



CLÉS POUR AGIR

LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE DANS LE FROID INDUSTRIEL

— LE GUIDE



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



Association Française du Froid

REMERCIEMENTS

Auteurs de la présente édition du guide, *La maîtrise de l'énergie dans le froid industriel* :

Marie-France Terrier, ingénieur frigoriste, ingénieur de recherche au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM), responsable technique du laboratoire de l'Institut français du froid industriel (IFFI)

Philippe Haberschill, ingénieur frigoriste, chercheur et maître de conférences à l'Institut national des sciences appliquées (INSA) de Lyon

Gérald Cavalier, président de l'AFF, polytechnicien et diplômé de l'Engref, président du groupe Tecnea Cemafrroid

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01


Coordination technique : Hélène Riviere-Kaluc,
Service Entreprises et Dynamiques Industrielles
Direction Productions et Energies Durables, ADEME

Suivi d'édition : Jeanne Tilly, Service Communication et
Formation des Professionnels, Direction de la Communication
et de la Formation, ADEME

Rédacteurs : Marie-France Terrier, Philippe Haberschill,
Gérald Cavalier

Crédits photos : M. Chevalier© / ADEME / Fotolia

Création graphique : Nyl Communication

Impression : Imprimé en France, Imprimerie Poisneuf,  Papier Igloo silk certifié ecolabel européen et FSC

Brochure réf. 8857

ISBN : 979-10-297-0624-0 - septembre 2017 - 1 000 exemplaires

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, septembre 2017

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L. 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L. 122-10 à L. 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Comité de lecture :

Jean-Pierre Domblides, maître de conférences au Laboratoire du froid du CNAM

Pascal Desnos, directeur technique chez Clauger

Alain Pousse, ingénieur frigoriste chez STEF

Jean-Yves Thonnellier, ingénieur INSA

Martine Geslin, rédactrice en chef de la *Revue générale du froid*

Sandrine Lacombe, chargée de valorisation, service Entreprises et Dynamiques industrielles, ADEME

Hélène Riviere-Kaluc, ingénieur énergie, service Entreprises et Dynamiques industrielles, ADEME

Olivier Benoît, ingénieur, service Produits et Efficacité matière, ADEME

Auteurs du guide ADEME-AFF de 1999, *Le froid efficace dans l'industrie*

Maxime Duminiil, vice-président de l'AFF et professeur à l'École centrale de Paris

Denis Clodic, professeur à l'École des mines

Comité de lecture : Michel Barth, président de l'AFF ; Roger Gueguen, membre de l'AFF, de Matal ; Laurent Legin, membre de l'AFF, de Nestlé ; Étienne Merlin de l'ADEME et Georges Vrinat, membre de l'AFF, consultant.

L'ADEME remercie **le laboratoire d'essais du Cemafrroid** à Fresnes pour l'autorisation de prise de vues et la diffusion dans ce guide.

LÉGENDE



INFO JURIDIQUE
RÉGLEMENTATION



EXPLICATION
SCIENTIFIQUE



EN SAVOIR +



ACTION À METTRE
EN ŒUVRE



ASPECT
ÉCONOMIQUE

Des pictogrammes jalonnent le texte pour attirer l'attention du lecteur sur certains aspects.

- “**Info juridique / Réglementation**” indique quand des informations à caractère réglementaire et juridique sont présentes.
- “**Explication scientifique**” met en avant un contenu plus théorique, des explications scientifiques.
- “**En savoir +**” donne des informations complémentaires pour approfondir un sujet.
- “**Action à mettre en œuvre**” précise une préconisation d'actions à mettre en œuvre et/ou des bonnes pratiques.
- “**Aspect économique**” souligne les considérations économiques : éléments ayant trait à la rentabilité des actions et aux coûts.



TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION

8 Introduction à l'ouvrage

2 PRÉSENTATION DU SECTEUR ET DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

- 14 2.1 Cent cinquante ans d'innovation dans la production frigorifique
- 15 2.2 Le froid, un enjeu économique de premier ordre
- 16 2.3 Le froid, un enjeu social majeur
 - 16 2.3.1 Le froid, employeur de premier ordre
 - 16 2.3.2 Le froid, facteur de bien-être des populations
 - 16 2.3.3 Le froid garant de la sécurité alimentaire et sanitaire
 - 17 2.3.4 Le froid indispensable dans le secteur de la santé
 - 18 2.3.5 Le froid dans l'industrie
 - 18 2.3.6 Les autres applications du froid
- 18 2.4 Le froid, un enjeu environnemental indéniable
 - 18 2.4.1 L'impact environnement direct de la réfrigération
 - 19 2.4.2 L'impact environnemental indirect

3 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ET NORMATIF

- 25 3.1 Réglementation relative aux substances appauvrissant la couche d'ozone
- 26 3.2 Réglementation relative à l'impact sur l'effet de serre
- 28 3.3 Réglementation relative aux équipements sous pression (DESP)
 - 29 3.3.1 Dispositions principales pour les installations neuves
 - 30 3.3.2 Contrôle des installations en service
- 31 3.4 Réglementation relative aux atmosphères explosibles (ATEX)
- 31 3.5 Emballage étiquetage FDS (fiche de données de sécurité)
- 32 3.6 Réglementation relative aux installations classées pour l'environnement (ICPE)
 - 32 3.6.1 Rubrique 4735 annulant et remplaçant la rubrique 1136B : utilisation de l'ammoniac
 - 34 3.6.2 Autres rubriques concernant les installations frigorifiques
- 35 3.7 Réglementation relative aux établissements recevant du public (ERP)
- 35 3.8 Réglementations transversales
- 35 3.9 Normes applicables aux installations frigorifiques
 - 36 3.9.1 EN 378-1 à 378-4 : Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement
 - 36 3.9.2 Normes ASHRAE 34 et ISO 817
- 37 3.10 Évolutions probables
- 38 Synthèse

4 CONCEPTION DES SYSTÈMES FRIGORIFIQUES PERFORMANTS

- 42 4.1 Besoin de froid et de chaleur dans les procédés industriels
 - 42 4.1.1 Définition des besoins de froid
 - 44 4.1.2 Besoins thermiques et possibilités de récupération de chaleur sur la machine frigorifique
 - 46 4.1.3 Présentation des besoins de froid et de chaleur dans le cahier des charges
- 47 4.2 Comment produire du froid dans les procédés industriels ?
 - 47 4.2.1 Qu'est-ce que produire du froid ?
 - 47 4.2.2 Comment produire du froid ?
 - 49 4.2.3 Systèmes à compression mécanique de vapeur
 - 59 4.2.4 Systèmes à sorption
 - 61 4.2.5 Démarche générale pour la conception de systèmes frigorifiques
- 62 4.3 Les fluides frigorigènes
 - 62 4.3.1 Rappel historique
 - 63 4.3.2 Critères de choix d'un fluide frigorigène
 - 66 4.3.3 Fluides de synthèse : HFC, HFO
 - 67 4.3.4 Fluides naturels
 - 67 4.3.5 Mélanges de fluides frigorigènes
 - 68 4.3.6 Fluides frigorigènes et huiles frigorigènes
- 72 4.4 Structure des installations frigorifiques – principaux composants
 - 72 4.4.1 Compresseurs
 - 75 4.4.2 Condenseurs (cycles subcritiques)
 - 82 4.4.3 Refroidisseurs de gaz (cycles transcritiques)
 - 82 4.4.4 Évaporateurs
 - 85 4.4.5 Détendeurs
 - 86 4.4.6 Conduites et auxiliaires
 - 86 4.4.7 Auxiliaires
- 87 4.5 Refroidissement direct/indirect
 - 87 4.5.1 Refroidissement direct
 - 87 4.5.2 Refroidissement indirect
 - 90 4.5.3 Critères de choix
- 98 4.6 Refroidissement industriel : tours aéroréfrigérantes
 - 98 4.6.1 Tours à circuit ouvert
 - 99 4.6.2 Tours à circuit fermé
- 100 4.7 Conception économe en énergie
 - 100 4.7.1 Incidence du fluide frigorigène sur la consommation d'énergie et le prix des composants
 - 102 4.7.2 Intérêt et gestion du sous-refroidissement
 - 104 4.7.3 Choix mono-étagé, bi-étagé ou cascade
 - 104 4.7.4 Adaptation de la puissance frigorifique aux besoins
 - 108 4.7.5 HP flottante
 - 108 4.7.6 BP flottante
 - 109 4.7.7 Récupération de chaleur
 - 110 4.7.8 Stockage de froid et/ou de chaleur
 - 110 4.7.9 Échangeurs de chaleur performants
 - 110 4.7.10 Pertes de charge limitées
 - 110 4.7.11 Mise en place d'un système de gestion centralisée et d'aide à la maintenance
- 111 Synthèse

5 ▲ EXPLOITATION DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

- 116 5.1 Indicateurs de performance et outils de mesure et d'analyse**
- 118 5.1.1 Conditions de fonctionnement
- 118 5.1.2 Paramètres évalués : puissances et énergies
- 119 5.1.3 Définitions de différents paramètres évalués pour le COP (ou l'EER)
- 120 5.2 Variation des besoins et adaptation de la puissance frigorifique**
- 120 5.2.1 Modes de réglage de la puissance frigorifique
- 120 5.2.2 Influence des seuils de réglage des thermostats et pressostats de régulation
- 121 5.2.3 Variation de vitesse des machines tournantes
- 123 5.2.4 Stockage de froid
- 124 5.3 Gestion des fluides de l'installation**
- 124 5.3.1 Fluides frigorigènes
- 127 5.3.2 Huiles frigorigères
- 128 5.3.3 Eaux de refroidissement
- 129 5.3.4 Fluides frigoporteurs
- 130 5.4 Exploitation des échangeurs thermiques et des auxiliaires**
- 130 5.4.1 Évaporateurs
- 133 5.4.2 Condenseurs
- 134 5.4.3 Auxiliaires
- 134 5.5 Supervision et gestion technique centralisée**
- 135 5.5.1 Rôles de la GTC
- 135 5.5.2 Paramètres importants
- 137 5.6 Exploitation des enceintes froides**
- 138 Synthèse**

6 ▲ MAINTENANCE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

- 142 6.1 Les différents types de maintenance**
- 143 6.2 Contrôle des surfaces d'échange**
- 143 6.2.1 Types d'encrassement
- 145 6.2.2 Modes de nettoyage et choix du moment de nettoyage
- 146 6.2.3 Paramètres physiques permettant de limiter la tendance à l'encrassement
- 147 6.3 Contrôle de la qualité des fluides**
- 147 6.3.1 Fluides frigorigènes
- 148 6.3.2 Huiles frigorigères
- 149 6.3.3 L'eau
- 150 6.3.4 Les frigoporteurs
- 151 6.4 Maintenance et récupération du fluide frigorigène**
- 151 6.4.1 Rappel : obligations réglementaires
- 152 6.4.2 Recyclage, régénération
- 152 6.4.3 Matériel nécessaire pour une opération de récupération
- 153 6.4.4 Performances des matériels de récupération
- 153 6.4.5 Documents et précautions particulières
- 153 6.5 Contrôle d'étanchéité et méthodes de contrôle**
- 154 6.5.1 Choix des détecteurs de fluide
- 155 6.5.2 Méthodes de contrôle
- 156 6.5.3 Fiches de contrôle
- 156 6.6 Contrôle des installations frigorifiques**
- 156 6.6.1 Chambres froides
- 158 6.6.2 Machines frigorifiques
- 159 Synthèse**

7 ▲ ABRÉVIATIONS ET ORGANISMES

162

8 ▲ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

163

9 ▲ INDEX

166





1 / INTRODUCTION



1

INTRODUCTION

Ferdinand CARRÉ

« OUTRE LA FABRICATION DE LA GLACE,
LA PRODUCTION FACILE ET ÉCONOMIQUE
DU FROID PEUT DONNER LIEU
À D'IMPORTANTES APPLICATIONS
HYGIÉNIQUES ET INDUSTRIELLES »

Discours sur le froid et ses applications devant
l'Académie des sciences le 17 décembre 1860

Histoire du froid

Le froid artificiel occupe une place majeure dans notre société. Force est de constater qu'il n'est pas et qu'il ne sera pas de société moderne sans équipements frigorifiques. Recherche et innovation, transport et logistique, agriculture et industries agro-alimentaires, établissements de santé, laboratoires pharmaceutiques, commerces, logements, aéronautique et spatial, énergie, industries... Le froid est omniprésent dans nos activités, et l'industrie, grosse utilisatrice de froid, n'échappe pas à cette règle.

Apparu au milieu du XIX^e siècle, le froid artificiel a connu un essor rapide et continu auquel les frigoristes et industriels français ont apporté une contribution majeure. Depuis les brevets de Charles Tellier pour la machine à compression à ammoniac en 1859 et de Ferdinand Carré pour la machine à sorption à ammoniac la même année, nos industries utilisent des machines frigorifiques. Les brasseries ont été parmi les premières utilisatrices, mais Tellier, Carré, Fixary et les autres, que nous ne pourrions tous citer malheureusement, ont également très vite équipé les industries agro-alimentaires, les mines, l'industrie chimique...

La production de froid a beaucoup évolué en cent cinquante ans. La machine à compression de vapeur a pris le dessus sur les autres technologies de production de froid, devenant omniprésente. Les fluides frigorigènes utilisés dans ces machines ont également évolué avec l'apparition dans les années 1930 des fluides de synthèse qui ont peu à peu remplacé la plupart des fluides dits « naturels » : les chlorofluorocarbures (CFC) dans un premier temps, puis les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et enfin les hydrofluorocarbures (HFC) et, leur dernière évolution, les hydrofluorooléfines (HFO). L'impact sur la couche d'ozone dans un premier temps, puis sur l'effet de serre dans un deuxième temps, a conduit à l'interdiction progressive de ces molécules à travers les protocoles de Montréal et de Kyoto signés sous l'égide des Nations unies.

Depuis plus de trente ans, l'industrie du froid a opéré d'importants changements avec le remplacement consécutif de trois générations de fluides frigorigènes. Mais ce travail n'est pas terminé. Le monde du froid doit et devra dans les prochaines années relever de nombreux défis environnementaux et concilier le développement de son utilisation et la réduction de ses impacts sur l'environnement. L'avenir du froid dépend de sa capacité à s'adapter aux exigences d'un environnement durable. Le froid devra être moins gourmand en énergie, plus efficace énergétiquement, plus respectueux de l'environnement, économiquement, socialement et environnementalement.

Si les propos prononcés en 1860 devant l'Académie des sciences par Ferdinand Carré, considéré par le professeur Planck de « plus grand génie frigoriste français », restent totalement d'actualité, ceux de Maurice Leblanc lors du Congrès international du froid de Toulouse en 1912 et dans la *Revue Générale du Froid* en 1922, pourraient le redevenir et en tout cas illustrent les défis que doivent relever les industriels utilisateurs de froid et ceux qui le produisent : « Il y aurait grand intérêt à employer l'air comme agent frigorifique, au lieu de corps chimiques dont la plupart sont nocifs pour l'homme, les matériaux et les denrées, coûteux et d'un maniement difficile. Or jusqu'ici, on n'a pu le faire sans augmenter le prix des installations et diminuer leur rendement. »

Défi de l'environnement

Pour relever le défi de l'environnement et plus particulièrement des performances énergétiques, les acteurs du froid, les pouvoirs publics et les citoyens doivent connaître et comprendre les enjeux et les solutions techniques et scientifiques disponibles et envisageables. L'Association française du

froid (AFF), association loi 1901 reconnue d'utilité publique, réunit depuis 1908 les acteurs de la filière du froid pour rassembler, partager échanger et diffuser les connaissances scientifiques et techniques sur le froid au plus grand nombre. L'association a donc un rôle-clé à jouer dans les prochaines années au sein de notre communauté des producteurs de froid et de ses utilisateurs au niveau national, européen et international. C'est aussi le cas de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). L'AFF et l'ADEME ont tissé un partenariat depuis de nombreuses années pour rendre le froid plus efficace, plus performant et plus durable.

Actions communes de l'AFF et de l'ADEME

Parmi les actions, la publication de guides techniques de référence constitue un pilier. Le guide pratique AFF-ADEME : *Le froid efficace dans l'industrie*, publié en 1999 est l'un des produits majeurs de cette coopération entre nos deux institutions.

Depuis cette première édition il y a dix-huit ans, la production et l'utilisation du froid dans l'industrie ont bien changé. Le cadre réglementaire et normatif est radicalement différent, les solutions techniques ont évolué, les pratiques se sont renouvelées. Il devenait indispensable de réviser ce document.

Le froid dans l'industrie, c'est avant tout, des acteurs : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, installateurs, opérateurs, prestataires de maintenance, bureaux de contrôle, organismes d'inspection... Le bon fonctionnement du froid passe par leur bonne coordination, mais aussi par la répartition claire des missions et des responsabilités de chacun.



Pour maîtriser le froid dans l'industrie, il est important de connaître les enjeux pour l'entreprise et plus largement pour la collectivité. La deuxième partie rappelle le contexte économique, social et environnemental du froid dans le monde et en France, de son poids et de son impact. Elle s'attache plus particulièrement au volet industriel.

multiples réglementations

La troisième partie du guide traite du corpus réglementaire et normatif applicable au froid dans l'industrie. Il a beaucoup évolué depuis vingt ans et plus particulièrement ces dernières années. Des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), aux équipements sous pression, de la couche d'ozone à l'effet de serre, des fluides inflammables et explosifs au risque d'intoxication à l'ammoniac ou au dioxyde de carbone, de l'éco-conception aux certificats d'économie d'énergie et des établissements recevant du public au traitement des déchets, le froid est concerné par de multiples réglementations. De nombreuses normes complètent ces textes réglementaires. L'entrée en vigueur du règlement européen sur les fluides fluorés en 2015, l'amendement de Kigali au protocole de Montréal signé fin 2016, la nouvelle version de la norme NF EN 378 parue début 2017 ne sont que quelques exemples des évolutions récentes du cadre réglementaire et normatif du froid dans l'industrie. Il était indispensable de le mettre à jour.

Ce contexte rappelé, le guide peut s'intéresser aux performances, et en particulier, à l'efficacité des installations frigorifiques industrielles, de leur conception, qui commence dès

l'évaluation des besoins en froid et en chaud, à leur exploitation. Ainsi, la quatrième partie traite des solutions de production de froid et des différentes technologies disponibles. Elle commence bien entendu par la plus répandue avec la compression de vapeur mais aborde aussi les autres technologies au premier rang desquelles les systèmes à sorption. Pour la majeure partie des solutions techniques disponibles, les fluides frigorigènes ou frigoporteurs jouent un rôle majeur et sont analysés en détail ainsi que leurs performances environnementales et énergétiques suivant les applications et les conditions d'utilisation. Le remplacement d'un certain nombre d'entre eux constitue l'un des plus importants défis des industriels dans les années à venir. Cette partie s'intéresse ensuite logiquement aux différents composants d'un circuit frigorifique et à leur rôle dans la production du froid et son efficacité. Elle décrit les modes de fonctionnement des installations permettant d'optimiser leurs performances de la haute et basse pression flottantes à la récupération de chaleur en passant par le stockage ou les échangeurs à hautes performances.

Bien conçue suivant les recommandations de cette quatrième partie, notre installation frigorifique industrielle ne pourra être efficace et performante que si elle est bien exploitée au quotidien. La cinquième partie du guide s'intéresse aux indispensables indicateurs de performance des installations et à leur mesure. La performance découle en grande partie de la capacité de l'installation à s'adapter aux besoins et à leurs variations. L'exploitation performante de l'installation frigorifique passe aussi par la gestion des fluides, les frigorigènes bien entendu, mais aussi les huiles, les frigoporteurs et les fluides de refroidissement.

Chaque composante de l'installation, à commencer par les échangeurs, doit également faire l'objet d'une gestion appropriée. Enfin, la supervision et la gestion centralisée de l'installation sont des outils et des composants indispensables d'une installation efficace dont cette partie rappelle les grandes caractéristiques. Au-delà de l'installation frigorifique, le froid industriel exploite aussi des enceintes thermostatiques dont la bonne exploitation est indispensable pour atteindre une performance énergétique satisfaisante.

Maintenance préventive

Même bien conçue et bien exploitée, notre installation frigorifique ne sera efficace dans le temps que si elle est bien maintenue. La sixième partie rappelle les différents types de maintenance nécessaires, voire obligatoires, sur une installation frigorifique. Leur importance est telle pour la performance environnementale et énergétique de l'installation que nombre d'entre eux sont réglementés, voire contrôlés, dans le cadre de la réglementation. Les contrôles les plus stricts portent sur les fluides frigorigènes, mais les autres fluides doivent également faire l'objet de contrôles réguliers. Les surfaces d'échange nécessitent également des contrôles réguliers et une maintenance préventive. Les outils et méthodes de calcul sont décrits dans cette partie tout comme leur maintien en fonctionnement.

À la fin de chaque chapitre principal, le lecteur trouvera une synthèse contenant les messages clés qui doivent rester présents à l'esprit des concepteurs, installateurs, exploitants, inspecteurs ou responsables de la maintenance d'installations frigorifiques industrielles soucieux des performances et de l'efficacité de celles-ci.

Enfin, ce guide se termine par de très utiles annexes. L'index thématique permet de retrouver rapidement un thème abordé dans l'ouvrage, et la liste des abréviations de se retrouver dans le maquis toujours grandissant des acronymes parfois totalement abscons pour le non-initié. Les ressources en ligne se sont multipliées ces dernières années et ce guide en propose une sélection, fiable et utile, pour ceux qui souhaitent aller plus loin et disposer d'outils.

Bonne lecture à tous en espérant que cet ouvrage deviendra comme son prédécesseur, une référence et un pense-bête du quotidien pour la conception, la construction, l'installation, l'exploitation, l'entretien, la maintenance ou le contrôle des installations frigorifiques industrielles. Espérons qu'il contribuera à contredire comme le souhaitait le fondateur de l'AFF, Jean de Loverdo, qui devait malheureusement constater : « *Le froid, malgré ses origines françaises, s'est révélé, en France, aux yeux de la masse, comme un article d'importation.* » ▲



2 / PRÉSENTATION DU SECTEUR ET DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX



2 / PRÉSENTATION DU SECTEUR ET DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Le froid est omniprésent dans notre société mais le plus souvent invisible. Pour bon nombre de personnes, il se limite à leur réfrigérateur domestique, voire à leur système de climatisation. Ainsi, bien qu'il joue un rôle essentiel dans bon nombre de secteurs, de l'alimentaire à la pharmacie, de la chimie à la métallurgie, de l'énergie aux télécommunications, le froid industriel est sans doute encore plus invisible que les autres applications du froid.

2.1 CENT CINQUANTE ANS D'INNOVATION DANS LA PRODUCTION FRIGORIFIQUE

Les premières applications industrielles du froid artificiel apparaissent au milieu du XIX^e siècle.

En 1861, Ferdinand Carré installe l'une de ses machines à absorption brevetée en 1859, aux salins de Giraud pour l'extraction du sulfate de sodium. Leur application s'étendra ensuite à de nombreuses industries tout au long de la seconde moitié du XIX^e siècle. La machine à absorption de Carré produit de 12 à 100 kg de glace à l'heure. Construite par Mignon et Rouart à Paris, elle équipe les brasseries en France et en Europe. C'est aux États-Unis que son essor fut le plus rapide malgré la guerre civile dont Ferdinand Carré force le blocus pour livrer ses clients du Sud. HD Stratton, le représentant de la marque aux États-Unis, y installa, à lui seul, 600 machines dans les brasseries américaines entre 1861 et 1900.

En 1865, le Père du froid, Charles Tellier, installe sa machine à compression mécanique à gaz liquéfié, qu'il a mise au point depuis 1856 dans la fabrique du maître-chocolatier Menier à Noisiel en région parisienne. Quelques années plus tard, en 1876, Henri Menier dépose un brevet concernant « l'emploi du froid artificiel » pour la fabrication du chocolat. En 1876, Charles Tellier équipe le navire *Le Frigorifique* de machines à compression. Parti de Rouen, il transporte de la viande à Buenos Aires et la ramène au Havre en bon état de conservation après cent cinq jours de voyage en mer.

Ses inventions n'ayant pas percé en France, Fixary dépose le 18 juin 1878 à La Nouvelle-Orléans son premier brevet sous le numéro 204 961 sur les améliorations des machines à glace sous le nom d'Edward Fixary. Le compresseur Fixary est un compresseur horizontal double effet à ammoniac. Ses machines sont construites par la Compagnie française des constructions mécaniques et des moteurs à gaz (CFCMMG). Entre 1880 et 1920, le compresseur Fixary va être utilisé dans de nombreuses applications industrielles, comme les brasseries, les abattoirs, les bateaux de pêche pour conserver au frais le poisson pêché ou encore les morgues. C'est le cas, par exemple, de l'entrepôt frigorifique municipal des abattoirs de Chambéry, construit en 1900-1901 ou de la brasserie Tourtel de Tantonville qui en 1918 est équipée

de trois machines à glace Fixary, produisant 3 200 kg de glace par heure. Ces applications industrielles dérivent aussi vers des utilisations plus ludiques et sportives, mais dont la technologie les rapproche de l'industrie. Le 14 octobre 1892 ouvre à Paris une patinoire artificielle de 40 m × 18 m : Le Pôle Nord. Elle utilise un nouveau système pour générer de la glace, mis au point par l'ingénieur de Stoppani à partir d'une machine Fixary sous le nom de procédé Fixary-Stoppani : de l'usine à la patinoire, il n'y a qu'un pas.

Outre la production de glace pour l'industrie, le froid artificiel s'attaque aux très basses températures qui jouent aujourd'hui un rôle majeur dans l'industrie, directement par l'utilisation de basses températures ou

indirectement par l'utilisation des gaz de l'air. En 1877, Louis Cailletet, à Paris, puis Raoul Pictet, à Genève, liquéfient de façon transitoire l'oxygène. C'est en 1902 que le Français Georges Claude liquéfie de l'air en utilisant la détente dans une machine, avec fourniture de travail à l'extérieur. Comme de nombreux inventeurs du froid, ses découvertes donneront lieu à la création d'entreprises dont les plus exceptionnelles existent encore aujourd'hui. À peine six mois après la découverte de Georges Claude naissait « L'Air liquide, société pour l'étude et l'exploitation des procédés Georges Claude », devenue le leader mondial du secteur.

Après de nombreux essais, Maurice Leblanc met au point de son côté en 1908, une machine frigorifique à éjecteur utilisant la vapeur d'eau. Elle est construite par la société Westinghouse en 1909, et elle est adoptée par les marines nationales française et russe pour le refroidissement des soutes à munitions de leurs cuirassés, puis par la Compagnie des messageries maritimes pour refroidir à -10°C les soutes à vivres de leurs navires qui effectuaient le service du Japon en passant par la mer Rouge.

Depuis cent cinquante ans, le froid n'a cessé de se développer dans toutes les industries où il joue un rôle essentiel aujourd'hui.

2.2 LE FROID, UN ENJEU ÉCONOMIQUE DE PREMIER ORDRE

Le froid représente sur le plan économique un poids important. Il est omniprésent dans nos sociétés modernes. L'Institut international du froid (IIF) estime à plus de 3 milliards le nombre de machines produisant du froid dans le monde en 2016. Outre 1,5 milliard de réfrigérateurs ménagers, on compte environ 700 millions de véhicules automobiles climatisés, 600 millions de climatiseurs, 140 millions de pompes à chaleur (PAC), 90 millions de meubles de ventes frigorifiques, 4 millions de camions frigorifiques ou 2 millions de conteneurs frigorifiques équivalent 20 pieds.



Les ventes mondiales annuelles d'équipements de production de froid, de conditionnement d'air et de pompes à chaleur représentent suivant l'IIF, un montant d'environ 300 milliards de dollars américains, soit 0,4 % du PIB mondial, mais la part du froid est sensiblement plus importante dans certains pays. Il atteint 1,7 % en Australie par exemple.

En France, le seul marché des pompes à chaleur (PAC) représente 2,5 milliards d'euros soit 0,1 % du PIB. Il emploie 24 000 personnes dans la fabrication, sur 20 sites industriels, la distribution, l'installation et la maintenance. Le marché français de la PAC en 2016 a représenté 2 597 systèmes de géothermie, 2 700 PAC hybrides, 74 595 PAC air-eau, 45 000 PAC eau-eau et 80 753 chauffe-eau thermodynamiques. Au total 2 022 000 PAC sont en service en France en 2016 et 340 800 chauffe-eau thermodynamiques.

La production annuelle des carrossiers frigorifiques français est de l'ordre de 15 000 semi-remorques, camions et camionnettes pour un marché intérieur d'environ 12 000 engins de transport neufs par an.

Le marché européen des meubles de vente à groupe déporté représentait, d'après une étude réalisée par CLASP (étude internationale sur les meubles de vente), 1,15 milliard de dollars américains en 2009 pour 225 000 unités environ, avec un taux de croissance de 3 % par an en moyenne sur cinq ans. Le parc européen était de l'ordre de 2,2 millions de meubles frigorifiques à groupe déporté. Le parc européen de meubles à groupe logé était évalué par cette même étude à 1 million d'unités environ, avec un marché de l'ordre de 202 000 unités par an en 2009 pour un montant de 618 millions de dollars.



2.3 LE FROID, UN ENJEU SOCIAL MAJEUR

2.3.1 Le froid, employeur de premier ordre

Le nombre d'emplois liés directement au froid dans le monde est estimé par l'Institut international du froid (IIF) à 12 millions en 2016. Cela signifie qu'environ 4 emplois sur 1 000 sont affectés à la fabrication, l'installation, la maintenance et l'entretien des équipements frigorifiques, et ce, sans prendre en compte les emplois nécessitant du froid au sein des utilisateurs de froid.

Cette proportion est plus élevée encore selon l'IIF dans des pays comme l'Australie où environ 1,5 % de la population active travaillerait dans le secteur du froid au sein de 20 000 entreprises du secteur.

Ce nombre d'emplois directement liés au froid est également en constante augmentation tant dans les pays développés que dans les pays en développement.

La demande de techniciens qualifiés d'installation et de maintenance croît en raison du développement des besoins en froid, mais aussi du fait d'exigences croissantes de compétences, de qualifications et de certifications des personnels. L'offre d'emploi dans le domaine du froid augmente plus vite que la moyenne générale. Les États-Unis prévoient, par exemple, sur la période 2012-2022 une hausse de 22 %, soit deux fois plus importante que la moyenne de tous les secteurs confondus.

2.3.2 Le froid, facteur de bien-être des populations

Tout comme les réfrigérateurs et les congélateurs, le conditionnement d'air joue un rôle essentiel dans notre vie quotidienne, particulièrement dans les pays et les régions les plus chauds pour lesquels il est indispensable au développement.

Si en Chine moins de 1 % des ménages urbains utilisaient le conditionnement d'air en 1990, ils sont près de 100 % aujourd'hui. Le conditionnement d'air a des effets démontrés sur la santé en période de chaleur : le nombre de décès a chuté, par exemple, de 80 % aux États-Unis depuis les années 1950 grâce à la climatisation. Parallèlement 700 millions de véhicules ou autobus climatisés étaient en service dans le monde en 2016.

La qualité de l'air intérieur a une influence notable sur la productivité des personnes travaillant dans les bureaux comme le montrent plusieurs études rapportées par l'IIF. *A contrario*, des températures ambiantes inadaptées ont un impact négatif sur l'efficacité au travail et, par voie de conséquence, sur l'économie.

Les pompes à chaleur qui utilisent les technologies du froid connaissent un développement important. Elles permettent d'économiser l'énergie et de réduire les émissions de CO₂ dans toutes sortes d'applications de l'industrie mais aussi dans le bâtiment et les logements.

Les chauffe-eau thermodynamiques permettent également de réduire sensiblement les coûts de production de l'eau chaude sanitaire et l'impact environnemental correspondant.

2.3.3 Le froid garant de la sécurité alimentaire et sanitaire

Le froid est garant de la conservation et de la sécurité alimentaire de la plupart des aliments. Sur les 5,5 à 6 milliards de tonnes de denrées alimentaires produites dans le monde chaque année, un tiers d'entre elles nécessitent une chaîne du froid soit environ 1,8 milliard de tonnes. Actuellement, seulement 400 millions de tonnes, soit environ 7 %, répondent à cette exigence. Cela se traduit par des pertes importantes qui atteignent 23 % à l'échelle mondiale d'après l'IIF, mais dépassent 40 % en Inde et 50 % dans certains pays d'Afrique. Alors qu'un milliard de personnes ne mangent pas à leur faim et que 2 milliards d'autres sont malnutris, 1,3 milliard de tonnes de denrées alimentaires sont ainsi

perdus chaque année générant 3,6 milliards de tonnes équivalent CO₂. Cela constitue la 3^e contribution à l'effet de serre après celles de la Chine et des États-Unis.⁽¹⁾

Le taux de pertes alimentaires est directement lié au taux d'équipements frigorifiques comme le montre le tableau ci-après. Les données de l'IIF et du Cemafroid mettent en évidence des pertes trois fois plus importantes dans les pays en développement que dans les pays développés pour un taux d'équipements frigorifiques dix fois plus faible tant en capacités d'entreposage, qu'en équipements de transport sous température dirigée ou qu'en réfrigérateurs ménagers.

(1) Source : FAO, 2011

Taux de pertes alimentaires et taux d'équipements frigorifiques dans le monde



| | MONDE | Pays développés* | Pays en développement* |
|--|-------|------------------|------------------------|
| Population | | | |
| Population en 2009 (milliards d'habitants) | 6,83 | 1,23 | 5,60 |
| Taux d'équipement de la chaîne du froid | | | |
| Volume entreposage frigorifique (m ³ /1 000 hab.) | 52,00 | 200,00 | 19,00 |
| Nombre d'engins de transport sous température dirigée (millions d'unités)** | 4,00 | 2,73 | 1,27 |
| Nombre d'engins de transport sous température dirigée (nbre habitants par camion frigorifique)** | 1 708 | 450 | 4 421 |
| Nombre de réfrigérateurs domestiques (pour 1 000 hab.) | 172 | 627 | 70 |
| Taux de perte | | | |
| Pertes* de denrées alimentaires (tous produits) (%) | 25 % | 10 % | 28 % |
| Pertes* fruits et légumes (%) | 35 % | 15 % | 40 % |
| Pertes de denrées périssables par non-application du froid (%) | 20 % | 9 % | 23 % |

* Source Institut international du froid

** Données Cemafrroid

Le froid empêche le développement des micro-organismes et plus particulièrement de bactéries et de pathogènes toxiques. Il prévient ainsi les maladies d'origine alimentaire. Le froid limite également fortement le recours à des conservateurs chimiques dans la nourriture, dont les effets sur la santé ne sont pas négligeables.

En France, chaque année quelque 24 millions de tonnes de denrées alimentaires sont transformées en utilisant le froid. Plus de 40 % de la ration alimentaire individuelle des Français, soit 370 kg/personne/an, nécessite l'application du froid.

2.3.4 Le froid indispensable dans le secteur de la santé

Le froid permet de préserver les produits de santé et les médicaments thermosensibles. En 2015, 8 des 10 médicaments les plus vendus dans le monde, et dont le chiffre d'affaires total dépasse 10 % du chiffre d'affaires de la pharmacie, sont à conserver sous température dirigée. Leur volume est croissant, du laboratoire au patient. Le froid est indispensable au développement des nouvelles technologies pour la santé : biotechnologies ou thérapies cellulaires ne peuvent exister sans froid.

À l'hôpital, la cryochirurgie est une technique d'utilisation de plus en plus répandue, assez peu coûteuse et qui fait appel à des équipements relativement simples. La cryoablation est utilisée comme traitement clinique, en particulier en oncologie.

Sa capacité à guérir, par exemple le cancer de l'œsophage, a été démontrée avec un taux de réussite de 70 % chez les patients traités. Quant aux cancers de la peau, le taux de guérison atteint 99 %.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), aujourd'hui largement utilisée en médecine, utilise des aimants supraconducteurs pour maintenir des champs magnétiques puissants et stables. Ces aimants supraconducteurs nécessitent du froid à très basse température. Plus de 25 000 scanners IRM étaient en service dans le monde en 2016.



2.3.5 Le froid dans l'industrie

L'industrie et la distribution alimentaires utilisent environ 4 millions de camions frigorifiques dans le monde. Par ailleurs, le volume dédié à l'entreposage frigorifique représente 552 millions de mètres cubes dans le monde en 2014.

L'amélioration constante des technologies de congélation et de réfrigération a conduit au développement rapide de nouveaux marchés alimentaires tels que ceux des produits surgelés et des crèmes glacées. Au début des années 2010, la production mondiale annuelle de produits surgelés et congelés était d'environ 50 millions de tonnes, celle de crèmes glacées de 20 millions de tonnes et celle de poissons congelés ou surgelés de 30 millions de tonnes.

Outre la santé et l'alimentaire, le froid est aussi utilisé dans de nombreux procédés de fabrication, tant dans l'extraction minière que dans la chimie et la pétrochimie, la plasturgie, la métallurgie, la construction mécanique, le bâtiment et le génie civil, l'électronique et bien d'autres secteurs encore.

Dans les télécommunications et l'industrie des données, le froid est indispensable pour le refroidissement des data centers et des infrastructures de télécommunication. À plus petite échelle, toute salle informatique nécessite une maîtrise des températures et l'évacuation de la chaleur produite par les serveurs et donc de climatisation. Les centres de stockage de données consomment 1,3 % de l'électricité mondiale et 50 % de cette consommation est utilisée pour leur refroidissement.

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. Le commerce mondial de gaz naturel liquéfié (GNL) a plus que triplé depuis 1997, atteignant 241,1 millions de tonnes en 2014, c'est-à-dire 10 % de la consommation de gaz mondiale. Au Japon, le plus gros importateur mondial de GNL, la presque totalité des besoins de gaz est assurée par les importations de GNL à l'exception d'une très faible part de production intérieure.

2.3.6 Les autres applications du froid

Dans notre société, le froid est aussi indispensable à la préservation du patrimoine vivant et de la biodiversité avec la cryoconservation des ressources génétiques. Il sert aussi à la conservation des œuvres d'art ou des instruments de musique.

Les équipements sportifs sont aussi des utilisateurs de froid. Les 13 500 patinoires en service dans le monde, les pistes artificielles de ski, de bobsleigh, de luge ou de skeleton, ainsi que les milliers de canons à neige qui équipent les stations de montagne sont de plus en plus populaires.

2.4 LE FROID, UN ENJEU ENVIRONNEMENTAL INDÉNIABLE

2.4.1 L'impact environnement direct de la réfrigération

Les impacts sans doute les plus connus du froid sur l'environnement sont la contribution des fluides frigorigènes à l'appauvrissement de la couche d'ozone et au réchauffement climatique. Les fluorocarbures (CFC, HCFC et HFC) utilisés comme fluides frigorigènes depuis les années 1930 ont, en effet, un impact direct sur l'environnement du fait des fuites des installations frigorifiques.

Les CFC, dont l'impact sur la couche d'ozone est majeur, ont fait l'objet d'interdictions dans le cadre du protocole de Montréal. Ils ne sont plus utilisés aujourd'hui et rigoureusement interdits, mais se rencontrent encore dans certaines installations dans les pays en développement. Les plus connus sont le R-12 utilisé dans de nombreuses installations industrielles ou le R-11 dans les mousses isolantes. Leur abandon par le monde du froid a fortement contribué à l'amélioration de la couche d'ozone. La contribution des utilisateurs de froid a été significative en la matière à l'échelle mondiale.

Les HCFC qui les ont remplacés pour leur effet faible, voire nul sur la couche d'ozone, ont en revanche une contribution directe importante sur l'effet de serre. Ils ont été bannis par les accords de Kyoto. Leur utilisation est interdite depuis le 31 décembre 2014 dans les pays développés, mais encore possible dans les pays en développement. Les plus connus sont le R-22 très utilisé dans les installations industrielles ou le R-141b dans les isolations. Les HFC, remplaçants des HCFC, présentent une contribution directe à l'effet de serre plus faible que celle des HCFC, mais néanmoins importante. Leur utilisation est de ce fait condamnée à terme. La réglementation européenne entrée en vigueur en 2015, en prévoit la réduction de 80 % de l'utilisation en réfrigération d'ici 2030 et l'amendement de Kigali de 2016 en programme l'abandon.

Les fluorocarbures (CFC, HCFC et HFC) utilisés comme fluides frigorigènes représentent au niveau mondial environ 20 % de la contribution de la réfrigération à l'effet de serre. Les 80 % restant sont dus à l'effet indirect et principalement à la consommation énergétique des installations⁽²⁾.

Cet effet direct est imputable aux émissions directes de fluides dans l'atmosphère dues aux fuites des circuits frigorifiques ou aux pertes lors des opérations d'installation, d'entretien ou de maintenance. C'est pourquoi les actions menées par les acteurs du secteur du froid pour combattre l'effet direct de la réfrigération sur le réchauffement planétaire doivent se concentrer sur un meilleur confinement des frigorigènes, une réduction de la charge en frigorigène des installations, le développement de frigorigènes alternatifs avec un impact climatique négligeable ou nul ou le développement de technologies alternatives à la compression de vapeur.

Ces actions passent par la formation du personnel et sa qualification ainsi que par des avancées normatives et réglementaires.

2.4.2 L'impact environnemental indirect

Le froid a un impact environnemental indirect du fait de sa consommation importante d'énergie. La part de l'électricité utilisée pour le froid et le conditionnement d'air au niveau mondial a sensiblement augmenté ces dernières années, tant dans les pays développés que dans les pays en développement.

Les secteurs du froid et du conditionnement d'air consomment environ 17 % de l'électricité consommée à l'échelle mondiale selon l'IIF comme le montre la figure 1.

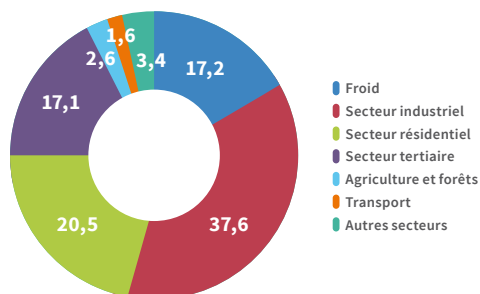


Figure 1 / Comparaison de la consommation mondiale d'électricité du secteur du froid avec celle des autres secteurs hors froid (%)⁽³⁾

Le froid industriel, même s'il n'est pas le plus énergivore, représente 15,4 % de cette consommation contre 45 % pour le résidentiel et 39,5 % pour le tertiaire comme le montre la figure 2. Le froid industriel consomme donc à lui seul 2,5 % de l'électricité mondiale.

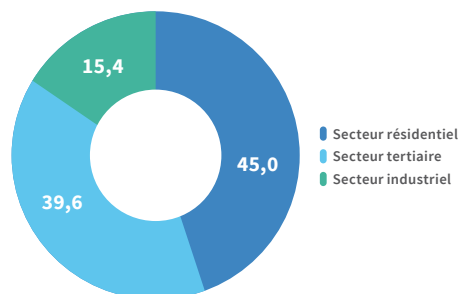


Figure 2 / Répartition mondiale de la consommation d'électricité du secteur du froid⁽³⁾

(2) Source : IIF, 2015

(3) Source : Institut international du froid, novembre 2015, 29^e note d'information sur les technologies de froid, « Le rôle du froid dans l'économie mondiale »



La consommation d'électricité pour les besoins de froid est également très variable d'une région du monde à une autre. Ramenée à la population, la consommation nord-américaine est de 2 697 kWh/an/personne, trois fois plus importante que la consommation européenne par habitant et six fois plus que la moyenne mondiale ; à l'opposé, celle-ci n'est que de 76 kWh/an/personne en Afrique subsaharienne d'après l'IIF.

Les équipements frigorifiques, meubles de vente et chambres froides destinés à la distribution des produits frais et surgelés, consomment environ 45 % de l'électricité utilisée dans les supermarchés.

Les quelque 1,5 milliard de réfrigérateurs et congélateurs domestiques en service dans le monde consomment quant à eux environ 4 % de l'électricité totale consommée dans le monde selon l'IIF. Cependant, l'efficacité énergétique des réfrigérateurs est en constante évolution, comme en atteste l'évolution qualitative permanente des étiquettes énergie. La consommation d'un réfrigérateur domestique typique a chuté d'environ 65 % en quinze ans.

Le conditionnement d'air progresse rapidement dans le monde et selon les estimations de l'IIF, il serait de l'ordre de 5 % de la consommation mondiale d'électricité.

Ce pourcentage varie d'un pays à un autre en fonction du climat et du niveau de développement du pays. L'air conditionné consomme environ 14 % de l'électricité aux États-Unis et 40 % dans la ville de Mumbai en Inde. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estime que la demande énergétique imputable au conditionnement d'air résidentiel en été, devrait être multipliée par plus de 13 entre 2000 et 2050 et par plus de 30 d'ici 2100.

L'amélioration continue des performances énergétiques des équipements frigorifiques ne suffit pas à compenser l'augmentation de leur nombre et de leurs applications qui se poursuivra au cours des prochaines années, sans doute plus fortement dans les pays en développement dont les besoins sont gigantesques.

Cette consommation électrique induit un impact indirect par ses émissions de gaz à effet de serre qui doivent être prises en compte dans le calcul de l'impact global d'une installation. Ces émissions peuvent aussi compenser en partie, l'effet direct d'un système sur l'environnement. En effet, un système plus performant pourra s'avérer moins impactant malgré des émissions directes plus importantes.



LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE INDUSTRIELLE : DÉFINITIONS ET INDICATEURS

L'efficacité énergétique est définie comme « un ratio, ou autre relation quantitative, entre une performance, un service, un bien ou une énergie produits et un apport en énergie »⁽⁴⁾.

La performance énergétique est un concept plus large et est définie comme des « résultats mesurables liés à l'efficacité énergétique, à l'usage énergétique et à la consommation énergétique ».

Une amélioration de l'efficacité énergétique correspond à une diminution de l'apport d'énergie pour un même service rendu ou un même bien produit.

(4) Source : ISO 50001:2011

Les actions permettant une meilleure performance énergétique incluent les actions d'amélioration de l'efficacité énergétique – par exemple, l'utilisation d'équipements à meilleurs rendements, mais également les actions portant sur l'usage énergétique – par exemple, l'adaptation du besoin énergétique au service rendu.

La **consommation spécifique** d'une activité correspond au ratio de la quantité d'énergie consommée par unité de production ou d'activité.

L'**intensité énergétique** se définit par le ratio entre une consommation d'énergie (primaire, finale, sectorielle) et un indicateur macro-économique (PIB, VA).

Les différents profils énergétiques de l'industrie

L'industrie est multiforme, chaque entreprise est unique par les produits qu'elle fabrique et par ses marchés. Il est possible néanmoins d'identifier trois catégories d'industrie :

- ▶ les entreprises de production de produits semi-finis, en amont de la chaîne industrielle (industrie dite « lourde ») : métallurgie (production d'acier, d'aluminium...), clinker, papier-carton, chimie, verre plat... Ces produits ont vocation à être transformés dans le processus de production pour fabriquer des biens de consommation ;
- ▶ les fabricants de biens d'équipements industriels (machines-outils, séchoirs, fours...). Ces équipements sont utilisés pour produire d'autres biens ;

- ▶ l'industrie des biens de consommation (automobile, textile, produits agro-alimentaires). Elle se situe en aval de la chaîne industrielle. Par exemple, le secteur de l'automobile génère un volume d'activité important pour la production des composants constitutifs : aluminium, acier, machines, pièces usinées, pièces plastiques...

Le poids des achats d'énergie dans la valeur ajoutée produite diffère selon le type d'industries concernées : c'est dans l'industrie des biens semi-finis que la part des achats d'énergie dans la valeur ajoutée pèse le plus et en particulier dans la chimie. L'industrie lourde consomme la majeure partie de la consommation d'énergie de l'industrie. Ainsi, 5 % de l'ensemble des sites français de plus de 10 salariés consomment plus de 80 % de l'énergie.

Le management de l'énergie : une démarche structurée et méthodique pour pérenniser les actions

Mettre en place un système de management de l'énergie (SMÉnergie) dans son organisation permet d'inscrire une démarche d'optimisation énergétique dans la durée et de lui donner un cadre d'amélioration continue. L'organisation doit nommer un référent en charge du pilotage et de l'animation de la démarche.

Le système se construit comme tout système de management sur une roue de Deming PDCA (Plan/Do/Check/Act) : la direction est engagée, une politique

énergétique est définie, une phase d'état des lieux et de planification se tient. Il faut retenir que l'organisation doit définir des objectifs et des cibles quantifiables d'amélioration de sa performance énergétique et qu'ils sont revus annuellement en revue de management.

La compétence est un point important d'un système de management de l'énergie, pour le référent énergie mais également pour toutes les personnes pouvant avoir une influence sur les usages énergétiques significatifs.

Le corpus normatif

Il existe de nombreuses normes d'application volontaire sur le sujet des économies d'énergie et de la performance énergétique en industrie. Ces normes constituent une boîte à outils de référence sur le sujet. Certaines de ces normes fournissent des approches générales, un apport en méthodologie (système de management de l'énergie, audits énergétiques, calculs d'économies d'énergie, terminologie...).

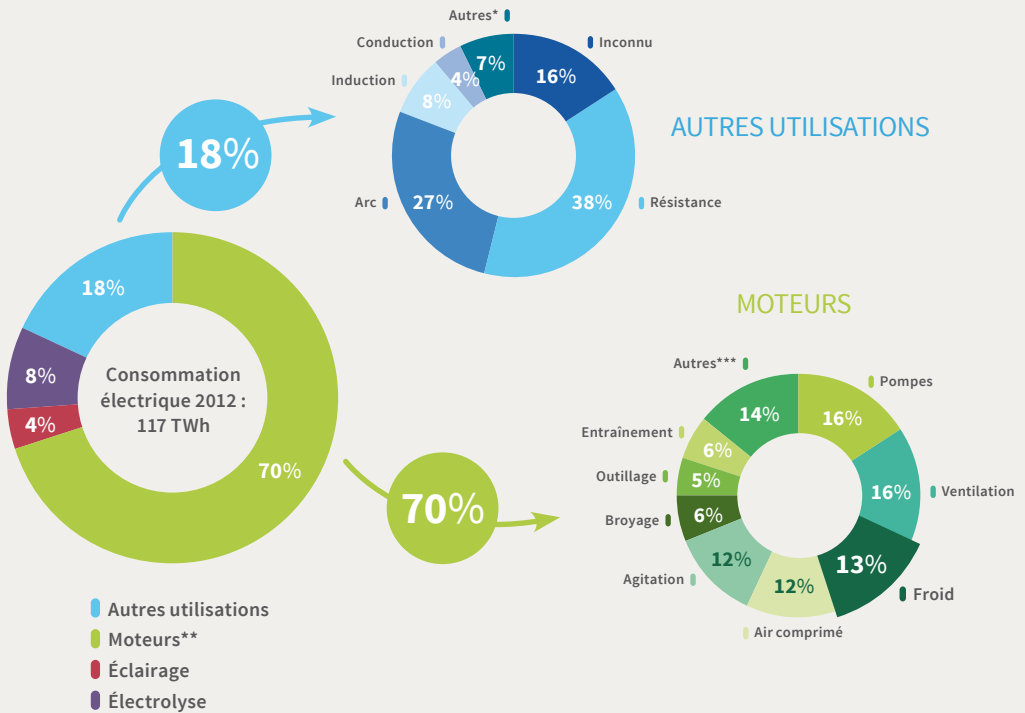
D'autres normes fournissent de l'information plus spécifique et ciblée sur des points d'application : comment s'y prendre pour établir un plan de mesurage de l'énergie, comment définir, construire et suivre les indicateurs de performance énergétique, comment réaliser l'évaluation énergétique de systèmes techniques comme les systèmes de pompage et d'air comprimé...



LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU FROID INDUSTRIEL EN FRANCE

En France, la consommation électrique pour la production de froid industriel (hors auxiliaires et sur le champ de l'industrie manufacturière seule, donc hors entrepôts logistiques) représente 13 % de la consommation de l'ensemble des systèmes avec moteurs électriques (voir figure 3).

Figure 3 / Répartition de la consommation électrique de l'industrie manufacturière par usage



Le secteur des industries agro-alimentaires (hors lait et sucre) représente en France près de 40 % de l'électricité consacrée au froid industriel. La production de froid peut représenter pour certains secteurs jusqu'à 60 % de la consommation électrique d'un site.



Source : CEREN « Données statistiques », juillet 2014 – Champ : France métropolitaine

* Essentiellement CMV (compression mécanique de vapeur) et infrarouge

** Répartition valable pour les moteurs de 10 kWh et plus, lesquels génèrent 77 % des consommations considérées

*** Compresseurs (autres que les précédents), usinage, laminoirs...