



©www.shutterstock.com

NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES TECHNOLOGIES DE LA CHAÎNE DU FROID

LE FROID COMMERCIAL, PROFESSIONNEL ET DOMESTIQUE



Remerciements : Cette note de synthèse a été préparée par Judith Evans (Présidente de la commission C2 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 commercial, professionnel et domestique 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
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
iif-iir@iifiir.org

2 La chaîne du froid

Résumé

En raison de la nature complexe de la chaîne du froid et de l'influence des températures élevées sur l'altération des produits alimentaires après récolte ou abattage, la régulation de la température dans la chaîne alimentaire est primordiale. La régulation de la température est généralement moins bien maîtrisée aux étapes commerciale/professionnelle et domestique de la chaîne du froid.

La chaîne alimentaire génère des émissions de gaz à effet de serre par effet direct (émissions de frigorigènes) et indirects (consommation d'énergie). Il y a relativement peu de données publiées sur les émissions globales produites par chaque secteur constitutif de la chaîne du froid. Néanmoins, il semblerait que le secteur de la distribution soit responsable d'importantes émissions directes et indirectes en comparaison avec les autres secteurs de la chaîne du froid alimentaire. Le froid domestique produit des émissions globales indirectes importantes en raison de la quantité élevée de réfrigérateurs domestiques en fonctionnement. En revanche, il produit peu d'émissions directes en raison de fuites de frigorigènes peu importantes et de l'utilisation de frigorigènes à faible PRP (potentiel de réchauffement planétaire). Les fuites de frigorigène sont également faibles dans le domaine professionnel (restauration) pour les mêmes raisons, mais il semblerait que les émissions indirectes soient relativement élevées.

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 de la température 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

L'investissement économique dans les technologies du froid alimentaire tout au long de la chaîne du froid est colossal, particulièrement en ce qui concerne les équipements frigorifiques dans le monde entier. Les technologies du froid comptent parmi les plus énergivores dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire et leur utilisation soulève plusieurs problématiques liées à la durabilité. Le froid représente environ 35 % de la consommation d'électricité dans l'industrie alimentaire (Guilpart, 2008¹). Dans son ensemble, on considère que la chaîne du froid est responsable d'environ 2,5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre en raison de ses effets directs (émissions de frigorigènes) et indirects (consommation d'énergie).

¹ Guilpart, J., 2008. *Froid et alimentation: Sécurité, sûreté ou procédé*, Conférence Centenaire du froid. Paris, France.

La chaîne du froid

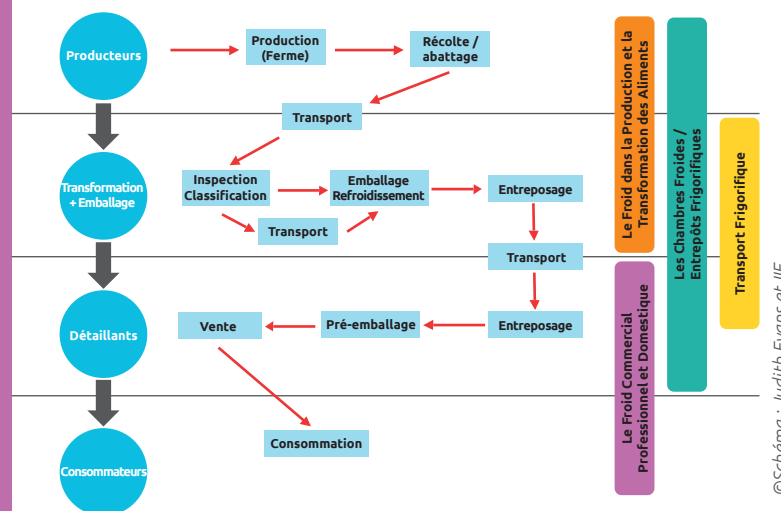


Fig.1

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 m³. 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 m² en fonctionnement, dans lesquels 45 % de l'électricité consommée est utilisée par les équipements frigorifiques (IIF, 2015²).

² IIF, 2015. 29^e Note d'Information : Le rôle du froid dans l'économie mondiale.

3 Tour d'horizon du froid commercial, professionnel et domestique

Fig.2 : Exemples de réfrigérateurs professionnels

Fig.3 : Exemples de réfrigérateurs commerciaux

Fig.4 : Exemples de réfrigérateurs domestiques

Le froid commercial, professionnel et domestique ne concerne que les dernières étapes de la chaîne du froid, dès lors que les détaillants ou le consommateur achètent le produit alimentaire. Le froid commercial inclut les supermarchés, les supérettes, les bars et les restaurants où les aliments sont proposés à l'achat au consommateur. Si les petits systèmes sont composés d'unités intégrées dont la consommation électrique ne dépasse généralement pas 3 kW, on trouve également dans ce secteur de plus grands systèmes composés de plusieurs meubles desservis par des systèmes frigorifiques centraux. Les distributeurs automatiques, les distributeurs et fontaines à eau ainsi que les petits meubles de vente sont compris dans la définition de réfrigérateurs commerciaux. Le froid professionnel comprend les restaurants, les cafés et les dépôts de fast-food où les aliments sont stockés avant d'être préparés pour le consommateur. Les meubles frigorifiques professionnels se trouvent parfois dans les supermarchés où ils sont placés derrière les étagères des traiteurs pour le stockage des denrées alimentaires. La majorité des appareils sont des meubles à porte pleine destinés au stockage des denrées alimentaires réfrigérées ou congelées. Cependant, on trouve également dans ce secteur des refroidisseurs par air forcé et des congélateurs. Parmi les meubles vendus sur le marché, la majorité sont des meubles intégrés (unités intégrées avec système frigorifique embarqué) mais il existe aussi des unités à distance dans lesquelles le système frigorifique est séparé du meuble. Dans le domaine pharmaceutique, il peut exister des unités professionnelles dédiées aux vaccins, au sang et au plasma. Le froid domestique, quant à lui, consiste à stocker les denrées alimentaires sous forme réfrigérée ou congelée au domicile des consommateurs. Les réfrigérateurs domestiques sont presque universellement composés de systèmes intégrés dont la consommation électrique s'élève à environ 20 à 150 W.



©www.shutterstock.com

Fig.3



©www.angelrefrigeration.co.uk

©www.danderefrigeration.com

Fig.2



©www.shutterstock.com

Fig.4

4 Problématiques actuelles et tendances du marché

4.1. Performances thermiques

La température est le principal facteur de régulation de la qualité alimentaire et de la croissance bactérienne sur les aliments. De manière générale, plus les températures sont basses, plus longue est la durée de conservation des aliments. En ce qui concerne les produits réfrigérés, il existe des températures de stockage minimum qui dépendent soit du point de congélation initial, soit de la température à laquelle apparaissent les altérations dues au froid.

4.1.1. Régulation de la température dans la restauration

Il y a peu d'informations disponibles sur la régulation de la température dans la restauration. En Europe, des lois ont récemment été promulguées pour limiter les températures maximales et la consommation d'énergie des meubles professionnels. En application des directives relatives à l'écoconception (Directive 2009/125/CE) et à l'étiquetage énergétique (Directive 2010/30/UE), les types les plus répandus de meubles professionnels pour produits réfrigérés ne peuvent plus être vendus en Europe à moins qu'ils ne maintiennent une température intérieure entre -1 et 5 °C dans des conditions d'essai en laboratoire à une température ambiante de 30 °C. De même, les meubles professionnels pour produits congelés ne peuvent être vendus en Europe si leur température intérieure excède une température maximale de -15 °C.

4.1.2. Régulation de la température dans les grandes surfaces

La température des meubles frigorifiques est encadrée par des réglementations et des normes relatives à la sécurité sanitaire des aliments mais aussi par des cahiers des charges propres aux supermarchés. Pour autant, il existe parfois un décalage entre la température recommandée et les températures réelles de fonctionnement. Cette différence peut être induite par des variations de la position de la ou des sondes de contrôle de la température, dans la configuration du meuble ou par des utilisations hétérogènes du meuble.

Exception faite du secteur domestique, la vente au détail constitue le maillon faible de la chaîne du froid. Derens *et al.* (2007³) ont découvert qu'une fois les produits alimentaires livrés au supermarché, le taux d'échantillons réfrigérés en dessous de 4 °C (pour la viande) ou 6 °C (pour les yaourts) était inférieur à 70 %. Il tombait à 16 % pendant le transport jusqu'au domicile et remontait seulement à 34 % à l'intérieur du domicile. La température moyenne des aliments dans les meubles frigorifiques à plusieurs étages en magasin peut connaître d'importantes variations : une étude réalisée au Royaume-Uni a relevé des températures entre -1 °C et 16 °C (James and Evans, 1990⁴). Cet écart ne permet pas aux fabricants d'évaluer correctement la durée de conservation, si bien qu'elle est souvent indûment restrictive ou potentiellement à risque. Les meubles individuels sont également souvent soumis à des écarts de température entre ambiance externe et stockage importants et à des variations de température selon les zones du meuble (Evans *et al.*, 2007⁵; Evans and Swain, 2010⁶). Les écarts de température sont en partie encouragés par les normes d'essai utilisées pour certifier la performance du meuble et qui autorisent des écarts de température de 6, 8 ou même 11 °C.

4.1.3. Régulation de la température dans les réfrigérateurs domestiques

La régulation de la température des aliments à domicile est absolument cruciale. Les données recueillies semblent démontrer que plus de 70 % des cas d'intoxication alimentaire ont lieu à domicile et que lorsque les aliments ne sont pas stockés dans des conditions absolument optimales, des organismes pathogènes peuvent se développer. Au cours de la dernière décennie, au moins 15 études basées sur des relevés de températures dans des réfrigérateurs domestiques ont été menées. Les résultats sont très similaires : ils indiquent des températures moyennes globales qui se situent entre 4,5 et 6,6 °C et des températures maximales entre 11 et 14 °C. Sur la base de ces résultats, on peut supposer que la température moyenne d'au moins 50 % des réfrigérateurs est supérieure à 4,5 °C.

L'étude la plus récente et la plus exhaustive sur la régulation de la température dans les réfrigérateurs domestiques, menée au Royaume-Uni, a démontré que la température intérieure moyenne globale de l'ensemble des réfrigérateurs (671 appareils) s'élevait à 5,3 °C (Gemmell *et al.*, 2017⁷). La température moyenne maximale globale dans un réfrigérateur simple s'élevait à 14,3 °C et la température moyenne minimale globale atteignait -4,1 °C. La température moyenne globale des congélateurs sélectionnés pour l'étude (745 appareils) s'élevait à -20,3 °C.

4.2. Consommation énergétique

4.2.1. Consommation énergétique dans la restauration

On considère que les meubles professionnels utilisés dans la restauration consomment 12 % de l'énergie consommée pour la production de froid dans le secteur. La consommation énergétique moyenne annoncée pour les meubles s'élevait à 2920 kWh par an pour la réfrigération et 5475 kWh par an pour la congélation (MTP, 2006⁸). Il y a peu de données publiées sur la consommation énergétique des meubles professionnels réellement en fonctionnement. Les données non publiées relevées pour des meubles réellement utilisés montrent d'importantes différences de consommation énergétique selon les différents meubles. Elles mettent également à jour des différences considérables de consommation énergétique pour le même modèle de meuble dans des lieux différents. Ces écarts sont probablement dus à une utilisation hétérogène du meuble et à l'influence des conditions locales telles que la température ambiante, les courants d'air près des portes ou la proximité avec des appareils chauffants.

4.2.2. La consommation énergétique dans les grandes surfaces

Le froid représente souvent la principale charge énergétique dans un supermarché. La consommation énergétique des supermarchés est conditionnée par les pratiques commerciales, la taille du magasin, la gamme de produits vendus, la fréquentation du magasin et les équipements utilisés pour la préparation des aliments, leur conservation et leur présentation dans le magasin. La consommation d'électricité annuelle peut varier d'environ 700 kWh/m² pour les espaces de vente dans les hypermarchés à plus de 2000 kWh/m² pour ceux des supérettes (Tassou *et al.*, 2011⁹). Les systèmes frigorifiques représentent entre 30 % et 60 % de la consommation électrique, tandis que l'éclairage compte pour 15 % à 20 % et les équipements de CVC et d'autres services tels que la boulangerie consomment le reste. Le gaz sert normalement au chauffage des locaux, à la production d'eau chaude sanitaire et parfois à la cuisson ou à la pâtisserie. Son utilisation peut être nulle chez certains fournisseurs tels que les stations-service où le gaz n'est pas utilisé, ou représenter plus de 250 kWh/m²/an dans les hypermarchés. Dans certains magasins, la consommation énergétique de gaz peut s'élever à 800 kWh/m²/an. Tassou *et al.* (2011⁹) a présenté un rapport sur la consommation énergétique en fonction de la taille de différents supermarchés. Dans les supérettes, la consommation électrique moyenne des magasins qui utilisent des équipements frigorifiques intégrés s'élevait à environ 300 kWh/m²/an de plus que les magasins qui avaient en priorité recours à des équipements frigorifiques dotés d'une centrale à distance. Les travaux d'Evans et Swain (2010⁶) démontrent que les meubles qui se trouvaient alors sur le marché présentaient des différences globales de consommation énergétique majeures selon le type de meuble et que ces différences se retrouvaient également entre les meubles de même type lorsqu'ils ont été comparés à la norme EN23953 ou à la norme EN441. Des économies d'énergie considérables pourraient être réalisées en sélectionnant le meilleur modèle de chaque type de meuble et en se penchant sur des méthodes permettant de réduire l'écart de température intérieure. Il existe de nombreuses possibilités pour réduire la consommation énergétique dans les supermarchés. Dans une étude réalisée par Evans *et al.*, (2016¹⁰), 81 technologies différentes et leur potentiel de limitation des émissions directes et indirectes ont été passées en revue. La majorité des mesures de réduction des émissions de carbone pourraient être appliquées aux meubles

³Derens, E., Palagol, B., Cornu, M., Guilpart J., 2007. *The food cold chain in France and its impact of food safety*. IIR IRC2007, Beijing, China.

⁴James, S.J., and Evans, J.A., 1990. *Temperatures in the retail and domestic chilled chain. Processing and Quality of Foods. Vol. 3. Chilled Foods: The Revolution in Freshness*. Elsevier Applied Science Publishers, London, 3.273-3.278.

⁵Evans, J.A., Scarcelli, S., and Swain, M.V.L., 2007. *Temperature and energy performance of refrigerated retail display cabinets under test conditions*. Int. J. Refrigeration. Vol. 30 pp 398-408.

⁶Evans, J.A., and Swain, M.V.L., 2010. *Performance of retail and commercial refrigeration systems*. IIR ICC2010, Cambridge, UK.

⁷Gemmell, A., Foster, H., Sijanbola, B., and Evans, J., 2017. *Study of Over-Consuming Household Cold Appliances*. Report Number: HPR187-1003.

⁸MTP, 2006. *Sustainable products 2006: Policy analysis and projections*.

⁹Tassou, S.A., Ge, Y., Hadaway, A. and Marriott, D., 2011. *Energy consumption and conservation in food retailing*, Applied Thermal Engineering, Volume 31, Issue 2, 2011, Pages 147-156.

¹⁰Evans, J., Maidment, G., Brown, T., Hammond, E., Foster, A., 2016. *Carbon reduction opportunities for supermarkets*. IIR ICC2016, Auckland, New Zealand.

déjà en place parmi lesquelles pourraient figurer les portes des meubles, les rideaux à bandes, les déflecteurs ou guides d'air pour les meubles ouverts et des ventilateurs plus performants. D'autres possibilités sont envisageables pour les meubles neufs, telles que l'optimisation du débit d'air dans le meuble grâce à des évaporateurs à haute efficacité et des échangeurs de chaleur à micro-canaux.

4.2.3. Consommation énergétique dans les réfrigérateurs domestiques

En Europe, les fabricants réduisent progressivement la consommation énergétique des réfrigérateurs et des congélateurs domestiques depuis la mise en place de l'étiquetage énergétique en 1995. De nombreuses données ont été recueillies sur la consommation énergétique des réfrigérateurs domestiques en Europe en conditions d'essai puisque l'évaluation de la consommation énergétique fait partie intégrante de l'étiquetage énergétique. Les conditions d'essai ne comprennent pas de simulation d'utilisation car les essais sont pratiqués dans un environnement de test où les portes sont fermées. Elles ne permettent donc pas de reproduire parfaitement la consommation énergétique réelle. Une étude récente sur les réfrigérateurs au Royaume-Uni a permis de recueillir des données sur la consommation énergétique de 665 appareils frigorifiques (Gemmell *et al.*, 2017³). La consommation moyenne annuelle globale mesurée s'élevait à 354 kWh/an. Ce résultat est basé sur l'ensemble de la période observée, soit approximativement 7 jours. Bien que l'efficacité énergétique des réfrigérateurs domestiques se soit beaucoup améliorée, il est toujours possible de réduire la consommation énergétique par le biais de systèmes avancés d'isolation, en améliorant l'efficacité des compresseurs et en optimisant le fonctionnement ou le contrôle du système frigorifique et les échangeurs de chaleur.

4.3. Émissions (directes) liées aux frigorigènes

4.3.1. Émissions de frigorigènes dans la restauration

Il existe peu de données sur les émissions directes des meubles dans la restauration. Il est cependant probable qu'elles soient comparables aux émissions induites par le froid domestique dans la mesure où les technologies utilisées pour la fabrication des meubles sont similaires. Schwartz (2005¹¹) a calculé les émissions d'HFC du froid commercial en Allemagne entre 1996 et 2002. Selon le rapport, les estimations des émissions produites par les meubles utilisés dans la restauration s'élevaient à 1,5 %, taux équivalent aux estimations du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) situées entre 0,5 et 3 % (IPCC, 2005¹²).

4.3.2. Émissions liées aux frigorigènes dans les grandes surfaces

Dans des meubles plus grands commandés à distance (depuis une installation frigorifique centrale), les émissions directes du système frigorifique ont un impact considérable. Les émissions sont principalement attribuées aux fuites de frigorigène HCFC et HFC. Les fuites de frigorigène sont très variables selon les supermarchés. Dans les pays industrialisés, il a été démontré que les meubles intégrés ont des fuites minimales (<1 % par année) tandis que les fuites de la centrale frigorifique peuvent varier entre 3 % en moyenne par an dans le meilleur des cas et 20 à 30 % par an dans le pire des cas. Les études montrent que les taux de fuites peuvent être réduits à de faibles niveaux. Ces résultats ont pu être obtenus grâce à une modification de la gestion, un changement de système, ou des technologies utilisées et à une amélioration des formations, des compétences et qualifications des opérateurs et des équipes de maintenance. Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour réduire les émissions directes des supermarchés. Evans *et al.* (2016¹⁰) a démontré qu'il était possible de faire des économies de carbone non négligeables en réduisant la charge en frigorigène, en mettant en application de bonnes pratiques d'ingénierie du froid, en utilisant des frigorigènes à plus faible PRP ou en utilisant des frigorigènes secondaires avec des systèmes frigorifiques centralisés. Afin de continuer à réduire les fuites de frigorigène, il est nécessaire de mieux comprendre les raisons de ces fuites et de les localiser précisément. Des registres d'entretien bien tenus à jour peuvent permettre d'identifier les zones et les composants à haut risque dans les systèmes et d'aider les opérateurs à hiérarchiser les activités de confinement des frigorigènes.

4.3.3. Émissions liées aux frigorigènes dans les réfrigérateurs domestiques

Les données recueillies par des sources comme Heap (2001¹³) et RAC (2005¹⁴) a montré que les pertes de frigorigènes dans des réfrigérateurs de pays industrialisés sont extrêmement faibles (inférieures à 1 % par an). Schwarz (2005¹¹) évalue le taux des émissions de HFC issues de réfrigérateurs domestiques en Allemagne entre 1996 et 2002 à 0,3 %, ce qui correspond aux estimations du GIEC (0,1 % à 0,5 %). Ces estimations supposent que le frigorigène soit extrait et détruit à la fin de la vie de l'appareil. Dans les pays en développement, l'état des routes est souvent médiocre, ce qui peut entraîner des ruptures de tuyaux ou faire se desserrer les raccords de conduits, et en l'absence de réglementation l'entretien et la fin de vie sont insuffisamment contrôlés. Pour ces raisons, le taux de fuite peut être particulièrement élevé. Pour Giz (2017¹⁵), le taux de fuite pendant la vie utile de l'appareil pourrait s'élever à 27 % dans les pays en développement.

5 Frigorigènes actuels et alternatives possibles

5.1. Frigorigènes utilisés dans la restauration

Les frigorigènes HFC ont longtemps été privilégiés dans les meubles frigorifiques destinés à la restauration. Plus récemment, plusieurs fabricants ont fait le choix d'utiliser le R290 (propane), notamment parce qu'il s'agit d'un frigorigène à faible PRP mais aussi parce qu'il constitue une alternative efficace.

5.2. Frigorigènes utilisés en supermarché

Les systèmes frigorifiques actuels des supermarchés fonctionnent principalement avec des frigorigènes HCFC et HFC, bien que le R744 (CO₂) et les hydrocarbures soient de plus en plus courants. Dans les pays scandinaves, des alternatives telles que des systèmes secondaires utilisant par exemple du glycol refroidi par un système frigorifique primaire ensuite pompé jusqu'au meuble sont souvent utilisées. D'autres systèmes utilisent de l'eau pour refroidir les condenseurs des meubles intégrés et créent de l'air froid dans un emplacement central qui sert ensuite à refroidir directement les meubles, et ce uniquement pour les meubles destinés à la réfrigération.

5.3. Frigorigènes utilisés pour les réfrigérateurs domestiques

35 % à 40 % des réfrigérateurs domestiques fonctionnent avec du R600a, un hydrocarbure dont le PRP est de 3 (Réglementation F-Gas, 2014¹⁶). Le R600a est un frigorigène efficace, bien qu'il soit inflammable (Maclaine-Cross et Leonardi, 1996¹⁷). Les réfrigérateurs fonctionnant avec un hydrocarbure font habituellement l'objet de test de fuites à l'hélium avant d'être chargés en frigorigène en usine. Il a été démontré que cette vérification permet d'obtenir un taux élevé de détection des fuites et que peu de fuites de frigorigènes se produisent au domicile des consommateurs. Tous les grands fabricants européens, japonais et chinois produisent des réfrigérateurs qui fonctionnent avec du R600a. Cette technologie prévaut sur les marchés européen, japonais et chinois. D'après le rapport de synthèse de 2010 du Groupe de l'évaluation technique et économique (UNEP, 2010¹⁸) : « Au vu des prévisions, au moins 75 % de la production mondiale de réfrigérateurs sera basée sur les frigorigènes hydrocarbures d'ici 10 ans ».

Tableau 1 : Récapitulatif des frigorigènes actuels et leurs alternatives

Le froid commercial, professionnel et domestique		
Types de froid	Frigorigènes actuels à PRP plus élevé (PRP kg.CO ₂)	Frigorigènes alternatifs à PRP plus faible (PRP kg.CO ₂)
Commercial	Intégré et à distance : HFC-134a (1300); HFC-404A (3920); HCFC-22 (1810)	À distance : R-744 (1) Intégré et secondaire : HC-290 (5), HC-1270 (1.8) Intégré et à distance : une large gamme de frigorigènes HFO et mélanges de frigorigènes HFO
Professionnel	HFC-404A (3920), HFC-134a (1300)	HC-290 (5), HC-600a (20), une large gamme de frigorigènes HFO et mélanges de frigorigènes HFO
Domestique	HFC-134a (1300)	HC-600a (20)

6 Perspectives de développement et défis à relever

6.1. Froid professionnel

Fondamentalement, la conception des meubles frigorifiques professionnels a peu évolué au cours des 20 dernières années. Les changements radicaux qui auraient pu en améliorer l'efficacité n'ont pas eu lieu. Les fabricants peinent à justifier l'augmentation des coûts des composants permettant une économie d'énergie car les utilisateurs s'intéressent davantage au coût initial des unités frigorifiques plutôt qu'au coût du cycle de vie. Des économies d'énergie considérables pourraient être réalisées au moyen de technologies existantes. L'un des principaux obstacles réside dans la difficulté de persuader les utilisateurs finaux d'acheter les meubles les plus efficaces.

6.2. Froid commercial

Il est possible de parvenir à d'importantes réductions des émissions de carbone produites par les meubles de supermarché (Evans *et al.*, 2016¹⁰). Ces économies seraient en grande partie réalisées en utilisant des portes, des rideaux à bandes ou des technologies qui limitent l'infiltration d'air dans les meubles ouverts. Elles pourraient être encore plus importantes en optimisant les évaporateurs existants et en utilisant de nouveaux types d'évaporateurs. L'utilisation d'alternatives à faibles PRP permettrait une réduction significative des émissions directes. Le principal défi consiste à appliquer ces technologies de manière économique tout en obtenant un retour sur investissement acceptable pour le secteur des supermarchés qui est sensible aux fluctuations des coûts.

6.3. Froid domestique

Les données montrent que les températures des réfrigérateurs à domicile sont supérieures aux valeurs optimales. Au cours des 30 dernières années, de nombreuses études ont été menées sur la température des réfrigérateurs domestiques et toutes sont parvenues à la même conclusion : dans la réalité, peu de réfrigérateurs domestiques ont un fonctionnement optimal. Bien qu'il y ait eu une réduction drastique de la consommation d'énergie des réfrigérateurs domestiques depuis la mise en place de l'étiquetage énergétique des appareils dans les années 1990, il est possible d'augmenter la qualité et la sécurité alimentaire en soumettant les réfrigérateurs à des températures plus optimales (c'est-à-dire en général 0 à 5 °C dans le réfrigérateur et < -18 °C dans le congélateur). Ceci permettrait en conséquence une réduction du gaspillage alimentaire et des réductions globales des émissions de carbone.

¹⁰ Schwarz, W., 2005. Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Research Report 201 41 261/01 UBA-FB 000811/e.

¹¹ IPCC/TEAP, 2005. Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System. Chapter 4. Refrigeration.

¹² Heap, R.D., 2001. Refrigeration and air conditioning – the response to climate change. Bulletin of the IIR No 2001-5.

¹³ RAC (Refrigeration and Air Conditioning Magazine) Conference June 2005.

¹⁴ Giz, 2017. <http://www.green-cooling-initiative.org/technology/domestic-refrigeration/green-cooling-potential>.

¹⁵ Réglementation F-Gas, 2014. Règlement n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) no 842/2006 - 16 avril 2014.

¹⁶ MacLaine-Cross, I.L. and Leonardi, E., 1996. Comparative performance of hydrocarbon refrigerants. IIR Commissions E2 E1 B1 B2 Melbourne, Australia.

¹⁷ UNEP, 2010. 2010 Progress Report: Assessment of HCFCs and Environmentally Sound Alternatives, UNEP Technology and Economic Assessment Panel, p.37.

¹⁸ Pedersen, R., 2004. Advantages and disadvantages of various methods for chilling of poultry, Landbrugsministeriets Slagteri-og Konservelaboratorium, Copenhagen, Denmark, Report No. 189.

7 Défis techniques et potentiel

7.1. Froid professionnel

Les premiers changements à mettre en œuvre pour améliorer les performances sont relativement simples et impliquent d'utiliser les meilleurs composants et technologies. En 2004, Pedersen¹⁹ a publié une étude démontrant que les améliorations apportées aux meubles ont permis de réduire la consommation d'énergie à 74 % (meubles de réfrigération) et à 47 % (meubles de congélation) de la consommation d'origine (de 6,26 kWh/jour à 1,62 kWh/jour pour les meubles de réfrigération et de 8,53 kWh/jour à 4,54 kWh/jour pour les meubles de congélation). Ces économies d'énergie ont été réalisées en changeant le frigorigène, en utilisant des composants économes en énergie et en optimisant les éléments chauffants, les joints de porte et le système de régulation. Les économies d'énergie les plus importantes étaient liées à l'optimisation des joints de porte, l'utilisation de ventilation en courant continu et l'utilisation du gaz de refoulement du compresseur pour l'évaporation de l'eau de l'évaporateur.

À l'avenir, il faudra de nouvelles améliorations pour obtenir les « meilleures » étiquettes énergétiques. Des technologies et systèmes tels que les compresseurs à « onduleur » (variateurs de fréquence), les méthodes et stratégies alternatives de dégivrage, les systèmes de commande avancés, le retrait des joints et des systèmes de chauffage anti-condensation, les électrovannes de lignes liquides et l'isolation avancée joueront tous un rôle dans les stratégies de réduction énergétique à l'avenir.

7.2. Froid commercial

Les défis techniques liés au froid commercial incluent la transition vers des frigorigènes à faible PRP et l'amélioration de la régulation de la température en parallèle d'une réduction de la consommation d'énergie. Tous ne sont pas des défis techniques mais impliquent en réalité un changement de comportement. Il existe par exemple une croyance selon laquelle mettre en place une barrière entre le consommateur et le produit pourrait réduire les ventes. Pour cette raison, les supermarchés sont réticents à l'idée d'ajouter des portes aux meubles ouverts.

7.3. Froid domestique

Comme pour les meubles professionnels et commerciaux, il existe des défis techniques à relever pour réduire la consommation énergétique et garantir une régulation de la température optimale. Si les réfrigérateurs domestiques ont été soumis à des réductions énergétiques considérables au cours des 30 dernières années, il est toujours possible d'obtenir des réductions plus importantes. Le principal défi réside dans l'application économe de nouvelles technologies.

7.4. Problématiques générales associées

Plusieurs problématiques sont communes aux froids commercial, professionnel et domestique. De nombreux frigorigènes à faible PRP sont inflammables ou fonctionnent à hautes pressions. L'utilisation de ces frigorigènes nécessite que les concepteurs et les techniciens comprennent les problèmes de sécurité et qu'ils garantissent que les systèmes soient conçus et fonctionnent en toute sécurité pour les utilisateurs finaux. Cela passe par la formation et la connaissance des normes de sécurité et leur application.

7.5. Politiques d'orientation

La directive de l'Union européenne sur l'écoconception (Directive 2009/125/CE) est une directive-cadre qui contraint les fabricants de produits consommateurs d'énergie à réduire leur consommation et, dans certains cas, d'autres impacts environnementaux négatifs survenant tout au long du cycle de vie des produits. Cette directive est complétée par la directive sur l'étiquetage énergétique (Directive 2010/30/UE). Les appareils domestiques et les meubles frigorifiques professionnels sont inclus dans ces directives. En ce qui concerne les appareils domestiques, une législation similaire est appliquée dans la quasi-totalité des pays développés (Figure 5).

7 Défis techniques et potentiel

L'industrie du froid et du conditionnement d'air a connu un développement et une modernisation considérables au cours des trois dernières décennies, en partie suite à la mise en œuvre de politiques environnementales internationales dans le cadre desquelles de nombreux frigorigènes utilisés efficacement depuis des décennies sont tenus responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone ainsi que du réchauffement de la planète. L'élimination progressive des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO), dans le cadre du Protocole de Montréal, a déclenché des changements importants dans l'industrie, qui s'est tournée vers des frigorigènes et des technologies de substitution dont le potentiel d'appauvrissement de l'ozone (PAO) est nul.

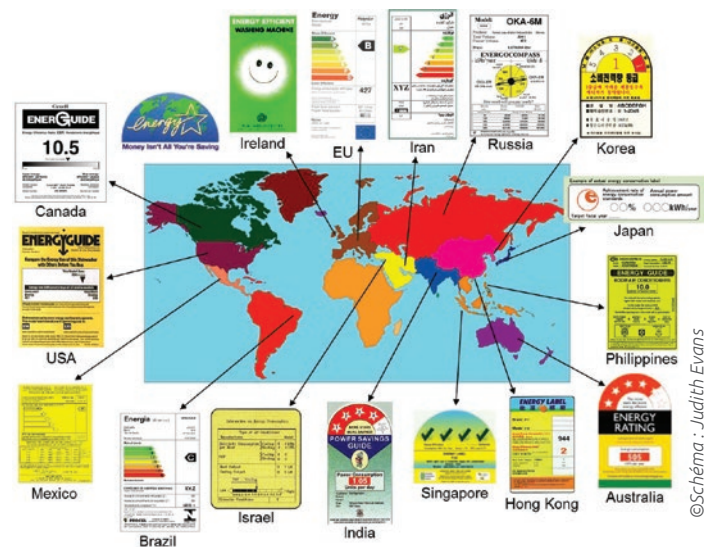
En octobre 2016, l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal a apporté une autre dimension à la vocation du Protocole de Montréal en ajoutant le contrôle de la production et de la consommation des hydrofluorocarbures (HFC), qui apportera une contribution majeure à la lutte contre le changement climatique. Le contrôle de la production et de la consommation des HFC s'ajoutera aux bienfaits pour le climat déjà obtenus par le Protocole de Montréal à travers l'élimination progressive des SAO, parmi lesquels les CFC et les HCFC. Les émissions de HFC sont également répertoriées dans le groupe des GES (gaz à effet de serre) dans le cadre des conventions relatives au climat, c'est-à-dire l'Accord de Paris et précédemment le Protocole de Kyoto. Toutefois, les mesures visant à contrôler spécifiquement les émissions de HFC dans le cadre du régime climatique ne sont pas encore fixées, à l'exception des exigences de déclaration au titre de la CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques).

L'impact des frigorigènes utilisés par les équipements frigorifiques sur le climat dépend des effets directs et indirects. L'effet direct provient de leur PRP et de la quantité de frigorigène émise dans l'atmosphère (à la suite d'une fuite, d'un accident, ou d'une mauvaise manipulation ou mise au rebut). L'effet indirect, associé à l'énergie consommée pendant le fonctionnement des équipements pendant toute la durée de leur vie, est lié au CO₂ (au CH₄ dans une moindre mesure) produit par les centrales électriques à énergie fossile. Il est généralement plus important que l'effet direct. La minimisation des impacts direct et indirect des émissions de tous les types de frigorigènes passe par une meilleure conception des équipements, de meilleures pratiques en ce qui concerne leur mise en service et leur entretien sur le terrain, des procédures de démantèlement raisonnées et l'application de normes et réglementations locales pertinentes.

Plusieurs organisations importantes élaborent des normes relatives au secteur du froid et du conditionnement d'air. La brochure du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) sur les normes internationales en matière de froid et de conditionnement d'air (PNUE, 2014²⁰) répertorie les principales organisations internationales de normalisation et donne quelques exemples d'organisations nationales et régionales.

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 à atteindre 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.

²⁰PNUE, 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.



©Schéma : Judith Evans

Conclusion

Les réfrigérateurs commerciaux, professionnels et domestiques constituent les dernières étapes du stockage des aliments avant leur consommation au cours de la chaîne du froid. Ces secteurs doivent relever plusieurs défis tels que le maintien des températures et la réduction énergétique. Par ailleurs, le froid commercial produit des émissions liées aux frigorigènes plus élevées notamment en raison de l'utilisation de plus grands systèmes frigorifiques commandés à distance. Chaque secteur a le potentiel d'accomplir une réduction énergétique significative.

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.

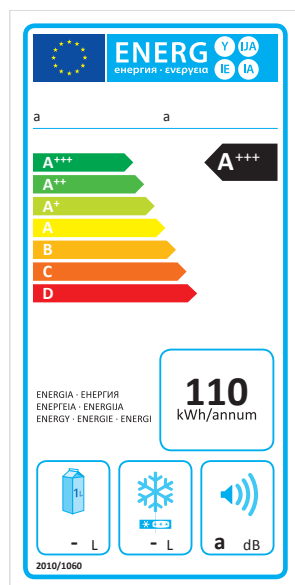


Fig.5 : Étiquette énergétique d'un meuble professionnel européen (gauche), exemples d'étiquettes énergétiques domestiques dans le monde (à droite)

©Générateur d'étiquettes énergétiques