



# NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES TECHNOLOGIES DE LA CHAÎNE DU FROID

## LE FROID DANS LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE



*Remerciements : Cette note de synthèse a été préparée par Jacques Guilpart (Président de la section C de l'IIF) ; elle a été relue par Jim Curlin et Ezra Clark, experts du programme ActionOzone de l'ONU Environnement, ainsi que par plusieurs experts des commissions de l'IIF.*

# Note de synthèse sur le froid alimentaire par l'IIF et l'ONU Environnement



ActionOzone  
ONU Environnement,  
Division du Droit  
1 rue Miollis, Bâtiment VII  
75015 Paris - FRANCE  
Fax: +33 1 4437 1474  
[www.unep.org/ozonaction](http://www.unep.org/ozonaction)  
[ozonaction@unep.org](mailto:ozonaction@unep.org)

Institut International du Froid  
International Institute of Refrigeration  
177, boulevard Malesherbes,  
75017 Paris - FRANCE  
Tel. +33 (0)1 42 27 32 35  
Fax +33 (0)1 47 63 17 98  
[www.iifiir.org](http://www.iifiir.org)  
[iif-iir@iifiir.org](mailto:iif-iir@iifiir.org)

# 2 La Chaîne du Froid

## Résumé

Pour le consommateur, la chaîne du froid est souvent associée au transport à température dirigée, aux meubles frigorifiques de vente et aux réfrigérateurs ménagers. Mais en agroalimentaire, le froid est largement utilisé dans d'autres domaines comme par exemple le stockage des matières premières et des produits finis ainsi que dans de nombreux procédés de transformation de nos aliments. Cette note donne un bref aperçu des applications du froid dans les industries alimentaires. Les technologies de production du froid utilisées sont brièvement présentées, en fonction de la taille de l'installation et des besoins en température. Elle aborde également les questions liées à la nature des frigorigènes utilisés. En conclusion, les technologies à développer pour un froid durable sont brièvement présentées.

Le terme « chaîne du froid » fait référence aux différentes étapes par lesquelles passe un produit soumis au froid, soit jusqu'à son achat par le consommateur final sur le point de vente, soit jusqu'à ce qu'il soit déchargé d'un véhicule de livraison à quelques mètres de sa destination. À partir du moment où les fruits et légumes sont récoltés ou l'animal abattu, le produit commence à se détériorer. La détérioration d'un produit peut être ralentie en abaissant la température à laquelle il est stocké. Dans le cas des fruits et légumes, le processus métabolique est ralenti, ce qui en retour, ralentit la détérioration. L'abaissement des températures ralentit la multiplication des bactéries potentiellement nocives dans les produits animaliers qui sont stockés à des températures de congélation, leur permettant d'être expédiés aux quatre coins de la planète avec un minimum de risques pour la sécurité des aliments. Il est primordial qu'un contrôle approprié de la température soit garanti le plus tôt possible après la récolte ou l'abattage et pendant toute la chaîne logistique jusqu'à la consommation. Depuis leur état de matière première jusqu'aux différentes installations de stockage et de distribution par lesquelles elles passent, le transport frigorifique permet de conserver les denrées alimentaires à la température requise pour optimiser la durée de conservation et la qualité pendant de nombreux jours, semaines et mois entre les différentes installations de stockage frigorifique.

## 1 Introduction

Certains de nos aliments peuvent être consommés «en l'état», c'est-à-dire avec un minimum de transformation. Par exemple, les fruits et légumes peuvent être consommés crus (pommes, oranges, salades, ...) ou après préparation et cuisson (haricots, pommes de terre, ignames, ...). Dans certains cas, la préparation et la cuisson peuvent être effectuées dans des usines de transformation. Cela est également vrai pour les produits à base de viande, la différence étant que la viande est généralement consommée cuite (viandes rôties, ragoûts) ou à la suite d'un processus spécifique (charcuteries). Dans tous les cas, en particulier ceux impliquant des aliments transformés, la réfrigération est nécessaire pour préserver et maintenir les qualités sanitaires, nutritionnelles et organoleptiques des aliments.

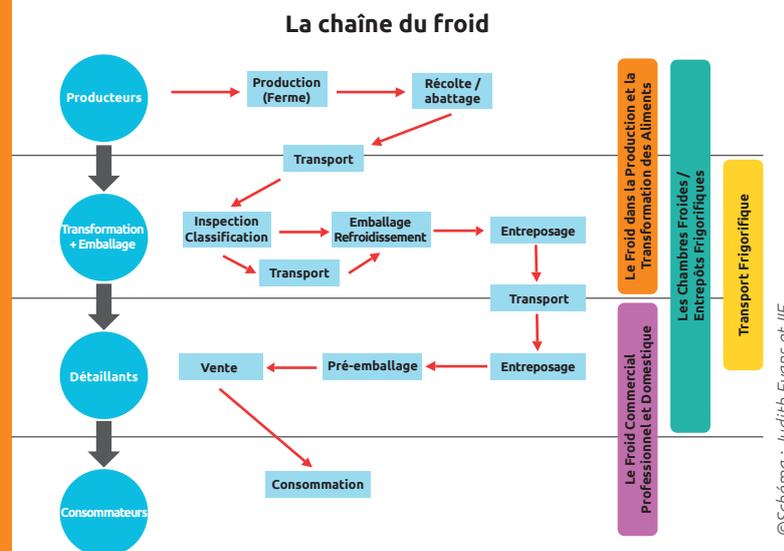


Fig.1

La chaîne du froid est souvent très complexe, les denrées alimentaires étant réfrigérées ou congelées à plus d'une occasion. Dans le monde, environ 400 millions de tonnes d'aliments sont conservés grâce au froid. Le volume global des entrepôts frigorifiques à l'échelle mondiale est d'environ 600 millions de m<sup>3</sup>. L'IIF estime que le nombre total de systèmes de froid, de conditionnement d'air et de pompes à chaleur en fonctionnement dans le monde est d'environ 3 milliards, dont 1,5 milliard de réfrigérateurs domestiques. 90 millions d'équipements frigorifiques commerciaux (y compris les unités de condensation, les équipements autonomes et les systèmes centralisés) sont en fonctionnement dans le monde. Il y a également 4 millions de véhicules frigorifiques (camionnettes, camions, semi-remorques ou remorques), 1,2 million de conteneurs frigorifiques (reefers) et 477 000 supermarchés d'une superficie variant entre 500 et 20 000 m<sup>2</sup> en fonctionnement, dans lesquels 45 % de l'électricité consommée est utilisée par les équipements frigorifiques (IIF, 2015<sup>1</sup>).

<sup>1</sup>IIF, 2015. 29<sup>e</sup> Note d'Information : Le rôle du froid dans l'économie mondiale.

# 3 Le froid dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire

Pour être efficace, le froid doit être appliqué très en amont dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire : dès la cueillette ou la récolte des fruits et légumes, ou immédiatement après l'abattage pour les produits carnés. Le niveau de température requis dépend de la nature des aliments.

## 3.1. Le pré-refroidissement

### 3.1.1. Cas des fruits et légumes

Pour les fruits et légumes qui restent des produits vivants même après récolte, un refroidissement rapide permet le ralentissement de leur métabolisme et par conséquent, de prolonger leur durée de vie : plus la température est réduite rapidement, meilleurs sont les résultats.

Différentes techniques peuvent être utilisées selon la nature du produit : l'air (correctement ventilé) est utilisé pour la majorité des produits, l'immersion ou l'hydrocooling peut être utilisé pour les petits fruits (par exemple les cerises, les baies, ...), et le refroidissement sous vide peut être utilisé pour les légumes feuillus (salades, épinard, ...). Pour les systèmes de refroidissement par air, une attention particulière doit être portée à l'homogénéité des flux d'air au sein des empilements (palettes, pallox), au risque d'apparition de points chauds au cœur de l'empilement, cause d'emballements locaux. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser des rideaux et/ou des bâches forçant l'air froid à passer dans les piles (comme illustré à la Figure 3, à gauche) et de disposer également des espaceurs entre les couches de produit.

### 3.1.2. Cas des produits carnés

Pour ce type de produits, on utilise généralement des systèmes à air pour assurer le refroidissement des carcasses, ce qui limite, voire stoppe la croissance des bactéries et des micro-organismes d'altération présents en surface. De plus, le refroidissement rapide de la surface permet de réduire les pertes de masse des produits. À moins que les carcasses ne soient stimulées électriquement, il est recommandé d'appliquer une période d'exposition au froid modéré (10 - 12 °C pendant 8 à 12 heures) avant d'abaisser la température à des niveaux plus bas (2 - 4 °C) afin d'éviter le risque de raccourcissement par le froid, qui peut se produire lorsqu'une carcasse est exposée trop précocement à une température trop basse.



Fig.2

### 3.1.3. Cas des œufs et des produits laitiers

Pour les œufs, même si la surface de la coquille est nécessairement contaminée après la ponte (passage à travers le cloaque de la poule), l'intérieur de l'œuf reste stérile tant que la coquille n'est pas cassée ou fendue. Pour cette raison, certains pays recommandent de conserver les œufs à température ambiante pendant le transport et la vente pour éviter une éventuelle condensation à la surface de la coquille en raison des fluctuations de température, ce qui serait favorable au développement des germes.

Fig.2 : Installations de prérefroidissement typiques pour les fruits et légumes (à gauche) et les produits carnés (à droite)

Fig.3 : Agencements typiques d'une chambre de stockage de fruits (à gauche) et d'une chambre froide dans un abattoir (à droite)

Pour les produits laitiers, le refroidissement du lait après la traite est essentiel pour obtenir une matière première de qualité. Ce refroidissement se fait dans des cuves spécialisées, capables d'abaisser le lait à 4 °C en moins de 2 heures.

## 3.2. Le refroidissement

Après le pré-refroidissement, le produit doit être réfrigéré et maintenu à la température adéquate.

### 3.2.1. Cas des fruits et légumes

Pour cette catégorie de produits, le refroidissement peut être effectué dans des dispositifs spécifiques tels que les tunnels de refroidissement, mais il est généralement effectué dans des chambres froides classiques équipées d'une ventilation adéquate (Grolee et Delaunay, 1993<sup>2</sup>), parfois dans des atmosphères modifiées (Leteinturier, 1999<sup>3</sup>).

Les températures de refroidissement et de conservation dépendent de la sensibilité du produit :

- Pour les produits à haute sensibilité (mangues, melons, gingembre, patates douces, ignames...), les températures inférieures à 8-12 °C ne sont pas recommandées, car elles peuvent provoquer des perturbations métaboliques qui raccourcissent la durée de vie des marchandises.
- Pour les produits à sensibilité moyenne (mandarines, haricots verts, pommes de terre...), il est possible de baisser la température jusqu'à 4 - 6 °C, mais pas moins.
- Pour les produits à faible sensibilité, une température de 2 à 3 °C, et dans certains cas juste au-dessus du point de congélation est recommandée.

Le non-respect de ces recommandations peut entraîner des dommages au produit, tels que l'apparition de piqûres sur la surface, des décolorations, des désordres métaboliques, des retards de maturation, des inhibitions de la croissance, des flétrissements, des pertes de saveur, voire l'apparition de nécroses tissulaires.

Quelle que soit la sensibilité du produit, une attention particulière doit être apportée à la ventilation du cœur de la palette ou de l'emballage afin d'évacuer les gaz issus du métabolisme (CO<sub>2</sub>, éthylène) et la chaleur de respiration émise par les produits.

Toutes les températures de stockage recommandées pour les fruits et légumes peuvent être consultées dans le Cold Storage Guide (Grolee et Delaunay, 1993<sup>2</sup>) et sur le site Web de Postharvest<sup>4</sup>.

### 3.2.2. Cas des produits carnés

Après la période d'exposition au froid modéré nécessaire pour éviter le



Fig.3

<sup>2</sup>Grolee, J. and Delaunay, J., 1993. Guide de l'entreposage frigorifique. Guide technique de l'IIF, Paris, page 204.

<sup>3</sup>Leteinturier, J., 1999. Preservation of fruit, vegetable and plant-derived products using refrigeration. Bull. IIF-IR, 1999, vol. 79, 12 p.

<sup>4</sup><http://postharvest.ucdavis.edu/>

raccourcissement par le froid, une température basse (inférieure à 2 °C) est recommandée afin de prévenir ou d'inhiber la croissance des micro-organismes d'altération. Selon l'équipement de l'abattoir, cette basse température peut être atteinte dans des cellules de refroidissement rapide ou directement dans des chambres froides classiques.

### 3.2.3. Cas des œufs et des produits laitiers

Pour les produits laitiers, un maintien rigoureux de la chaîne du froid est nécessaire pour préserver la qualité sanitaire et organoleptique du produit jusqu'à sa consommation ou sa transformation. La conservation des produits laitiers transformés (fromages, yaourts, laits fermentés, ...) doit se faire à une température adéquate (4-6 °C) afin d'éviter le développement de germes indésirables, entraînant des fermentations, ou de germes pathogènes.

Pour les œufs, la conservation à une température plus élevée (8 - 10 °C) pourrait être envisagée tant que la coquille reste intacte et non fendue. Néanmoins, l'adoption de températures plus basses permet d'augmenter la durée de conservation jusqu'à quelques mois. Par conséquent, des températures plus basses sont recommandées (4 - 6 °C).

Pour les deux, ces températures sont maintenues dans les chambres froides classiques.

## 3.3. La congélation

La congélation est un procédé qui consiste à abaisser la température d'un produit en dessous de son point de solidification. En plus des effets de la baisse de température, la mobilisation de l'eau sous forme solide réduit drastiquement la vitesse des réactions biochimiques, augmentant d'autant la durée de vie du produit. La congélation a pour particularité de stopper le métabolisme des fruits et légumes et, tant que le produit reste congelé, elle permet de très longues durées de stockage.

Dans la plupart des cas, la congélation s'effectue dans un équipement spécifique (tunnel) conçu pour obtenir des températures basses et des vitesses d'air élevées (généralement de -35 °C à -45 °C et de 3 à 7 m s<sup>-1</sup>) afin d'assurer une congélation rapide du produit. Par la suite, le produit est stocké à basse température (inférieure à -18 °C) conformément aux normes internationales (FAO, 2008<sup>5</sup>).

## 3.4. La surfusion et la congélation partielle

Ces procédés de traitement et de conservation des aliments sont relativement récents et sont applicables à certains produits alimentaires. Il s'agit de la surfusion (abaissement de la température d'un produit alimentaire juste en dessous de son point de congélation, mais sans formation de glace) et la congélation partielle (obtenue à une température juste en dessous de son point de congélation, l'eau présente dans le produit n'étant que partiellement solidifiée). Ces techniques sont principalement utilisées pour certains produits d'origine animale (tels que le saumon et le porc) et végétales (notamment l'ail). Correctement maîtrisées, elles prolongent considérablement la durée de conservation du produit (Kaale, 2011<sup>6</sup>). Cependant, la difficulté à définir et à maintenir les températures adéquates pour ces procédés limite leur utilisation aux industries de haute technologie et aux transporteurs frigorifiques spécialisés.

## 3.5. Les autres utilisations du froid en transformation alimentaire.

Bien que les applications du froid les plus connues soient la conservation et le stockage des aliments, le froid est également utilisé dans de nombreux autres procédés alimentaires industriels. Ces procédés permettent l'obtention de produits de haute qualité et à forte valeur ajoutée. Voici une liste non exhaustive de ces procédés :

- Cristallisation des matières grasses pour la texturation du beurre, des margarines et de certains fromages à pâte molle.
- Cryoséparation des composants indésirables, comme par exemple l'acide tartrique dans les vins blancs et le champagne.
- Cryoconcentration de composants, comme par exemple la concentration de jus de fruits par le froid.
- Lyophilisation de produits et boissons (exemple : le café).

Fig.4 : Produits alimentaires surgelés typiques : fruits et légumes (en haut) et les produits carnés (en bas)

Fig.5 : Congélation partielle de filets de Saumon (en haut) (@: SINTEF) et gousses d'ail surfondues (en bas)



Fig.4



Fraîche

Réfrigérée



Surfondue

Congelée

Fig.5

<sup>5</sup>Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2008. Code of Practice for the Processing and Handling of Quick Frozen Foods CAC/RCP 8-1976.

<sup>6</sup>Kaale, L. D., 2011. Superchilling of food: A review. Journal of Food Engineering. Volume 107, Issue 2, December 2011, Pages 141-146.

# 4 Le froid industriel et les procédés alimentaires

Le froid est largement utilisé dans les installations de stockage et de transformation des aliments. Les systèmes de production et de distribution du froid utilisés dans les installations industrielles sont adaptés aux besoins de température et de puissance frigorifique requis.

## 4.1. Cas des petites installations

Pour les petites installations, la production et la distribution de froid sont généralement assurées par des systèmes classiques à détente directe, la compression étant assurée par des compresseurs mono étage à piston. Ces systèmes présentent l'avantage d'être simples, fiables, faciles à mettre en œuvre et à entretenir. Ils présentent des coûts d'investissement raisonnables.

## 4.2. Cas des installations de moyenne à grande taille

Pour les installations industrielles de moyenne à forte puissance où l'on cherche à privilégier la performance énergétique, on préfère utiliser des technologies de production et de distribution de froid plus complexes, bien que plus coûteuses en termes d'investissement et de maintenance.

- Pour les températures positives, des systèmes mono étage avec évaporateurs noyés sont recommandés. Pour ces systèmes, la distribution du froid au moyen d'un fluide secondaire (un frigoporteur, comme par exemple le propylène glycol) permet de réduire considérablement la quantité de frigorigène primaire mise en œuvre.
- Pour les températures négatives (congélation), des boucles de production de froid à deux étages de compression (souvent avec un compresseur à vis et / ou à piston bi étage) associées à une distribution de froid par évaporateurs noyés sont souvent utilisées et recommandées.
- Pour le refroidissement et la congélation, les compresseurs à vis sont souvent utilisés en raison de leur rapport puissance / compacité élevé, même si de gros compresseurs à piston peuvent également être utilisés.



Fig.6



Fig.7

# 5 Les frigorigènes actuels et leurs alternatives potentielles

Les frigorigènes utilisés dans les installations dépendent de la taille de l'installation et de la température requise.

## 5.1. Cas des petites installations

Pour les petites installations, les frigorigènes non inflammables et à faible toxicité sont largement utilisés, comme ceux appartenant à la famille des hydrofluorocarbures (HFC). En raison de leur potentiel de réchauffement climatique élevé (PRP), les réglementations européennes et internationales sur le changement climatique (amendement de Kigali) obligent les pays à réduire ou à éliminer progressivement leur utilisation (IIF, 2015<sup>7</sup>), (Règlement F-Gaz, 2014<sup>8</sup>)

Les alternatives aux HFC pourraient inclure l'utilisation de frigorigènes à faible PRP (Potentiel de Réchauffement Planétaire) et/ou de mélanges de frigorigènes adaptés à la température requise. Ces mélanges sont conçus pour offrir le meilleur compromis entre l'impact environnemental, la sécurité et les performances énergétiques. En revanche, la majorité de ces mélanges ont un glissement (c.-à-d. une aptitude à se distiller dans l'installation) très élevé. Pour certaines applications, cette particularité peut entraîner des problèmes et nécessiter une attention particulière.

D'autres alternatives commencent à être développées pour les petites installations (RealAlternatives, 2015<sup>9</sup>):

- L'utilisation d'hydrofluorooléfines (HFO), une famille de frigorigènes à très faible PRP. La disponibilité, le coût actuel et le comportement légèrement inflammable de ces frigorigènes limitent leur utilisation. De plus, l'accumulation à long terme de leurs résidus de décomposition dans l'environnement doit être sérieusement étudiée.
- L'utilisation d'hydrocarbures (isobutane, propane) est possible, mais uniquement pour des charges de frigorigène très faibles, en raison de leur grande inflammabilité.
- L'utilisation du dioxyde de carbone est en développement. Si les performances intrinsèques de ce frigorigène sont inférieures à celles obtenues avec d'autres frigorigènes, le faible impact environnemental ainsi que les progrès réalisés dans la conception des boucles de CO<sub>2</sub> en font une alternative potentiellement durable, notamment dans les climats tempérés (IIF, 2000<sup>10</sup>).

<sup>7</sup>IIF, 2015. 26<sup>e</sup> Note d'Information : Tour d'horizon des réglementations limitant l'utilisation des HFC. Le point sur le Règlement F-gaz de l'UE.

<sup>8</sup>« Règlement F-Gaz », Règlement n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006 - 16 avril 2014.

<sup>9</sup>RealAlternatives, 2015. IIR - IoR Life European project. Available at: <http://www.realalternatives.eu>

<sup>10</sup>IIF, 2000. 15<sup>e</sup> Note d'Information : L'utilisation du CO<sub>2</sub> comme frigorigène.

Fig.6 : Exemple typique de centrales de production de froid pour de petite (à gauche) et moyennes (à droite) installations

Fig.7 : Exemple typique d'une centrale de production de froid industriel de forte puissance

Fig.8 : Exemples typiques d'installations rencontrées en froid industriel : séparateurs liquide-vapeur pour cycles mono ou bi étagés

Fig.9 : Exemples typiques d'installations rencontrées en froid industriel : Boucle de production de frigoporteur (en haut) (@ GEA) et cascade ammoniac-CO<sub>2</sub> (en bas)

## 5.2. Cas des installations de moyenne à grande taille

Pour ces installations, l'utilisation de l'ammoniac est une règle générale. Malgré certaines caractéristiques propres à ce frigorigène (notamment la toxicité), il peut être utilisé sans autres contraintes que celles imposées par sa toxicité. L'adoption de règles rigoureuses en matière de conception et d'entretien peut réduire les risques et fortement améliorer la sécurité et la fiabilité de ces installations (Pearson, 2008<sup>11</sup>).

Pour le froid négatif (congélation), l'utilisation de systèmes bi étagés avec des bouteilles séparatrices liquide-vapeur et des compresseurs à vis reste un standard.

Compte tenu du faible PRP de l'ammoniac, l'adoption de ce frigorigène est souvent la meilleure solution, et certaines options permettent de réduire considérablement les risques liés à son utilisation :

- Pour le froid positif, l'utilisation d'une boucle de distribution secondaire à base d'un fluide frigoporteur (par exemple un propylène glycol) est une technologie qui existe depuis longtemps. Elle permet de réduire considérablement la quantité d'ammoniac présente dans le système et améliore donc considérablement la sécurité de l'installation.
- Pour le froid négatif (congélation), l'utilisation de systèmes en cascade avec, par exemple, du HFC-R134a ou de l'ammoniac à l'étage haute température et du CO<sub>2</sub> à l'étage basse température réduit également la charge d'ammoniac.
- À noter que les progrès réalisés dans la conception de boucles de CO<sub>2</sub> ont amélioré les performances énergétiques de ces systèmes de façon notable, ouvrant la voie au développement de systèmes « full CO<sub>2</sub> » aux applications industrielles (entrepôts, surgélateurs).

Table 1: Résumé des frigorigènes actuels et alternatifs

Les frigorigènes dans le froid alimentaire		
Taille de l'unité	Frigorigènes actuels (PRP kg.CO <sub>2</sub> )	Frigorigènes alternatifs à bas PRP (RPR kg.CO <sub>2</sub> )
Petite	HFC-134a (1360), HCFC-22 (1810), HFC-404A (3920), HFC-407C (1920)	R-744 (1), HC (1.8 - 20), HFO-1234 yf et ze (<1-2), Mélanges à bas RPR HFC-HFO (< 1300)
Moyenne à grande	R-717 (0), HFC-404A (3920), HFC-507A (3990), HFC-134a (1300)	R-717 (0); R-744 (1)

<sup>11</sup>Pearson, A, 2008. IIR guide on Ammonia as a Refrigerant. 3rd IIR edition, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, p.88.



©Jacques Guilpart

Fig.8



©Jacques Guilpart

Fig.9

# 6 Perspectives de développement et défis à relever

En raison de leurs performances, de leur compacité et de leur fiabilité, les systèmes de compression-détente avec changement de phase d'un frigorigène sont utilisés depuis plus d'un siècle, et ils continueront probablement à être utilisés pendant longtemps.

## 6.1. Défis techniques

Le véritable défi est de développer et d'utiliser des frigorigènes à hautes performances énergétiques, à faible impact environnemental et présentant de faibles risques pour l'utilisateur (inflammabilité et toxicité). Bien qu'une grande variété de mélanges soient disponibles sur le marché, un frigorigène « universel » n'a pas encore été découvert, et ne le sera probablement jamais.

Des technologies alternatives, telles que les systèmes à absorption et à adsorption, ont été développées dans le passé et continuent de faire l'objet de recherches. À l'heure actuelle, ces systèmes ont des inerties très élevées et restent difficiles à contrôler pour les installations industrielles présentant de fortes variations de charge frigorifique. Les coûts d'investissement dans ces systèmes sont également plus élevés par rapport aux systèmes conventionnels, et il y a peu de techniciens qualifiés pour assurer leur maintenance.

## 6.2. Politiques d'orientation

L'industrie du froid et de la climatisation a connu un développement et une mutation considérables au cours des 3 dernières décennies, en partie à cause des politiques environnementales internationales portant sur l'appauvrissement de la couche d'ozone et le réchauffement climatique.

Le Protocole de Montréal visant à l'élimination progressive des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO), a déclenché des changements importants dans l'industrie en se tournant vers des frigorigènes et des technologies de remplacement n'ayant aucun effet sur la couche d'ozone.

En octobre 2016, l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal a apporté une autre dimension au mandat du Protocole de Montréal en y rajoutant le contrôle de la production et de la consommation d'hydrofluorocarbures (HFC), ce qui apportera une contribution majeure à la lutte contre le changement climatique. Le contrôle de la production et de la consommation de HFC s'ajoutera aux bienfaits pour le climat déjà obtenus par le Protocole de Montréal grâce à l'élimination des SAO, parmi lesquels les CFC et les HCFC. Les émissions de HFC sont également inventoriées dans le groupe des GES (gaz à effet de serre) en vertu des conventions relatives au climat, à savoir l'Accord de Paris et précédemment le Protocole de Kyoto. Cependant, les actions visant à contrôler spécifiquement les émissions de HFC dans le cadre du régime climatique ne sont pas encore définies, à l'exception des exigences de déclaration en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

L'impact des frigorigènes sur le changement climatique dépend des effets directs et indirects. L'effet direct est lié à leur PRP et à la quantité de frigorigène émise dans l'atmosphère (fuite accidentelle, mauvaise manipulation, absence de destruction en fin de vie, ...). L'effet indirect est associé à l'énergie consommée lors du fonctionnement des installations qui, au cours de sa durée de vie, résulte en l'émission de CO<sub>2</sub> liée au fonctionnement des centrales à combustibles fossiles ; en général, l'émission indirecte est très supérieure aux émissions directes. Pour minimiser les impacts directs et indirects des

installations frigorifiques, une attention particulière doit être portée à la conception, aux pratiques de mise en service et de maintenance, aux procédures de démantèlement et de mise au rebut ainsi qu'à l'application de normes et de réglementations pertinentes.

Plusieurs organisations importantes élaborent des normes relatives au secteur du froid et du conditionnement d'air. La brochure du PNUE sur les normes internationales en matière de froid et de conditionnement d'air (PNUE, 2014<sup>12</sup>) répertorie les principales organisations internationales de normalisation et donne quelques exemples d'organisations nationales et régionales de normalisation.

Le secteur de la chaîne du froid est l'un des secteurs d'activité les plus importants, mais il est aussi le plus négligé dans l'approche commerciale globale. Ceci est dû au fait que la chaîne du froid s'intègre dans différents domaines économiques, sociaux et techniques : industrie alimentaire, santé, froid, transport, tourisme, etc. Les normes et les orientations qui définissent le choix d'une technologie de la chaîne du froid qui ait un impact environnemental moindre, un fonctionnement efficace sur le plan énergétique et qui soit abordable économiquement, sont dispersées entre différents groupes et entités au sein d'un même pays. En septembre 2015, la communauté internationale a adopté les objectifs de développement durable (ODD) pour 2030 qui stipulent que l'objectif n° 2 « Faim zéro » est le deuxième objectif mondial devant être atteint d'ici 2030. Cela implique automatiquement le besoin urgent de gérer efficacement les dossiers de la « sécurité alimentaire » et du « gaspillage alimentaire » qui dépendent des capacités de la chaîne du froid. Bien que cet objectif puisse être considéré comme le principal objectif en lien direct avec la chaîne du froid, d'autres objectifs sont également liés à l'activité de la chaîne du froid, comme l'objectif n° 3 : Bonne santé et bien-être, l'objectif n° 9 : Industrie, innovation et infrastructure, l'objectif n° 12 : Consommation et production durables, ou encore l'objectif n° 13 : Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques. Par conséquent, l'approche intégrée pour relever les défis de la chaîne du froid peut entraîner des avantages multiéconomiques et environnementaux.

<sup>12</sup>PNUE, 2014. *Les Normes Internationales en Réfrigération et en Climatisation. Présentation de leur rôle dans le contexte de l'élimination des HCFC dans les pays en développement.*

## Conclusion

Le froid industriel est la première étape de la chaîne du froid où les aliments sont transformés et stockés avant le transport, la vente au détail et la consommation. Ce secteur doit faire face à plusieurs défis en termes de fiabilité, de performance (réduction de la consommation d'énergie), d'impact environnemental (promotion de l'utilisation de frigorigènes à faible potentiel de réchauffement planétaire et prise en compte des enjeux de sécurité), réglementaires et économiques. Les solutions pour développer des systèmes de froid industriel durables dépendent de la taille de l'installation et des niveaux de température requis. Ces solutions existent et doivent être mises en œuvre. Ce n'est qu'alors que nous pourrions continuer à fournir à notre monde des aliments sûrs et de haute qualité qui contribueront à son développement et à son bien-être.

*Avertissement : les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'ONU Environnement et de l'IIF aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. En outre, les opinions exprimées ne représentent pas nécessairement la décision ou la politique déclarée de l'ONU Environnement et de l'IIF, pas plus que la citation de noms commerciaux ou de procédés commerciaux ne constitue une approbation.*