



INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID
INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION

LE RÔLE DU FROID DANS L'ÉCONOMIE MONDIALE



JUIN 2019

**38^e Note d'Information
sur les technologies
du froid**



« Le froid est essentiel
pour l'humanité et doit
devenir une priorité des
décideurs politiques. »

N° ISSN : *en cours*



IIFIR.ORG

in |  |  | 

iif-iir@iifir.org

177, boulevard Maiesherbes - 75017 Paris - France
Tel. +33 (0)1 42 27 32 00 / Fax +33 (0)1 47 63 17 98

Copyright © 2019 IIR/IIF All rights reserved/Tous droits réservés

Le rôle du froid dans l'économie mondiale

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 s'élève à environ 5 milliards. Les ventes mondiales annuelles des équipements correspondants représentent un montant d'environ 500 milliards de dollars américains. Plus de 15 millions de personnes dans le monde travaillent dans le secteur du froid, qui utilise environ 20% de l'électricité totale consommée au niveau mondial.

Les données statistiques présentées dans cette nouvelle Note d'Information illustrent l'importance du secteur du froid. Celle-ci devrait encore progresser dans les années à venir en raison de la croissance des besoins de froid dans de nombreux domaines et du réchauffement de la planète. L'industrie du froid joue un rôle majeur et croissant dans l'économie mondiale, particulièrement dans les domaines de l'alimentation, de la santé, de l'énergie et de l'environnement et les décideurs doivent davantage le prendre en compte.

Cette Note d'Information a été préparée par Jean-Luc Dupont (Chef du Département d'Information Scientifique et Technique) et revue par Piotr Domanski (Président du Conseil Science et Technologie), Philippe Lebrun (Président de la Conférence Générale) et Felix Ziegler (Président du Comité Exécutif)

Introduction

Le froid fait désormais partie de la vie du XXI^e siècle. Cette industrie « invisible » joue un rôle majeur dans d'innombrables secteurs, allant de l'alimentation et du conditionnement d'air à la santé, l'industrie et l'énergie.

Le froid est essentiel pour réduire les pertes après récolte et conserver les produits alimentaires.

Le conditionnement d'air joue un rôle-clé dans le développement économique et social des pays les plus chauds et son utilisation se développe de façon spectaculaire du fait de la hausse des températures, en particulier dans les économies émergentes.

Dans le secteur de la santé, le froid permet de préserver les produits pharmaceutiques et les médicaments, en particulier les vaccins. De nouveaux traitements tels que la cryochirurgie ou la cryothérapie ont pu voir le jour grâce au développement des technologies à très basses températures.

Le froid est employé dans de nombreux processus industriels tels que les produits chimiques et plastiques. Privés du froid, les centres de données - et l'Internet - s'effondreraient en quelques minutes.

Dans le domaine de l'énergie, les techniques cryogéniques permettent de liquéfier le gaz naturel, le rendant plus facile et plus économique à transporter et à stocker.

Sur le plan économique, l'importance du froid est primordiale, comme l'illustre l'augmentation constante de la vente d'équipements frigorifiques et le nombre d'emplois en lien avec le froid.

Cependant, plus de 1,1 milliard de personnes dans le monde - principalement dans les pays les moins développés - sont confrontés à des risques immédiats liés au manque d'accès au froid, alors que ce dernier pourrait aider à lutter contre la faim et la malnutrition et atténuer les ravages des vagues de chaleur meurtrières. [1]

Cette Note d'information* résume les données de base illustrant la taille et la portée du secteur du froid et son importance pour l'humanité. Elle vise à sensibiliser les décideurs politiques sur l'importance croissante du froid afin d'encourager son développement de manière durable, en particulier dans les pays les moins développés.

* Cette note d'information est une mise à jour de la première version publiée par l'IIF en novembre 2015.

L'importance du froid

DONNÉES ÉCONOMIQUES

Pour illustrer l'importance du secteur du froid, sur la base des sources indiquées, et à partir de ses propres estimations, l'IIF a estimé et synthétisé dans le Tableau 1 les chiffres les plus significatifs du parc des équipements frigorifiques en service dans le monde :

Sur la base de ces chiffres, 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 s'élève à environ 5 milliards**, dont 2,6 milliards d'unités de conditionnement d'air (fixes et mobiles) et 2 milliards de réfrigérateurs et congélateurs domestiques.

Tableau 1

Nombre de systèmes frigorifiques en service dans le monde, par application

Applications	Secteur	Équipements	Nombre d'unités en service
Froid et alimentation (voir p.7)	Froid domestique	Réfrigérateurs et congélateurs	2 milliards ^[2]
	Froid commercial	Équipements de froid commercial (compris unités de condensation, machines autonomes et systèmes centralisés)	120 millions ^[3]
	Transport frigorifique	Véhicules frigorifiques (camionnettes, camions, semi-remorques ou remorques)	5 millions ^[4]
		Conteneurs frigorifiques ("reefers")	1,2 millions ^[5]
	Entreposage frigorifique	Entrepôts frigorifiques	50.000 ^[6]
Conditionnement d'air (voir p.8)	Conditionnement d'air fixe	Unités de conditionnement d'air résidentielles	1,1 milliards ^[7]
		Unités de conditionnement d'air commerciales	0,5 milliards ^[7]
Refroidisseurs d'eau		40 millions ^[7]	
	Conditionnement d'air mobile	Véhicules climatisés (voitures particulières, véhicules commerciaux et bus)	1 milliard ^[2]
Froid et santé (voir p.9)	Médecine	Systèmes à imagerie par résonance magnétique (IRM)	50.000 ^[8]
Froid et industrie (voir p.10)	Gaz Naturel Liquéfié (GNL)	Terminaux de regazéification du GNL	126 ^[9]
		Méthaniers	525 ^[9]
Pompes à chaleur (voir p.11)		Pompes à chaleur (secteurs résidentiel, commercial et industriel, y compris les conditionneurs d'air air-air réversibles)	220 million ^[10]
Sports et loisirs (voir p.11)		Patinoires	17,000 ^[11]

Les ventes mondiales annuelles d'équipements de froid, de conditionnement d'air et de pompes à chaleur représentent un montant d'environ 500 milliards de dollars américains ^[12], ce qui, à titre de comparaison, représente environ les trois quarts des ventes des supermarchés à l'échelle mondiale. ^[13]

LE FROID ET L'EMPLOI

L'importance socio-économique du froid dans le monde d'aujourd'hui peut être illustrée par les données relatives à l'emploi.

L'IIF estime que plus de 15 millions de personnes travaillent dans l'industrie du froid, ce qui signifie que près de 5 personnes sur 1.000 ont un emploi lié à la fabrication, l'installation, la maintenance et l'entretien des équipements frigorifiques. Cette proportion est plus élevée encore dans des pays comme l'Australie où environ 300.000 personnes - 2,5 % de la population active - sont employées dans plus de 20.000 entreprises opérant dans le secteur du froid. ^[14]

Dans ce domaine, la demande d'ingénieurs et de techniciens qualifiés (installateurs et mécaniciens par exemple) est en augmentation en raison de l'accroissement des besoins en froid et des qualifications spécifiques que ces métiers requièrent. Aux Etats-Unis, le nombre d'emplois de techniciens de maintenance et installateurs dans le domaine du chauffage, du conditionnement d'air et du froid devrait croître de 15 % entre 2016 et 2026, soit beaucoup plus que la croissance moyenne prévue pour l'ensemble des emplois (7 %). ^[15]

LE FROID ET LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

La part de la consommation d'électricité utilisée pour le froid et le conditionnement d'air a augmenté à la fois dans les pays développés et les pays en développement au cours des dernières années.

Le secteur du froid - incluant le conditionnement d'air - utilise environ 20 % de l'électricité totale consommée au niveau mondial. Cette estimation de l'IIF s'appuie sur une analyse de données partielles relatives à la consommation d'électricité par secteurs et zones géographiques dans le monde.

Ce ratio de 20 % illustre l'importance du secteur du froid qui devrait connaître une croissance soutenue dans les prochaines années en raison d'une

part de l'augmentation des besoins de froid dans de nombreux domaines et d'autre part du réchauffement de la planète.

L'IIF estime que **la demande mondiale d'électricité pour le froid – y compris le conditionnement d'air – pourrait plus que doubler d'ici 2050.** Cette évaluation est basée sur le « scénario de base » de l'AIE - prenant en compte l'effet probable des politiques et objectifs actuels – qui prédit que les besoins en électricité pour la climatisation des espaces tripleront d'ici 2050. ^[7]

Cependant, la poursuite des efforts visant à améliorer l'efficacité énergétique des équipements de froid peut permettre de limiter cette augmentation de la consommation énergétique, en particulier dans le domaine du conditionnement d'air (voir page 8 *Le conditionnement d'air*).

LE FROID ET L'ENVIRONNEMENT

La contribution du froid à la composante environnementale du développement durable peut être illustrée par le rôle essentiel des technologies du froid dans le maintien de la biodiversité grâce à la cryoconservation des ressources génétiques.

Les technologies du froid sont également désormais considérées comme un moyen de captage du CO₂ émis par les grandes centrales électriques et installations industrielles, grâce à la cryogénie ; elles permettent également de liquéfier le CO₂ en vue de son stockage souterrain.

Toutefois, les effets négatifs du froid sur l'environnement - et en tout premier lieu son impact sur le réchauffement planétaire - doivent être également pris en compte.

Environ 37 % de cet impact sur le réchauffement de la planète est imputable aux émissions directes (fuites) des fluorocarbures (CFC, HCFC et HFC). Le reste - soit environ 63 % - de cet impact est dû aux émissions indirectes qui résultent de la production d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de ces installations. ^[16]

Au total, selon les estimations de l'IIF ^[16], **les émissions imputables au secteur du froid représentent 4,14 GtCO₂eq, soit 7,8 % des émissions totales de gaz à effet de serre.**

C'est pourquoi les actions menées par les acteurs du secteur du froid pour combattre le réchauffement planétaire se concentrent dans deux directions :

- la réduction des émissions directes de fluorocarbures dans l'atmosphère grâce à un meilleur confinement des frigorigènes, une réduction de la charge et la récupération des frigorigènes en fin de vie des équipements, ainsi que le développement de frigorigènes alternatifs avec un impact climatique négligeable ou nul, et le développement de technologies alternatives à la compression de vapeur appropriées et la formation/certification des techniciens ;
- la réduction de la consommation d'énergie primaire grâce à l'augmentation de l'efficacité énergétique des installations frigorifiques.

Il est important de souligner la contribution environnementale positive de la mise en œuvre récente de l'amendement de Kigali au Protocole de Montréal - soutenu par l'industrie du froid -, qui prévoit une réduction progressive de la production et de la consommation des HFC dans le monde.

Sans l'Amendement de Kigali, les émissions de HFC imputables au secteur du froid s'élèveraient à des valeurs comprises entre 3 et 4 GtCO₂eq [16] à l'horizon 2050. En revanche, selon les estimations de l'IIF, grâce à son application, ces émissions de HFC seront alors limitées à environ 0,7 GtCO₂eq en 2050, après un pic à la fin des années 2020 aux alentours de 1,5 GtCO₂eq. Sur la base de ces estimations, l'Amendement de Kigali devrait permettre d'éviter une hausse substantielle des températures moyennes allant jusqu'à 0,3 °C d'ici 2100. [16] Ce résultat est à mettre en perspective avec l'Accord de Paris visant à contenir la hausse des températures globales moyennes bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels.

Le rôle et les applications du froid

LE FROID ET L'ALIMENTATION

Le froid joue un rôle essentiel dans le secteur alimentaire car il permet d'assurer une conservation optimale des denrées périssables et de fournir au consommateur des produits sûrs et sains.

Cependant, la chaîne du froid alimentaire est encore insuffisamment développée, en particulier

dans les pays en développement. La production alimentaire mondiale comprend environ un tiers de denrées périssables nécessitant une conservation par le froid.

L'Inde en est un exemple frappant : la part de la chaîne du froid dans la logistique globale dédiée aux denrées périssables y est inférieure à 22 % pour les fruits et légumes et à 34% pour la viande, bien en deçà des 95 % environ enregistrés en Europe et aux États-Unis. [17]

Il en résulte des pertes alimentaires et économiques considérables. **Selon l'IIF, les pertes alimentaires mondiales imputables à l'absence de chaîne du froid sont très élevées : presque 20 % de la disponibilité alimentaire mondiale.** [18]

La FAO estime que la production alimentaire mondiale devra augmenter de 50 % entre 2012 et 2050, sur la base de son scénario de statu quo [19], et le froid a un rôle vital à jouer dans ce contexte. **Le froid peut aussi apporter une contribution majeure au problème de la sous-alimentation**, qui touchait 821 millions de personnes en 2017 [19] - environ une personne sur neuf - notamment dans les pays les moins développés.

Un froid continu et omniprésent est nécessaire le long de la chaîne du froid des produits alimentaires périssables, du producteur jusqu'au consommateur.

Dans les supermarchés, entre 30 et 60 % de l'électricité consommée est due aux équipements frigorifiques fournissant le froid nécessaire aux meubles de ventes et aux chambres froides destinées à l'entreposage des denrées réfrigérées et surgelées. [20, 21] Les petits commerces, les restaurants, les bars et les hôtels ne pourraient pas fonctionner sans équipements frigorifiques.

Environ 2 milliards de réfrigérateurs et congélateurs domestiques sont en service dans le monde. [2] Sur la base du taux d'équipement et de la consommation en électricité de ces appareils, l'IIF estime que les réfrigérateurs et congélateurs utilisent près de 4 % de l'électricité totale consommée dans le monde.

Cependant, l'efficacité énergétique des réfrigérateurs est en constante évolution, ainsi qu'en atteste l'évolution qualitative permanente des étiquettes énergie. Aux États-Unis, par exemple, la consommation annuelle moyenne d'électricité a été divisée par 4 entre 1974 et 2015, tandis que le volume équivalent a augmenté de 20 %. [22]

La transformation des aliments, l'entreposage et le transport frigorifiques, ainsi que la distribution constituent d'autres maillons de la chaîne du froid, moins visibles pour le consommateur, mais pourtant essentiels.

Actuellement, il y a environ 5 millions de véhicules frigorifiques en service dans le monde, à savoir les camionnettes, les camions, les semi-remorques et les remorques. [4] En outre, le marché mondial du transport frigorifique devrait connaître une forte croissance dans les prochaines années (+ 30 % entre 2018 et 2022). [23]

Par ailleurs, le volume dédié à l'entreposage frigorifique a représenté 616 millions de m³ en 2018 - soit environ 50.000 entrepôts frigorifiques - en augmentation de 20 % par rapport à 2012. [6]

L'amélioration constante des technologies de congélation a conduit au développement rapide de nouveaux marchés alimentaires tels que ceux des produits surgelés et des crèmes glacées. Les plats préparés, qui constituent actuellement le segment dominant du marché mondial des produits surgelés, répondent aux modes de vie changeants et très actifs de nombreuses personnes, en particulier dans les zones urbaines. En outre, de nombreuses études montrent que les fruits et légumes surgelés ont des qualités nutritionnelles globalement équivalentes à celles des produits frais et contiennent souvent plus de vitamines que les produits frais conservés pendant plusieurs jours. [24, 25]

La consommation annuelle par habitant s'élève à environ 50 kg dans des pays comme les États-Unis, l'Irlande, le Royaume Uni, la Suède et l'Allemagne. [26]

De 219,9 milliards de dollars américains en 2018, le marché mondial des produits surgelés devrait progresser de près de 30% pour atteindre 282,5 milliards de dollars américains en 2023. [27]

LE CONDITIONNEMENT D'AIR

Le conditionnement d'air constitue une part essentielle du secteur du froid. Son utilisation augmente, tant pour le confort humain et la santé (voir page 9 *Le froid et la santé*) que pour les procédés industriels (technologies de l'information, biotechnologies, etc, voir page 10 *Le froid dans l'industrie et les secteurs du transport et de l'énergie*).

L'introduction et la progression des technologies du conditionnement d'air depuis 60 ou 70 ans ont permis à des régions chaudes et humides de se développer de manière remarquable sur le plan économique.

Plusieurs études indépendantes ont montré que les températures ambiantes élevées et la mauvaise qualité de l'air intérieur influent considérablement sur l'apprentissage cognitif des étudiants et sur la productivité des employés de bureau. [28, 29] Une étude réalisée sur plus de 10 millions d'élèves du secondaire aux États-Unis montre que, sans climatisation, chaque augmentation de 0,5 °C de la température durant l'année scolaire réduit de 1 % la quantité de notions apprises cette année-là. [30, 31]

Des températures ambiantes inadaptées ont un impact négatif sur l'efficacité au travail et, par voie de conséquence, sur l'économie.

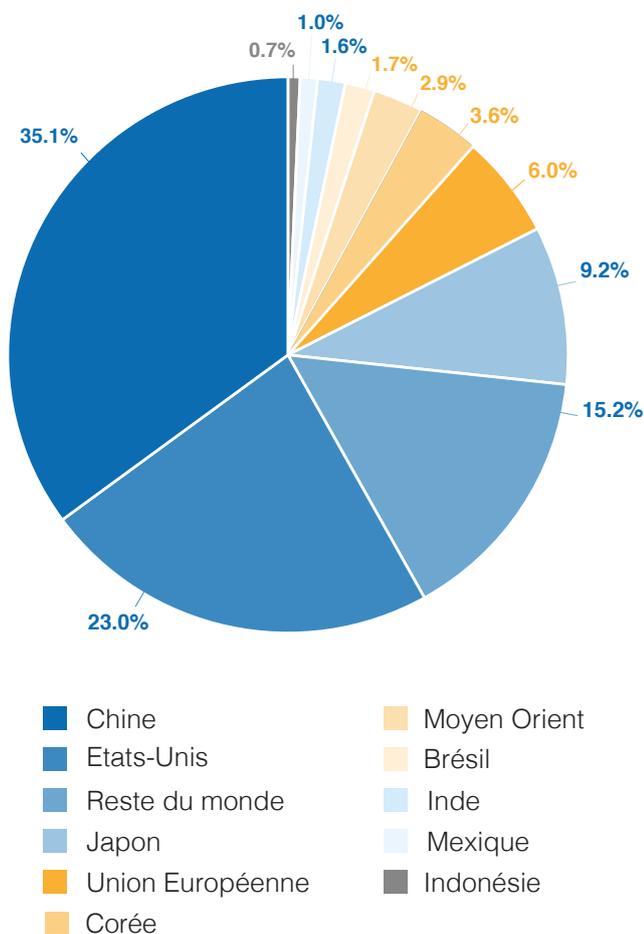
Au niveau mondial, l'Organisation Internationale du Travail souligne que, même dans un scénario d'atténuation efficace du changement climatique, l'augmentation de la température résultant du changement climatique entraînera la perte de l'équivalent de 72 millions d'emplois à temps plein d'ici 2030, en raison du stress thermique. Les pays en développement et les groupes de population les plus vulnérables - en particulier les migrants, les pauvres et les peuples indigènes et tribaux - sont les plus exposés à ces problématiques. [32]

Selon les estimations de l'IIF, le conditionnement d'air représente plus de 8 % de la consommation mondiale d'électricité. Ce pourcentage varie beaucoup d'un pays à un autre en fonction du climat du pays et de son niveau de développement. Le taux d'équipements en climatiseurs domestiques varie considérablement d'un pays à l'autre : environ 4 % en Inde et moins de 10 % en Europe, 60 % en Chine, plus de 90 % aux États-Unis et au Japon et près de 100 % dans quelques pays du Moyen-Orient. [7]

La climatisation se développe de manière spectaculaire, en particulier dans les économies émergentes, et cette tendance devrait s'intensifier puisque sur les 2,8 milliards de personnes vivant dans les régions les plus chaudes du monde, 8 % seulement disposent de climatiseurs. [7]

Figure 1

Parc de climatiseurs par pays / région fin 2016



Puissance totale = 11675 GW (1,6 Milliards d'unités) [7]

En outre, la climatisation devrait jouer un rôle croissant dans le contexte du changement climatique et de l'augmentation correspondante de la température ambiante. Selon le « Scénario de base » de l'AIE, qui prend en compte l'effet probable des politiques et objectifs actuels, les besoins mondiaux en énergie pour le refroidissement des locaux vont tripler d'ici 2050. [7] La majeure partie de cette croissance projetée de l'utilisation de l'énergie provient des économies émergentes, l'Inde, la Chine et l'Indonésie y contribuant à elles seules pour la moitié. [7]

Les émissions de CO₂ associées devraient presque doubler d'ici 2050. Des possibilités de freiner cette forte augmentation de la demande en énergie et des émissions de CO₂ existent cependant. L'AIE affirme que l'efficacité énergétique moyenne des

climatiseurs vendus aujourd'hui est équivalente à un tiers de l'efficacité des climatiseurs bénéficiant des meilleures technologies. Elle présente un « Scénario de refroidissement efficace » basé sur une action politique beaucoup plus forte, qui aboutit à des normes de performance énergétique minimale beaucoup plus strictes pour les équipements de conditionnement d'air et ce, dans tous les pays. La mise en œuvre de ces politiques permettrait de diviser par trois l'augmentation des besoins énergétiques du « scénario de base ». [7]

Ces chiffres mettent en évidence la nécessité impérative de prendre des mesures volontaristes en matière d'efficacité énergétique afin de garantir la durabilité du conditionnement d'air.

Le conditionnement d'air automobile progresse à un rythme comparable dans la mesure où presque tous les nouveaux véhicules vendus actuellement sont climatisés. Il y a actuellement environ 1 milliard de véhicules ou autobus climatisés en service dans le monde. [2]

LE FROID ET LA SANTÉ

Le froid a une incidence directe sur la santé grâce à la conservation des denrées alimentaires et des produits pharmaceutiques, mais aussi grâce aux nouvelles techniques thérapeutiques utilisant les basses températures.

Le froid empêche le développement de bactéries et de pathogènes toxiques et prévient ainsi les maladies d'origine alimentaire. Le froid limite fortement le recours à des conservateurs chimiques dans la nourriture. Selon une étude de l'OMS, depuis 1930, la conservation des denrées alimentaires rendue possible par la chaîne du froid a permis de réduire de 90 % le nombre de cas de cancers de l'estomac. [33]

Les produits de santé thermosensibles, conservés sous température contrôlée (en particulier entre +2 °C et +8 °C) connaissent un développement spectaculaire partout dans le monde. De 2011 à 2017, le nombre de produits de santé thermosensibles a augmenté de 45 % : 1 médicament sur 2 actuellement sur le marché est thermosensible. [34]

En ce qui concerne les vaccins, un exemple éduquant est le rôle joué par le froid dans l'éradication de la poliomyélite. En 2018, le nombre de cas de poliomyélite recensés dans le monde était de 33, soit plus de dix mille fois moins que les 350.000 cas recensés en 1988. [35]

La cryochirurgie est une technique facile d'utilisation, assez peu coûteuse et qui fait appel à des équipements relativement simples. La cryoablation est utilisée comme traitement clinique. Sa capacité à guérir par exemple le cancer de la peau a été démontrée avec un taux de réussite de 99 % chez les patients atteints. [36] Elle a également montré un taux de réussite de 99,4 % dans le traitement des femmes atteintes d'un cancer du sein à faible risque. [37]

La cryothérapie du corps entier consiste à exposer le patient à un froid extrême (-80 à -160 °C) pendant un court laps de temps (2 à 4 minutes) dans une chambre froide spécialisée. Des études préliminaires suggèrent que cette technique induit des avantages physiologiques et psychologiques importants. Encore peu connue il y a quelques années, cette thérapie suscite actuellement un vif intérêt.

La supraconductivité - un phénomène rendu possible par les technologies cryogéniques - est au cœur des scanners à imagerie par résonance magnétique (IRM), permettant de fournir aux médecins une vision sans précédent des structures internes du corps humain. La plupart des machines IRM utilisent des aimants supraconducteurs pour maintenir des champs magnétiques puissants et stables. L'imagerie à résonance magnétique a un large éventail d'applications dans le diagnostic médical et on estime qu'il y a plus de 50.000 scanners IRM en service dans le monde. [8]

Il convient enfin de souligner les bénéfices du conditionnement d'air pour la santé. Une étude suggère que l'impact sur la mortalité des jours où la température moyenne dépasse 27 °C a diminué d'environ 75 % au cours du XXe siècle aux États-Unis, la quasi-totalité de la baisse ayant eu lieu après 1960. L'apparition du conditionnement d'air résidentiel explique principalement cette baisse. [38]



© Pixabay

LE FROID DANS L'INDUSTRIE ET LES SECTEURS DU TRANSPORT ET DE L'ÉNERGIE

Le froid est indispensable à l'industrie agro-alimentaire (voir page 7 *Le froid et l'alimentation*), **l'industrie chimique, la plasturgie, la sidérurgie, le bâtiment... D'autres industries de pointe comme le traitement électronique des données ou les biotechnologies seraient inopérantes sans le froid.**

La séparation de l'air par distillation cryogénique est une technologie mature et le seul moyen actuellement possible et disponible pour la production de masse de composants de l'air tels que l'oxygène et l'azote. [39] La consommation d'oxygène à ultra-haute pureté par les industries sidérurgique, médicale et chimique s'élève à 1,2 million de tonnes par jour. [40]

Le froid a une influence majeure dans les secteurs de haute technologie, y compris les technologies de l'information. Alors que les centres de données représentent environ 2 % de la consommation mondiale d'électricité [41], 30 % à 55 % de cette consommation est utilisée pour refroidir les équipements informatiques. [42] Étant donné que la densité de puissance moyenne des centres de données devrait être multipliée par 8 d'ici 2025 [43], la mise en œuvre de technologies de refroidissement avancées performantes est essentielle.

De nouveaux secteurs liés à l'énergie se développent rapidement, en particulier la liquéfaction des gaz. Le commerce mondial de gaz naturel liquéfié (GNL) a plus que triplé depuis 2000, atteignant 316,5 millions de tonnes en 2018, c'est-à-dire 10,7 % de la consommation de gaz mondiale. [9] Le GNL représente près de 90 % de la croissance projetée des échanges gaziers longue distance à l'horizon 2040. [44] Le GNL commence à être utilisé comme carburant propre pour la propulsion des navires, en particulier en mer fermée (ferries de la Baltique). [45]

Bien que l'hydrogène liquide reste un carburant de choix pour la propulsion des fusées, il apparaîtra certainement dans la chaîne de distribution des moyens de transports plus conventionnels tels que les véhicules électriques alimentés par des piles à combustible.

Le Réacteur Thermonucléaire Expérimental International (ITER), actuellement en construction, est un système de confinement magnétique du plasma de grande dimension visant à démontrer la faisabilité de la fusion thermonucléaire pour la production d'électricité. Cette machine utilise de très gros aimants supraconducteurs refroidis à la température de l'hélium liquide et des cryopompes refroidies à l'azote liquide. [46]

LES POMPES À CHALEUR

Les pompes à chaleur sont des systèmes qui utilisent le cycle frigorifique à la fois pour chauffer et refroidir. Elles ont un rôle unique dans le système énergétique du futur. Aucune autre technologie ne peut fournir simultanément des économies d'énergie primaire, des bénéfices économiques pour les utilisateurs et une réduction de l'impact climatique.

En mode chauffage, elles sont très efficaces sur le plan énergétique puisque pour chaque kW électrique consommé, environ 3 à 4 kW d'énergie thermique est produit.

En Europe, les pompes à chaleur actuellement en fonctionnement permettent de réduire d'environ 1% les émissions mondiales de CO₂. [47] Selon l'AIE, près de 8 % des émissions mondiales sont potentiellement évitables grâce aux pompes à chaleur, en particulier dans le secteur du bâtiment. [48]

LE FROID ET LA SCIENCE

Le froid est au cœur des grands projets scientifiques de nature stratégique, essentiellement en tant que technique auxiliaire de la supraconductivité.

La résonance magnétique nucléaire (RMN) est une technique analytique puissante nécessitant des champs magnétiques élevés. Ces champs magnétiques sont produits par des aimants supraconducteurs refroidis par de l'hélium liquide parfois même superfluide. La RMN a trouvé plusieurs applications dans de nombreuses disciplines de la recherche scientifique, la médecine et diverses industries.

Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) - le plus grand et le plus puissant accélérateur de particules du monde - utilise un anneau de 27 kilomètres d'aimants supraconducteurs maintenus à -271,3 °C grâce à de l'hélium superfluide pour donner accès

aux hautes énergies nécessaires pour tester les théories fondamentales de la physique des particules. La découverte du boson de Higgs en juillet 2012 est le premier résultat majeur de la recherche associée au LHC. [49]

Le futur collisionneur circulaire (FCC), l'installation nouvelle génération actuellement à l'étude, est destiné à produire des champs magnétiques presque deux fois plus puissants que le LHC et à accélérer les particules jusqu'à des énergies sans précédent de l'ordre de 100 téra-électron-volts, environ 7 fois plus élevées que le LHC. [50]

SPORTS ET LOISIRS

Les patinoires (environ 17.000 dans le monde [51]), les pistes artificielles de ski, de bobsleigh, de luge et de skeleton sont de plus en plus populaires.

Les canons à neige, qui utilisent des technologies frigorifiques de pointe, sont de plus en plus utilisés car, avec la hausse des températures, la saison des chutes de neige s'est raccourcie, en particulier dans l'hémisphère nord. [51]

Références

- [1] SEfor ALL (Sustainable Energy for All), *Chilling Prospects: Providing Sustainable Cooling for All* [en ligne]. Vienne, Autriche: SEforALL, 2018, 72 p. Disponible sur : <https://www.seforall.org/sites/default/files/SEforALL_CoolingForAll-Report.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [2] UNO Environment, *2018 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee* [en ligne]. Assessment 2018, Nairobi, Kenya: Ozone Secretariat, UNEP, 2019, 300p. Disponible sur : <<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap> (RTOC Assessment report 2018)> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [3] UNEP, *2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee* [en ligne]. Assessment 2010, Nairobi, Kenya: Ozone Secretariat UNEP, 2011, 243p. Disponible sur : <<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap> (RTOC Assessment report 2010)> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [4] IIF, CAVALIER G., TASSOU S. Le transport frigorifique routier durable 21^e Note d'information sur les technologies du froid. Décembre 2011 [en ligne]. Disponible sur : <http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_21_FR.pdf> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [5] LAWTON R. How Refrigerated Containers Work, *Reference Module in Food Science* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965031590>> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [6] SALIN V. GCCA, 2018 *Global Cold Storage Capacity Report* [en ligne]. CGCA, 2018, 26p. Disponible sur : <<https://www.gcca.org/sites/default/files/2018%20GCCA%20Cold%20Storage%20Capacity%20Report%20final.pdf>> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [7] IEA, *The Future of Cooling, Opportunities for energy-efficient air conditioning* [en ligne]. Paris, France: IEA, 2018, 92p. Disponible sur : <<https://www.iea.org/futureofcooling/>> (Consulté le 19/06/2019)
- [8] RINCK P. A. Chapter Twenty –One Facts and figures In: *Magnetic Resonance in medicine: a critical introduction* [en ligne]. Allemagne: EMRF, TRTF, 2018, 432p. ISBN 978-3-7460-9518-9 Disponible sur : <<https://www.magnetic-resonance.org/ch/21-01.html>> (Consulté le 19/06/2019)
- [9] IGU, *2019 World LNG Report* [en ligne]. Barcelone, Espagne: IGU 2019, 66p. Disponible sur : <<https://www.igu.org/publication/302341/31>> (Consulté le 19/06/2019)
- [10] HALOZAN H., RIEBERER R., Energy-efficient heating and cooling systems for buildings. *Bulletin de l'IIF* [en ligne]. 2004, Vol.84, n°6, 8p. Disponible sur : <www.iifir.org/clientBookline/service/reference.asp?INSTANCE=exploitation&OUTPUT=PORTAL&DOCID=_1_IFD_REFDOC_2005-0975&DOCBASE=IFD_REFDOC_EN&SETLANGUAGE=EN> + estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [11] STATISTA. Countries by number of ice hockey rinks in 2017/18 In: *Statista* [en ligne]. (2018) Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/282353/countries-by-number-of-ice-hockey-rinks/>> (Consulté le 19/06/2019)
- [12] IIF, *Refrigeration drives sustainable development* [en ligne]. Paris, France, 2007, 18p. Disponible sur : <http://www.iifir.org/medias/medias.aspx?INSTANCE=exploitation&PORTAL_ID=portal_model_instance__News_dossiers_thematiques_en.xml&SYNCMENU=DOS-SIER_THEMATIQUE&SETLANGUAGE=EN> + Estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [13] FMI, Supermarket Facts. In: *FMI The voice of food retail* [en ligne]. (2017) Disponible sur : <<https://www.fmi.org/our-research/supermarket-facts>> (Consulté le 19/06/2019)
- [14] BRODRIBB P., Mc CANN M. *Cold Hard Facts 3* [en ligne]. Brighton, Australie: Australian Department of the Environment and Energy, 2018, 202p. Disponible sur : <<http://www.environment.gov.au/system/files/resources/bd7fa5d0-8da1-4951-bd01-e012e368d5d0/files/cold-hard-facts3.pdf>> (Consulté le 19/06/2019)
- [15] US Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of labor. Heating, Air Conditioning, and Refrigeration Mechanics and Installers. In: *Occupational Outlook Handbook* [en ligne]. (2019) Disponible sur : <<https://www.bls.gov/ooh/installation-maintenance-and-repair/heating-air-conditioning-and-refrigeration-mechanics-and-installers.htm>> (Consulté le 19/06/2019)
- [16] IIF, COULOMB D., DUPONT J-L. et al. L'impact du secteur du froid sur le changement climatique, 35^e Note d'information de l'IIF sur les technologies du froid. Novembre 2017 [en ligne]. Disponible sur : <http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_35_EN_uz7bwths.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [17] ICICI direct. Gati Ltd (GATCOR). In: *ICICI direct.com, Investments on Your Fingertips* [en ligne]. (2016) Disponible sur : <http://content.icidirect.com/mailimages/IDirect_Gati_Q3FY16.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [18] IIF, Le rôle du froid dans l'alimentation mondiale, 5^e Note d'Information de l'IIF sur le froid et l'alimentation. Juin 2009. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteFood_05_EN.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [19] FAO, *The future of food and agriculture Alternative pathways to 2050. summary version* [en ligne]. Rome, Italie: FAO, 2018, 64p. Disponible sur : <<http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>> (Consulté le 19/06/2019)
- [20] IIF, LAZZARIN R., GE Y., et al. Les progrès du froid dans les supermarchés, 37^e Note d'information de l'IIF sur les technologies du froid, Mars 2018. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.iifir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_37_FR_fs2zoer9.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [21] TASSOU S.A., GE Y.T., et al. Energy consumption and conservation in food retailing. *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol.31, n°2-3, p.147-156, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.08.023 Disponible sur : <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00692330/document>> (Consulté le 19/06/2019)
- [22] APEC Energy Working Group. *Refrigerator/Freezer Energy Efficiency Improvement in the APEC Region: Review of Experience and Best Practices* [en ligne]. Taipei, Chine: APEC, 2018, 96p. Disponible sur : <<https://www.apec.org/Publications/2018/12/Refrigerator-Freezer-Energy-Efficiency-Improvement-in-the-APEC-Region>> (Consulté le 19/06/2019)
- [23] ResearchandMarkets. Global Refrigerated Transportation Market 2018-2022. In: *Research and Markets, the world's largest market research store* [en ligne]. (2018) Disponible sur : <<https://www.researchandmarkets.com/reports/4622182/global-refrigerated-transportation-market-2018>> (Consulté le 19/06/2019)
- [24] LI L. RONALD B. et al. Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017, Vol.59, p.8-17 Disponible sur : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157517300418>> (Consulté le 19/06/2019)
- [25] FAVELL D. J. A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry*. 1998, Vol. 62, Issue 1, p.59-64. Disponible sur : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814697001659>> (Consulté le 19/06/2019) [en ligne]
- [26] Quick Frozen Food International, Figuring out frozen food growth rates in Europe. In: *www.IIFIR.org* [en ligne]. (2012). Disponible sur : <> + Estimations IIF (Consulté le 19/06/2019)
- [27] MARKETSandMARKETS. Frozen Food Market by Product (Fruits & Vegetables, Dairy, Meat & Seafood) Type (Raw Material, Half Cooked), Consumption, Distribution Channel, and Region (North America, Europe, Asia Pacific, South America, and MEA) - Global Forecast to 2023 In: *Markets and Markets* [en ligne]. (2018) Disponible sur : <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/global-frozen-and-convenience-food-market-advanced-technologies-and-global-market-130.html>> (Consulté le 19/06/2019)

- [1] SEPPÄNEN O., FISK W. J., et al. Berkeley National Laboratory, *Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment* [en ligne]. Berkeley, États-Unis: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006, 11p. Disponible sur : <<https://indoor.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-60946.pdf>> (Consulté le 19/06/2019)
- [2] KOSONEN R., TAN F. The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. *Energy and Buildings*. 2004, Vol.36, p.981-986. Disponible sur : <http://www.halton.com/dh/BQA6fsW31kborn6yUg-dKB Nvx0mHXmac1st5mkKo0WKyJcN3DhBnxJenwibP7_zBqeKH-8HdkCSP2Sc73yYqms06shclXBaZGm2gBXYEujHGJKfb0cn2r-grnW_HOPrnUJxYaSZY3NwDpKJSNYSR_-1aj2mCwJtux2dti88CE/The_effect_of_perceived_indoor_air_quality_on_productivity_loss.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [3] HARPER A. Rising temperatures linked to wider achievement gap, lower academic performance. In: *EDUCATIONDIVE* [en ligne]. (2019) Disponible sur : <<https://www.educationdive.com/news/rising-temperatures-linked-to-wider-achievement-gap-lower-academic-perform/550586/>> (Consulté le 19/06/2019)
- [4] GOODMAN J., HURWITZ M. et al. *Heat and learning* [en ligne]. Working Paper n°24639. Cambridge, États-Unis: National Bureau of Economic Research, 2018, 53p. Disponible sur : <<http://scholar.harvard.edu/files/joshuagoodman/files/w24639.pdf>> (Consulté le 19/06/2019)
- [5] ILO, *Greening with jobs - World Employment Social Outlook 2018*. [en ligne]. Geneva, Suisse: ILO, 2018, 189p. Disponible sur : <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/--publ/documents/publication/wcms_628654.pdf> (Consulté le 19/06/2019)
- [6] BOYLE P., LEVIN B. *World Cancer Report 2008* [en ligne]. Suisse: WHO, 2008, 512p. Disponible sur : <https://www.who.int/cancer/publications/world_cancer_report2008/en/> (Consulté le 19/06/2019)
- [7] SOFRIGAM. Cold chain of healthcare products: logistics with significant challenges. In: *sofrigam* [en ligne]. (2017) Disponible sur : <<http://www.sofrigam.com/cold-chain-healthcare-products-logistics-significant-challenges>> (Consulté le 19/06/2019)
- [8] WHO, Poliomyelitis. In: *World Health Organisation* [en ligne]. (2019) Disponible sur : <<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/poliomyelitis>> (Consulté le 19/06/2019)
- [9] BAUST J.G., GAGE A.A. et al. Mechanisms of cryoablation: Clinical consequences on malignant tumors, *Cryobiology*, 2014, Vol.68, Issue 1, p.1-11 Disponible sur : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011224013003969>> (Consulté le 19/06/2019)
- [10] Radiological Society of North America. Cryoablation shows promise in treating low-risk breast cancers. In: *ScienceDaily* [en ligne]. (2018). Disponible sur : <www.sciencedaily.com/releases/2018/11/181128082721.htm> (Consulté le 19/06/2019)
- [11] BARRECA A.I., CLAY K., et al. Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the U.S. Temperature-Mortality Relationship Over the 20th Century. *Journal of Political Economy*, Forthcoming [en ligne]. 2012, 65p. Disponible sur : <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2192245> (Consulté le 19/06/2019)
- [12] University of Pretoria, Cryogenic air separation In: *Electrical, Electronic and Computer Engineering* [en ligne]. Pretoria, Afrique du Sud: University of Pretoria, p.5-18 Disponible sur : <<https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/25037/02chapter2.pdf?sequence=3>> (Consulté le 19/06/2019)
- [13] Dorris C. C. et al., High-Purity Oxygen Production Using Mixed Ionic-Electronic Conducting Sorbents University of Pennsylvania, 4-2016, Disponible sur : <https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1080&context=cbe_sdr> (Consulté le 19/06/2019) [en ligne]
- [14] PURKAYASTHA I. Optimizing Data Center Consumption. In: *International Conference on Emerging Technologies for Sustainable and Intelligent HVAC&R Systems*, July 27-28, 2018, Kolkata. Inde: The Institution of Engineers, 2018, 3p. Disponible sur : <http://www.iifir.org/clientBookline/service/reference.asp?INSTANCE=EXPLOITATION&OUTPUT=PORTAL&DOCID=IFD_REFDOC_0024958&DOCBASE=IFD_REFDOC&SETLANGUAGE=FR> (Consulté le 19/06/2019)
- [15] ZHANG X., LINDBERG T., et al. Cooling Energy Consumption Investigation of Data Center IT Room with Vertical Placed Server, *Energy Procedia*, 2017, Vol. 105, p.2047-2052. Disponible sur : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217306331>> (Consulté le 19/06/2019)
- [16] VERGE J. What will the Data Center of 2025 Look Like In: *Data Center Knowledge* [en ligne]. (2014) Disponible sur : <<https://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/04/29/will-data-center-2025-look-like>> (Consulté le 19/06/2019)
- [17] IEA, World Energy Outlook 2017. In: *International Energy Agency* [en ligne]. (2017) Disponible sur : <<https://www.iea.org/weo2017/>> (Consulté le 19/06/2019)
- [18] IIF, Cruise ships and liquefied natural gas. In: *www.iifir.org* [en ligne] (2018) Disponible sur : <http://www.iifir.org/clientBookline/service/reference.asp?INSTANCE=EXPLOITATION&OUTPUT=PORTAL&DOCID=IFD_REFDOC_0022614&DOCBASE=IFD_REFDOC_EN&SETLANGUAGE=EN> (Consulté le 19/06/2019)
- [19] ITER. Magnets In: *ITER* [en ligne]. (2018) Disponible sur : <<https://www.iter.org/fr/mach/magnets>> (Consulté le 19/06/2019)
- [20] EHPA, *European Heat Pump Market and Statistics – Report 2018* [en ligne]. Bruxelles, Belgique: EHPA, 2018 Disponible sur : <<https://www.ehpa.org/market-data/market-report/>> (Consulté le 19/06/2019)
- [21] IEA Heat Pump Programme. *Heat pumps can cut global CO₂ emissions by nearly 8%* [en ligne]. Borås, Suède: Heat Pump Programme, 8p. Disponible sur : <<http://www.mzansisolar.co.za/downloads/heat-pumps/Swedish-Institute-HP.pdf>> (Consulté le 19/06/2019)
- [22] CERN, The Large Hadron Collider. In: *CERN Accelerating science* [en ligne]. Disponible sur : <<http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>> (Consulté le 19/06/2019)
- [23] HAMPSON M. Designing Magnets for the World's Largest Particle Collider. In: *IEEE Spectrum* [en ligne] (2019) Disponible sur : <<https://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/astrophysics/designing-magnets-for-the-worlds-largest-particle-collider>> (Consulté le 19/06/2019)
- [24] The Economist, Snow-making companies in a warming world. In: *The Economist* [en ligne] (2017) Disponible sur : <<https://www.economist.com/business/2017/02/09/snow-making-companies-in-a-warming-world>> (Consulté le 19/06/2019)

Recommandations de l'IIF

Compte-tenu des enjeux en matière de sécurité alimentaire, de santé, d'énergie et d'environnement, il est clair que le froid est essentiel pour l'humanité et doit devenir une priorité des gouvernements dans les domaines de l'industrie, de l'enseignement et de la recherche.

Il est nécessaire de développer les formations en froid et les qualifications des personnels, mais aussi d'orienter davantage de jeunes vers ces métiers d'avenir qui offrent de très bonnes perspectives sur le long terme.

Un effort particulier doit être mené afin d'aider les pays en développement à se doter de capacités frigorifiques suffisantes pour assurer la sécurité alimentaire et la santé humaine. Des investissements en infrastructures sont nécessaires pour mettre en œuvre les équipements adaptés.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des installations frigorifiques est une question clé et doit rester une préoccupation constante pour l'industrie du froid. Cela passe par la poursuite des travaux de recherche et développement dans des technologies frigorifiques innovantes et efficaces ainsi que dans des sources d'énergie renouvelables (solaire, éolien, géothermie, biogaz, etc.) offrant des alternatives judicieuses au réseau électrique pour faire fonctionner les installations frigorifiques. Cela implique également la généralisation des mesures visant à encourager les consommateurs à acheter des équipements frigorifiques de plus en plus efficaces.

Il faut réduire les émissions de frigorigènes à Potentiel de Réchauffement Planétaire (GWP) élevé qui équipent actuellement la majorité des équipements de froid y compris le conditionnement d'air par la limitation des fuites, la diminution des charges, la récupération en fin de vie des équipements et l'utilisation de frigorigènes, naturels ou synthétiques, à faible GWP.

Les activités de recherche et développement liées au froid doivent être davantage stimulées et encouragées par les autorités nationales et internationales, les organismes de financement et les industries publiques et privées afin d'améliorer la santé, le bien-être et la durabilité énergétique et environnementale dans le monde.



IIFIR.ORG

in |  |  | 

iif-iir@iifir.org

177, boulevard Malesherbes - 75017 Paris - France
Tel. +33 (0)1 42 27 32 00 / Fax +33 (0)1 47 63 17 98

Copyright © 2019 IIR/IIF All rights reserved/Tous droits réservés