# Crèmes glacées, glaces et sorbets : formulation et fabrication

*par* **Jean-Luc BOUTONNIER**
*Professeur à l'École nationale des industries du lait et des biotechnologies (ENILBIO) de Poligny*

**1. Présentation** ..... F 8 010 - 2

**2. Grandes règles de la formulation** ..... — 3
2.1 Formulation type (cas d'une crème glacée) ..... — 3
2.2 Principaux composants de l'extrait sec des glaces ..... — 3
2.3 Deux constituants fondamentaux des glaces ..... — 3

**3. Ingrédients utilisés en fabrication** ..... — 4
3.1 Ingrédients d'origine laitière ..... — 4
3.2 Ingrédients d'origine végétale ..... — 4
3.3 Œufs et ovoproduits ..... — 5
3.4 Inclusions et décors divers ..... — 5
3.5 Additifs ..... — 5

**4. Technologie de fabrication : opérations et matériels** ..... — 6
4.1 Préparation du mix ..... — 6
4.2 Transformation du mix en glace ..... — 8
4.3 Stockage et commercialisation ..... — 10

**5. Contrôle de la qualité** ..... — 10
5.1 Matières premières ..... — 10
5.2 En cours de fabrication ..... — 10
5.3 Produits finis ..... — 10

**Pour en savoir plus** ..... Doc. F 8 010

*Les glaces, terme générique qui qualifie une famille et englobe en fait plusieurs produits, sont des préparations alimentaires très élaborées et originales à plus d'un titre.*

*En effet, sur un plan physico-chimique, la structure de la crème glacée est extrêmement complexe puisque l'on trouve les trois états de la matière, le tout étant organisé de telle sorte que l'on n'observe pas moins de six systèmes dispersés différents. Par ailleurs, sa richesse en air et en eau en fait un produit intéressant économiquement pour le fabricant et séduisant pour le consommateur en quête de déculpabilisation, l'air et l'eau étant peu onéreux et acaloriques. En outre, sur le plan de la mise en œuvre par le restaurateur ou le consommateur, il convient de souligner que c'est le seul aliment congelé que l'on peut découper, mettre en forme de boules ou de quenelles et ingérer, le tout à une température inférieure à 0 °C. Enfin sur le plan commercial, et c'est particulièrement marqué en France, les glaces restent à la fois des produits festifs ou des produits de consommation estivale à condition que l'été soit chaud ! Ce comportement qui conduit à une*

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

*sous-consommation par rapport à d'autres pays s'explique en partie par une concurrence en fin de repas que l'on peut attribuer à des produits fortement ancrés dans les habitudes alimentaires des Français, à savoir les laits fermentés, les desserts lactés et les fruits frais.*

*C'est une des explications à la stagnation du marché des glaces depuis plusieurs années, malgré un potentiel de développement théorique élevé, au regard des niveaux de consommation de certains pays d'Europe du Nord et d'Amérique du Nord.*

# 1. Présentation

D'un point de vue physico-chimique, les glaces sont des préparations alimentaires extrêmement sophistiquées en raison des nombreuses formes sous lesquelles leurs constituants sont dispersés dans l'eau. Cette complexité dans l'organisation rend fragile ces systèmes dispersés et seule une température négative est capable en figeant le dispositif de stabiliser ces produits dans le temps. Ainsi tout écart de température accélère l'évolution des processus de désintégration, par conséquent la maîtrise de ce paramètre est fondamentale dans toute la filière pour assurer une qualité irréprochable et durable au consommateur (figures **1** et **2**).

L'eau est à la fois dispersante et dispersée. En effet une fraction de celle-ci est dispersée à l'état solide sous forme de cristaux et par conséquent elle est indisponible comme solvant pour les divers solutés présents et comme réactif pour d'éventuelles réactions chimiques. De même, en tant que phase dispersante, elle se présente sous forme d'eau liée à des polymères tels que les protéines ou les hydrocolloïdes ajoutés. En revanche au gré d'éventuelles remontées de température, une fraction de la glace peut passer à l'état liquide et provoquer de profondes évolutions, toujours négatives au sein du système.

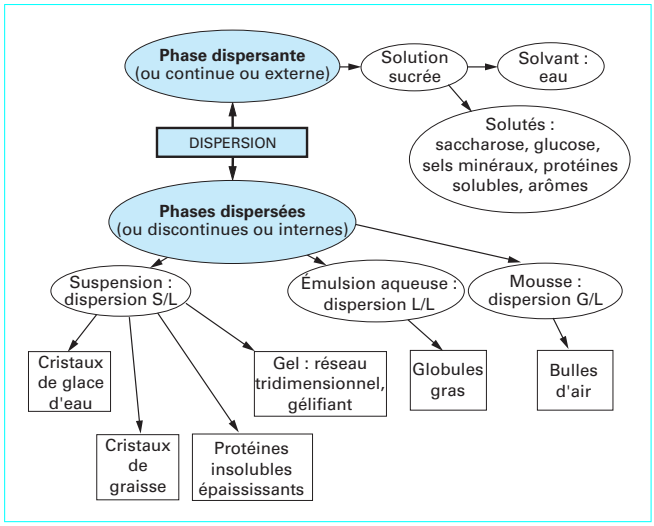



**Figure 1 – La crème glacée, un système très dispersé**

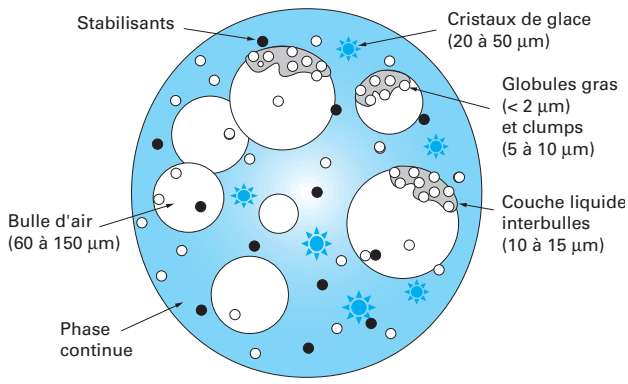
## Historique

Les glaces sont des préparations alimentaires relativement ancestrales qui ont connu une évolution parallèle à celle de l'utilisation du froid par les hommes. Pendant plusieurs siècles, durant l'ère du froid naturel, c'est la neige et la glace qui furent mélangées à des fruits, du miel, de l'eau de rose, etc. C'est semble t-il sous le règne de l'empereur Néron en l'an 52. En l'an 1292, Marco Polo, de retour de son périple asiatique, rapporte les premières recettes de glaces refroidies par ruissellement sur le récipient contenant le mélange à glacer, d'eau additionnée de salpêtre. En 1530, c'est un Sicilien qui met en pratique les découvertes chinoises, d'où la revendication des « gelati » par les Italiens. Au XVII$^{e}$ siècle Gérard TIRSAIN, grand cuisinier français au service de Charles I$^{er}$, roi d'Angleterre, a l'idée d'ajouter à ses glaces du lait et de la crème. En 1673, on recense à Paris pas moins de 250 glaciers et la vogue s'étend à différentes grandes villes européennes. En 1785, Bonaparte, grand amateur de glaces, fréquente le célèbre café PROCOPE à Paris qui compte plus de quatre-vingts variétés de glaces et de sorbets. Produits réservés au départ à la cour des rois, puis à la noblesse, la révolution aidant, la glace peu à peu se démocratise. En 1846, une ménagère américaine, Nancy JOHNSON, invente l'une des premières machines à glace à manivelle baptisée sorbetière, tandis que Jacob FUSSEL en 1857 crée le premier atelier de fabrication de crèmes glacées à Baltimore. La véritable première grande usine de crèmes glacées au monde est lancée aux USA en 1864 sous le nom de HORTON Ice Cream and Co.

En 1870, l'Allemand Karl VON LINDE met au point un compresseur frigorifique, suivi en 1880 par le Français Ferdinand CARRE, qui lui, découvre le principe de la production de froid par vaporisation de l'ammoniaque.

En 1921, un glacier de l'Iowa lance le premier chocolat glacé que Harry BUST présente sur bâtonnet à partir de 1923. Le freezer réfrigéré par compression et expansion d'ammoniaque dans la chemise du cylindre de congélation, ramène la durée de congélation à 5 ou 6 min. C'est en 1924, qu'en France s'ouvre la première usine de crème glacée de conception américaine, et le freezer continu révolutionne l'industrie de la crème glacée. Le premier décret définissant les glaces, crèmes glacées et sorbets est promulgué en France en 1937, et le 1$^{er}$ janvier 1996, les industriels glaciers publient le premier guide européen des bonnes pratiques définissant notamment la composition des produits, c'est le code **Euroglaces**. En 1999, un équipementier allemand commercialise un extrudeur de crème glacée à basse température qui permet de ce fait de supprimer le tunnel de surgélation.


Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire




Ce n'est qu'un schéma : la taille des éléments ainsi que leurs proportions sont loin de la réalité

**Figure 2 – Structure schématique de la crème glacée**

# 2. Grandes règles de la formulation

Le raisonnement consiste, dans un premier temps, à fixer les objectifs recherchés pour chaque type de produit fini, puis dans un deuxième temps à traduire ces objectifs en caractéristiques pour le **mix** à préparer (mélange dans le jargon professionnel) et enfin dans un troisième temps à sélectionner les ingrédients à mettre en œuvre en fonction du cahier des charges.

## 2.1 Formulation type (cas d'une crème glacée)

Air : 30 à 50 % (en volume)

Mix : 50 à 70 % (en volume)
- Eau : 55 à 65 % (en masse)
- Sucrés : 12 à 18 % (en masse)
- Matières grasses : 8 à 16 % (en masse)
- Extrait sec dégraissé lactique : 9 à 12 % (en masse)
- Émulsifiants/stabilisants : 0,2 à 0,5 % (en masse)

## 2.2 Principaux composants de l'extrait sec des glaces

### 2.2.1 Extrait sec dégraissé lactique (ESDL)

L'ESDL peut être apporté par différentes sources telles que du lait frais, du lait concentré en matière sèche ou du lait en poudre. D'autres poudres sont également utilisées dans l'industrie des glaces comme les poudres de lactosérum ou de babeurre. Dans le but de réduire les coûts matières tout en améliorant les fonctionnalités des constituants laitiers, l'emploi de lacto-remplaceurs qui incorporent des poudres laitières modifiées s'est généralisé au niveau industriel.

Les principaux intérêts de l'ESDL dans les crèmes glacées résident dans l'apport de protéines et de minéraux bénéfiques pour la structure de la crème glacée et par conséquent pour sa texture. En outre, l'apport de lactose représente une source d'extrait sec peu onéreuse. En revanche, chacun de ces constituants présente des limites, notamment au niveau des protéines (risques de goût de cuit ou d'amertume), au niveau des minéraux (risques de goût salé en cas d'excès de poudre de lactosérum) et ainsi qu'au niveau du lactose (risques de cristallisation du lactose peu soluble dans l'eau avec apparition d'une texture sableuse).

### 2.2.2 Matière grasse

En ce qui concerne les crèmes glacées, cette matière grasse est exclusivement d'origine laitière ; elle peut être apportée par de la crème fraîche, du beurre ou encore des beurres concentrés ; ces derniers faisant l'objet d'aides de la part de l'Union européenne (formule B, règlement 570/88).

Certaines formulations incorporent depuis quelques années des matières grasses végétales, qui peuvent être soit des graisses végétales, soit des huiles partiellement hydrogénées. Cette tendance qui vise à réduire les coûts matières interdit la dénomination « crème glacée » qui est alors remplacée par la dénomination « dessert glacé ».

La présence de matière grasse dans une crème glacée présente de nombreux avantages tels que la réduction de la vitesse de foisonnement, la stabilisation de la mousse, l'amélioration de la texture, du corps et de la flaveur du produit fini, ainsi que l'accroissement de sa valeur énergétique.

Par contre, trois inconvénients majeurs limitent son taux d'incorporation. Tout d'abord, la matière grasse étant un composé antimoussant, sa présence réduit le taux de foisonnement du mix, ensuite une augmentation de matière grasse diminue d'autant la teneur en ESDL, afin de respecter l'extrait sec total de la formulation. Enfin, un pourcentage excessif de matière grasse peut entraîner une texture pâteuse voire collante.

**Nota :** taux de foisonnement = volume final de glace/volume initial de mix.

### 2.2.3 Sucres

Les glaces, étant des produits consommés en fin de repas ou durant l'après-midi, sont des aliments par excellence sucrés. En outre, les sucres représentent une source d'extrait sec peu onéreuse. Enfin, ils jouent un rôle très important sur la quantité d'eau liée c'est-à-dire non disponible pour la congélation. Autrement dit, la nature et les doses des sucres apportés dans la formulation vont influencer de manière prépondérante la stabilité thermique de la glace et sa vitesse de fonte à la sortie du congélateur. En contrepartie, ils limitent le taux de foisonnement du mix, et ils peuvent en cas de dosage important générer une texture collante en bouche et entraîner une cristallisation excessive et grossière.

## 2.3 Deux constituants fondamentaux des glaces

### 2.3.1 Air

L'air, qui est incorporé à débit variable dans le mix, a été préalablement filtré (classe100). Il remplit plusieurs rôles principaux dans les glaces. C'est ainsi que lorsque le taux de foisonnement

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

augmente, on constate une réduction de la taille des cristaux de glace et des bulles d'air, ce qui contribue à une amélioration de la texture du produit fini. La présence d'air dans les glaces permet d'alléger la valeur énergétique de celles-ci, de même que leur prix de revient. C'est la raison pour laquelle la glace est un des rares produits alimentaires solides vendus au litre. L'air étant un isolant thermique, il confère à la glace une meilleure résistance à la fonte lors d'une élévation de température et procure une moindre sensation de froid, qui est désagréable lors de la dégustation. Enfin, il faut souligner car, c'est remarquable, que les crèmes glacées ou les sorbets sont les seuls produits surgelés que l'on peut mettre en œuvre, tant au niveau industriel (formage par extrusion) qu'au niveau ménager (réalisation de tranches et de boules), à une température négative et que l'on peut consommer sans décongélation préalable.

Cela dit, si l'incorporation d'air dans le mix est aisée avec les appareils continus, sa stabilité dans la glace est assujettie à la présence dans le mélange de composants à fort pouvoir moussant et ce d'autant plus que la crème glacée est riche en matière grasse, dont le rôle antimousse n'est plus à démontrer. C'est la raison pour laquelle les glaces à l'eau qui n'incorporent pas d'agents moussants dans leur formulation ont un taux de foisonnement relativement faible de l'ordre de 25 à 30 %, tandis que certains produits peuvent atteindre voire dépasser le taux de foisonnement légal fixé à 2.

### 2.3.2 Eau

Celle-ci est également indispensable, car son rôle de **solvant** permet à l'eau de solubiliser l'extrait sec dégraissé lactique ainsi que les sucres, ensuite son rôle de **dispersant** facilite l'émulsification de la matière grasse. En outre, son passage partiel de l'état liquide à l'état solide et la création de réseaux solides cristallins permet une stabilisation de la structure physico-chimique complexe des glaces. Par ailleurs, elle doit être d'excellente qualité bactériologique afin de ne pas véhiculer de germes microbiens.

Néanmoins, une quantité d'eau excessive dans le mix va affecter de manière significative, à la fois la qualité organoleptique (sensation granuleuse due à une taille importante de cristaux de glace, et sensation aqueuse lors de la fonte en bouche) et la stabilité du produit fini (accélération de la vitesse de fonte en raison d'une quantité d'eau libre excessive).

# 3. Ingrédients utilisés en fabrication

## 3.1 Ingrédients d'origine laitière

### 3.1.1 Vecteurs d'ESDL

De nombreuses sources lactées sont possibles, elles peuvent être regroupées en deux catégories en fonction de leur utilisateur :

— échelle artisanale et semi-industrielle ; le lait frais pasteurisé est le plus souvent employé par les fermiers ou encore les pâtissiers-glaciers, parfois on rencontre la mise en œuvre de lait de vache issu de l'agriculture biologique, voire de lait de chèvre ou de brebis ;

— échelle industrielle ; pour ce qui est des gros fabricants, les sources sont variables selon les cours des matières premières et les niveaux de qualité recherchés pour tel ou tel produit fini. C'est ainsi que l'on privilégie souvent le lait écrémé en poudre, et dans certains cas le lait concentré, tout en recourant, en tant que substitution partielle, à des produits élaborés que sont les lacto-remplaceurs, eux-mêmes d'origine majoritairement laitière.

### 3.1.2 Vecteurs de matière grasse butyrique

Dans les crèmes glacées et certaines glaces, les ingrédients précédemment cités ne suffisent pas à régler le taux de matière grasse du mélange, c'est la raison pour laquelle on est amené à ajouter des matières premières concentrées en matière grasse. Là également, on retrouve le clivage lié au niveau d'activité sachant qu'il existe tout de même des exceptions justifiées par des positionnements spécifiques sur certains marchés. Toujours est-il qu'au niveau artisanal, c'est la crème fraîche qui est recommandée en raison d'une limitation des investissements en matériels (absence d'homogénéisateur). Par contre, dans les grosses unités de production de glaces, soit on met en œuvre du beurre frais avec toutes les contraintes que cela suppose, soit et c'est le plus souvent le cas, on fait appel à des beurres concentrés spécialement préparés pour les glaciers (cf. § 2.2.2).

## 3.2 Ingrédients d'origine végétale

### 3.2.1 Vecteurs de matière grasse

Dans les desserts glacés, il est courant de rencontrer des matières grasses végétales, d'origines diverses et parfois hydrogénées afin d'adapter leur plage de fusion.

### 3.2.2 Sucres et édulcorants

Le **saccharose** reste le sucre majoritairement utilisé en raison de sa solubilité et de son pouvoir sucrant élevés ; par ailleurs, c'est un composant peu onéreux dans la formulation. Néanmoins, il est rarement utilisé tout seul. C'est ainsi que l'on rencontre le plus souvent des **sirops de glucose** qui sont issus de l'hydrolyse de solutions d'amidon. Ces derniers, outre l'apport de dextrose (le dextrose équivalent traduisant la teneur en sucres réducteurs en gramme pour 100 g de matière sèche) permettent de bénéficier des avantages de fractions comme les malto-dextrines à poids moléculaire élevé. En effet, celles-ci ont un faible pouvoir sucrant, mais en contrepartie un fort pouvoir viscosant. La quantité d'eau liée augmentant, on réduit la fraction d'eau libre disponible pour la congélation et on peut ainsi améliorer la stabilité thermique de la glace. La présence de sucres à plus faible poids moléculaire que le saccharose tels que le dextrose et le fructose ou encore le sucre inverti (inversion du sens de rotation de la lumière entre le saccharose et les deux sucres que sont le dextrose et le fructose obtenus par hydrolyse du saccharose) provoque un abaissement de la température cryoscopique (température de congélation commençante du mix). Cet abaissement a notamment pour intérêt d'obtenir une glace plus molle à – 18 °C et par conséquent plus agréable à consommer dès la sortie du congélateur, on parle de « cuillèrabilité de la crème glacée ». Certains fabricants utilisent des sirops de fructose, ou encore des édulcorants intenses dans le cas de fabrications de glaces allégées en sucre.

### 3.2.3 Cacaos et chocolats

Le cacao et le chocolat peuvent être utilisés seuls ou en mélange dans la fabrication du mix. Tout dépend du positionnement du produit sur le marché et de son coût matières visé. Le chocolat est une préparation obtenue à partir de cacao et de sucre avec au moins


Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

35 % de matière sèche totale dont au moins 18 % de beurre de cacao et au moins 14 % de cacao sec dégraissé. En ce qui concerne l'enrobage des bâtonnets, des barres ou de certaines spécialités à partager, on emploie le plus souvent des mélanges qui sont obtenus par addition à du cacao dégraissé de diverses matières végétales à plage de fusion contrôlée.

### 3.2.4 Fruits et dérivés

Des purées de fruits sont utilisées dans la fabrication des mixes pour les crèmes glacées à la fraise par exemple et ainsi que pour la plupart des sorbets. Ces préparations de fruits spécialement élaborées pour les glaciers peuvent se présenter réfrigérées et conditionnées sous atmosphère modifiée, surgelées ou plus rarement déshydratées voire lyophilisées.

Les fruits sont également ajoutés en continu par des distributeurs d'ingrédients en sortie du freezer, de manière à proposer des produits finis avec des morceaux et renforcer ainsi l'attrait des fruits pour le consommateur. Dans ce cas de figure, on peut utiliser des fruits secs mais également des morceaux de fruits obtenus par déshydratation osmotique (fruits confits), par dessiccation suivie d'un trempage dans l'alcool (raisins macérés dans du marc de champagne) ou encore par surgélation individualisée (procédé IQF *Individual Quick Freezing*), etc.

On a également recours aux fruits par l'intermédiaire de sauces à basse température de congélation. Ces coulis seront ainsi toujours liquides à la température de la crème glacée et permettront soit de créer des marbrures colorées internes, soit de fourrer l'intérieur d'une glace en bâtonnet ou en barre, soit de produire un effet nappant sur le produit lors de sa consommation.

### 3.2.5 Alcools

Qu'il s'agisse de rhum ou de diverses liqueurs à base de macération de plantes, ces produits sont également des préparations conçues pour la personnalisation des crèmes glacées. En effet, l'addition d'alcool dans le mix peut abaisser de manière très importante sa température cryoscopique et poser ainsi des problèmes de stabilité physico-chimique du produit fini. C'est la raison pour laquelle, on recherche plus la saveur typique de liqueur qu'un degré d'alcool élevé.

## 3.3 Œufs et ovoproduits

Certaines glaces et crèmes glacées peuvent renfermer des œufs entiers, ou encore des jaunes d'œufs qui présentent certains avantages. Le jaune, outre son pouvoir colorant contient de la lécithine qui est un agent émulsionnant très hydrophile et par conséquent particulièrement intéressant pour la fabrication du mix qui est une émulsion de type huile dans l'eau. Quant au blanc d'œuf, c'est un excellent agent moussant qui permet de faciliter le foisonnement du mix.

Ces ovoproduits se présentent soit sous forme liquide réfrigérée, soit sous forme congelée pouvant être sucrée ou encore déshydratée.

## 3.4 Inclusions et décors divers

Les glaces sont des produits festifs et constituent un excellent terrain pour l'innovation et l'animation notamment en ce qui concerne les produits destinés aux enfants. Qu'il s'agisse de meringues, de minigâteaux, de chewing-gums ou encore de granules libérant du gaz carbonique et provoquant un pétillement dans la bouche. La liste de ces artifices est longue et toutes les pistes n'ont pas encore été explorées !

## 3.5 Additifs

### 3.5.1 Émulsifiants

Dans la première étape de la fabrication des crèmes glacées, c'est-à-dire l'élaboration du mix, on doit réaliser une émulsion dans laquelle la phase aqueuse doit disperser la phase grasse. Pour cela, il faut trouver dans le milieu des agents tensioactifs très hydrophiles, c'est le cas des protéines laitières et de la lécithine de jaune d'œuf.

Ensuite lors de la transformation du mix en crème glacée dans le freezer, on recherche une déstabilisation partielle de cette émulsion de manière d'une part à faciliter lors du foisonnement la dispersion de l'air dans la phase liquide sous forme de fines bulles et d'autre part à floculer la phase grasse par agglomération partielle des globules gras, cela afin de stabiliser la dispersion d'air dans le mix.

Cette fonctionnalité très importante est le résultat de l'addition dans le mix d'agents émulsifiants, à forte solubilité dans la matière grasse, tels que les mono et diglycérides d'acides gras (E 471) ou encore les polysorbates (E 462, E 463, E 464, E 465, E 466).

### 3.5.2 Épaississants et gélifiants

Dans le but de diminuer la quantité d'eau libre congelable dans les préparations, on peut recourir à l'emploi de ces agents texturants.

De nombreux additifs sont autorisés par la réglementation tels que les alginates de sodium (E401), de potassium (E402), et d'ammonium (E403), l'agar-agar (E406), la farine de graines de caroube (E410), la farine de graines de guar (E412), la pectine (E440 i), la pectine amidée (E440 ii), les carraghénanes (E407), la gomme xanthane (E415) et la carboxyméthylcellulose (E466).

### 3.5.3 Stabilisants

Afin de renforcer notamment le rôle des gélifiants, on peut ajouter du phosphate tricalcique (E341 iii) ainsi que certains phosphates et polyphosphates (E450 ai uniquement). De même, la gélatine alimentaire et le blanc d'œuf sont autorisés dans les glaces.

### 3.5.4 Acidifiants

La correction du pH du milieu peut être réalisée par addition d'acides organiques ou de leur sels. C'est ainsi que les correcteurs d'acidité suivants sont autorisés : l'acide citrique (E330) ainsi que ses sels tels que les citrates de sodium (E331), de potassium (E332), de calcium (E333).

### 3.5.5 Colorants

Toute une série de substances sont autorisées afin de renforcer les couleurs des produits du jaune au noir, en passant par l'orange, le rouge, le vert, le bleu et le marron.

### 3.5.6 Arômes

Les quantités minimales d'arômes à employer pour la fabrication des glaces sont variables. En outre, ceux-ci peuvent être utilisés seuls ou en complément pour renforcer la saveur des fruits.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

### 3.5.7 Divers

Il est à noter que le lactose hydrolysé est également autorisé, en raison de la faible solubilité du lactose et des risques de cristallisation. On peut en apporter par le biais des poudres laitières qui ont été hydrolysées par voie acide ou enzymatique ; il est alors transformé en glucose et galactose, deux sucres plus solubles dans l'eau que le lactose originel.

# 4. Technologie de fabrication : opérations et matériels

La fabrication des glaces comprend deux grandes étapes :

— d'une part la préparation d'un mélange couramment appelé mix dans le vocabulaire industriel à partir des diverses matières premières et additifs mis en œuvre ;

— d'autre part la transformation du mix en crème glacée, glace ou sorbet grâce à deux opérations principales que sont le foisonnement (incorporation d'air contrôlée) et la surgélation (abaissement rapide de la température à cœur du produit à – 30 °C).

Ces deux étapes sont délimitées par une phase d'attente qui permet la maturation du mix indispensable à l'obtention d'un produit de qualité, mais qui rompt ainsi la continuité du processus de fabrication (figure **3**).

Une ligne de fabrication est présentée sur la figure **4**.

## 4.1 Préparation du mix

Ce premier stade de la fabrication des glaces comprend six étapes qui sont le dosage des ingrédients et l'agitation, puis l'homogénéisation du mélange couplée à la pasteurisation, son refroidissement et enfin sa maturation.

### 4.1.1 Dosage des ingrédients et agitation

Les différents ingrédients solides ou liquides sont entreposés dans des tanks-silos de grande capacité et sont dosés et acheminés automatiquement selon un programme correspondant à une formulation. Cette cuve de section carrée à fond pyramidal comprend à la base un système combiné de pompage et de dispersion rotatif développant des forces de cisaillement très importantes.

Le mélange circule en circuit fermé sur cette cuve de préparation pendant plusieurs minutes tout en passant dans un échangeur afin d'augmenter la température de façon à préchauffer le mix, à faciliter la dissolution des poudres et à en réduire la viscosité. Cette préparation s'opère donc de manière discontinue dans des cuves (batches) de l'ordre de 250 à 1 000 l. Les phases liquides aqueuses sont introduites en premier ; viennent ensuite les poudres qui sont hydrosolubles ; arrive enfin la phase grasse. Cette première opération dure environ 30 à 60 min et se réalise à une température d'environ 50 à 60 °C.

### 4.1.2 Homogénéisation

Cette opération terminée, on obtient une dispersion grossière insuffisante pour aboutir à une glace d'excellente qualité. On procède alors à un affinage de la dispersion grâce à une opération physique qui met en œuvre des pressions relativement élevées. Avant cela, le mélange est filtré puis chauffé à une température d'environ 60 à 70 °C afin de s'assurer que toute la phase grasse est à l'état liquide, condition indispensable à une bonne émulsification de celle-ci.

L'homogénéisation joue de nombreux rôles dans le processus de fabrication ; ainsi, elle permet de stabiliser l'émulsion par diminution de la taille des éléments dispersés (particules solides et gouttelettes liquides dont le diamètre recherché varie entre 0,3 et 0,8 μm).

Elle autorise l'utilisation de matières grasses non émulsionnées (beurres concentrés, huile de beurre, huiles végétales), la réduction de la durée de maturation du mix. Elle entraîne une augmentation de la capacité de foisonnement du mix par contrôle de sa viscosité. Elle prévient les risques de barattage (formation de micrograins de beurre dans le freezer). Elle améliore l'onctuosité et les propriétés de résistance à la fonte du produit fini. Autrement dit, c'est une opération fortement conseillée pour ses nombreux avantages et qui est systématiquement réalisée en milieu industriel. L'homogénéisation permet de monter, grâce à une pompe à piston intégrée à l'appareil, le mix à une pression élevée, puis de le détendre brutalement. Cet appareil développe plusieurs principes pour réduire la taille des éléments dispersés et conduire à un mélange finement homogène, tels que des chocs très violents, des variations brutales de vitesse et par conséquent de pression, des forces intenses de cisaillement ainsi que des phénomènes de cavitation. Pour cela, les appareils sont en général équipés de deux têtes d'homogénéisation en série, la pression au 1$^{er}$ étage étant de l'ordre de 50 à 200 kg · cm$^{-2}$, le 2$^{e}$ étage travaillant à une pression de 10 à 30 kg · cm$^{-2}$.

### 4.1.3 Pasteurisation et réfrigération

Dès la sortie de l'homogénéisateur, le mix est véhiculé en continu vers un échangeur afin d'y être à la fois pasteurisé puis refroidi.

Outre l'optimisation de l'hydratation et de la dissolution des poudres, cette opération a pour principal but de détruire tous les micro-organismes pathogènes éventuellement présents dans le mix, ainsi qu'une grande majorité de la flore d'altération afin d'obtenir un produit fini conforme aux exigences réglementaires visant à préserver la santé du consommateur. Un barème de chauffage (couple temps/température), plus ou moins sévère, est appliqué au mix de manière à atteindre les objectifs précédemment évoqués ; ainsi, on peut opérer pendant 30 s à 80 °C, 3 s à 90 °C et dans certains cas, on peut aller jusqu'à un traitement de type ultra-haute température c'est-à-dire 1 à 2 s à 140 °C. Cette opération qui est immédiatement suivie d'un refroidissement du mix à 4 °C s'effectue en continu dans un échangeur thermique à plaques qui autorise un coefficient de récupération énergétique relativement élevé. La réfrigération du mix, quant à elle, vise d'une part à régler la température de maturation et à éviter une prolifération des micro-organismes ayant survécu au traitement thermique.

### 4.1.4 Maturation

C'est la seule opération qui, dans la fabrication des glaces, est discontinue en raison d'un temps de séjour du mix dans les cuves de maturation de quelques heures. Ces cuves peuvent également, sur plusieurs jours, servir de tanks de stockage de mixes dans l'attente de la transformation.

Cette maturation physico-chimique du mélange a pour vocation de cristalliser partiellement la matière grasse globulaire liquéfiée par le traitement thermique, de favoriser l'adsorption des protéines sur les globules gras, de poursuivre et d'achever l'hydratation des hydrocolloïdes. Ces modifications ont pour intérêt d'améliorer l'aptitude du mix au foisonnement et d'augmenter la résistance de la glace aux chocs thermiques et par conséquent à la fonte.



Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

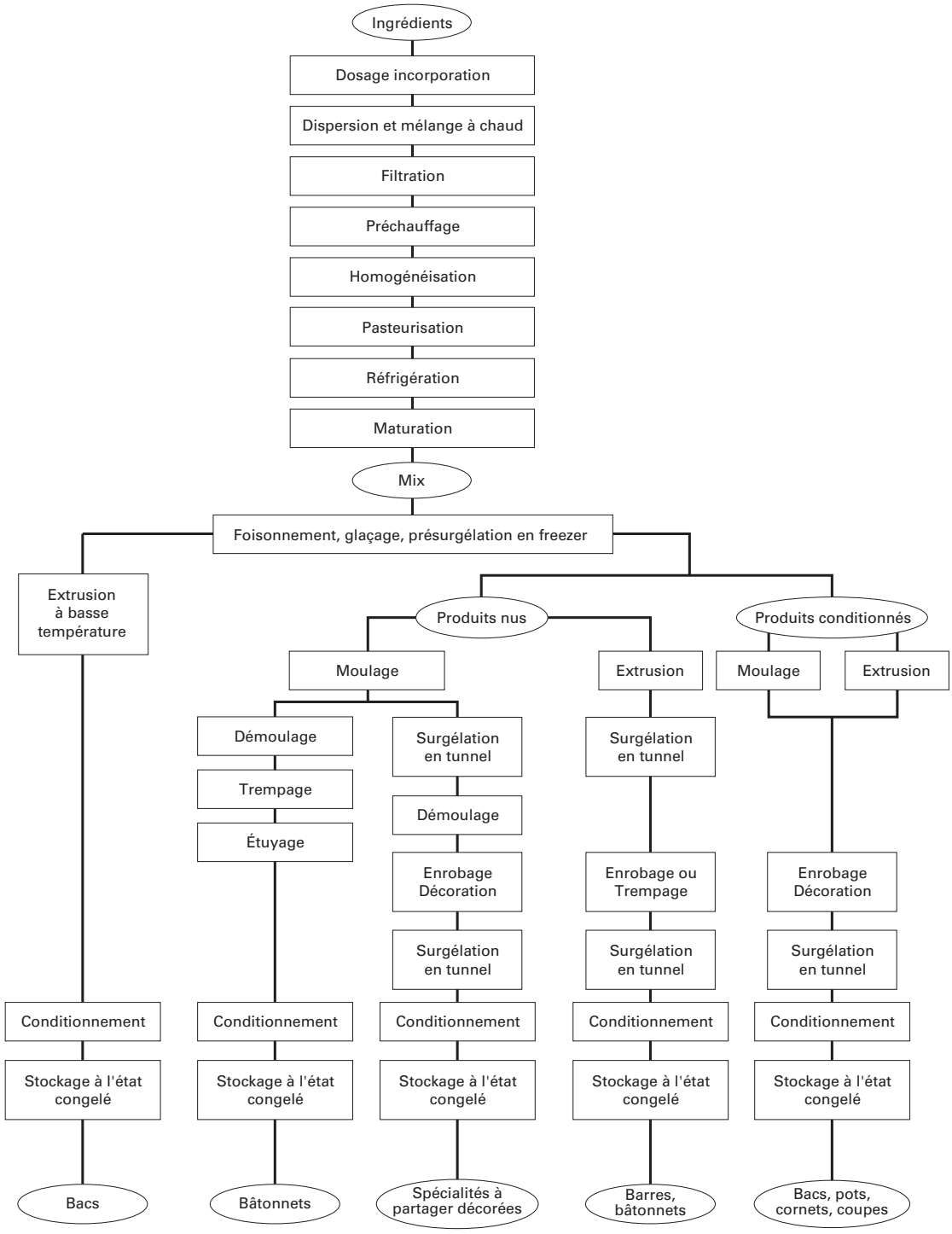
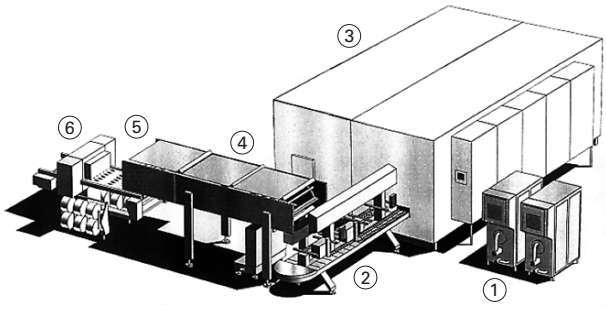



**Figure 3 – Procédés types de fabrication des glaces**

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire




1 - Freezers continus KF 1000 N
2 - Extrudeuse Straightline N
3 - Tunnel de surgélation (température -40 °C)
4 - Machine de transfert et d'enrobage de chocolat
5 - Emballeuse individuelle en étuis souples HOYWRAP-MW
6 - Encartonneuse

**Figure 4 – Ligne Straightline-Hoyer.N (bâtonnets extrudés)**

Pour des raisons de sécurité bactériologique, cette maturation a lieu à une température comprise entre 2 et 4 °C et sous agitation intermittente et modérée.

## 4.2 Transformation du mix en glace

Ce deuxième stade de la fabrication des glaces comporte cinq opérations successives, le foisonnement et le glaçage réalisés dans un seul et même appareil appelé le freezer, ainsi que le conditionnement, la surgélation finale et le stockage des produits finis.

### 4.2.1 Foisonnement

Cette opération, qui consiste à injecter de l'air filtré sous pression, se réalise avec un débit régulé automatiquement de façon à maîtriser le taux de foisonnement et par conséquent la masse volumique du produit fini. On obtient une mousse qui est une dispersion d'air dans un liquide visqueux. Lors de l'incorporation d'air dans le mix à la faveur d'une agitation énergique, les protéines solubles, présentes dans le milieu, diffusent à l'interface gaz/liquide, se déplissent, se concentrent et s'étalent entre l'air et la phase aqueuse. La présence de ce film protéique diminue la tension interfaciale et contribue ainsi d'une part à un accroissement de l'incorporation et de la dispersion de l'air et d'autre part à une stabilisation durable de la mousse grâce à une dénaturation partielle de ces protéines au contact de l'air. Certaines protéines sont d'excellents agents moussants ; c'est le cas de la caséine bêta (lait et dérivés), de la gélatine (peau et os des bovins et porcins), du lysozyme (œuf et ovoproduits). À l'inverse, la matière grasse et notamment les triglycérides riches en acides gras saturés à moyennes et longues chaînes sont des agents antimousses qui nécessitent un renforcement de la dose d'agents moussants afin d'obtenir un taux de foisonnement élevé.

### 4.2.2 Glaçage

Ce terme ne reflète en fait qu'une partie des transformations importantes que le mix va ainsi subir lors de son passage de quelques dizaines de secondes dans le freezer (figure **5**). Le mélange liquide avec une plus ou moins grande quantité d'air grossièrement dispersée va subir une double action simultanée.

**Figure 5 – Freezer Hoyer, gamme KF** (10/100 à 300/3 000 l · $h^{-1}$)

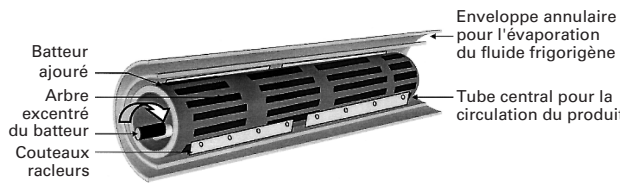



**Figure 6 – Vue éclatée d'un batteur de freezer**

Premièrement, il va être soumis à une agitation intense grâce à un batteur cylindrique ajouré dont l'axe est excentré et dont la périphérie est munie de couteaux racleurs (figure **6**). L'ensemble tourne à une vitesse de l'ordre de 100 à 300 tr/min dans un cylindre. Ce système d'agitation intense développe à la fois des chocs répétés (excentration de l'arbre) et des forces de cisaillement (batteur évidé et couteaux racleurs). Ce dispositif permet de fragmenter une partie des globules gras seulement, de manière à libérer de la matière grasse liquide globulaire qui permettra ensuite une agglomération des globules gras restés intacts. Il convient de souligner à cet égard que la fraction grasse, moins hydrophobe que l'air, viendra se positionner à l'interface entre la phase aqueuse et les bulles d'air et contribuera ainsi largement à la stabilité de la glace. En outre, l'agitation entraînera une bonne division et une répartition satisfaisante des bulles d'air ainsi que des cristaux de glace d'eau pure générés par le sous-refroidissement du mix.

Deuxièmement, le mélange en cours d'agitation va être refroidi grâce à une double enveloppe externe au cylindre dans lequel circule le produit, à l'intérieur de laquelle on réalise un refroidissement grâce à l'évaporation d'un fluide frigorigène. Les couteaux du batteur sont flottants, et grâce à la force centrifuge ils sont dépliés et viennent ainsi racler la surface d'échange thermique au fur et à



Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

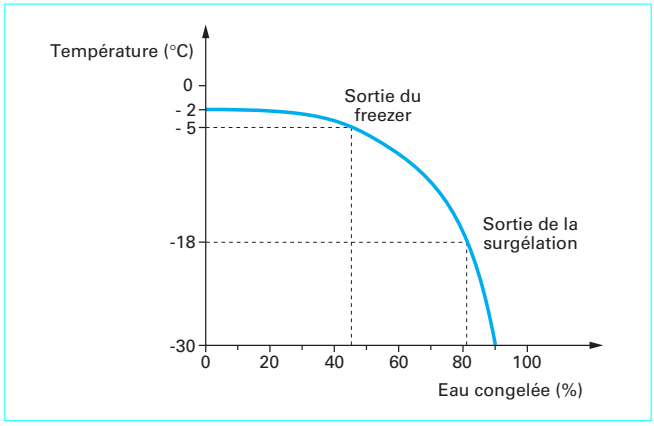



**Figure 7 – Évolution du pourcentage d'eau congelée dans une crème glacée en fonction de la température**

mesure que le mix se transforme en glace au contact de la paroi refroidie. La température d'évaporation du fluide étant comprise entre – 20 et – 30 °C, celui-ci capte à travers la paroi d'échange une fraction de la quantité de la chaleur de cristallisation de l'eau du mix. Ce dernier entrant dans le freezer entre 2 et 4 °C va sortir avec un temps de séjour inférieur à la minute entre – 5 et – 6 °C, c'est-à-dire dans un état pâteux. La malléabilité relative de la crème glacée et du sorbet permettront ainsi leur mélange ou leur conditionnement. Cet échange thermique à surface raclée conduit à un refroidissement très rapide (présurgélation ou glaçage) grâce à un coefficient de conductivité thermique élevé (échange de type conductif), à une surface d'échange thermique considérable (produit agité) et à un gradient de température très important. Ainsi, en sortie du freezer, 50 % environ de l'eau congelable est à l'état congelé dans le produit (figure **7**). Le freezer, grâce à ses performances d'échange thermique élevées et rapides aura permis de franchir de manière brève la zone de cristallisation maximale (– 2 à – 5 °C), ce qui aura pour conséquence de faire apparaître dans le produit de très nombreux cristaux et de petite taille (20 à 50 µm).

### 4.2.3 Conditionnement

À la sortie du freezer, la glace sera dosée soit de manière volumétrique grâce à l'utilisation de volumètres à piston pour les produits suffisamment malléables, soit par temporisation ; c'est alors la cadence de la chaîne de conditionnement qui déterminera le niveau de remplissage de chaque contenant. Les doseuses temporisées autorisent des débits plus élevés que les doseuses volumétriques et fonctionnent soit avec des soupapes, soit par extrusion (figure **8**) et dans ce dernier cas, la glace doit avoir une texture très ferme (température comprise entre – 6 et – 8 °C). Les glaces peuvent être dosées directement dans leur conditionnement final (pots, cornets, bacs) ou coulées dans un moule avec enrobage et conditionnement (bâtonnets classiques), ou encore extrudées grâce à une préforme qui leur donnera leur aspect définitif (bâtonnets, barres). Ensuite, et selon les présentations recherchées, les produits pourront recevoir différents décors tels que des enrobages déposés par immersion ou ruissellement (préparation à base de chocolat, coulis de fruits), des cornets fabriqués à partir de gaufrettes et différentes garnitures (meringues, morceaux de fruits secs, coulis, etc.).

Quelles que soient les présentations, ce conditionnement doit être très rapide afin d'éviter tout réchauffement de la glace avant son entrée dans le tunnel de durcissement. Selon les cas de figures, les produits finis peuvent recevoir un deuxième conditionnement (groupage en unités de vente, suremballage, encartonnage,

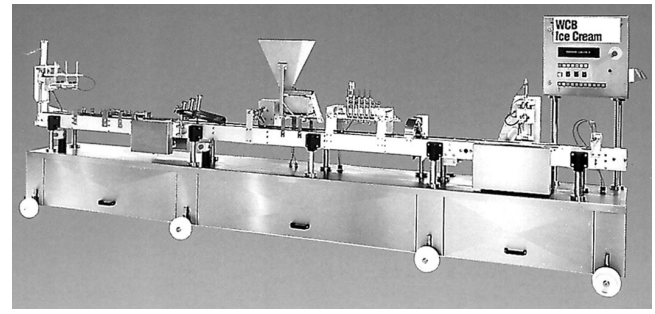



**Figure 8 – Extrudeuse Log-line de WAUKESHA CHERRY BURRELL, 40 à 45 coups par minute**

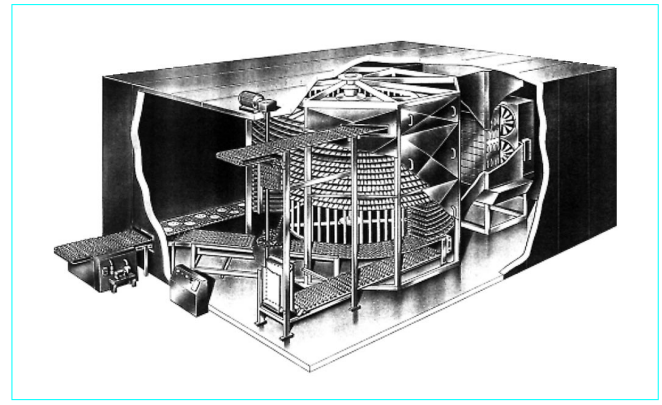


**Figure 9 – Tunnel de surgélation spiroïdal QUIRI-SPIR**

palettisation) après la surgélation finale et avant l'entreposage préalable aux expéditions.

### 4.2.4 Surgélation finale

Cette opération, appelée également durcissement, a pour principaux objectifs de poursuivre la cristallisation de l'eau libre congelable, ce qui nécessite un abaissement de la température à cœur à – 20 °C, et d'assurer une stabilisation microbiologique au produit fini. Plusieurs systèmes peuvent être utilisés pour cette surgélation finale utilisant les principes de la convection (ventilation d'air froid, cf. figure **9**, ou vaporisation ou pulvérisation de fluides cryogéniques : azote, anhydride carbonique) ou de la conduction (contact avec une paroi derrière laquelle circule une saumure à basse température de congélation). Compte tenu que le produit est immobile, massif et souvent conditionné dans un emballage constituant une barrière à l'échange thermique, on utilise des températures relativement basses, comprises entre – 35 et – 45 °C.

Récemment, l'évolution des matériels a permis de mettre au point de nouveaux appareils capables d'extruder la crème glacée jusqu'à des températures de – 15 °C au lieu de – 4 à – 5 °C pour les machines classiques.

L'abaissement de la température de la glace en sortie du freezer a eu pour conséquence non seulement la suppression du tunnel de surgélation finale en raison d'une quantité d'eau congelée atteignant 80 %, mais également la réduction de la taille des cristaux de glace et des bulles d'air, et par conséquent une amélioration de la texture et de la stabilité du produit fini (figure **10**).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire

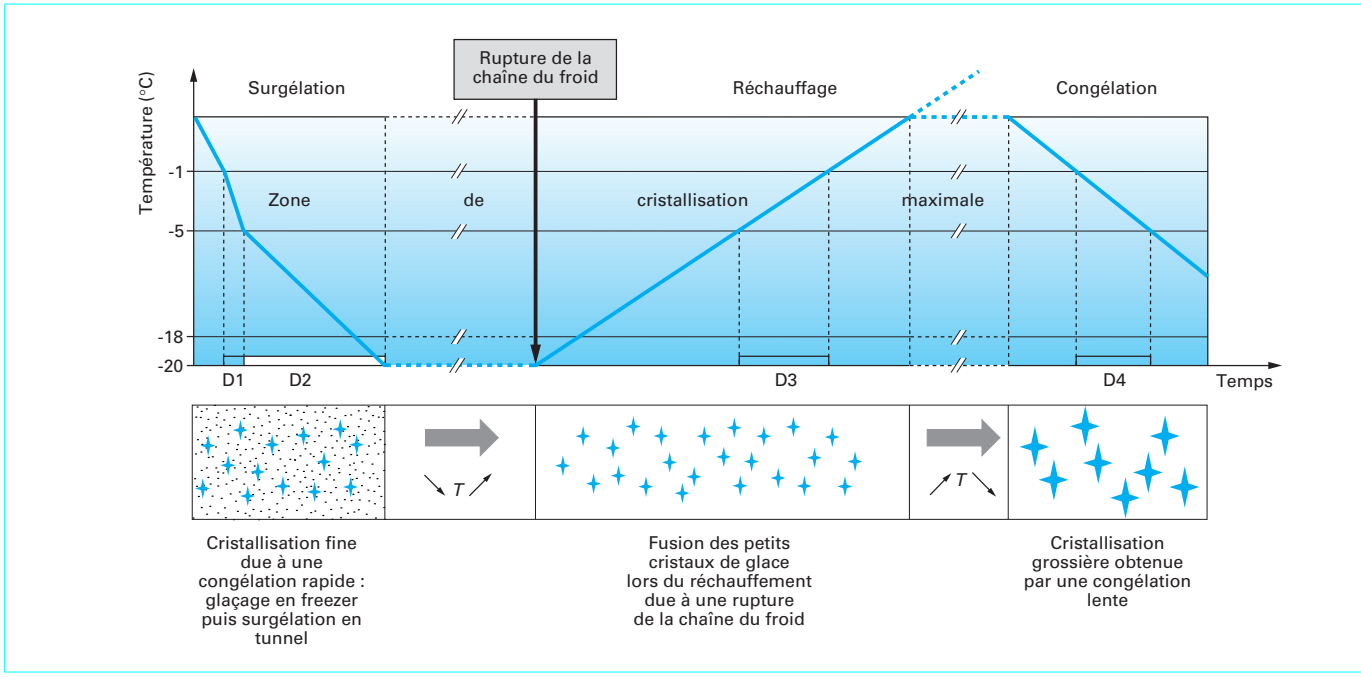



**Figure 10 – Cristallisation et recristallisation de l'eau dans la crème glacée**

### 4.3 Stockage et commercialisation

Le respect de la chaîne du froid négatif est une condition indispensable au maintien de la qualité physico-chimique et bactériologique des glaces. Toute remontée de la température se traduit inévitablement par un processus de recristallisation. En effet, tout apport de chaleur au produit provoque la fusion de petits cristaux avec libération d'eau liquide, qui lors d'un nouvel abaissement lent de température vient entraîner un accroissement des gros cristaux. Il s'ensuit une augmentation de leur taille moyenne avec pour conséquence une sensation granuleuse et aqueuse lors de la dégustation (figure **10**). C'est la raison pour laquelle les températures d'entreposage des glaces se situent entre – 25 et – 30 °C et si celles-ci sont respectées sans faille, on peut espérer des durées de vies de l'ordre de 18 à 24 mois, mais cela à tous les niveaux (stockages, transports, présentation en linéaires).

## 5. Contrôle de la qualité

### 5.1 Matières premières

Ces contrôles doivent être réalisés dès l'arrivée des matières premières sur le lieu de fabrication :

— au plan physico-chimique : pH, extrait sec, matière grasse, neutralisants, solubilité, densité apparente, granulométrie, etc. ;

— au plan organoleptique : aspect externe et interne, couleur, texture, flaveur ;

— au plan microbiologique : flore mésophile aérobie revivifiable, flore coliforme et flores pathogènes.

### 5.2 En cours de fabrication

Durant les principales étapes du procédé de fabrication des glaces, plusieurs paramètres doivent être contrôlés :

— la préparation et la maturation des mixes : extrait sec, matière grasse, pH, température, viscosité, flore mésophile aérobie revivifiable et flore coliforme à + 30 °C, couleur, flaveur ;

— le foisonnement et le glaçage : température à différents stades, taux de foisonnement, couleur, flaveur ;

— le conditionnement : propreté, niveau de remplissage, thermoscellage des opercules et clipsage du couvercle pour les emballages, température, présence d'inclusions, poids, codification.

### 5.3 Produits finis

Sur les produits finis, on réalise :

— des contrôles physiques : taux de foisonnement, vitesse et qualité de fonte, inclusions, contaminants ;

— des contrôles chimiques : extrait sec, matière grasse, sucres ;

— des contrôles microbiologiques : flore mésophile aérobie revivifiable, flore coliforme à + 30 °C, staphylococcus aureus, listeria monocytogenes, salmonella ;

— des contrôles sensoriels : présentation, aspect, couleur, corps et texture, et flaveur.

D'autres contrôles sont pratiqués, notamment ceux spécifiques, à chaque type de glace, de crème glacée ou de sorbet ainsi que tous les contrôles quantitatifs (poids, volume, masse volumique).



Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire