

Impact des paramètres de surgélation sur les caractéristiques des denrées alimentaires

Adrien Agoulon
Directeur, Agro-Hall

Abstract :

Des études diverses, sur les modifications d'état des produits alimentaires, ont montré l'impact de la qualité de congélation et des méthodes de stockage sur les propriétés organoleptiques des produits après la décongélation. La vitesse de congélation demeure le paramètre essentiel pour garantir une congélation optimale. La surgélation cryogénique est une méthode particulièrement efficace pour empêcher la détérioration organoleptique (perte de texture et déshydratation) des produits alimentaires sensibles comme les fruits de mer, les fruits et la viande.

1. Introduction

Les ventes d'aliments surgelés sont en hausse dans le monde. La surgélation protège la qualité des aliments à un coût compétitif. La technique elle-même, à l'instar des marchés, se développe afin de s'appliquer de manière plus rapide, plus efficace et plus économique. Afin qu'elle continue à servir les intérêts de consommateurs exigeants sur la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits, mais consacrant de moins en moins de temps à la préparation des repas, il est nécessaire de mieux appréhender les fondements de ce procédé et son impact sur les aliments. Cet article vise à réunir les données scientifiques existantes sur l'impact de la technologie de surgélation sur les caractéristiques organoleptiques de denrées sensibles telles que la viande, les fruits et légumes ou encore les produits de la mer.

2. Le processus de congélation

Contrairement aux idées reçues, un aliment congelé n'est pas stable à tous les points de vue. Certes, sa stabilité microbiologique est acquise mais le produit reste le siège de réactions physiques et biochimiques susceptibles de compromettre à terme ses qualités organoleptiques. Ce constat se comprend d'autant mieux si l'on s'intéresse à la fraction d'eau congelée que l'on retrouve dans différents produits alimentaires congelés. Prenons l'exemple de produits animaux comme dans le tableau 1.

Tableau 1 : Influence de la température sur le pourcentage d'eau congelée et l'activité de l'eau dans la viande

Température (°C)	Eau congelée (%)		
	Volaille (muscle) ¹	Boeuf maigre ^{1,2}	Poisson (cabillaud) ^{1,2}
-5	74	74	77
-10	83	82	84
-15		85	87
-20	88	87	89
-25			
-30	89	88	91

(1) D'après Reidel (1957), cité par Desrosier et Tressler (1977) *Fundamentals of Food Freezing*, ix, 629p., AVI Pub. Co.

(2) IIF (1986)

(3) Leistner et Rodel (1976), cités par Daudin (1988) *Technologie de la viande et des produits carnés*, Chapitre 1

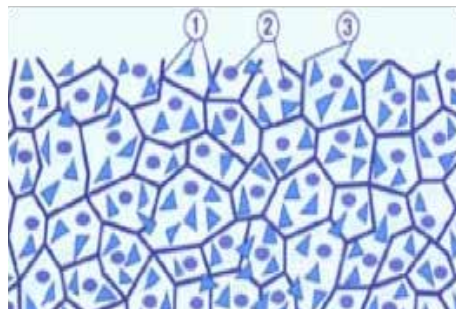
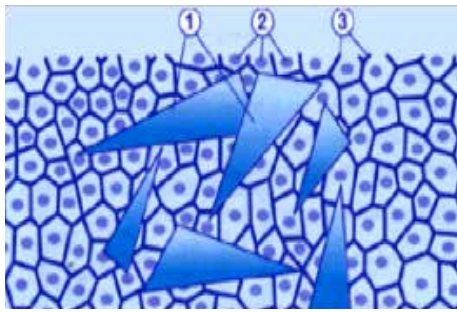
Dans un produit tel que la viande, à une température stabilisée de -20°C, la fraction d'eau non congelée s'élève à plus de 10% de l'eau totale du produit. Cette fraction liquide présente des caractéristiques particulières. Elle s'est en effet progressivement enrichie des différentes substances dissoutes au fur et à mesure du transfert de l'eau vers les cristaux de glace en formation. On parle ainsi de phase cryoconcentrée.

Cette phase est le siège d'un grand nombre d'altérations lors du vieillissement de produits congelés. Elle permet en effet de regrouper, dans un volume restreint des enzymes et leurs substrats, accélérant parfois certaines réactions malgré l'effet retardant des basses températures.

La cinétique de descente en température lors de l'opération de congélation (et de ce fait, la technologie de surgélation employée) va influencer les caractéristiques (nombre, taille) ainsi que la croissance des cristaux :

- Le taux de nucléation. Il s'agit ici du nombre de nucléis formés par unité de temps. Ce paramètre est d'autant plus important que la vitesse de refroidissement est élevée. A titre d'exemple, chaque degré de sous-refroidissement multiplie le taux de nucléation par 10.
- La vitesse de croissance des cristaux. La croissance des cristaux est liée à la capacité d'évacuer la chaleur au niveau des cristaux de glace en formation (caractéristiques du produit et température du medium).
- La taille des cristaux. Cette dernière caractéristique est une résultante des deux précédentes. En effet, la formation d'un nombre important de nucléis ainsi qu'une croissance rapide favorisent la formation de petits cristaux.

Dans de nombreux cas, les dégradations liées à la glace peuvent s'expliquer par la rigidité et la taille des cristaux au sein de la matrice alimentaire. Il en résulte des contraintes mécaniques susceptibles de déstructurer les organisations cellulaires telles que la viande ou les produits végétaux (fruits et légumes). La figure 1 illustre la taille et la répartition des cristaux en fonction de la cinétique de refroidissement.



(Extrait du livre de la FICUR)

- ① Cristaux de glace
- ② Noyaux cellulaires
- ③ Parois cellulaires

A-Congélation lente

B-Congélation rapide

Figure 1: Illustration de la morphologie cristalline en fonction de la cinétique de refroidissement

3. Impact de la surgélation sur la structure des aliments

3.1. Caractéristiques des différentes technologies de congélation

Avant d'évoquer plus en avant l'impact des technologies de surgélation sur la structure des aliments, il est nécessaire de rappeler les principales caractéristiques des technologies utilisées au niveau industriel.

- Le froid mécanique : cette appellation désigne le froid produit par les machines frigorifiques traditionnelles à cycle de compression dont le domaine habituel de température se situe entre -20°C et -50°C .
- Le froid cryogénique obtenu grâce à des fluides cryogéniques tels que l'azote ou le dioxyde de carbone et dont le domaine habituel d'utilisation se situe au dessous de -70°C .

Ces différences notables de coefficients de transfert de chaleur se traduisent par des cinétiques de congélation très différentes d'une technologie à l'autre. Les temps caractéristiques de congélation (temps nécessaire pour que la température passe de -1°C à -7°C au centre du produit) d'un steak de boeuf (200g, 2cm d'épaisseur) en fonction de la technologie utilisée sont représentés à la figure 2.

Les coefficients de transferts de chaleur élevés qui caractérisent la technologie cryogénique aboutissent à des durées de congélation significativement plus courtes que dans le cas du froid mécanique. Ces cinétiques de refroidissement sont en grande partie responsables des différences d'altérations constatées au niveau du produit fini lorsque l'on compare l'impact des technologies sur la qualité des aliments.

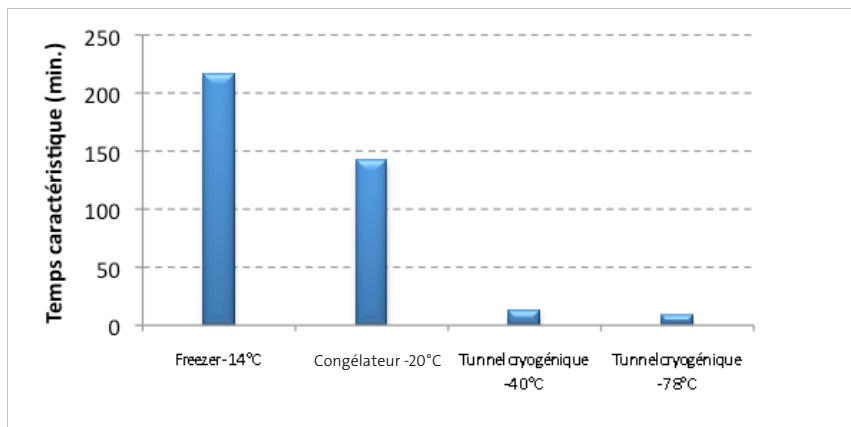


Figure 2 : Temps caractéristique de congélation d'un steak de boeuf en fonction de la technologie de congélation

3.2. Impact de la technologie de surgélation sur la qualité des aliments

• Cryoconcentration

Une congélation lente (vitesse d'avancement du front de congélation inférieure à 0,2 cm/h) entraîne la formation de cristaux de glace dans le milieu extracellulaire moins concentré. Cette concentration progressive du milieu extracellulaire (cryo-concentration) génère une déshydratation osmotique des cellules. Une fuite du liquide intracellulaire se traduit par un affaissement des tissus et une perte de turgescence des tissus végétaux. Le tableau 2 indique les différences qualitatives observées entre une surgélation cryogénique à l'azote liquide, une surgélation mécanique ventilée et une congélation non ventilée.

Dans le cas des haricots verts, le phénomène, de faible ampleur dans le cas de la surgélation cryogénique, apparaît de manière marquée dès que la durée nécessaire pour atteindre une température à coeur de -20°C dépasse les 30 minutes.

Tableau 2 : Effet du taux de congélation sur les propriétés sensorielles de haricots verts

Durée nécessaire pour que le cœur atteigne -20°C	Caractéristiques sensorielles du produit cuisiné	Type de congélation
< 30 minutes	Pas de perte de fermeté, couleur et goût préservés	Surgélation cryogénique (azote liquide)
30 minutes-12 heures	Perte de texture, couleur et goût non altérés	Surgélation mécanique ventilée
> 12 heures	Perte de texture, couleur et goût dégradés	Congélation non ventilée

CJ Kennedy, GP Archer, 1999. Maximising Quality and Stability of Frozen Foods, Report 2, 14.

La perte de texture, consécutive à la perte de turgescence des cellules, intervient en premier lieu. Sur ce premier point, la surgélation cryogénique, du fait de la rapidité des cinétiques de refroidissement, limite le phénomène de cryo-concentration en faisant naître des cristaux de glace dans les compartiments intra et extracellulaires. La totalité des frigories apportées ne pouvant être absorbée par la seule formation des cristaux dans le milieu extracellulaire, les noyaux se forment de manière homogène dans la matrice (cf. figure 1). Cette homogénéité des sites de nucléation limite de ce fait les phénomènes de pression osmotique qui sont à l'origine des pertes de textures.

La dégradation de la couleur et du goût présente une grande variabilité dans sa cinétique en fonction des conditions de stockage et de la nature du produit congelé. On peut néanmoins constater que la mise en présence d'enzymes et de leur substrat au sein d'un compartiment liquide restreint crée les conditions de réactions de dégradations rapides malgré les températures négatives. Une cinétique de refroidissement rapide (i.e surgélation cryogénique) consiste à figer le milieu en limitant tous les flux de matières au sein du tissu. Les phases liquides restent

de ce fait moins concentrées en substances dissoutes, ce qui aboutit à des cinétiques de dégradations enzymatiques (oxydations, hydrolyses, décarboxylations) plus lentes.

L'accélération de ces réactions enzymatiques dans le cas de congélation lente résulte également d'un deuxième mécanisme d'altération, basé sur les contraintes mécaniques générées par les cristaux de glace.

• Altération mécanique

L'application de cinétiques de refroidissement lentes, correspondant à des migrations du front de congélation inférieures à 0,2 cm/h, impacte la taille et le nombre de cristaux. La figure 3 illustre l'impact de la vitesse de congélation sur les cellules et ses conséquences organoleptiques.

Les gros cristaux qui accompagnent les cinétiques de congélation les plus lentes, génèrent des tensions mécaniques et des cisaillements qui endommagent l'ensemble des compartiments cellulaires (organites, membranes cellulaires...).

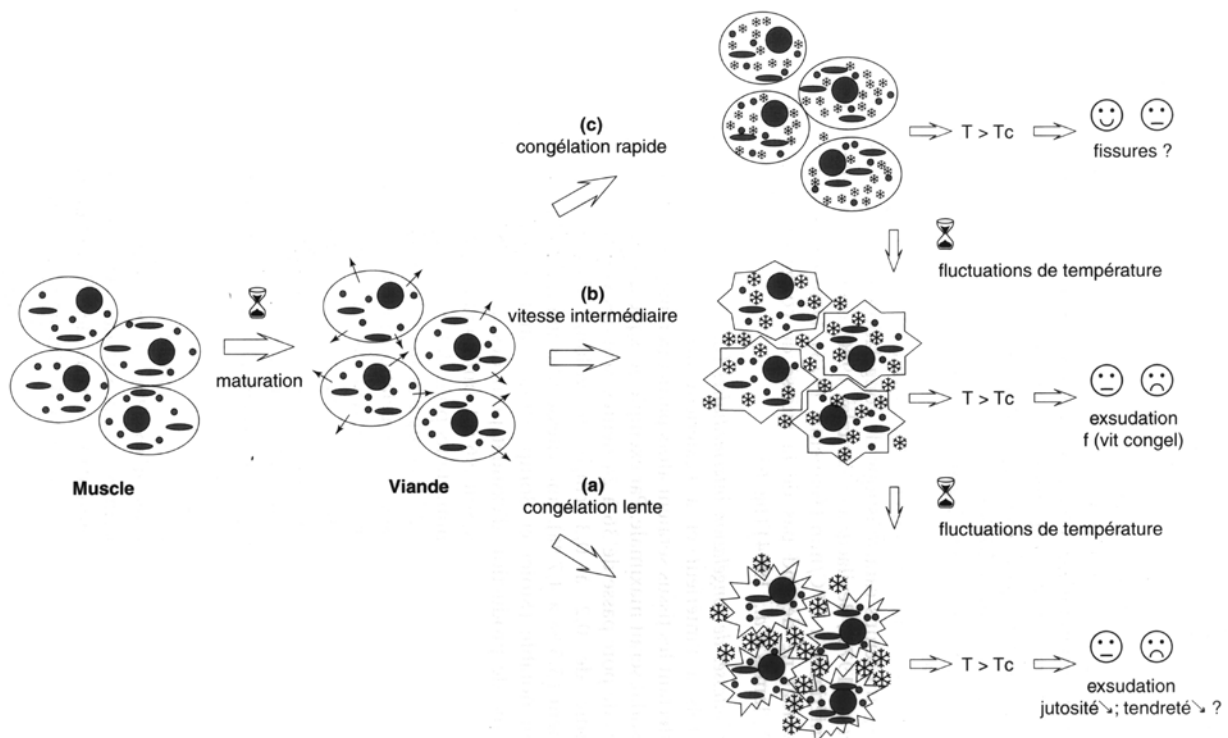


Figure 3 : Illustration de l'impact de la vitesse de congélation sur la qualité de la viande
Illustration tirée de Congélation et Qualité de la Viande, Claude Genot, INRA Edition, 2000.

Cette dé-compartmentation aboutit à la mise en présence d'enzymes et de substrats initialement séparés, et de ce fait, à l'apparition de réactions enzymatiques d'altération. Les critères organoleptiques de la viande impactés par le mode de congélation sont essentiellement la tendreté, la jutosité et le pouvoir de rétention d'eau. Les cinétiques de congélation, susceptibles d'être atteintes par les procédés cryogéniques, aboutissent à l'obtention de caractéristiques organoleptiques supérieures, le pouvoir de rétention d'eau étant corrélé à d'autres descripteurs qualitatifs de la viande telle que la tendreté ou la jutosité.

Le tableau 3 permet de quantifier les pertes à la congélation et à la décongélation générées par la technologie de congélation employée. On constate ainsi des pertes significativement plus élevées dans le cas de l'utilisation de tunnel de froid mécanique (+625% à -20°C et +300% à -40°C) par rapport à l'essai réalisé en froid cryogénique.

• Déshydratation

Au cours du procédé de surgélation, les produits peuvent subir une importante déshydratation du fait de la sublimation de l'eau en surface. Cette déshydratation peut entraîner une perte de poids importante, jusqu'à 10% dans certains cas, ainsi qu'une altération gustative. Le recours au froid cryogénique permet de réduire significativement (jusqu'à un facteur 10) ces phénomènes de déshydratation (Löndahl et al., 1195) par rapport au froid mécanique.

Le niveau de déshydratation est directement lié à la vitesse tangentielle du gaz (air, N₂ ou CO₂) au contact du produit. Le refroidissement mécanique nécessite une vitesse tangentielle élevée afin de limiter la durée du processus de congélation, d'où une déshydratation importante pour certaines denrées.

Tableau 3 : Pertes en poids (en %) pour différents traitements de congélation/décongélation de jambon

Congélation x décongélation	Pertes congélation	Pertes décongélation (micro-ondes)
Tunnel -20°C x micro-ondes	0,50	0,80
Tunnel -40°C x micro-ondes	0,24	0,70
Azote liquide x micro-ondes	0,08	0,58

(1) D'après Jacquet et al. (1976)

L'efficacité du transfert thermique est également dépendante de la différence de température entre la surface du produit et le gaz de surgélation. Comme les surgélateurs cryogéniques travaillent à des températures plus basses, une vitesse tangentielle élevée n'est pas le seul paramètre permettant d'obtenir un refroidissement rapide.

D'autre part, la tension vapeur saturante (pression à laquelle phase gazeuse et phase solide sont en équilibre) est divisée par deux à chaque fois que la température baisse de 10 °C, par conséquent les surgélateurs cryogéniques travaillant à plus basse température, la tension de vapeur saturante à cette température est plus faible : le phénomène de déshydratation s'en trouve également réduit.

4. Conclusion

Les différentes études portant sur le changement d'état des denrées alimentaires démontrent l'influence de la qualité de l'opération de surgélation et de l'opération de stockage sur leur propriété organoleptique après décongélation. La vitesse de refroidissement est le paramètre clé pour assurer une opération de surgélation optimale. La cryogénie est une technologie particulièrement intéressante pour prévenir les altérations organoleptiques (exsudat, perte de texture, déshydratations) sur les denrées sensibles telles que les produits de la mer, les fruits ou la viande.

5. tell me more*

A propos de l'auteur

Diplômé de l'ENSIA (Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires), Adrien Agoulon est directeur d'Agro-Hall depuis 2010 après avoir supervisé la Recherche & Développement du centre technologique pendant huit ans.

Basé à Evreux (France), Agro-Hall a été créé en 1986 pour apporter un soutien personnalisé aux entreprises dans leurs projets de R&D et d'innovations.

Pour plus d'informations sur Air Products ou les technologies de surgélation

Afin de discuter de la meilleure technologie de surgélation pour votre unité industrielle, ou pour une analyse sans engagement de votre processus actuel de surgélation, veuillez prendre contact avec l'un des spécialistes d'Air Products :

Air Products

78 rue Championnet
75881 Paris Cedex 18
France
T 0800 480 030
E frinfo@airproducts.com

Air Products

Chaussée de Wavre 1789
BE-1160 Bruxelles
Belgique
T 00800 0031 0032
E beinfo@airproducts.com

*pour en savoir plus



tell me more
www.airproducts.fr/food
www.airproducts.be/fr/food