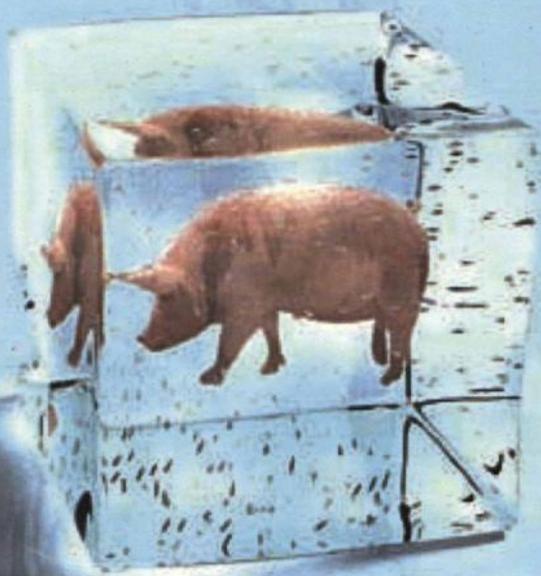


# congélation et qualité de la viande



Claude Genot



TECHNIQUES ET PRATIQUES

 **INRA**  
EDITIONS



---

**CONGÉLATION  
ET QUALITÉ  
DE LA VIANDE**

---



---

# CONGÉLATION ET QUALITÉ DE LA VIANDE

---

Claude Genot

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
147, rue de l'Université - 75338 Paris Cedex 07



La congélation de la viande est pratiquée depuis plus d'un siècle. On pourrait donc penser que tout a été dit et écrit sur cette technique qui, il faut le noter, a représenté une véritable révolution dans le domaine de la conservation, en permettant de garder pratiquement au produit toutes ses caractéristiques initiales. En effet, tous les autres procédés autorisant des reports de consommation par rapport à la production sont des transformations (cuisson, salage et salaison, séchage, fumaison, stérilisation, etc.) qui délivrent un produit final différent du produit initial, au moins sur le plan organoleptique, sinon sur le plan nutritionnel.

Étant donné l'état des connaissances à l'époque où la congélation de la viande a commencé à être pratiquée, on peut dire, en exagérant à peine, que l'on savait congeler de la viande, mais que l'on ignorait à peu près tout du produit que l'on congelait. En effet, les phénomènes biochimiques, qui se déroulent au cours de la transformation du muscle en viande étaient inconnus ; on ne connaissait pas l'existence de l'ATP, la structure fine du muscle, la composition et la structure des membranes, le réticulum sarcoplasmique, etc. faisaient partie du savoir à acquérir.

De ce fait, chaque avancée scientifique, chaque acquisition de connaissance nouvelle sur la structure du tissu musculaire et les mécanismes biochimiques prenant place dans le muscle et/ou la viande a entraîné l'étude de l'impact de la congélation sur ces caractéristiques et phénomènes. On en est ainsi venu à décomposer le processus de congélation en ses trois phases constitutives, congélation, stockage à l'état congelé, décongélation, et à définir, pour chacune de ces phases, les conditions causant le minimum de modifications de manière à rester au plus près des caractéristiques du produit initial. Dans le même temps, il a également été possible d'identifier, dans la matière première, certains facteurs permettant à la viande de subir le processus de congélation avec le minimum de dommages.

Cet ouvrage nous présente le point des connaissances actuelles sur l'impact de la congélation sur les qualités de la viande, essentiellement ses qualités organoleptiques. Après un rappel de principes de base nécessaires et la description de phénomènes ayant un effet sur la texture, l'auteur, qui est un spécialiste, entre autres, de l'oxydation des lipides en milieu carné, développe tout particulièrement les mécanismes de ces réactions d'oxydation au cours de la congélation et leurs conséquences très importantes (puisqu'elles peuvent être causes de refus de la part du consommateur) sur la flaveur et la couleur du produit final. Enfin, les aspects pratiques de la préservation de la qualité des viandes congelées permettront au lecteur « en situation » d'en tirer profit de façon appréciable.

René Goutefongea  
Directeur de Recherches Honoraire à l'INRA

## **SOMMAIRE**

<b>Introduction</b> .....	9
<b>Aspects généraux de la congélation</b> .....	11
■ Processus de congélation : aspects thermiques et cristallisation de l'eau.....	11
■ Vitesse et temps de congélation .....	16
■ Congélation, micro-organismes et réglementation.....	19
<b>Pertes en eau de la viande au cours de la congélation</b> .....	23
■ Pertes par évaporation .....	23
Lors de la congélation .....	23
Pendant la conservation à l'état congelé.....	24
■ Exsudation à la décongélation .....	25
Influence des caractéristiques du produit .....	26
Vitesse de congélation et exsudation .....	27
Influence de la température et de la durée d'entreposage .....	33
Influence du procédé de décongélation.....	34
Emballage et exsudation.....	35
■ Congélation, pertes en jus à la cuisson et rendements à la transformation .....	36
<b>Congélation et texture de la viande</b> .....	39
■ Texture et propriétés technologiques de la viande congelée <i>pre rigor</i> .....	39
■ Tendreté et jutosité de la viande congelée <i>post rigor</i> .....	41
Dénaturation des protéines lors de la congélation .....	41
Conséquences sur la texture de la viande .....	42
Congélation et jutosité .....	44
Propriétés techno-fonctionnelles des viandes congelées.....	44
Substances cryoprotectrices.....	45
Applications des modifications des protéines par le froid .....	45
– <i>Cryotexturation</i> .....	45
– <i>Reconnaître une viande congelée</i> .....	46
<b>Congélation et flaveur de la viande</b> .....	47
■ Réactions chimiques et enzymatiques dans les milieux congelés : impact prépondérant des dégradations des lipides .....	47
■ Influence des caractéristiques de la viande sur sa stabilité à l'oxydation .....	51
Influence de l'espèce animale et variations individuelles .....	52
Alimentation.....	53
Type musculaire .....	54

<input type="checkbox"/> Traitements technologiques et stabilité à l'oxydation de la viande congelée .....	54
Traitements mécaniques.....	54
Salage – Saumurage.....	55
Cuisson et conservation à l'état congelé des produits cuits.....	55
Anti-oxygènes et autres ingrédients .....	56
Emballage.....	58
<input type="checkbox"/> Effets des conditions de congélation et décongélation sur l'oxydation et la saveur .....	60
Vitesse de congélation et mode de décongélation .....	60
Température et durée de conservation à l'état congelé.....	60
<input type="checkbox"/> Saveur et acceptabilité de la viande congelée.....	60

**Congélation et couleur de la viande .....** 63

<input type="checkbox"/> Taille des cristaux et aspect de la viande congelée .....	63
<input type="checkbox"/> Oxydation de la myoglobine et brunissement de la viande .....	63
<input type="checkbox"/> Brûlure au froid .....	65
<input type="checkbox"/> Brunissement des os et des chairs des jeunes volailles congelées.....	65
<input type="checkbox"/> Autres altérations de l'aspect et de la couleur .....	65

**Congélation et qualités nutritionnelles de la viande.....** 67

**Préservation de la qualité des viandes au cours de la congélation.....** 69

<input type="checkbox"/> Qualité des matières premières et traitements avant congélation .....	70
<input type="checkbox"/> Choix des procédés de congélation et décongélation .....	70
Procédés de congélation .....	70
Procédés de décongélation .....	71
<input type="checkbox"/> Durée de conservation – Facteurs TTT et PPP .....	73
Facteurs tolérance-temps-température (facteurs TTT).....	74
Facteurs produit-procédé-emballage (facteurs PPP) .....	74
Durée pratique de conservation et maintien en haute qualité .....	74

**Conclusion .....** 79

**Références bibliographiques .....** 81

**Lexique français – anglais .....** 97

# Introduction

En 1876, sous l'impulsion de Charles Tellier, des carcasses congelées de bœufs étaient pour la première fois acheminées avec succès de Rouen à Buenos-Aires par la voie maritime. A la même époque, les premiers moutons congelés firent le voyage de Nouvelle-Zélande jusqu'en Angleterre. Depuis lors, la pratique de la congélation de la viande s'est généralisée. Elle est désormais pratiquée à grande échelle aux différentes étapes de la transformation de la viande et des produits carnés. La congélation permet en effet de prolonger considérablement la durée de vie des produits sans en modifier notablement les caractéristiques sensorielles, qu'elle soit appliquée à une carcasse entière, à de la viande en morceaux ou hachée ou à un plat cuisiné. La congélation a ainsi facilité la distribution des denrées et contribué à accroître les échanges en permettant de différer le stade d'utilisation et de consommation du stade de la production. Néanmoins, la viande, même à l'état congelé, n'est pas une matière inerte. Elle est la cible de modifications de structure et de réactions biochimiques lors de la congélation proprement dite, pendant la conservation à l'état congelé et lors de la décongélation. Ces phénomènes, s'ils sont mal maîtrisés, sont parfois à l'origine de modifications des qualités technologiques et sensorielles des viandes (cf. encadré ci-dessous). Il convient donc de bien connaître l'ensemble de ces phénomènes, de même que celui des facteurs qui les influencent, afin de choisir et utiliser les solutions technologiques les plus

## **Principales caractéristiques de la viande susceptibles d'être affectées par la congélation**

### **Rendements de transformation**

- pertes d'eau pendant la congélation et la conservation à l'état congelé
- pertes à la décongélation (exsudat)
- pertes à la cuisson

### **Propriétés technologiques**

- pouvoir de rétention d'eau
- pouvoir émulsifiant, stabilité des émulsions
- pouvoir gélifiant, ...

### **Propriétés sensorielles**

- aspect général (brûlures au froid, fractures, présence d'exsudat, ...)
- couleur
- jutosité
- tendreté
- odeur, flaveur, goût
- acceptabilité

### **Qualités nutritionnelles**

- pertes de fer
- pertes de vitamines du groupe B
- formation d'oxydes de cholestérol et de produits d'oxydation des lipides

aptes à préserver la qualité des produits. L'actualité de ces questions est bien illustrée par le fait que, d'après le résultat de l'interrogation de la base de données bibliographiques *Food Science and Technology Abstracts (FSTA)*, plus de 150 publications dans lesquelles il est question de l'impact de la congélation des viandes issues des principales espèces d'intérêt zootechnique, sont parues au cours des années 1995-99.

Cet ouvrage se propose de faire un point sur les altérations susceptibles d'affecter la qualité de la viande et, plus particulièrement, ses qualités sensorielles, lors de la congélation, de la conservation à l'état congelé et de la décongélation. L'accent est placé sur les mécanismes mis en jeu, sur les facteurs intervenants et sur les moyens propres à prévenir ces altérations. Il est également porté sur l'importance primordiale de la qualité initiale des produits. En effet, en aucun cas la congélation ne peut améliorer la qualité d'un produit médiocre et le choix de matières premières de bonne qualité, adaptées aux traitements qu'elles vont subir, constitue un préalable indispensable à l'obtention de produits à longue durée de vie qui satisfassent aux exigences de leurs utilisateurs. Les aspects physiques (transfert de chaleur et cristallisation de l'eau), microbiologiques et réglementaires du procédé, ont été traités dans d'autres ouvrages et publications ; par conséquent, seuls quelques rappels essentiels sont intégrés à la première partie de l'ouvrage. Le dernier chapitre aborde brièvement quelques aspects pratiques et techniques de la congélation de la viande.

# 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  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 9 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).

## Processus de congélation : aspects thermiques et cristallisation de l'eau

Le processus de congélation se caractérise par le changement d'état de l'eau liquide en glace sous l'action du froid, ou cristallisation de l'eau. 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 (fig. 1). Schématiquement, en un point donné du produit, trois étapes se succèdent :

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

Le stade de congélation est caractérisé par :

- la *température de congélation (ou de fusion) commençante* ou *température cryoscopique* ( $T_c$ ). Le tissu biologique se comporte en première approximation comme une solution diluée, or  $T_c$  diminue quand la concentration en solutés croît (loi de Raoult). Dans la viande,  $T_c$  est proche de  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tabl. 1). La température à laquelle commencent à se former les premiers germes cristallins (nuclei), ou *point de congélation*, est inférieure à  $T_c$ , ce qui caractérise le phénomène de surfusion ou sous-refroidissement. Cette réduction initiale de la

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).

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

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. En pratique, on considère généralement que la température de congélation de la viande est de - 1,5 °C, parfois -1 °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 extramusculaires (tissu adipeux de couverture).

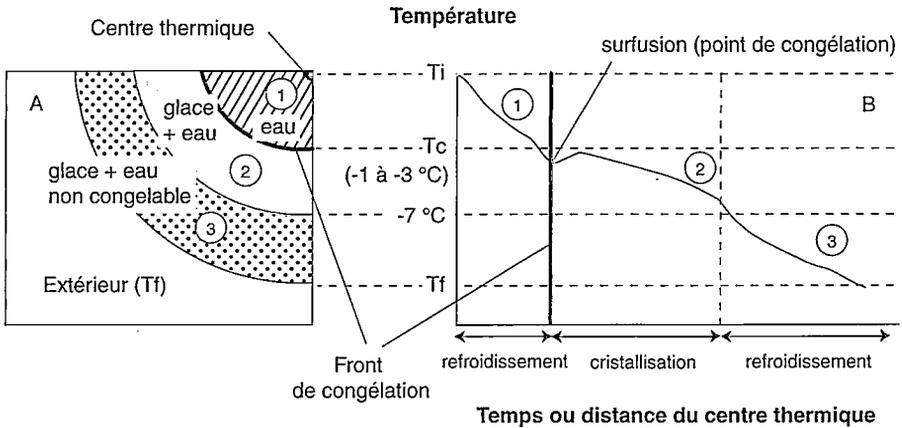


Figure 1 – Les différentes phases de la congélation d'un échantillon.  $T_i$  : température initiale ;  $T_c$  : température de congélation ;  $T_f$  : température finale.

A : État de l'eau dans un produit de forme 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 ( $T \leq T_c$ ) avec nucléation, puis croissance des cristaux (cristallisation).

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

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

- le *taux de nucléation* qui est le nombre de nuclei 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 (fig. 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 6 % en fin de congélation. La *conductivité thermique* du produit augmente car celle de la glace est quatre fois plus élevée que celle de l'eau. La conductivité

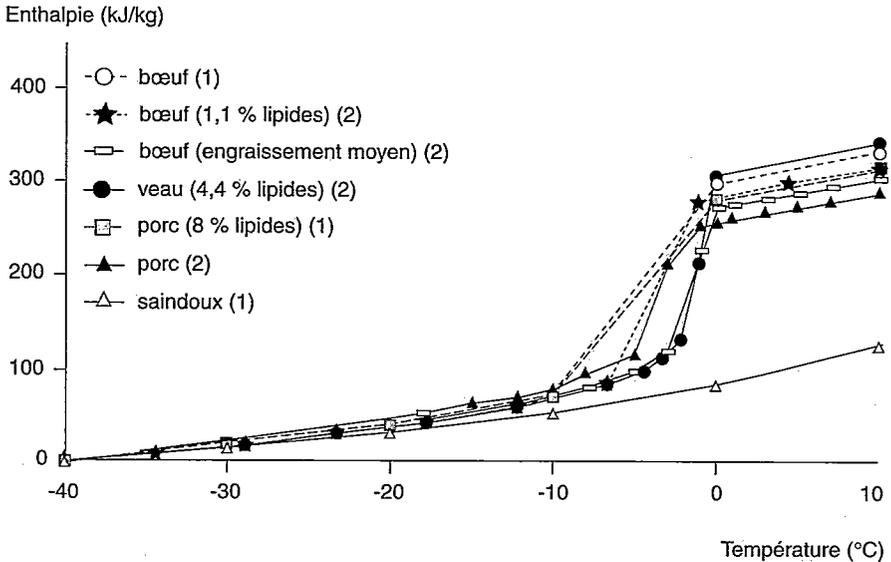


Figure 2 – Enthalpie ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) de quelques produits carnés en fonction de la température. Les valeurs ont été calculées en fixant une enthalpie de  $0 \text{ kJ.kg}^{-1}$  à  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ . (1) d'après Polley et al. (1980) ; (2) d'après Morley (1972).

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 (fig. 3).

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  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$  l'eau sous forme de glace représente environ 80 % de l'eau totale du tissu musculaire. Quand la température atteint  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ , près de 90 % de l'eau est à l'état solide, ce pourcentage n'augmentant pas notablement pour une température plus basse. Aux températures très basses, il y a soit formation d'un eutectique<sup>1</sup>, soit transition vers l'état vitreux. La fraction d'eau non congelée diminue donc au cours de la congélation jusqu'à une valeur limite, de même que l'activité de l'eau et la température de cristallisation ( $T_c$ ), tandis que la concentration en solutés augmente.

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.