toxicological aspects of antioxidants)

l'animal (et/ou la génétique), l'âge, la race, le sexe, le mode alimentaire (surtout chez le veau), etc., et extrinsèques comme le mode d'élevage, le logement de l'animal (cas du veau), le traitement ante-mortem (manipulations par l'éleveur, les conditions de transport jusqu'à l'abattoir, etc.),

(BERRY B.W., LEDDY K.F., ONO K., 1987). La stimulation électrique et le mode de réfrigération des carcasses, le mode de désossage. De plus, durant le stockage de la viande, de nombreux facteurs physico-chimiques comme la température, la disponibilité de l'oxygène, la croissance microbienne,

le mode de stockage (à l'air, sous atmosphère modifiée, sous vide, ...), le type d'éclairage, etc., vont interférer sur le déterminisme de la couleur de la viande. Dans la viande fraîche, les mécanismes principaux qui régulent la stabilité de la couleur sont :

- la vitesse d'autoxydation de la myoglobine (MbO_2 MetMb), en relation avec
- l'oxydation des lipides
- la capacité réductrice du muscle de nature enzymatique (MetMb MbO_2)
- la disponibilité de l'oxygène présent (fonction de la pression d'oxygène, de la
- diffusion de l'oxygène dans la viande et enfin de la consommation d'oxygène
- par les mitochondries et les microorganismes).

2- Aspects nutritionnels et santé :

2-1- Propriétés nutritionnelles :

La viande est un aliment de grande valeur nutritionnelle par sa richesse en protéines, (de 20 à 30 % selon les types de viande et elle apporte également des acides aminés essentiels (ceux que l'organisme humain est incapable de synthétiser)viande rouge est également une source importante de fer et de vitamines du groupe B, notamment

la vitamine B12¹. Elle apporte également des quantités notables de lipides (en moyenne 10,7 g/100 g) et de cholestérol (en moyenne 74,3 mg/100 g)

Les apports nutritionnels de la viande peuvent varier selon l'espèce, l'alimentation de l'animal et la pièce considérée. Le CIQUAL propose une table de composition nutritionnelles des aliments, et notamment des différentes viandes, régulièrement mise à jour. et la pièce considérée. Le CIQUAL propose une table de composition nutritionnelles des aliments, et notamment des différentes viandes, régulièrement mise à jour. (SKIBSTED L.H., 1991. PEA FIBRE AS) . Pour une meilleure estimation des apports nutritionnels, il faudrait également prendre en compte l'assimilation de ces nutriments par le système digestif : celle-ci peut être plus ou moins importante selon la nature de l'aliment et sa préparation. (BEVILACQUA A.E., ZARITZKY N.E., 1982)

2-2- Santé :

Une consommation importante de viande rouge et de charcuterie serait associée à un risque accru de cancer du côlon et de cancer du poumon, une consommation importante de viande rouge étant associée positivement au cancer de l'œsophage et du foie. Parmi les causes possibles de ces liens, les chercheurs citent la présence de graisses saturées et de fer, tous deux présents dans la viande rouge et la charcuterie, et associés à la carcinogénèse par des études distinctes. Sont également mentionnés les composants mutagènes tels que les hydrocarbures aromatique ou les hétérocycles générés par une cuisson importante ou à haute température (BEVILACQUA A.E., ZARITZKY N.E., CALVELO A., 1979).

Les plus gros consommateurs de viandes rouges auraient également une mortalité accrue et un risque augmenté de survenue de maladies cardio-vasculaires. Ces données ne sont pas retrouvées chez les consommateurs de viande blanche (BHATTACHARYA M., HANNA M.A., MANDIGO P.W., 1988A).

Pour limiter ces risques tout en assurant des apports nutritionnels suffisants, le Ministère de la santé et du renouvellement des hôpitaux en Algérie, recommande de consommer « viande et volaille, produits de la pêche, œufs » une à deux fois par jour, « en quantités inférieures à l'accompagnement ». Il recommande également de consommer du poisson au moins deux fois par semaines, et de favoriser les morceaux les moins gras. Le Centre d'Information des Viandes (CIV)¹ quant à lui, recommande de ne pas consommer plus de 500 g de viande rouge cuite par semaine, soit environ 700 à 750 g de viande crue, afin de réduire les risques de cancers colorectaux. (BEVILACQUA A., ZARITZKY N.E., 1980. ICE MORPHOLOGY IN FROZEN BEE)

Cependant, ces données se basent sur le second rapport du Fonds Mondial de recherche contre le Cancer, qui désigne par « viande rouge » (« *red meat* »), ce qui se traduirait davantage en français par « viande de boucherie » ; il convient donc d'y inclure également la viande de porc, d'agneau et de chèvre. Ce même rapport recommande de plus d'éviter la viande transformée (fumée, salée, ou contenant des additifs ou conservateurs), et présente comme objectif de santé publique une limite de 300 g par semaine. Ces limites ne s'appliquent pas à volaille (BHATTACHARYA M., HANNA M.A., MANDIGO P.W., 1988B).

Par ailleurs, l'American Diététique Association, indique que la consommation de viande n'est jamais indispensable à un régime alimentaire sain et équilibré, si celui-ci est bien conçu. Selon cette organisation, un régime végétarien peut être bénéfique au traitement et à la prévention de certaines maladies (BLOND G., 1990. CONGELATION - LYOPHILISATION. CAH).

3- Aspects environnementaux :

Quand il est pratiqué de façon intensif voire industrie, l'élevage d'animaux à viande peut être¹ particulièrement gourmand en eau, en énergie et nécessite également de grandes étendues de territoires pour la production de la nourriture de ce type de bétail, participant ainsi à la déforestation et à la réduction de la biodiversité. Il s'agit également de la principale

source de gaz à effet de serre dans le monde, et d'un facteur important de pollution des eaux (BOLES J.A., SWAN J.E., 1996).

Quand il est pratiqué de façon ancestrale et donc durable (pastoralisme et cœtera ...), il valorise les terres incultes et a initié l'émergence et le maintien jusqu'à nos jours de populations humaines. Se passer de la valorisation de ces terres incultes accroîtrait la pression agraire sur les terres labourables (HUFFMAN D.L., HSIEH W.H., CORDRAY J.C., 1982).

4- Culture et religion :

La consommation de viande est soumise à un certain nombre de tabous et interdits culturels et religieux. Ainsi la consommation du porc est prohibée dans l'islam et le judaïsme. Le fait de tuer a préoccupé toutes les religions. Le respect des règles permet de passer du concept de crime à celui d'abattage. (CARROLL R.J., CAVANAUGH J.R., RORER F.P., 1981) .Des règles d'abattage existent pour deux religions, halal pour les musulmans et cacheroute pour les juifs. Dans l'hindouisme tous les animaux sont sacrés, et dans le panthéon des animaux sacrés, la vache dépasse d'une tête tous les autres. Dénommée *Gau Mata*, la *Mère Vache*, ce bovin occupe une niche spéciale dans la psyché indienne. En Inde on s'abstient donc d'en consommer, même si en règle générale la plupart des indiens sont végétariens Les jaïns sont tous strictement végétariens par respect pour le premier credo de leur foi :

l'ahimsa (non-nuisance). Dans le Catholicisme, il n'existe plus de contraintes relatives à la nourriture : "Le royaume de Dieu ne consiste pas en des questions de nourriture ou de boisson ; il est justice, paix et joie dans l'Esprit Saint" (Romains, 14, 17). L'approche ritualiste ou rubriciste fait place à la "liberté des enfants de Dieu" (Romains 8, 21). L'Église voit dans les prescriptions antérieures ou bien une annonce prophétique du véritable Agneau offert en sacrifice, ou bien des pratiques ayant une utilité pédagogique pour faire progresser le Peuple de Dieu. La vision rapportée par saint Pierre (Actes 10, 9-16) confirme cette levée de

toutes les interdictions alimentaires et des règles d'abattage : "Pierre monta sur la terrasse vers la sixième heure, pour prier. (...) Il lui survint une extase : il voit le ciel ouvert, et quelque chose (en) descendre comme une grande nappe, tenu par quatre bouts, et s'abaissant vers la terre ; au dedans se trouvaient tous les quadrupèdes et les reptiles de la terre, et les oiseaux du ciel. Et il vint une voix vers lui :

" Debout, Pierre ! tue et mange. " Mais Pierre dit : " Oh ! non, Seigneur, car jamais je n'ai rien mangé de souillé ni d'impur. " Et une voix de nouveau, pour la seconde fois, (vint) vers lui : " Ce que Dieu a déclaré pur, toi, ne l'appelle pas souillé. " Et cela se fit par trois fois, et aussitôt la chose fut enlevée dans le ciel." La suite du texte montre que cette vision correspond aussi au fait que les hommes de tous les peuples sont admis à entrer dans le Peuple de Dieu sans être soumis aux règles de la Loi de Moïse. Saint Paul va dans le même sens dans ses diverses épîtres. Ainsi, il prophétise que certains interdiront "l'usage des viandes, que Dieu a créées pour être reçues avec action de grâces par les fidèles, eux qui connaissent la vérité (CHAN W.K.M., FAUSTMAN C, RENERRE M., 1997).

Car, tout ce que Dieu a créé est bon, et on ne doit rien rejeter de ce qui se mange avec action de grâces, parce qu'il est sanctifié par la parole de Dieu et par la prière" (I Timothée 4, 3-5). Pour lui, le fidèle mange ce qu'il veut, ce qui convient au corps, dans la liberté ; l'important étant de "rendre grâce", de remercier Dieu (CHARPENTIER J., JACQUET B., 1970).

En dehors des religions, de nombreuses personnes, à travers le monde, sont végétariennes, par refus de consommer la chair des animaux pour des raisons éthiques. Il existe aussi un mouvement pour l'abolition de la viande (BOLES J.A., SWAN J.E., 1996.).

5- Économie :

5-1- Production :

La production de viande dans le monde est estimée à 280 millions de tonnes (année 2008, source FAO), dont 36,9 % de viande porcine, 28,5 % de viande de volailles et 22,3 % de viande bovine(BEVILACQUA A., ZARITZKY N.E., 1980).

Les principaux pays producteurs sont la Chine (26,6 %), les États-Unis (15,4 %), le Brésil (8,2 %), l'Allemagne (2,75 %), l'Inde (2,4 %), la Russie (2,2 %) et le Mexique (2,0 %). Cette statistique n'inclut pas les poissons et autres animaux aquatiques(BEVILACQUA A.E., ZARITZKY N.E., 1982).

Les données de la FAO disponibles sur la production de viande permettent de suivre son évolution de 1961 à nos jours. Au niveau mondial, elle se caractérise par une progression régulière, de 1 à 6 % par an. Le taux moyen de croissance approche de 3 % (2,4 % pour la période 1998-2008). La Chine est le principal moteur de cette croissance. Sixième producteur mondial en 1961, ce pays est passé premier en 1990 ; sa production a augmenté en moyenne de 7,5 % sur la période 1961-2008, et a fourni en 2008 le quart de la production mondiale. Sur le territoire de l'Union Européenne, la production a progressé régulièrement d'environ 2 % par an jusqu'à atteindre un plateau en 1999. Depuis cette date, le taux de croissance oscille autour de 0 %.(BERTELSEN G., OHLEN A., SKIBSTED L.H., 1991)

La production française, quant à elle, a augmenté en moyenne de 1,7 % par an jusqu'en 1999. Depuis cette date, elle connaît une baisse irrégulière, en moyenne de 2 % par an ; seule l'année 2007 contredit cette tendance (BREWER M.S., IKINS W.G., HARBERS C.A.Z., 1992).

II- Influence du temps de repos (parcage) avant l'abattage :

Les animaux destinés à l'abattage sont exposés pendant leur acheminement vers l'abattoir à des agressions d'ordre psychique et physique.

Donc on doit effectuer le parcage des animaux avant l'abattage dans des enclos régulièrement nettoyés et désinfectés pour éviter les risques de contamination des microorganismes dans le tractus intestinal des animaux, les degrés de consommation sont d'autant plus élevés que le nombre de salmonelle du sol est plus élevé et le temps de parcage plus long.

Les salmonelles des fesses contaminent le sol des enclos, puis les toisons des animaux, ces toisons étant ainsi un vecteur important d'introduction des salmonelles sur le sol des abattoirs. Car l'animal fatigué au moment de l'abattage donne une viande surmenée.

Au niveau du corps de l'animal, le sang apporte en muscle du sucre pour se nourrir et de l'oxygène pour sa respiration, en se contractant, le muscle travaille, il consomme le sucre et l'oxygène et rend au sang de l'acide lactique et de l'acide carbonique, ce sont des déchets qui doivent être éliminés, plus l'acide lactique et l'acide carbonique s'accumulent dans le muscle, plus le muscle est fatigué, pour éliminer la fatigue qui influe sur la viande il faut : laisser les muscles se reposer, car éliminer l'acide lactique et l'acide carbonique donc l'alimentation du muscle par le sang de l'organisme : pour obtenir du sucre et de l'oxygène.

Une viande de bonne qualité ne peut provenir que d'un animal reposé au moment de l'abattage.

1- Etat physiologique :

L'influence des conditions de nutrition avant l'abattage : la composition de la racine a une influence sur la microflore intestinale et la microflore des carcasses.

A 46 heures post mortem, les carcasses des animaux nourris au fourrage ont des teneurs en germes Psychrotrophes (pseudomonas en particulier) significativement plus basses à celles des

caresses des animaux ayant reçu d'autres régimes. La nourriture des animaux est très souvent contaminée par des germes variés à l'origine de la contamination de l'appareil digestif des animaux, exemple : Salmonella. La prédisposition du bétail à l'infection salmonellique. C'est une des origines possibles de la haute contamination du tractus intestinale de bétail ayant subi un tel régime pendant plusieurs jours avant l'abattage.

2- Opération d'abattage :

Depuis leur arrivés aux portes de l'abattoir au stockage de leur carcasse au chambre froide ; les animaux suivant la chaine d'opération suivante :

- 1- Réception des animaux.
- 2- Préparation : mise à la diète à l'eau pendant 24heures, puis examen sanitaire, avant l'introduction dans les salles d'abattage.
- 3- Saignée, effectuer rapidement et sans polluer la peau, dans les abattoirs modernes le sang est recueilli dans des canalisations et traité (sang desséché).
- 4- Dépouille, éviscération et fente à deux demi carcasse.
- 5- Douchage de la carcasse afin d'éliminer la plupart des germes microbiens.
- 6- Passage puis ressuyage en chambre froide ventilée.

La disposition des installations de l'abattoir doit répondre à un principe absolu en aucun point le circuit de l'animal mort (carcasse) ne doit croiser celui de l'animal vivant source évidente de contamination microbienne.

La transformation de l'animal en un produit livré au consommateur se fait en trois étapes :

Obtention de la carcasse et du cinquième quartier (abats et sous-produit, ou issues) ; séparation de la carcasse en déchets (os et graisses) et en viandes utilisées à l'état frais ou comme matières premières pour l'étape suivante ; fabrication de la charcuterie et des salaisons par addition d'assaisonnement et, le *plus souvent*.

2-1- Amenée et contention :

La conception du couloir d'amenée dérive directement du choix des moyens de contention adoptés.

Les principaux impératifs qui régissent ces deux étapes sont :

- Minimum de stress
- Affalage doux
- Sécurité de personnels
- Cadence assurée
- Cout raisonnable

L'amenée se fait alors par sac qui est obligatoirement bien aéré il peut être à surface variable.

Les animaux sont immobilisés dans un tambour dont les parois rapprochent jusqu'à s'appliquer sur le flanc de l'animal.

Les ingénieurs ont mis au point, un système automatique permettant de maintenir les animaux et de les assommer

2-2- Saignée :

On saigne un animal pour éliminer de la viande la plus grande quantité de sang, ce dernier se décompose rapidement, la viande qui contient trop de sang ne se conserve pas. Elle prend rapidement une odeur de cadavre. Plus la saignée est complète et rapide, meilleure sera la viande.

Selon le rite musulman, l'animal est orienté vers les macques et égorgé « au nom de Dieu » on sanctionne la gorge en une seule fois à mi-encolure sans toucher les vertèbres- sans oublier que l'animal doit être couché sur le sol et avoir les quatre membres attachés Le sang récupéré connaîtra une utilisation industrielle ou alimentaire « farine de sang, la fabrication du plasma »

2-3-Le dépouillement : l'habillage :

C'est une opération qui consiste à séparer la peau de la carcasse donc c'est l'ensemble des opérations postérieures à la saignée et qui permettent d'obtenir séparément, après l'abattage la carcasse et les 5 quartiers.

Pour des raisons hygiéniques et de facilité du travail, l'habillage est réalisé sur l'animal suspendu par les membres postérieurs.

Le dépouillement a pour le but l'enlèvement du cuir des animaux dans les meilleures conditions pour une bonne présentation et bonne conservation des carcasses, ainsi que la récupération de la peau dans des conditions favorables à la conservation de qualité.

Les différentes étapes de l'habillage sont comme suit :

- Le dépouillement et section de la tête et des membres, le dépouillement est réalisé en temps : la parenté et le dépouillement proprement dit :
-
- **-1-** La parenté : c'est la diminution et l'incision de la peau suivant la ligne médiane externe des membres.
- **-2-** Dépouillement proprement dit : c'est l'opération qui consiste à séparer la peau de la carcasse.
- Il existe plusieurs méthodes de dépouillement :
- - Le dépouillement avec soufflage.
- - Le dépouillement sans soufflage
- -Le dépouillement avec arrachage.
- -Le dépouillement au couteau mousse rotatif.
- - Les principales méthodes des dépouillements utilisées chez les bovins c'est le dépouillement au couteau.
- - Méthode utilisée pour les bovins, mais dans ce cas le cuir perd un peu de sa valeur (économique et commerciale).

2-4- Eviscération, fente et emoussage :

éviscération d'une bête, c'est de faire sortir les organes de la cavité du ventre et de la poitrine, ces organes se nomment « Viscères » une bête vidée=bête eviscérée. Il faut éviscérer une bête le plus tôt possible après la saignée.

Tout éviscération tardive est préjudiciable à la viande parce que :

- 1- L'odeur des gaz de l'estomac et des intestins se communique à la viande.
- 2- La fermentation gastrique et intestinale chauffe la viande qui se décolore et devient exsudative (pisseuse).
- 3- Les microbes de l'estomac et des intestins passent dans la viande qui ne conservera pas.
- Lorsque un animal est éviscéré tardivement.
- Le péritoine est verdâtre.
- La panne et la graisse des rognons dégagent une odeur d'excrément et de fermentation.
- La viande a une odeur d'excrément ou de lait aigre.
- La musculature est flasque, rosée et exsudative.

La viande d'un animal éviscéré tardivement peut être impropre à la consommation elle est inutilisable dans la fabrication des préparations de viande lors d'abattage d'urgence il faut :

- 1- Essayer de saigner correctement l'animal
- 2- Vider la bête ou faire une boutonnière au ventre pour permettre au gaz de s'échapper.

Après la fente de la paroi abdominale, fente de quasi ablation de l'utérus chez les femelles.

Des ligatures devraient être effectuées au niveau du cardia et du duodénum, ligature double, séparées d'environ 10cm avec élimination des matières entre la première et la deuxième ligature.

L'émoussage : opération de finition de la préparation des carcasses couramment pratiquées chez les gros bovins.

Elle consiste à élever une partie des graisses apparentes sur la carcasse dépouillée dont la présentation

est ainsi améliorée, ce qui facilite la vente. Cette opération a des inconvénients :

- Source de pollution complémentaire.
- Retire avec le gras une partie de tissu conjonctif qui protège le muscle et favorise donc une attaque bactérienne de la viande.

3-les différents quartiers d'un animal abattu :

L'abattage transforme l'animal en carcasse et en 5eme quartier.

-A- Carcasse :

Le poids, la qualité de la viande rouge tout dépend de l'âge, de sexe, de l'espèce et de l'état d'engraissement et en plus de la conformation.

-B- Le 5eme quartier : son poids varie de 25 à 55% du poids de l'animal vivant, il comporte les abats rouges et blancs :

-1- Les abats rouges : comportent la tête, la cervelle, la langue, le ris (thymus), les poumons, le cœur, le foie, les rognons, la rate.

-2- Les abats blancs : comportent la mamelle, les pieds, les estomacs, les intestins et l'œsophage.

Les issues comportent la peau, les poils, les cornes, le sang, les os, les caillettes, les vessies, déchets divers.

Les glandes opothérapiques : glandes de toute nature utilisées, en- pharmacies ou en laboratoires.

4- Conséquences de la saignée :

Les conséquences d'une saignée normale et sans défaut ou accidents seront la transformation du muscle en viande qui repose très largement sur des mécanismes biochimiques qui modifient profondément la composition et la structure du muscle.

Les réactions mises en jeu, essentiellement des réactions hydro électrolytiques, dissipent les réserves énergétiques du muscle (ATP, CP, glycogène) et affectent l'état d'organisation et la structure des protéines et différentes fractions lipidiques musculaires de la cinétique et de l'intensité de ces réactions dépend très largement de la définition des qualités des viandes.

Ces informations musculaires sont classées sous les mécanismes de la rigidité cadavérique qui apparaît de 1-3 heures après l'abattage et dure 24 heures.

A ce stade la viande est dure et non consommable.

5- Installation de la rigidité cadavérique :

5-1-La rigor Mortis ou rigidité cadavérique :

Elle s'installe progressivement avec la disparition de la phase précédente. Les muscles deviennent alors inextensibles et les axes osseux sont difficiles à déplacer les uns par rapport aux autres. La graisse se solidifie et contribue également à augmenter la fermeté de la viande.

La rigor mortis se met en oeuvre dans un ordre bien déterminé : elle atteint d'abord la tête, le cou et les membres antérieurs, la région dorsale et les membres postérieurs : c'est au cours de cette phase que le PH de la viande va s'abaisser. En effet la circulation sanguine étant stoppée, l'oxygène n'arrive plus dans les muscles et passe donc rapidement à l'anaérobiose.

Les dernières réserves énergétiques de sucre appelées glycogène sont épuisées et transformées en acide lactique. Cet acide, du fait de l'arrêt de la circulation sanguine, n'est pas éliminé du muscle : il s'accumule et contribue à l'abaissement du PH. Plus le PH du muscle diminue, plus le muscle devient dur. Au bout de 25heures, le muscle atteint son maximum de dureté, le PH est stable (PH 5,5).

Le temps nécessaire pour obtenir ce PH ultime dépend de plusieurs facteurs d'espèce, la race, le type de muscle, la température. Il peut varier de quelques minutes à 48heures.

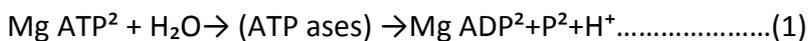
L'abaissement du PH est un facteur important de l'obtention d'une viande de bonne qualité. Il est fonction de la quantité de glycogène présente dans le muscle au moment de l'abattage. Si cette réserve est trop faible- et c'est le cas lorsque les animaux sont conduits à l'abattoir dans des mauvaises conditions ; animal tressé, malade..., l'énergie est épuisée, la quantité de glycogène

alors insuffisante ne permet pas la fabrication d'acide. On obtient alors des viandes de mauvaise qualité :

5-2- La rigidité :

est due à la liaison irréversible des protéines du muscle : l'actine et la myosine, ces deux protéines qui coulissent l'une sur l'autre au cours des contractions musculaires normales, se prenant en masse non contractile actinomysine.

Dans le tissu musculaire, après l'abattage des animaux, l'ATP est constamment et lentement hydrolysé selon une réaction de type.



Cette réaction libère un proton qui acidifie le milieu, l'ADP libéré peut être rephosphorylé soit par la phosphocréatine(PC).



Avec consommation d'un proton, soit par la voie glycolytique activée par la libération de Pi^2 .



Cette réaction consomme un proton mais l'hydrolyse de 3 ATP qui a donné les 3 ADP rephosphorylé a libéré 3H^+ donc le bilan de (1) et (2) correspond à la libération de 2H^+ pour 2 lactates formés.

Post-mortem le turnover de l'ATP sera assuré tant que les réserves de PC et de glycogène le permettent et que la chute de PH n'inhibera pas la voie glycolytique.

Globalement le turnover des liaisons phosphates riches en énergie peut être évalué à l'aide de la réaction :

$$V_p = V(\text{ATP}) + V(\text{PC}) + 1,5B V(\text{PH})$$

Ou $V(\text{ATP})$ et $V(\text{PC})$ sont les vitesses de consommation de ATP et de PC, $V(\text{PH})$ la vitesse de chute de PH et B le pouvoir tampon du muscle.

Les principales conséquences de ce schéma sont les suivantes :

- 1- La vitesse de l'acidification est fonction de la vitesse de turnover de l'ATP.
- 2- L'amplitude de la chute de PH est fonction de l'importance des réserves (PC- glycogène) à l'abattage susceptibles d'entretenir ce turnover.

S'agissant d'un mécanisme enzymatique, sa cinétique est très dépendante de la température- mais la vitesse sera également fonction de l'équipement enzymatique assurant ces réactions d'où l'influence du type des fibres qui équipent les différents muscles de la carcasse. Enfin l'amplitude de la chute de PH dépendra du niveau des réserves en substrats, elle même fonction du type de fibre.

5-3- Evolution des caractéristiques physico-chimiques du muscle pendant l'installation de la rigidité cadavérique :

La modification la plus directement perceptible dans le muscle post-mortem est un raidissement accompagné d'un raccourcissement, il résulte de ces deux phénomènes un accroissement considérable de la dureté d'un muscle toutes pratiques favorisant la contraction pendant l'entrée en rigor-mortis par exemple : une réfrigération trop rapide engendrant la contracture du froid, aura ainsi des répercussions défavorables sur la tendreté.

L'acidification amenée une diminution de la capacité de muscle à retenir son eau en effet, PH se rapprochant du point isoélectrique moyen des protéines myofibrillaires qui est de l'ordre de cinq, la charge nette de celle-ci s'abaisse et le réseau myofibrillaire se resserme diminution, la baisse de PH provoque aussi un myofibrillaire de la couleur du muscle.

Il faut avoir la encore essentiellement un effet de modification du réseau protéique : le resserrement de celui-ci s'oppose à la pénétration de la lumière dans le muscle, la réflexion lumineuse augmente et la surface du muscle paraît plus clair.

6- Facteurs susceptibles d'influencer le déroulement de la rigidité cadavérique :

6-1-Température :

L'influence de la température sur la cinétique d'installation de la rigidité cadavérique est complexe.

On constate en effet que la vitesse de l'hydrolyse de l'ATP diminue constamment entre 38°C (température de l'animal juste après l'abattage) et 10°C environ, puisque cette hydrolyse s'accélère de nouveau lorsque la température s'approche de 0°C.

Cette évaluation peut habituellement s'expliquer par le fait que selon la température différentes.

- ATPases entrent en jeu.
- A température > à 15°C, la myosine ATPase joue le principal rôle.

A température inférieure à 15°C, le taux de Ca^{++} libre augmente dans le sarcoplasme, par suite de l'affaiblissement du pouvoir de fixation de cet ion par le réticulum sarcoplasmique et peut être des mitochondries.

L'abaissement rapide de la température provoque une fuite de Ca^{++} du réticulum sarcoplasmique et si le PH du muscle est encore > à 6,2 une contraction s'installe si la fuite de Ca^{++} se produit alors que le pH est < à 6,0_ 5,8 aucune contraction n'apparaît car l'activité ATPasique qui en serait responsable est alors inhibée par les bas PH.

La conséquence majeure de cette contraction au froid est un durcissement irréversible de la viande, dans la pratique, les refroidissements rapides des carcasses sont d'une part imposés par la réglementation et d'autre part recherchés par les industriels qui veulent limiter les pertes de poids au ressuage outre les paramètres température et la vitesse de l'air, la vitesse de

réfrigération est fonction également des caractéristiques des carcasses ; forme, poids, état d'engraissement qui introduisent une variabilité importante.

7- Les agressions non spécifiques accompagnant l'abattage :

Les animaux soumis dans des conditions usuelles de manipulation et transport à l'abattoir à un certain nombre d'agressions, cause de stress donc la mobilisation de leurs réserves énergétiques ce qui peut se traduire une déperdition suffisante du taux de glycogène entraînant l'apparition d'un PH ultime élevé.

Lors de stress de groupe, il y a existence d'un mécanisme de la mobilisation sélective de glycogènes en fonction des types de fibre.

Le meilleur moyen de prévenir l'apparition des PH élevés durant la rigidité cadavérique en particulier les taurillons est de recourir à des temps de transport court, d'éviter les stress de groupe et d'abattre les animaux plus rapidement possible après l'arrivée à l'abattoir donc, il semble bien établie que les facteurs majeurs responsables ont à rechercher au niveau des techniques de manipulation et de transport des animaux interagissant avec un effet de la saison très marqué (Septembre, Novembre, Octobre et puis Avril pour l'hémisphère nord).

Conséquences techniques des rigidités cadavériques anormales :

Les conséquences technologiques des rigidités cadavériques anormales sont plus importantes car la durée de vie de la viande est très réduite, impossibilité de conserver la viande sous vide est nécessité de la congeler.

La couleur est altérée ainsi que la saveur dans les cas extrêmes la dépréciation des carcasses est importante pouvant se chiffrer de 10-30% du prix de la même carcasse à PH normal

Les viandes exsudatives se caractérisent par une exsudation spontanée de suc musculaire, liée à un abaissement du pouvoir de rétention d'eau.

Elle présente également une couleur pale, très nuisible à l'aspect de la viande fraîche.

Au moment de la transformation, s'il s'agit de produits secs on observe parfois une mauvaise pénétration de sel dans les masses musculaires. Dans tous les cas les propriétés organoleptiques de saveurs et de jutosité sont altérées.

III -Procédés de conservation de la viande rouge :

1-Par le froid :

Les trois stades de la conservation par le froid sont la **réfrigération**, la **congélation** et la **surgélation**.

La réfrigération stabilise la viande pour quelques jours car le froid positif (supérieur au point cryoscopique) ralentit les réactions des enzymes et des microorganismes. Elle peut cependant provoquer le rancissement des graisses de la viande., (HUFFMAN D.L., HSIEH W.H., CORDRAY J.C., 1982.)

La réfrigération entre 0 et 2 °C permet une conservation de la viande en carcasse de 15 à 20 jours ; les carcasses doivent être suspendues sans toucher le sol et la température est mesurée à l'aide d'un thermomètre à sonde. Il faut compter 28 à 36 heures pour qu'une carcasse de bœuf descende à 6 ou 7 °C pour les muscles profonds, 12 à 16 heures pour celles de porc, 24 à 30 heures pour celles de mouton. L'humidité relative de l'air ambiant doit être d'environ 90 % et la vitesse d'air de 0,5 m/sec pour obtenir un refroidissement rapide sans trop de perte de poids et un minimum de condensation à la surface des pièces qui pourrait favoriser la croissance bactérienne. (OCEAH K.S., CHEAH A.M., KRAUSGRILL D.I., 1995)

Selon Steve Hathaway, il est préférable de ne pas découper les carcasses et gros morceaux en portions plus petites pour éviter d'offrir aux bactéries une surface plus grande. Selon Henri Dupin, il est cependant plus intéressant de découper la viande une heure après l'abattage et de refroidir les morceaux emballés sous vide ce qui permet une conservation à 0 °C pendant 4 à 8 semaines.(CHEFTEL J.C., CULIOLI J., 1997)

Pour les viandes pré-emballées vendues dans les grandes surfaces, on utilise un conditionnement sous gaz carbonique et un emballage de cellophane recouverte extérieurement d'un vernis nitrocellulosique (la durée de conservation est de 1 à 2 jours) ou de cellophane

recouverte extérieurement de polyéthylène. Rayon des viandes préemballées dans un supermarché.(CHEFTEL J.C., CULIOLI J., 1997)

La congélation abaisse la température de la viande sous son point cryoscopique et entraîne la formation de gros cristaux en forme d'aiguille à partir de l'eau des tissus. En baissant la masse volumique, elle augmente le volume qui peut provoquer une exsudation à la décongélation ; elle peut également provoquer le rancissement et, par sublimation de la glace, une déshydratation.

La congélation permet la conservation de plus longue durée et sert aussi à stabiliser le cours de la viande sur les marchés boursiers. Congelée rapidement à -25 °C après l'abattage et la découpe, la viande est maintenue à une température de -18 à -15 °C jusqu'à l'utilisation. Le conditionnement sous vide est rendu possible par le saran-polyéthylène. Efficace sur le plan de la protection microbiologique, la congélation se pratique en usine et à la maison ; avec le temps, elle modifie les propriétés organoleptiques : le pigment dû à la myoglobine brunit et les graisses rancissent.

La durée de conservation maximale à -18 °C est de 5 mois pour le porc, 8 mois pour le mouton, 10 mois pour le bœuf.(Li K.Y., Cm S.P., TSAI T.C., 1997)

1-1- Aspects généraux de la congélation :

La congélation est l'action de soumettre un produit au froid de façon à provoquer le passage de l'eau qu'il contient à l'état solide. Cette opération a **pour** but d'augmenter la durée de conservation du produit et pour cela, plus **de** 80 % de l'eau doit être transformée en glace. Quand

la congélation est très rapide et suivie d'un stockage à une température n'excédant pas - 18 °C, on parle de surgélation. Ce dernier terme fait l'objet d'une réglementation stricte **au** niveau de la CEE (Directive 89/108/CEE) et en France (décret 64-949 du 09 septembre 1964, modifié par le décret 91-1230 du 3 décembre 1991). Ces décrets font référence à l'état de fraîcheur du produit

au moment de la congélation, à la vitesse de congélation, au maintien de la chaîne du froid et à l'étiquetage (AFF, 1995).

1-1-1- Processus de congélation :

1-1-1-1-Aspects thermiques et cristallisation de l'eau :

Le processus de congélation se caractérise par le changement d'état de eau liquide en glace sous l'action du froid, ou cristallisation de l'eau. Les aspects fondamentaux de ce phénomène (thermodynamique, mécanismes et cinétiques de nucléation et de croissance des cristaux, diagrammes d'état) ne font pas l'objet de cet ouvrage ; ils ont été détaillés par exemple dans les articles de Reid (1983, 1994), Blond (1990), Fennema (1996), Sahagian et Goff (1996).

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

- le *stade de pré-congélation* au cours duquel la température diminue jusqu'à atteindre celle à laquelle commence la cristallisation ;

- le *stade de congélation* proprement dit pendant lequel la plus grande partie de l'eau congelable se transforme en glace et la température diminue progressivement ;

- le *stade de refroidissement* jusqu'à la température d'entreposage. Le stade de congélation est caractérisé par :

- la *température de congélation (ou de fusion) commençante ou température cryoscopique* (T_e). Le tissu biologique se comporte en première approximation comme une solution diluée, or T_e diminue quand la concentration en solutés croît (loi de Raoult). Dans la viande, T_e est proche de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

-

- La température à laquelle commencent à se former les premiers germes cristallins (nuclei), ou *point de congélation*, est inférieure à T_e , ce qui caractérise le phénomène de surfusion ou sous-refroidissement.

Procédés de conservation de la viande

rouge :

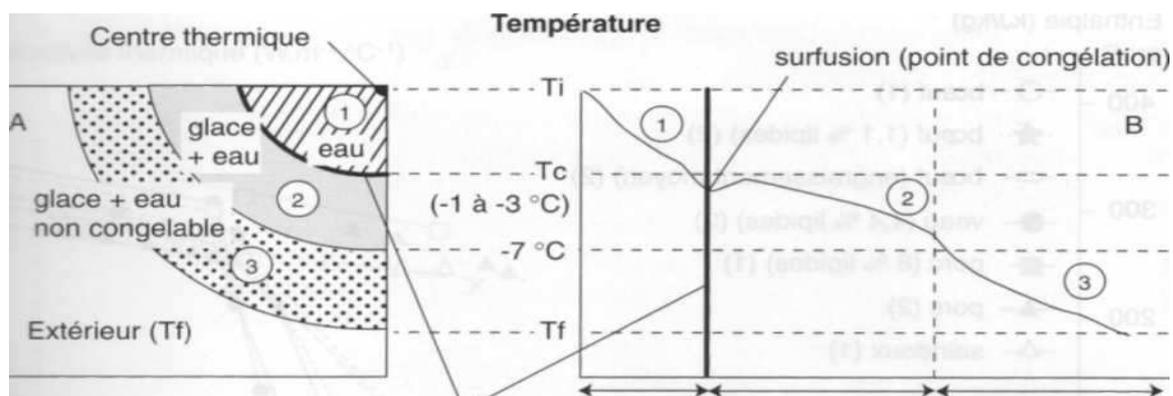
CHAPITRE : III

Produit	Réf.	Teneur en eau (%)	Température de congélation (°C)	Chaleur spécifique (kJ/kg.°C)		Chaleur latente de fusion (kJ/kg)
				frais (0 à 30 °C)	congelé	
Volaille entière	1	74	-2,8	3,31	1,55	247
Carcasse de porc (47 % maigre)	2	37	.	2,60	1,31	124
Porc (8 % lipides)	3	70	.	3,43	.	.
Porc frais	1	60	-2,2	2,85	1,34	201
Bacon frais maigre	1	68	-1,7	3,22	1,68	233
Bacon fumé	1	13-29	.	1,26-1,80	1,01-1,21	42-95
Jambon (74 % maigre)	2	56	-1,7	3,08	1,55	188
Graisse de porc	1	.	-2,2	2,60-2,85	1,34	201
Carcasse de bœuf (60 % maigre)	2	49	-1,7	2,90	1,46	164
Bœuf	3	74	.	3,42-3,58	2,12	.
Bœuf bouilli	1	57	.	3,06	.	.
Graisse de bœuf	1	.	-2,2	2,51	1,47	184
Agneau	1	60-70	-2,2 à -1,7	2,81-3,18	1,26-2,14	194-233

Tableau 1 - Propriétés thermiques de la viande : exemples de températures de congélation, chaleur spécifique et chaleur latente de fusion de différents produits carnés **d'après les valeurs rapportées par : (1) Polley et al. (1980) ; (2) Mallet (1994) ; (3) IIF (1986).**

Explication :

Les faibles teneurs en eau rapportées pour les animaux entiers (carcasses) résultent de la présence des os et de la couverture grasseuse superficielle. Le tissu musculaire par lui-même possède une teneur en eau remarquablement constante (72 à 74 % d'eau). Ainsi la température de congélation commençante des tissus musculaires varie très peu. Un pratique, on considère généralement que la température de congélation de la viande est de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, parfois $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les températures plus basses rapportées ci-dessus dans certains échantillons de viande, ou pour les volailles entières peuvent résulter de la présence des matières grasses extra musculaires (tissu adipeux de couverture).



Front de refroidissement cristallisation
refroidissement de congélation
Temps ou distance du centre thermique

Figure 1 - Les différentes phases de la congélation d'un échantillon. T_i : température initiale ; T_c : température de congélation ; T_f : température finale.

A : État de l'eau dans un produit déforme géométrique simple en cours de congélation. Les trois zones représentées correspondent aux trois étapes de la congélation.

B : Gradient de température au sein de l'échantillon ou évolution au cours du temps de la

température en un point de l'échantillon. , 1 : phase de pré-congélation (refroidissement du produit jusqu'à la température de congélation ; l'eau est encore à l'état liquide).

2 : phase de congélation ou changement d'état de l'eau en glace ($T \leq T_e$) avec nucléation, puis croissance des cristaux (cristallisation).

3 : refroidissement du produit congelé ; la majeure partie de l'eau congelable est sous forme de glace.

Cette réduction initiale de la température résulte de l'énergie d'activation de la nucléation. Une fois la nucléation commencée, le système cède plus de chaleur latente que ce qui est strictement nécessaire à la croissance des cristaux et la température remonte rapidement jusqu'à T_e . Par la suite, si le régime thermique est suffisant, la température diminue progressivement pour toujours être au plus égale à T_e , qui diminue progressivement du fait de la cryoconcentration des solutés ;

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

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

Lors de la congélation, l'Enthalpie massique chute brutalement ; puis elle continue à diminuer progressivement pendant la phase de refroidissement - 2). Cette diminution conditionne les calculs de dimensionnement des congélateurs. La masse volumique du produit diminue également lors de la congélation corrélativement à l'augmentation de volume qui est de l'ordre de ? :. en fin de congélation. La conductivité thermique du produit augmente car celle de la glace est quatre fois plus élevée que celle de l'eau.

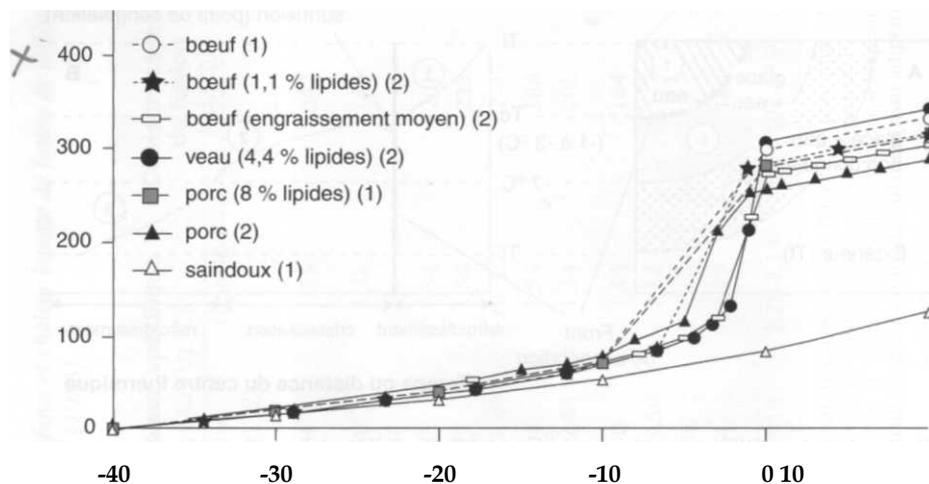


Figure 2 - Enthalpie (kJ.kg⁻¹) de quelques produits carnés en fonction de la température. Les valeurs ont été calculées en fixant une enthalpie de 0 kJ.kg⁻¹ à -40 °C. (1) d'après Polley et al. (1980) ; (2) d'après Morley (1972).

La conductivité thermique des tissus adipeux est plus faible que celle des tissus musculaires et, dans ces derniers, elle est légèrement plus élevée si le flux de chaleur est parallèle au sens des fibres musculaires que s'il est perpendiculaire .

Dans le muscle, comme dans tous les produits en cours de congélation, la proportion d'eau congelée augmente quand la température diminue (tabl. 2). C'est ainsi qu'à -7 °C l'eau sous forme de glace représente environ 80 % de l'eau totale du tissu musculaire. Quand la température atteint -20 °C, près de 90 % de l'eau est à l'état solide, ce pourcentage n'augmentant pas notablement pour une température plus basse. Aux températures très basses, il y a soit formation d'un eutectique¹, soit transition vers l'état vitreux. La fraction d'eau non congelée diminue donc au cours de la congélation jusqu'à une valeur limite, de même que l'activité de l'eau et la température de cristallisation (T_e), tandis que la concentration en solutés augmente.

1. Pour une solution, le point eutectique correspond aux conditions de concentration en soluté et de température pour lesquelles il y a cristallisation simultanée des différents constituants du mélange (solutés et solvant). Selon (**Brake et Fennema 1999**), la formation d'un eutectique au cours de la congélation de la viande est peu probable. Les conditions pourraient être réunies en cas de congélation lente, viscosité de la phase liquide faible et solutés en concentration importante.

La transition vitreuse est le passage d'un comportement visco-élastique à un comportement solide sans cristallisation (état vitrifié). La température à laquelle se produit cette transition liquide-verre est appelée température de transition vitreuse (T_g). La température de transition vitreuse de la phase cryoconcentrée au maximum est notée T_g' . Brake et Fennema (1999) ont récemment mesuré une valeur de T_g' égale à $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour de la viande de bœuf, valeur très supérieure aux données antérieures citées par ces mêmes auteurs ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou celles rapportées par Torreggiani et al. (1999) (-80 et $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Des valeurs de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ont également été proposées pour de la viande de porc et de dinde.

La **taille finale des cristaux** dépend à la fois des caractéristiques du produit (composition en soluté ; présence de sel notamment), du taux de nucléation, de la vitesse de croissance des cristaux et de la température finale.

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

Ces différents points sont bien décrits dans différents ouvrages ou articles (Jul, 1984a; IIF, 1986; Daudin, 1988; Le Meste et Colas, 1990; Mafart, 1991). Les valeurs de conductivité thermique, chaleur spécifique et enthalpie de la viande et de nombreux produits carnés obtenues

par différents auteurs ont été rassemblées par Morley (1972) et Polley **et al.** (1980). Des équations dérivées des lois de la thermodynamique ont été proposées pour calculer la température de fusion commençante, la proportion d'eau congelée et les variations d'enthalpie massique, de masse volumique et de conductibilité thermique au cours de la congélation. Ces équations sont détaillées par exemple dans l'ouvrage de Mafart (1991) avec différentes applications numériques portant sur la viande de bœuf.

1-1-2- Vitesse et temps de congélation :

Dans la viande en cours de congélation, trois zones peuvent être identifiées selon l'état du système sur le diagramme de phase de l'eau (fig. 1). Dans la première, située au centre du produit, la température est supérieure à T_c et l'eau encore liquide ; c'est la partie du produit qui en est au stade de prélation. Puis vient le front de congélation qui constitue l'interface entre la zone 1 et celle qui est le siège de la transformation de l'eau en glace (zone 2). Enfin, dans la zone périphérique, en contact avec l'extérieur, la cristallisation est pratiquement terminée ; dans cette zone périphérique, la température, inférieure à T_e , diminue progressivement (zone 3). En simplifiant, il y a un changement d'état dans la zone intermédiaire tandis que les zones 1 et 3 sont uniquement le siège d'un abaissement de température. Au fur et à mesure de la congélation, les zones périphériques progressent vers le centre thermique. La cinétique d'abaissement de la température est donc différente d'un point à l'autre du produit et il est difficile d'évaluer globalement la vitesse et le temps de congélation d'un produit. Aussi trouve-t-on dans la littérature de nombreuses définitions de ces paramètres, ce qui rend difficile la comparaison de différentes études.

Selon les auteurs, la durée de congélation (min ou h) est :

- le temps écoulé depuis le début du stade de pré congélation ($-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) jusqu'à ce que la température finale soit atteinte (IIF, 1986) ;
- le temps nécessaire pour que la température s'abaisse d'une valeur T_1 : valeur T_2 au centre du produit (T_1 et T_2 variables selon les auteurs) (DAUDIN, 1988) ;

- le temps nécessaire pour que la température passe de - 1 à - 7 °C au du produit (Anôn et Calvelo, 1980) ; c'est la définition qu'il convient de r car dans cet intervalle de température, qui débute avec la formation des ers cristaux et termine lorsque environ 80 % de l'eau est à l'état solide, iations de volume sont les plus importantes et certaines réactions chimi-xi enzymatiques sont favorisées (Valin, 1982 ; Daudin, 1988 ; Devine 1996). Ce temps est souvent appelé durée nominale, ou temps caractérisée congélation. Les températures finales de - 10 °C (IIF, 1986 ; , 1994) ou de - 5 °C (Lawrie, 1991 ; Sebranek, 1996) sont parfois utili-e temps caractéristique varie à l'intérieur d'un échantillon ; il est plus ant au centre de l'échantillon qu'à sa surface.

Par exemple, les temps ristiques de congélation de morceaux de viande de porc de longueur 16 geur 11,5 cm et épaisseur 5 cm, congelés dans des conditions définies i appareil expérimental, varient de 7 min à la surface à 21 min au centre (SANZ ET AL., 1999).

la vitesse ou rapidité de congélation (°C/h) est le quotient de la différence température initiale et la température finale du produit par la durée de tion (IIF, 1986). La vitesse ou rapidité de congélation locale (°C/h), définie oint donné de l'échantillon, est égale à la différence entre la température initiale et la température finale divisée par le temps mis pour atteindre cette dernière température au point considéré (IIF, 1986 ; Mallet, 1994).

la vitesse de congélation (cm/h) est égale au quotient de la moitié de la ite distance passant par le centre thermique du produit par la durée e de congélation (Jul, 1984a ; Daudin, 1988).

La vitesse d'avancement du front de congélation (cm/h) est la vitesse à le front de glace se déplace à travers le produit. Cette vitesse est plus grande près de la surface que vers le centre (Jul, 1984a ; Mascheroni et Calvelo, 1986 ; IIF, 1986). Le plus souvent, les valeurs reportées pour ce paramètre correspondent à une vitesse moyenne d'avancement du front de congélation, calculée à partir du temps mis par le front de glace pour atteindre le centre thermique. En toute rigueur, ce critère ne devrait servir qu'à comparer des échantillons de mêmes dimensions.

Vitesse et durée de congélation dépendent de la quantité totale de chaleur à extraire, de la température initiale et de la température finale, de caractéristiques du produit comme sa composition, sa masse totale, ses dimensions (épaisseur notamment) et sa structure, de la présence d'un emballage et sa nature et enfin du procédé de refroidissement. Concernant ce

dernier point, dans le cas des procédés basés sur un échange thermique superficiel, sont particulièrement importants :

- l'écart entre la température finale du produit et celle du milieu congelant (air, fluide cryogène ou plaques métalliques) ;
- le coefficient de transfert de chaleur entre produit et milieu congelant (tabl. 3). Ce coefficient dépend notamment de la vitesse de circulation du fluide cryogène et de la qualité du contact entre produit et plaques de congélation.

L'importance du procédé de refroidissement, des dimensions du produit et du conditionnement, sur la vitesse de congélation est illustrée par les exemples suivants.

Le temps caractéristique de congélation au centre de steaks de bœuf de 200 g environ ayant une épaisseur de 2 cm perpendiculairement à l'axe de la fibre musculaire est égal à 216 min lors d'une congélation dans un freezer de laboratoire placé à - 14 °C. Il passe à 142 min, lorsque la température de l'appareil est réglée à - 20 °C, et chute à 12,8 min et même à 8,2 min si les steaks sont traités dans un tunnel cryogénique au CO₂ dont la température a été réglée à - 40 ou - 78 °C (Grugic et al., 1993). Ces temps caractéristiques correspondent à des vitesses de congélation, définies comme le rapport de la distance de la surface au centre thermique sur le temps permettant à la température de passer de 0°C à la surface du produit à - 10 °C au centre thermique, varient entre 0,22 et 5,55 cm/h.

Tableau 3 - Coefficient de transfert de chaleur selon le type de machine frigorifique (d'après Devine et Al., 1996).

Procédés de conservation de la viande

rouge :

CHAPITRE : III

<u>Nature du transfert de chaleur</u>	<u>Coefficient de transfert de chaleur[W/m².K]</u>
Convection naturelle	2,5
Convection forcée à l'air	10-3
Immersion dans un liquide	> 100
Congélation cryogénique	> 1 000
Congélateur à plaques	infini*

Selon James (1996), lors de congélation par air puisé de pièces relativement grosses, le facteur prépondérant vis-à-vis de la vitesse de congélation est la température de l'air. Ainsi, lorsque cette température passe de - 10 à - 20 °C urée de congélation de pièces de viande de 15 cm d'épaisseur et emballées i du polyéthylène, est divisée par deux, tandis que si la vitesse de l'air passe 5 m.s¹, la diminution du temps de congélation n'est que de 29 %.

Le temps de congélation (passage de + 15 °C à - 18 °C au centre du lût) de steaks hachés de bœuf de 80 g (diamètre 100 mm, épaisseur m) dans un tunnel à congélation à bande en spirale passe de 13 heures on si les steaks sont conditionnés en cartons contenant 12 paquets de six 2 h 45 min par paquets de six, et à 20 min si les steaks sont congelés individuellement sans emballage (**Lôndahl et al, 1995**).

La durée de congélation (passage de 3 à - 15 °C), dans un congélateur à réglé à - 17 °C, de morceaux de viande de bœuf (15 x 15 x 58,5 cm) et de sept heures s'ils ne sont pas emballés, 10 heures s'ils sont emballés avec de la cellophane, 12 heures dans une feuille d'aluminium et 14 h 30 si l'emballage et constitué de polyéthylène (**Dunker et Hankins, 1953 cités par lawrie , 1991**).

Différentes équations dérivant de l'équation de Planck permettent de calculer la durée de congélation d'un produit en fonction de ses caractéristique de celles de l'installation frigorifique

(Duminil et Vrinat, 1988a ; 1991 ; IIF, 1986 ; Mannapperuma et al., 1994a,b). Des modèles de prédiction de la durée de congélation ont été établis et les valeurs calculées modèles comparées aux valeurs mesurées dans le cas de carcasses de mouton (Lindsay, 1994), de viande hachée portionnée (Mittal et al., 1993), de viande de porc en morceaux (Sanz et al., 1999), de portions de viande hachée me de boulettes (Tocci et Mascheroni, 1994) ou en portions de dimensions irrégulières (Califano et Zaritzky, 1997).

En pratique, la durée totale de congélation de quartiers de bœuf ou de grosse pièces de viande en cartons de 25 kg environ, réalisée dans des congélateurs à air pulsé, peut difficilement descendre en dessous de 24 heures (James. 1996). Elle peut atteindre, selon la taille des animaux, 20 à 40 min lors de congélation par aspersion ou par immersion de volailles en carcasses,. (Sebranec .1996) et moins de 10 min pour des échantillons de faible épaisseur systèmes à plaques ou cryogéniques.

1-1-3- congélation, micro-organismes et réglementation :

la conservation des aliments à l'état congelé résulte en premier lieu de n de la croissance des micro-organismes. A - 10 °C il y a arrêt de multiplication bactérienne, y compris des bactéries psychrotrophe ,psychrophiles , à - 12 °C les moisissures cessent de se multiplier et à - 18°C ,les levures . Donc, en dessous de - 18 °C il n'y a plus aucune multiplication de micro-organisme. Cet effet résulte d'une part de la diminutions de la vitesse de réactions selon la loi D'Arrhénius et d'autre part de la diminution de la quantités d'eau disponible et de son activité . la congélation possède un certain effet assainissant en particulier en ce qui concerne les parasites de la viandes qui ne supportent pas la congélation .les larves de ténias de trichines (Trichinella .spiralis) meurent après une à trois semaine à -18 °c ou lors d'une congélation ultra-rapide jusqu'à -29 °c (Sebranek ,1982).le nombre total de micro-organisme tend lui aussi à diminuer , en raison des altérations de la structure liée à la formation des cristaux de glace et à la cryoconcentration des solutés .si en moyenne 10% de la populations initiale est retrouver après congélation , le niveau

de destruction des micro-organismes dépend de la vitesse de congélation, de la durée et de la température de conservation, de la nature du produit, du micro-organisme considéré (espèce et souche) et de son stade de croissance. La survie cellulaire est meilleure si la congélation est rapide et à moins de 12°C qu'à -18°C. Les micro-organismes à l'état sporulé, les bactéries gram⁺ et dans l'ensemble, les micro-organismes pathogènes résistent mieux à la congélation que les micro-organismes en phases de croissance et les bactéries gram⁻. En outre, même quand la viabilité cellulaire est atteinte, certaines enzymes comme les lipases et certaines protéases peuvent continuer à agir et entraîner des altérations de la qualité.

La décongélation représente une étape particulièrement critique vis-à-vis de la qualité hygiénique des produits car l'exsudation à la surface des viandes décongelées favorise le développement microbien. Afin d'éviter ce danger, il est conseillé de cuire la viande sans décongélation préalable quand cela est possible. Un tempéage entre -5 et -2 °C permet de réaliser les opérations de broyage, cuitage, ou malaxage mises en œuvre pour préparer des plats cuisinés ou des charcuteries, tout en préservant leurs qualités hygiéniques. Cette solution présente de plus l'avantage de constituer un gain de temps et une économie financière. Néanmoins lorsque la décongélation du produit avant son utilisation ne peut pas être évitée, il

convient de limiter l'élévation de température à la surface du produit. Lors d'opérations bien conduites, les procédés de décongélation participent eux-mêmes à la réduction du nombre de micro-organismes. Cependant, l'impact du mode de décongélation sur la survie des micro-organismes est différent selon l'espèce et même selon la souche considérée (Sage et Ingham, 1998).

Ainsi, même si la maîtrise de la température permet d'éviter la multiplication bactérienne, il faut absolument éviter la contamination des produits. La propreté des matériels et équipements, leur aptitude au nettoyage et la qualité initiale des matières premières sont primordiales. La contamination microbiologique constitue en effet un risque sanitaire majeur en cas de rupture de la chaîne du froid et lors de la décongélation. Les résultats d'une enquête, réalisée en France, montrent en effet que 53 % des intoxications alimentaires collectives étaient liées à un non-respect de la chaîne du froid (Stainer, 1996). Corrélativement, des enquêtes réalisées dans

différents pays montrent la présence de contamination microbiologique des carcasses congelées de bovidés (Roberts et al, 1984 ; Vanderlinde et al, 1998 ; Hinton et al, 1998a), de la viande de bœuf hachée (Hinton et al, 1998b), des longes de porc (Kim et Lee, 1998) ou des découpes de poulets (Wang et Huang, 1998), contaminations faibles, mais avec une certaine occurrence de micro-organismes pathogènes.

En résumé, pour prévenir tout risque microbiologique, il convient de ne congeler que des produits sains, de respecter la chaîne du froid et de maîtriser les conditions de décongélation. Aussi, une réglementation concernant l'utilisation de la congélation dans le secteur de l'alimentation humaine a-t-elle été élaborée. Cette réglementation fixe les règles d'hygiène que les professionnels doivent impérativement respecter. L'ensemble des textes réglementaires ils doivent répondre les opérateurs de la chaîne du froid est rassemblé dans un ouvrage récent (AFNOR, 1997). Le décret du 21 juillet 1971 (J.O. du 1971) relatif à l'inspection sanitaire et qualitative des animaux vivants et l'arrêté animales ou d'origine animale et l'arrêté du 26 juin 1974 (J.O. du et 31 juillet1974) relatif à la réglementation des conditions hygiéniques de congélation, conservation et décongélation des denrées animales ou d'origine animal posent la réglementation spécifique à la viande et aux produits d'origine animale.

Le respect des dispositions imposées dans le cadre de cette on donne des résultats globalement satisfaisants. Cependant elle dispense dans la plupart des cas de signaler au consommateur qu'un produit a été congelé , puis décongelé lors d'une opération de transformation. Comme le respect strict des dispositions législatives restreint les possibilités d'innovation technologique, une autre approche est proposée. Dans cette approche, les objectifs, tels que sécurité du consommateur, loyauté des transactions, information et contrôle public, sont fixés par la réglementation, mais les professionnels ont le choix des moyens à mettre en oeuvre en procédant à une détaillée des risques à toutes les étapes des procédés de transformation.

La méthode HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) est alors l'outil imposé (Directive 93/43). Un document d'application, où sont détaillés recommandations et points critiques permettant de mettre en œuvre la démarche HACCP dans le cas des produits congelés et surgelés, a été publié SNFPSC. 1996). Le guide pratique de la chaîne du froid publié à la suite de

concertée CT96-1180 synthétise les informations sur les meilleures à adopter pour la manipulation des produits surgelés (Fuller, 1999).

1-2- Congélation et texture de la viande :

La texture est l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit perceptibles par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles et, éventuellement, par les récepteurs visuels et auditifs (AFNOR, 1991). Dans le cas de la viande, elle correspond essentiellement aux notions : jutosité et tendreté qui sont évaluées, soit par analyse instrumentale (mesure du pouvoir de rétention d'eau et des propriétés rhéologiques à l'aide machines à traction-compression, par exemple), soit par analyse sensorielle effectuée par des jurys de dégustation. Mettre en relation les résultats obtenus avec les méthodes instrumentales et sensorielles reste encore une difficulté majeure dans l'optique de l'évaluation de la qualité de la viande. Cette difficulté est présente lors de l'analyse des résultats se rapportant aux conséquences la congélation sur la texture de la viande. Elle limite parfois la portée des conclusions qu'il est possible d'apporter. En outre, texture et jutosité sont évaluées sur la viande cuite, ce qui rend encore plus difficile l'analyse des résultats en raison de l'impact de la cuisson elle-même et des différences induites le mode de cuisson (voir par exemple l'article général de Laroche, 1988). Tendreté et jutosité de la viande résultent de manière prépondérante des propriétés des protéines des tissus musculaire et conjonctif et de leur évolution, même si les autres constituants peuvent également intervenir. C'est pourquoi dans ce chapitre, les modifications de la texture de la viande liée à la congélation sont analysées essentiellement au regard des modifications des protéines qui sous-tendent.

1-2-1- Texture et propriétés technologiques de la viande congelée pre rigor :

Dans la pratique courante, la viande est congelée après résolution de la rigidité cadavérique, et donc après un temps de maturation qui varie selon l'espèce considérée.

Néanmoins, la viande ante rigor présente un meilleur pouvoir de rétention d'eau que la viande post rigor, ce qui lui confère une meilleure aptitude à la transformation en pâtes fines, émulsions

ou viande restructurée (Hamm et Honikel, 1977 ; Park et al, 1987; Farouk et Swan, 1997). Par exemple, le pouvoir de rétention d'eau de steaks hachés préparés avec de la viande congelée ante rigor est meilleur que celui de steaks préparés avec de la viande congelée après la rigidité cadavérique et les pertes à la décongélation et à la cuisson réduites, pour des notes de (saveur et d'acceptabilité similaires (Nusbaum et al, 1983). Ce bénéfice peut cependant être annulé par le fait que la congélation précoce des carcasses (bœufs et moutons particulièrement) ou des muscles désossés à chaud, avant l'établissement de la rigidité cadavérique, peut être à l'origine de contractions musculaires irréversibles pendant le refroidissement (cryochoc ou raccourcissement par le froid) ou lors de la décongélation (rigidité de décongélation) (Valin, 1982; Lawrie, 1991). La rigidité de décongélation peut se traduire par un raccourcissement très marqué du muscle excisé (jusqu'à 40 % de la longueur initiale du muscle), un durcissement important de la viande, une diminution du pouvoir de rétention d'eau, de la solubilité et du pouvoir liant des protéines.

ces problèmes peuvent être évités de plusieurs façons. La première est de ramener la viande congelée à une température proche de - 3 °C quelque temps avant son utilisation. En effet, à cette température, différentes enzymes impliquées dans le métabolisme post mortem et participant à la résolution de la rigor mortis, présentent un pic d'activité. C'est le cas par exemple de l'activité ATPasique qui est supérieure entre - 2 et - 5 °C qu'à 0 ou 10 °C (Bhenke et al, 1973) et de l'activité des calpaïnes (Dransfield, 1996). Ainsi, selon Valin (1982), l'ATP présent à une concentration résiduelle de 2 umoles/g sera-t-il épuisé au bout de 17 jours à - 10 °C ou après 3 jours à - 5 °C. Les risques de voir s'installer une rigidité de décongélation sont donc pratiquement annulés après quelques semaines de conservation à l'état congelé et en appliquant un palier aux températures négatives proches de 0 °C lors de la décongélation.

La stimulation électrique des carcasses chaudes qui permet d'accélérer considérablement la vitesse d'hydrolyse de l'ATP peut également contribuer à résoudre ce problème, sans néanmoins permettre de l'éliminer (Berry et al, 1987).

Une autre solution pour éviter le durcissement à la décongélation consiste à saler la viande pre rigor avant congélation et avant que le niveau d'ATP n'ait trop baissé. L'inhibition de la glycolyse liée aux effets combinés de la température et de la force ionique a alors pour

conséquence un pH de la viande décongelée plus élevé que celui de la viande non salée avant congélation (Hamm, 1977). Le pouvoir de rétention d'eau de la viande est alors préservé car concentration en ATP, pH et force ionique, tous trois relativement élevés, permettent une forte répulsion entre les protéines. L'adjonction de sel lors du hachage de la viande pre rigor permet ainsi de prévenir l'apparition de la rigidité de décongélation et de préserver la qualité des produits tels que des saucisses de Francfort (Foegeding et Lanier, 1996 ; Lawrie, 1991). La concentration en sel nécessaire pour préserver la qualité de la viande congelée pre rigor se situe entre 1,5 et 1,8 g/100 g viande (Boles et Swan, 1996). Ainsi, l'addition de 1,5 % (p/p) de sel à de la viande de taurillon désossée à chaud, jusqu'à 6 heures post mortem, permet d'obtenir après décongélation une viande possédant un pH plus élevé qu'en l'absence de sel. Conjointement, ce salage pre rigor permet de ramener la contrainte à la torsion de mûlée cuite préparée avec la viande congelée avant rigor, puis décongelée, au même niveau que celle obtenue avec de la viande post rigor, alors

que la contrainte est plus importante lorsque la viande n'a pas été salée avant sa congélation. Que la viande soit salée pre rigor ou non, la contrainte à la torsion après cuisson augmente légèrement quand la vitesse de congélation diminue sans qu'il y ait d'effet notable du salage pre rigor, ou de la vitesse de congélation vis-à-vis de la force à la rupture ou du rendement de cuisson.

Le produit obtenu en salant la viande pre rigor avant sa congélation ne présente pas de différence significative avec celui obtenu avec de la viande post rigor, en ce qui concerne les rendements de cuisson et la texture du produit fini (Boles et Swan, 1996). De même, l'injection de saumure (1,5% NaCl et 0,3% phosphate) permet d'améliorer la tendreté, la jutosité et l'acceptabilité globale de rôtis de bœuf restructurés préparés avec de la viande désossée à chaud et congelée avant l'établissement de la rigor (dans les 70 min suivant l'abattage), puis conservée à -18 °C pendant 5 à 10 semaines (Farouk et Swan, 1997). Ces mêmes rôtis présentent néanmoins une couleur rosée plus marquée et un rendement à la cuisson très légèrement inférieur. Lorsque la durée de conservation à l'état congelé passe de 5 à 10 semaines, le rendement à la cuisson diminue, ainsi que l'extensibilité et la force maximale des rôtis.

L'addition de cryoprotecteurs (saccharose + sorbitol, polydextrose seul ou avec des phosphates) permettrait de pallier en partie les effets négatifs de l'adjonction de sel sur les qualités sensorielles et technologiques de la viande lors de sa conservation à l'état congelé (Park et al, 1987, 1993)

1-2-2-Tendreté et jutosité de la viande congelée post rigor :

1-2-2-1-Dénaturation des protéines lors de la congélation :

La cryoconcentration des solutés en cours de congélation peut entraîner des modifications de la structure des protéines musculaires et de leurs propriétés (pouvoir de rétention d'eau, solubilité et activités enzymatiques) et, par voie de conséquence, contribuer à modifier la qualité de la viande (jutosité, texture). Les mécanismes exacts de la dénaturation des protéines des muscles congelés sont encore incomplètement compris et leur impact réel sur la qualité de la viande est mal établi

(Mackie, 1993) même si des mécanismes ont été proposés et ont fait l'objet de nombreux travaux, en particulier pour les muscles de poisson (Sikorski et al, 1976 ; Sikorski, 1977 ; Shenouda, 1980).

A - 20 °C, il ne reste plus qu'un peu plus de 10 % d'eau à l'état liquide . La concentration en solutés a donc été multipliée par 10 environ. Dans ces conditions, les structures secondaire et tertiaire des protéines sensibles à une force ionique élevée peuvent être modifiées. Il se produit alors des changements réversibles ou irréversibles de la conformation de protéines (dénaturation). L'hydrophobie de surface des protéines augmente, ce qui peut provoquer leur agrégation (Careche et al, 1998). De plus, les pontages des protéines entre elles ou avec d'autres composés sont favorisés du fait des concentrations accrues des constituants. Des agrégats protéines-protéines ont ainsi été observés lors de la conservation à l'état congelé de protéines musculaires de poisson (Tarrant, 1982 ; Reid, 1994). Parmi les protéines myofibril-laires, la myosine et l'actomyosine sont les plus sensibles à ces phénomènes ; l'actine et la tropomyosine sont moins vulnérables. Des modifications pourraient également toucher le collagène (Montero et Borderias, 1990). l'enthalpie totale de dénaturation des protéines diminue de 6 à 8 % (Wagner « Añon, 1985, 1986b) et la quantité d'eau non congelable de 5 à 10 % (Farias a al.. 1989). Ces altérations se produisent lors du

stockage à l'état congelé, mais aussi pendant les opérations de congélation et décongélation, plus particulièrement lors du passage aux températures négatives proches de 0 °C. En effet, à ces températures modérées, plus de 25 % de l'eau est encore à l'état liquide, ce qui permet la diffusion des solutés qui sont d'ores et déjà concentrés.

Ces changements se traduisent par une diminution de la solubilité des protéines myofibrillaires qui peut atteindre 50 % (Miller et al., 1980 ; Wagner et Anon, 1986b ; Smith, 1987). Cependant, une augmentation de la solubilité des protéines totales et des protéines myofibrillaires a parfois été observée (Farouk et Swann, 1998a). Les protéines sarcoplasmiques et membranaires sont également sujettes à la dénaturation. En ce qui concerne les activités enzymatiques, les situations rencontrées sont diverses. Certaines enzymes comme l'ATPase sarcoplasmique, l'aldolase et différentes déshydrogénases voient leur activité diminuer progressivement au cours du stockage à l'état congelé (rapporté par Mackie, 1993). D'autres enzymes, parmi lesquelles celles provenant des micro-organismes contaminants, peuvent continuer à agir dans la viande à l'état congelé même aux environs de - 30 °C, et ainsi contribuer à des altérations de la qualité (Lawrie, 1991). En particulier, protéases, lipases et peroxydases gardent une activité (Sahagian et Goff, 1996). L'activité des protéases se traduit par une fragmentation lente des protéines myofibrillaires et l'augmentation des quantités de peptides et acides aminés libres (Sebranek, 1996). Les enzymes d'hydrolyse des lipides, triglycérides lipases et phospholipases, libèrent des acides gras susceptibles de se fixer sur les protéines, réduisant leur solubilité. De plus, ces acides gras libres, lorsqu'ils sont issus de l'hydrolyse des phospholipides contiennent beaucoup d'acides gras polyinsaturés. Ils sont donc très oxydables. Or, des réactions entre produits d'oxydation des lipides et protéines peuvent contribuer à la diminution de la solubilité des protéines. Ces phénomènes viennent se conjuguer aux dommages mécaniques, causés aux fibres musculaires par les cristaux de glace, et à la dénaturation des protéines, pour entraîner une diminution du pouvoir de rétention d'eau. Ils sont l'une des causes directes de l'exsudation à la décongélation et contribuent à réduire la jutosité de la viande congelée.

La dénaturation des protéines et les conséquences liées aux activités enzymatiques sont réduites lors d'une congélation ultra-rapide à condition que la concentration eutectique ne soit pas atteinte (Buttkus, 1970). A l'inverse, l'amplitude des détériorations liées à ces phénomènes augmente avec la durée de conservation et avec la température de conservation (Wagner et Anon, 1985, 1986a,b).

1-2-2-2-Conséquences sur la texture de la viande :

La congélation a généralement un effet peu marqué sur la tendreté de la viande. Les effets observés, généralement modestes, dépendent des caractéristiques du produit avant sa congélation (état de maturation du muscle, état de division,...) et dans une moindre mesure des conditions de congélation. Ils sont en partie gommés par le traitement thermique (cuisson) qui précède l'évaluation de la tendreté par les méthodes instrumentales ou sensorielles.

Dans la majorité des cas, la congélation provoque une légère augmentation de la tendreté de la viande. Après cuisson, la force de cisaillement de muscles Longissimus de mouton congelés est plus faible que celle de la viande fraîche, que la viande ait été cuite avec ou sans décongélation préalable (Ferrier, 1997).

Par contre une légère dégradation de la flaveur est souvent observée. La viande de mouton callipyge est caractérisée par un manque de tendreté qui nuit à son acceptabilité, et donc à sa diffusion, malgré l'intérêt économique qu'elle pourrait représenter (Duckett et al, 1998). Pour améliorer leur tendreté, ces auteurs ont proposé, sur la base de données instrumentales et sensorielles obtenues sur des muscles Longissimus, de procéder à la congélation des muscles de moutons callipyges 24 heures après l'abattage, puis de les conserver à l'état congelé à - 20 °C pendant 8 jours au minimum, pour ensuite procéder à leur maturation à 2 °C. Ce traitement ne provoquerait aucune altération de la jutosité et de la flaveur de la viande. Ce net effet attendrissant de la conservation à l'état congelé de ce type de viande résulterait d'une diminution importante de l'activité de la calpastatine, inhibiteur des calpaïnes, qui seraient donc beaucoup plus actives au cours de la maturation.

Le temps de congélation, le mode de décongélation, la qualité initiale de la viande influeraient sur les conséquences de la congélation sur la tendreté de la viande, mais les données sur le sujet sont éparses et parfois contradictoires. Par exemple, l'augmentation de la tendreté

serait plus marquée pour de la viande tendre que pour de la viande ferme (*Longissimus dorsi* de bœuf comparé à du *semi-membranosus*) (Touraille et Liu, 1991). Locker et Daines n'ont observé d'augmentation significative de la tendreté de la viande cuite *sternomandibularis* de bœuf) qu'après deux à trois cycles de congélation-décongélation. La tendreté de rôtis ou de steaks de bœufs est améliorée par la congélation sauf si les rôtis sont décongelés aux micro-ondes (Moody et al 1978, Mitchell et al, 1991). A l'opposé, les meilleures notes de tendreté instrumentale ont été attribuées aux échantillons décongelés à 4 °C ou aux micro-ondes par rapport aux échantillons décongelés à 18 °C à l'air, à cette même température sous CO₂ ou dans de l'eau, la couleur étant jugée la plus satisfaisante pour les viandes décongelées à 4 °C et la moins agréable pour «Ses décongelées sous CO₂ (Ambrosiadis et al, 1994). Les informations concernant l'influence de la vitesse de congélation sur la tendreté sont également contrastées. La tendreté des steaks hachés congelés est meilleure si le temps de congélation est inférieur à 80 min, l'acceptabilité globale des steaks chutant pour des temps de congélation plus longs (Nusbaum et al, 1983).

.En définitive, la viande congelée est généralement légèrement tendre que la viande fraîche, ce qui est un avantage pour certaines viandes comme la viande de bœuf et de mouton, mais serait plutôt défavorable dans cas de viandes considérées comme manquant de fermeté comme le poulet

2.2.3/ Congélation et jutosité :

L'examen de la littérature ne fait pas apparaître d'effet très marqué de la congélation sur la jutosité de la viande et des produits carnés. Tantôt la jutosité diminue avec la durée de conservation (Jeremiah, 1980 ; Ristic, 1982 ; Bre\ et Harbers, 1991 ; Mitchel et al, 1991), tantôt, elle augmente légèrement (Je miah et al, 1990). Ces effets sont dans tous les cas très faibles, voire non significatifs (Touraille et Liu, 1991). En général il ne semble pas y avoir d'incidence du type d'emballage (Mandigo et Osburn, 1996).

En résumé, l'amplitude des modifications de texture et de jutosité de viande à la suite de sa congélation est faible. Ces modifications ont dans majorité des cas un impact peu perceptible sur la qualité de la viande. Seuls cas où l'exsudation est excessive peuvent donner lieu à des dégradations notables et significatives sur le plan sensoriel.

1-2-2-4-Propriétés techno-fonctionnelles des viandes congelées :

La viande congelée post rigor possède généralement de moins bonnes propriétés technologiques que la viande fraîche (Desrosier et Tressler, 1977 Jul, 1984a; Sebranek, 1996).

Le pouvoir de rétention d'eau et le pouvoir gélifiant des protéines musculaires diminuent au cours de la conservation à l'état congelé (Smit 1987 ; Wang et Xiong, 1998). La capacité émulsifiante de viandes congelées serait tantôt plus importante (+ 6,4 %) que celle de viandes fraîches (Zorba al, 1993), tantôt réduite (Huang et Wang, 1997), ce qui pourrait résulter de changements d'hydrophobie de surface des protéines évoqués plus haut. 1 stabilité d'émulsions fabriquées avec de la viande congelée de bœuf ou de porc chute progressivement avec le temps de congélation (Miller et al, 1980). la viande congelée conviendrait néanmoins à la fabrication des saucisses à condition d'être utilisée après tempérage entre - 8 et - 5 °C, alors qu'elle est inapte cet usage si elle a été préalablement dégelée (Gosling et Tamm, 1991).

La qualité sensorielle des jambons secs ne serait pas affectée par l'utilisation de viande congelée avant salaison (Banon et al, 1999). Néanmoins dans les jambons préparés avec la viande congelée, l'absorption totale de sel, les pertes en eau et l'activité protéolytique sont supérieures à celles mesurées pour des jambons fabriqués avec de la viande fraîche, et des cristaux de tyrosine apparaissent à la surface des jambons.

Le salage accélère les détériorations des qualités techno-fonctionnelles congelées. L'ajout d'agents cryoprotecteurs peut permettre de en grande partie ces effets (Park et al, 1987, 1993 ; Wang et Xiong 1998)

1-2-2-5-substances cryoprotectrices :

Différentes substances permettent de limiter les altérations des liants de la cryoconcentration des solutés. Ces substances pour protéger les protéines de la déshydratation induite par la congélation stabiliser la structure native de la protéine pour des raisons mimiques (mélange de polymères à volume exclu), soit diminuer la température de transition vitreuse en de ça de laquelle les réactions mettant en jeu des processus diffusifs sont réduites au minimum

(Mackie, 1993). Les substances cryo protectrices les plus courantes sont des acides aminés ou leur -partate, la cystine ou la (3-alanine, des sucres, des acides dicarboxyliques produits d'hydrolyse de l'amidon. Ces composés pourraient être ajoutés aux muscles par injection sous vide (Foegeding et Lanier, 1996).l'ajout de polydextrose ou d'un mélange saccharose/sorbitol améliorent ainsi la conservation à l'état congelé de viande hachée pre rigor en présence de sel .le pouvoir de rétention d'eau est nettement amélioré, ce qui diminution importante des pertes en eau à la cuisson (Park et al1998 ,1993). De même l'incorporation d'un mélange sorbitol/saccharose/ tripolyphosphate avant la congélation préserve les propriétés fonctionnelles de viandes de poulet séparées mécaniquement (Kijowski et Richardson, 1996) et le mélange sorbitol/saccharose celles de surimi préparé avec du cœur de bœuf (Wang Xiong 1998). Ce dernier mélange tend en contrepartie à promouvoir lipides et des protéines, effet limité par l'adjonction de gallate âng et al, 1997). Un autre inconvénient de ces composés peut tère sucré (Tomaniak et al, 1998). Le polydextrose aurait faible sur le goût et la flaveur de la viande de porc et de bœuf, :nt au saccharose, au sorbitol et à une maltodextrine.

J'attention se porte actuellement sur les effets cryoprotecteurs de protéines extraites de poissons (Feeney et Yeh, 1998). Par exemples des essais d'injection de glycoprotéines antigel extraites de morue de l'atlantique (*dissoustichus mawsoni*) à des moutons avant l'abattage ont permis pertes en jus et la taille des cristaux de glace dans les longs ; (Payne et Young, 1995). On peut néanmoins s'interroger sur la viabilité à terme type d'essai, que ce soit pour des raisons éthiques ou techniques

1-2-2-5- applications des modifications des protéines par le froid :

1-2-2-6- cryotexturation :

par analogie avec la fabrication traditionnelle du kori-tofu au Japon la congélation pourrait permettre de texturer les viandes mécaniquement après un traitement alcalin (Lawrence et al, 1986). Le procédé met en jeu d'une part des interactions protéines-protéines initiées avant la congélation et se poursuivant pendant la congélation et d'autre part, une mise en forme

mécanique pendant la congélation de fibre agrégées par la compression physique qui résulte d'une croissance unidirectionnelle des cristaux de glace (Mackie, 1993).

1-2-2-6-2-Reconnaître une viande congelée :

Respect et contrôle des normes d'hygiène ou de cahier de charge, clarté de l'information aux consommateurs, traçabilité des produits et adaptation des process aux matières premières s'assortissent de la nécessité d'être en mesure de connaître les traitements appliqués aux produits avant leur utilisation. Dans le cas particulier de la viande, il est donc important de méthodes fiables permettant de savoir si une viande, fraîche ou transformée, présentée à un transformateur ou à son utilisateur final, a subi congélation/décongélation.

Après congélation et décongélation de la viande, différent! mitochondriales sont libérées dans le sarcoplasme. Cette propriété à servi de point de départ à différentes méthodes visant à distinguer une viande décongelée d'une viande fraîche (Lawrie, 1991 ; Foegeding et Lanier, 1996). les dosages, dans le sarcoplasme, de la cytochrome oxydase mitochondriale P-hydroxyacyl-coenzyme A déshydrogénase, de l'oc-glucosidase et c zyme mitochondriale de la glutamate-oxaloacétate transaminase exemple été proposés. Cependant, des événements autres que la congélation peuvent parfois conduire à la libération des enzymes considérées dans plasm, comme cela a été observé pour la glutamate-oxaloacétate tran: dans le cas du porc (Foegeding et Lanier, 1996). De plus, ces dosages d' libérées dans le sarcoplasme sont souvent longs et fastidieux. Le d'enzymes lysosomiales (phosphatases acides et alcalines) dans le jus ex pression de la viande pourrait également permettre de distinguer de h de poulet fraîche de la viande congelée, puis décongelée (Sharma et Sen, 1998).

Récemment, Salji et Portanti (1998) ont développé un test immunochimique relativement simple à mettre en œuvre, basé sur la détection de la malate déshydrogénase mitochondriale. La technique ELISA applique l'évaluation de la dénaturation de la myosine au cours de la congélatioi la conservation à l'état congelé pourrait peut-être également être utilisé et al, 1998). La spectroscopie proche infra-rouge couplée à des met d'analyse multidimensionnelle des données et appliquée soit à la viande à l'exsudat semble être une voie d'approche intéressante (Downey et :

chêne, 1997 ; Thyholt et Isaksson, 1997). Les mesures de l'enthalpie de (turation thermique et de la quantité d'eau non congelable après dénatur thermique ont également été proposées (Farias et al, 1989). Un dispositif simple tirant profit des variations de la conductance électrique du milieu musculaire après congélation et décongélation a été mis au point et breveté par Salé (1969, 1974), mais à notre connaissance ce dispositif n'a pas eu de développement commercial. Enfin, les méthodes d'analyse multivariées (analyse factorielle discriminante, par exemple) pourraient permettre distinguer, à partir de données physico-chimiques simples, des jambes préparés avec de la viande congelée de jambons issus de viande réfrigérée (I de Pmaetal, 1998).

La surgélation est une congélation industrielle ultra-rapide qui fait descendre la température à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ au cœur même de la viande, créant de petits cristaux de glace arrondis, ce qui évite l'exsudation lors de la décongélation.

La viande doit être maintenue au minimum à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'au moment de la vente, ce qui impose l'utilisation de la chaîne du froid. En 1992 et en France, plus de 700 produits de viande différents étaient commercialisés sous cette forme.

2- Lyophilisation:

La congélation lente provoque la formation de gros cristaux de glace qui pulvérisent nombre de cellules. Par l'immersion de l'aliment dans un médium à une température inférieure à $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, on provoque la formation très rapide de petits cristaux de glace qui ne détériorent pas les cellules. La viande rouge ainsi congelée est placée dans un récipient soumis à une pression interne de moins de $5,2\text{ mbar}$; les cristaux de glace passent directement de l'état solide à l'état gazeux et le gaz est recueilli dans un condensateur. La lyophilisation est donc le moyen de dessécher l'aliment par le froid. (CHOW C.-J., OCHIAI Y., WATABE S., HASHIMOTO K., 1989)

3- Par irradiation :

La technique de l'irradiation des aliments, généralement appelée ionisation ou encore « radappertisation » (du nom de Nicolas Appert), est mise au point en 1930 et autorisée en 1976

par le comité OMS (Organisation mondiale de la santé) - FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) - IAEA (Agence internationale de l'énergie atomique), ce qui lui permet d'être pratiquée industriellement. Elle est soumise à des réglementations quant aux sources de rayonnement, à ses conditions d'utilisation, et à des contrôles. (M., BOUSSET J., 1990.)

*En altérant l'ADN des microorganismes, l'irradiation provoque leur destruction et n'altère en rien les qualités organoleptiques de la viande rouge. Appliquée sur des aliments humides, elles produisent des peroxydes à partir de l'eau des cellules des microorganismes et ces peroxydes oxydent les constituants cellulaires sensibles. Pour les viandes, l'objectif du traitement vise soit l'allongement de la durée de la conservation (dosage : 0,80 à 3,50 kGy), soit l'élimination de tous les germes pathogènes non sporulés comme la *Listeria monocytogenes* (doses de 2 à 4 kGy).*

En ce qui concerne la charcuterie, l'irradiation permet de diminuer la quantité de nitrates ajoutés pour la conservation. (DAUDIN J.D., 1988)

Le Codex Alimentarius ne précise pas les doses limites ; la NASA a cependant autorisé la stérilisation des viandes congelées destinées aux astronautes à la dose de 44 kGy. (L.E., GARTNER R., 1983)

4- Par conservateur alimentaire :

Les conservateurs alimentaires permettent également de prolonger la durée de vie de l'aliment. Leur usage est également réglementé. (DEATHERAGE EE., HAMM R., 1960.)

*Pour les viandes rouges, on utilise des nitrites et des nitrates. Les nitrites servent de sels de salaison à raison de 99,5 % de NaCl et 0,5 % de nitrite de Na pour empêcher la croissance des bactéries, aromatiser et modifier la coloration rouge (maximum de 150 mg de sel/kg de viande). Le nitrite de sodium intervient pour la conservation des jambons, saucisses, lard, etc. car il empêche la croissance du *Clostridium botulinum* et de ses spores ; se décomposant en acide nitrique, il interagit d'autre part avec les pigments et maintient la couleur rouge de l'aliment. Il est ajouté en petites quantités et on peut espérer qu'on arrivera à s'en passer car il peut aussi réagir*

avec des amines et former des nitrosamines cancérigènes. La concentration maximale est d'environ 120 ppm. D'autres substances peuvent être utilisées comme le démontre l'illustration cijkointe : E339 orthophosphates de sodium, E326 lactate de potassium, E316 érythorbate de

sodium, E262ii diacétate de sodium, E250 étant le nitrite de sodium et E160c de l'extrait de paprika. Ce produit ne comporte pourtant pas de E620 acide glutamique qui sert d'exhausteur de saveur ; dans les préparations à base de viande, son addition peut être de maximum 1 g/kg.(DECKER E.A., CRUM A.D., 1991)

5- Par atmosphère contrôlée:

Dès le XIXe siècle aussi, des appareils permettent le remplacement de l'air par du gaz dans les récipients de conservation. Dans l'appareil reproduit dans Le magasin pittoresque de 1855 (voir ci-contre), l'air est remplacé par le gaz provenant de la combustion du soufre. L'absence d'oxygène ne permet plus le développement des germes aérobies.(DECKER E.A., CRUM A.D., 1991)

L'industrie agroalimentaire utilise à partir du XXe siècle, en fonction du produit, du conditionnement et de la durée voulue de conservation : du gaz pur (ex. : dioxygène O₂, dioxyde de carbone CO₂ ou diazote N₂) ;un mélange de deux gaz (ex. : 80 % O₂ + 20 % CO₂ pour les viandes rouges, ou 20 % CO₂ + 80 % N₂ pour les autres produits carnés) ;un mélange de trois gaz (ex. : 45 % O₂ + 20 % CO₂ + 35 % N₂ pour les abats).(DESROSIER N.W., TRESSLER D.K., 1977)L'argon, l'hélium, l'hydrogène et le protoxyde d'azote peuvent également être utilisés.

On sait au XXIe siècle que l'inhibition des microorganismes par le CO₂ augmente avec le froid mais tous ne réagissent pas de la même façon au CO₂ : si les salmonella sont partiellement inhibées, les clostridium y sont indifférents tandis que les Yersinia enterocolitica et les campylobacter jejuni prolifèrent. On sait que le CO₂ abaisse le pH de la viande par sa solubilisation et perturbe l'activité de certains enzymes, mais on ne connaît pas encore son mode d'action exact.

Le remplacement de l'air se fait lors du conditionnement soit en sachets formés à partir d'une gaine tubulaire, soit en barquettes fermées par un filtre.(DEVISE C.E., BELL R.G., LOVAIT S., CHRYSTALL B.B., JEREMIAH L.E., 1996)

Le conditionnement sous atmosphère contrôlée, dite commercialement atmosphère protectrice, utilisant de l'oxygène conserve à la viande rouge sa couleur naturelle mais peut modifier saveur et odeur. En effet, la couleur rouge caractéristique de la viande est due à la

myoglobine. En présence d'oxygène, la myoglobine de couleur pourpre peut être oxygénée et se transformer en oxymyoglobine, donnant cette pigmentation rouge vif. En l'absence d'oxygène comme pour le conditionnement sous vide, la myoglobine s'oxyde pour se transformer en metmyoglobine, et produit une couleur brune indésirable.(DOWNEY G., BEAUCHÊNE D., 1997).

À l'inverse le contact de l'oxygène et des acides gras insaturés de la viande rouge est responsable du rancissement donnant à l'aliment une flaveur caractéristique des aliments rassis ou rances.(DTANSFIELD E., 1996)

6- Par bactériocines:

Les bactériocines sont des protéines, codées par des plasmides, létales pour des espèces voisines. L'utilisation de la nisine est la seule autorisée en ce début du XXIe siècle ; on l'emploie pour inactiver le Clostridium lors de la mise en boîte de conserve. Les recherches en cours laissent penser que d'autres bactériocines pourraient être utilisées pour la conservation des aliments.(DUMISIL N., VRINAT G., 1988)

7- Impact de la conservation

7-1- Sur la santé:

Au XXIe siècle et dans le cadre des relations entre graisses alimentaires et pathologies humaines (comme les maladies cardiovasculaires), des études sont en cours quant à l'évolution de l'activité lipolytique dans la viande rouge emballée sous vide ou congelée. On a constaté notamment, par l'analyse d'entrecôtes bovines congelées pendant 270 jours à -20 °C, une importante phospholipolyse accompagnée d'une perte de certains acides gras polyinsaturés n-3 et n-6 (déjà peu présents dans la viande de ruminants).(DUMISIL N., VRINAT G., 1988b)

8- Sur les circuits économiques:

L'amélioration des méthodes de conservation de la viande rouge, et des moyens de transporter ce produit, a permis notamment de bien séparer zones de production et zones de consommation,

qui peuvent désormais être distantes sans que cela pose de problèmes. Cela permet donc les exportations. (DE WINNE A., DIRINCK P., 1996.)

Par exemple, l'apparition dans les années 1980 des techniques de conservation sous atmosphère contrôlée a provoqué une petite révolution dans le marché mondial de la viande ovine : la viande d'agneau de Nouvelle-Zélande, un des plus gros exportateurs mondiaux, peut désormais être vendue comme viande fraîche, puisqu'elle peut être conservée ainsi 12 à 16 semaines, soit une durée suffisante pour qu'elle atteigne par bateau l'Europe. Auparavant, la viande qui venait de Nouvelle-Zélande était congelée et avait donc une valeur bien moindre sur les étals européens. (HASHIMOTO K., 1989.)

Avec l'arrivée des viandes "chilled" comme on les appelle, elle concurrence encore plus fortement la production locale de viande fraîche. L'utilisation de l'atmosphère contrôlée pour éviter la dépréciation qui touche les viandes congelées est également intervenu dans les autres productions, comme la production de viande de porc qui fait elle aussi l'objet de nombreux échanges internationaux. (DESROSIER N.W., TRESSLER D.K., 1977.)

9-Échec de la protection sanitaire dans la conservation:

Au XXI^e siècle, l'application correcte et stricte des règles d'hygiène et des différents procédés de conservation de la viande ne peut encore éliminer tous les risques sanitaires. Un agent pathogène de nature protéique, cause d'une maladie décrite chez l'animal dès 1732, peut infecter la viande et provoquer, chez ceux qui l'ingèrent, une dégénérescence du système nerveux central qui est toujours fatale : le prion, responsable de la maladie de Creutzfeldt-Jakob. (JEREMIAH L.E., 1996.)

Cette protéine, de forme anormale, résiste à la plupart des traitements thermiques et chimiques et on ne connaît encore aucun moyen de reconditionnement des aliments contaminés.

La seule protection possible reste l'utilisation d'une viande bovine et de sous-produits de viande provenant d'animaux non infectés par l'ESB en veillant particulièrement à ne pas consommer des tissus à risque élevé, comme le cerveau et la moelle épinière. (Anim. Sci., 76, 1869-1874.)

Procédés de conservation de la viande
rouge :

CHAPITRE : III

Conclusion

Les procédés de conservation de la viande rouge se développent de plus en plus dans les pays industrialisés en raison de la progression de la consommation, de l'application stricte des règles d'hygiène et de la maîtrise des maladies infectieuses animalières (bovins et ovins). Dans les pays sous développés, ces procédés connaissent une stagnation en ce qui concerne la maîtrise des techniques de conservation ou le respect des normes internationales et c'est le cas pour l'Algérie

La démarche intégrée, qui prend en compte la qualité originelle de la viande au travers d'indications attachées à différents aspects de la production (caractéristiques d'élevage, alimentation, état sanitaire) et de la première transformation (abattage, réfrigération maturation) est l'attitude qui devrait s'imposer dans les prochaines années. C'est là, à n'en pas douter, une condition nécessaire à une amélioration de la stabilité sur le long terme des viandes rouges.

Références bibliographiques

- ❖ AFF, 1995. *Maîtrise de la chaîne du froid des denrées surgelées*. Guide technique Cema-gref, Paris, 120 p.
- ❖ AFNOR, 1991. Recueil de normes françaises. *Contrôle de la qualité des produits alimentaires. Analyse sensorielle*. 4^e éd., AFNOR - DGCCRF, Paris, 326 p.
- ❖ AFNOR, 1997. *Maîtrise de la chaîne du froid*. 1^{re} éd., AFNOR, Paris, 612 p.
- ❖ AKAMLTATH J.G., BREKKE C.J., SCHANUS E.G., 1990. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *J. Food Sci.*, 55 (6), 1513-1517.
- ❖ AMBROSIADIS I., THEODORAKAKOS N., GEORGAKIS S., LEKKAS S., 1994. Effects of thawing methods on quality of frozen meat and drip loss (Einfluss verschiedener Auftaumethoden auf Fleischqualität und Tausaftbildung). *Fleischwirtschaft*, 74 (3), 284-287.
- ❖ ANDERSEN H.J., BERTELSEN G., SKIBSTED L.H., 1989. Colour stability of minced beef. Ultraviolet barrier in packaging material reduces light-induced discoloration of frozen products during display. *Meat Sci.*, 25, 155-159.
- ❖ ANDERSEN H.J., BERTELSEN G., SKIBSTED L.H., 1990. Colour and colour stability of hot processed frozen beef. Result from chemical model experiments tested under storage conditions. *Meat Sci.*, 28, 87-97.
- ❖ ANDERSEN H.J., SKIBSTED L.H., 1991. Oxidative stability of frozen pork patties. Effect of light and added salt. *J. Food Sci.*, 56, 1182-1184.
- ❖ ARAKAWA K., SAGAI M., 1986. Species differences in lipid peroxide levels in lung tissue and investigation of their determining factors. *Lipids*, 21, 769-775.
- ❖ ARISTOY M.C., TOLDRA E., 1998. Concentration of free amino acids and dipeptides in porcine skeletal muscles with different oxidative patterns. *Meat Sci.*, 50 (3), 327-332.
- ❖ ASGHAR A., GRAY J.I., BOOREN A.M., GOMAA E.A., ABOUZIED M.M., MILLER E.R., 1991. Effects of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of tocopherol in the muscle and on pork quality. *J. Sci. Food Agric.*, 57, 31-41.
- ❖ S., CAYUELA J.M., GRANADOS M.V., GARRIDO M.D., 1999. Pre-cure freezing affects proteolysis in dry-cured hams. *Meat Sci.*, 51 (1), 11-16.
- ❖ BLWOW S.M., 1990. Toxicological aspects of antioxidants used as food additives. In *'Food antioxidants'*, B.J.F. Hudson Ed., Elsevier Appl. Sci., London, 253-307.
- ❖ BECH-JACOBSEN K., BOEGH-SOERENSEN L., 1984. TTT-studies of different retail packed pork products. Proc. Cost 91, Athènes. In *"Thermal processing and quality of foods"*, P. Zeuthen, J.C. Cheftel, C. Eriksson, M. Jul, H. Leniger, P. Linko, G. Varela, G. Vos Eds., Elsevier appl. Sci. Pub., London, 716-720.
- ❖ IKE J.R., FENNEMA O., CASSENS G., 1973. Rates of *post mortem* metabolism in frozen animal tissues. *J. Agric. Food Chem.*, 21, 5-11.
- ❖ BERRY B.W., LEDDY K.F., ONO K., 1987. Traitement et congélation de tranches de muscle de bœuf préalablement à l'intervention de la rigidité cadavérique. *Sci. Aliments*, 7, 177-188.

- ❖ BERRY B.W., SCIELLER K.K, LIU Q., SCHAEFER D.M., BIGNER M.E., 1998. I DIETARY SUPPLEMENTATION OF VITAMIN E ON FROZEN STORAGE STABILITY OF PI BEEF CRUMBLES. /. MUSCLE FOODS, 8 (3), 301-314.
- ❖ BERTELSEN G., OHLEN A., SKIBSTED L.H., 1991. PEA FIBRE AS A SOURCE OL ANTIOXIDANTS IN FROZEN MINCED BEEF. Z. LEBENSM. -UNTERS. FORSCH., 192, 31
- ❖ BEVILACQUA A., ZARITZKY N.E., 1980. ICE MORPHOLOGY IN FROZEN BEE) TECHNOL, 15, 589-597.
- ❖ BEVILACQUA A.E., ZARITZKY N.E., 1982. ICE RECRYSTALLIZATION IN FROZEN BEE Sci., 47, 1410-1414.
- ❖ BEVILACQUA A.E., ZARITZKY N.E., CALVELO A., 1979. HISTOLOGICAL MEASURE ICE IN FROZEN BEEF. /. FOOD TECHNOL, 14, 237-251.
- ❖ BHATTACHARYA M., HANNA M.A., MANDIGO P.W., 1988A. EFFECT OF FROZEI CONDITIONS ON YIELDS, SHEAR STRENGTH AND COLOR OF GROUND BEEF PATTIE Sci, 53, 696-700.
- ❖ BHATTACHARYA M., HANNA M.A., MANDIGO P.W., 1988B. LIPID OXIDATION I: BEEF PATTIES AS AFFECTED BY TIME-TEMPERATURE AND PRODUCT PACKAGING PA /. FOOD Sci, 53, 714-717.
- ❖ BLOND G., 1990. CONGÉLATION - LYOPHILISATION. CAH. ENSBANA, 7, 127-T
- ❖ BOLES J.A., SWAN J.E., 1996. EFFECT OF POST-SLAUGHTER PROCESSING AND FREEZII FUNCTIONALITY OF HOT-BONED MEAT FROM YOUNG BULL. MEAT Sci, 44 (1-2),
- ❖ BRAKE N.C., FENNEMA O.R., 1999. GLASS TRANSITION VALUES OF MUSCLE TISST Sci, 64, 10-15.
- ❖ BREWER M.S, HARBERS C.A.Z., 1991. EFFECT OF PACKAGING ON PHYSICAL AM CHARACTERISTICS OF GROUND PORK IN LONG-TERM FROZEN STORAGE. /. FOOD Sci, 631.
- ❖ BREWER M.S., IKINS W.G., HARBERS C.A.Z., 1992. TBA VALUES, SENSORY CHAN AND VOLATILES IN GROUND PORK DURING LONG-TERM FROZEN STORAGE: EFFECTS GING. /. FOOD Sci, 57, 558-580.
- ❖ BUTTKUS H., 1970. ACCELERATED DENATURATION OF MYOSIN IN FROZEN SOLUTIC Sci, 35, 558-562.
- ❖ CABANES A., OUHAYOUN J., GILBERT S., 1995. CONSERVATION DE LA VIANDF SOUS FORME CONGELÉE. INFLUENCE DE LA DURÉE DE CONSERVATION SUR LES] PHYSICO-CHIMIQUES ET SENSORIELLES. VIANDES PROD, CAM., 16 (4), 131-134
- ❖ CALIFANO A.N., ZARITZKY N.E., 1997. SIMULATION OF FREEZING OR THA\ CONDUCTION IN IRREGULAR TWO-DIMENSIONAL DOMAINS BY A BOUNDARY-L METHOD. LEBENSM. WISS. TECHNOL., 30 (1) 70-76.
- ❖ CARECHE M., COFRADES S., CARBALLO], COLMENERO F.J., 1998. EMULSI GELATION PROPERTIES DURING FREEZING AND FROZEN STORAGE OF HAKE,] CHICKEN ACTOMYOSINS AS AFFECTED BY ADDITION OF FORMALDEHYDE. /. A CHEM., 46, 813-819.
- ❖ CARROLL R.J., CAVANAUGH J.R., RORER F.P., 1981. EFFECTS OF FROZEN STORA ULTRASTRUCTURE OF BOVINE MUSCLE. /. FOOD Sci., 46 (4), 1091-1094.
- ❖ CHAN W.K.M., FAUSTMAN C, RENERRE M., 1997. MODEL SYSTEMS FOI PIGMENT AND LIPID OXIDATION RELEVANT TO MUSCLE-BASED FOODS. IN "NATU DANTS, CHEMISTRY, HEALTH EFFECTS, AND APPLICATIONS", F. SHAHIDI ED., AC CHAMPAIGN, IL, USA, 319-330.
- ❖ CHARPENTIER J., JACQUET B., 1970. INFLUENCE DU MODE DE CONGÉLATION ET GELATION DES JAMBONS SUR LES RENDEMENTS APRÈS SAUMURAGE ET CUISSON. LA RECHERCHE PORCINE EN FRANCE, INSTITUT TECHNIQUE DU PORC (PARIS), 193-
- ❖ CHEFTEL J.C., CULIOLI J., 1997. Effects of high pressure on meat : a review. *Meat Sci.*, 1 46(3), 211-236.

- ❖ IKE J.R., FENNEMA O., CASSENS G., 1973. Rates of *post mortem* metabolism in frozen animal tissues. *J. Agric. Food Chem.*, 21, 5-11.
- ❖ M.C., CALVELO A., 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Sci*, 4, 1-14.
- ❖ **OttSTAIN** M.F., HUFFMAN D.L., HSIEH W.H., CORDRAY J.C., 1982. Antioxidants in restructured beef/pork steaks. *J. Food Sci.*, 47, 1779-1782.
- ❖ OŒAH K.S., CHEAH A.M., KRAUSGRILL D.I., 1995. Effect of dietary supplementation of vitamin E on pig meat quality. *Meat Sci.*, 39, 255-264.
- ❖ Y.C., Li K.Y., Cm S.P., **TSAI** T.C., 1997. Study on the effect of metal-chelating agents on the quality of mechanically deboned chicken meat during frozen storage. *Food Sci.*, Taiwan, 24 (2), 186-194. Résumé FSTA 97-09-S00118.
- ❖ CHOW C.-J., OCHIAI Y., WATABE S., HASHIMOTO K., 1989. Reduced stability and accelerated autoxidation of tuna myoglobin in association with freezing and thawing. *J. Agric. Food Chem.*, 37, 1391-1395.
- ❖ .ET M., BOUSSET J., 1990. Free amino acids and dipeptides in porcine muscles. *Proceedings of the 36th ICoMST*, Havana, 226-231.
- ❖ DAUDIN J.D., 1988. La congélation. In "*Technologie de la viande et des produits nés*", J.P. Girard coord., Tec & Doc Lavoisier, Paris, 5-31.
- ❖ L.E., GARTNER R., 1983. Lipid oxidation in mechanically deboned poultry. *Food Technol.*, July, 112-116.
- ❖ DDIS P.B., 1986. Occurrence of lipid oxidation products in foods. *Food Chem. Toxicol*, 24, 1021-1030.
- ❖ DEATHERAGE EE., HAMM R., 1960. Influence of freezing and thawing on hydration and charges of the muscle proteins. *Food Res.*, 25, 623-629.
- ❖ DECKER E.A., CRUM A.D., 1991. Inhibition of oxidative rancidity in salted ground pork by carnosine. *J. Food Sci.*, 56, 1179-1181.
- ❖ DECKER E.A., CHAN W.K.M., MEI L, McNEILL-TOMPKINS G.L., 1997. Antioxidant activity of carnosine, a skeletal muscle dipeptide. In "*Natural antioxidants, chemistry, health effects, and applications*", F. Shahidi Ed., AOCS Press, Champaign, IL, USA, 271-282.
- ❖ DECKER E.A., CRUM A.D., 1991. *Produits surgelés*. Informations techniques des services vétérinaires, ministère de l'Agriculture, France, N° 72-75, 164 p.
- ❖ DESROSIER N.W., TRESSLER D.K., 1977. *Fundamentals of food freezing*. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, USA, 629 p.
- ❖ DEVISE C.E., BELL R.G., LOVAIT S., CHRYSTALL B.B., JEREMIAH L.E., 1996. Red meats In "*Freezing effects on food quality*", L.E. Jeremiah Ed., Marcel Dekker, New-York, 51-84.
- ❖ DE WINNE A., DIRINCK P., 1996. Studies on vitamin E and meat quality. 2. Effect of feeding high vitamin E levels on chicken meat quality. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 1691-1696.
- ❖ DOWNEY G., BEAUCHÊNE D., 1997. Discrimination between fresh and frozen-then-thawed beef m. *Longissimus dorsi* by combined visible-near infrared reflectance spectroscopy: a feasibility study. *Meat Sci.*, 45, 353-363.
- ❖ DTANSFIELD E., 1996. Calpains from thaw rigor muscle. *Meat Sci.*, 43 (3-4), 311-320.
- ❖ **DucKETT** S.K., KLEIN TA., LECKIE R.K., THORNGATE J.IL, BLISBOOM).R., SNOWDER CD., 1998. Effect of freezing on calpastin activity and tenderness of callipyge **Umb.** *J. Anim. Sci.*, 76, 1869-1874.

- ❖ DUMISIL N., VRINAT G., 1988a. Congélation des denrées. Etude comparée de la voie « mécanique » et de la voie « cryogénique ». II- Comparaison entre les procédés. *Viandes Prod, cam.*, 9 (3), 115-123.
- ❖ DUMISIL N., VRINAT G., 1988b. Congélation des denrées. Étude comparée de la voie « mécanique » et de la voie « cryogénique ». III- Comparaison entre les deux procédés : la perte de masse. *Viandes Prod, cam.*, 9 (5), 275-280.
- ❖ L.E., GARTNER R., 1983. Lipid oxidation in mechanically deboned poultry. ***Food Technol.***, July, 112-116.
- ❖ S., CAYUELA J.M, GRANADOS M.V., GARRIDO M.D., 1999. Pre-cure freezing affects proteolysis in dry-cured hams. *Meat Sci.*, 51 (1), 11-16.

