

Le Fonctionnement du -80°C

Produits phares chez Froilabo, les congélateurs très basses températures se déclinent en deux gammes différentes, le TRUST et l'EVOLUTION. Ces deux modèles ont pour seule différence visible leur interface avec l'utilisateur. Donc la technique pour générer du froid et le groupe froid est le même.

Vous êtes-vous déjà demandé comment fonctionnait votre congélateur ? A travers quels procédés est-il possible d'atteindre une température aussi basse que -80°C ? Si oui, cet article est fait pour vous !

Il existe trois éléments déterminants qui nous permettent de descendre en température pour atteindre -80°C. Le premier est l'utilisation de fluides frigorigènes qui permettent de maîtriser la descente en température. Ensuite, étant l'élément principal de son système, connaître le fonctionnement du groupe froid d'un congélateur est indispensable. Finalement, un tel défi technique est possible grâce à une bonne isolation pour optimiser les performances de nos congélateurs.

- Pourquoi investir dans un congélateur -80°C ?

L'objectif est la conservation et le stockage à long terme de différents types d'échantillons organiques ou inorganiques qui se dégraderaient ou seraient trop actifs à température ambiante. La congélation dite « normale », aux alentours de -20°C, ne permet pas la conservation des échantillons biologiques sur le long terme car certains organismes restent actifs à cette température.

- Quel rôle jouent les fluides frigorigènes lors d'une descente en température ?

Les fluides frigorigènes sont choisis en fonction des températures de fonctionnement des deux échangeurs du circuit frigorifique concerné : le condenseur et l'évaporateur. Les fluides utilisés pour obtenir des basses températures sont différents des fluides de climatisation par exemple.

Qu'est-ce qu'un fluide frigorigène ?

Un fluide frigorigène, également appelé réfrigérant, peut être pur ou être un mélange de fluides purs. Il peut être présent sous différents états : liquide, gazeux ou les deux à la fois, selon la température ou la pression.

Les fluides frigorigènes sont des substances utilisées pour leurs propriétés thermodynamiques dans les systèmes de refroidissement (climatisation, congélateur, réfrigérateur) ou les systèmes de production de chaud (pompe à chaleur). Ces substances sont utilisées via le principe qui veut que tout changement d'état entraîne une libération ou une consommation d'énergie. D'un point de vue chimique et thermodynamique, il faut de l'énergie pour désorganiser la matière donc espacer les molécules (liquide vers gaz) alors que le rapprochement et l'organisation de celles-ci (gaz vers liquide) libère de l'énergie. Pour résumer, au cours de la transformation physique :

- Pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, il faut de l'énergie extérieure
- Le passage de l'état gazeux à l'état liquide dégage de l'énergie.

Ces propriétés peuvent ainsi être exploitées dans un cycle de compression et de détente, dans le but de produire du froid ou du chaud.

Les fluides frigorigènes sont choisis en fonction :

- De leur température d'évaporation, généralement plutôt basse ;
- Des pressions liées au changement d'état physique ;
- A la quantité d'énergie qu'ils peuvent absorber.

Sur le marché, il existe une large variété de fluides différents. L'IUPAC (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée) en dénombre plus de 320 différents.

Ces fluides frigorigènes ont une nomenclature spécifique. Chaque fluide est attribué d'une nomenclature composée : de la lettre R (pour le mot anglais « réfrigérant ») suivi d'un code de 2 à 5 chiffres/lettre qui correspond à sa structure moléculaire.

Il existe différentes de catégories de fluides frigorigènes différenciées par leur composition chimique :

- Les Chlorofluorocarbures (CFC)
- Les Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)
- Les Hydrofluorocarbures (HFC)
- Les Perfluorocarbures (PFC) ou Hyrdocarbures perfluorés
- Les hydrocarbures ou composés organiques ne rentrant pas dans les catégories précédemment citées
- Les composés inorganiques comme l'ammoniac
- Les fluides dits « naturels » comme le CO₂
- Les Hydrofluoroléfines (HFO) ou Hydrofluoroalcènes

Les CFC et les HCFC, qui sont des gaz chlorés, appauvrissent la couche d'ozone et sont de puissants gaz à effet de serre. Ils sont réglementés par le protocole de Montréal, ratifié le 16 septembre 1987. Les CFC, comme le Fréon 12, ne sont plus utilisés de nos jours. Concernant les HCFC, ils sont interdits de mise sur le marché depuis le 1er janvier 2015 par le règlement n°1005/2009/CE¹. Cette mesure concerne tous les fluides, qu'ils soient vierges ou recyclés.

Les HFC, au contraire des CFC et HCFC, ne contiennent pas de chlore. Ils n'ont aucun effet sur la couche d'ozone mais contribuent cependant à l'effet de serre et sont, de fait, réglementés par le protocole de Kyoto, ratifié le 11 décembre 1997. Cette problématique est à l'origine du nouveau règlement européen F-Gaz qui est entré en vigueur le 1er janvier 2015, selon le règlement n°517/2014², visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique. Ces fluides sont classés selon leurs GWP et l'ensemble des normes visent à n'autoriser que des gaz ayant un GWP réduit.

Une solution aux HFC se trouve dans les fluides dits naturels comme le CO₂ (GWP = 1), également appelé R744. Sa mise en œuvre étant relativement contraignante (pression élevée), on lui a préféré l'utilisation d'autres fluides naturels, comme les hydrocarbures (tels que le propane ou R290) possédant d'excellentes propriétés thermodynamiques, mais qui sont inflammables. L'ensemble de nos produits est aujourd'hui disponible en version gaz standards et naturels.

Une autre famille de fluides frigorigènes se développe aujourd'hui : les HFO. Ces fluides présentent pour avantage d'avoir un faible PRP et une efficacité énergétique comparable aux HFC. Mais ils ne sont, pour l'instant, pas compatibles avec nos applications grand froid. Ces fluides ressemblent beaucoup aux HFC, mais possèdent une double liaison qui leur permet d'être moins stables dans l'atmosphère et d'avoir une durée de vie moindre, et donc un GWP inférieur. Cette double liaison leur confère en revanche une certaine inflammabilité.

L'idée principale de la période transitionnelle actuelle est donc de trouver des alternatives à l'ensemble des gaz existant pour permettre de réduire l'impact global des appareils générateurs de froid en gardant des performances élevées, de façon à ne pas augmenter leur consommation électrique. Ces fluides sont au cœur des problématiques de tous les fabricants les utilisant pour leurs applications.

¹ Règlement n°1005/2009 du 16/09/09 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (refonte)

² Règlement (UE) n°517/2014 du 16/04/14 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n°842/2006 (n°517/2014, publié au Journal officiel de l'Union européenne le 20 mai 2014)

- Quel rôle joue le groupe froid dans la descente à -80°C ?

Il existe à l'heure actuelle deux types de froid : le froid mécanique que nous aborderons ici ; et le froid cryogénique qui utilise des gaz tels que le CO₂ (T_{ébu} = -78.5°C à 1atm), le N₂ (T_{ébu} = -195.8°C à 1atm) ou encore le He (T_{ébu} = -269°C à 1atm) pour refroidir les échantillons. Concernant le froid mécanique, les fluides frigorigènes sont utilisés car ils possèdent des propriétés physiques particulières, comme la facilité de changer d'état à des pressions basses et des températures basses, propriété nécessaire au vu du fonctionnement du groupe froid.

Le concept de la machine frigorifique n'est pas récent et remonte au milieu du XIX^{ème} siècle grâce à Lord Kelvin. Un fluide frigorifique circule dans une boucle fermée et change d'état facilement sous l'influence de la pression.

D'une apparente simplicité, un congélateur ultra basse température relève avec brio les différents défis techniques qui incombent à sa conception. Mais atteindre des températures de l'ordre de -80°C est un véritable défi.

Une installation frigorifique basique comprend 4 éléments (*figure 1*) chargés d'assurer la production de froid :

L'évaporateur : il renferme le fluide frigorifique sous pression atmosphérique normale P1 ; le liquide se vaporisant, il y a donc besoin d'énergie. Celle-ci est prise dans le compartiment intérieur du congélateur. L'air interne et les échantillons présents sont donc refroidis. L'évaporateur est l'organe principal de fabrication du froid.

Le compresseur : dans le compresseur, la pression du fluide devient P2 > P1. Le fluide est toujours gazeux et sa température augmente à T2 > T1.

Le condenseur : dans le condenseur, le gaz se refroidit au contact de l'air ambiant ce qui provoque la liquéfaction du gaz (passage de l'état gazeux à l'état liquide) : il y a alors libération de calories, donc de chaleur (cela explique que le dos du réfrigérateur soit chaud).

Le détendeur : il permet de baisser la pression du liquide frigorifiques pour la ramener à sa valeur initiale (P1). La pression diminue, donc la température chute aussi.

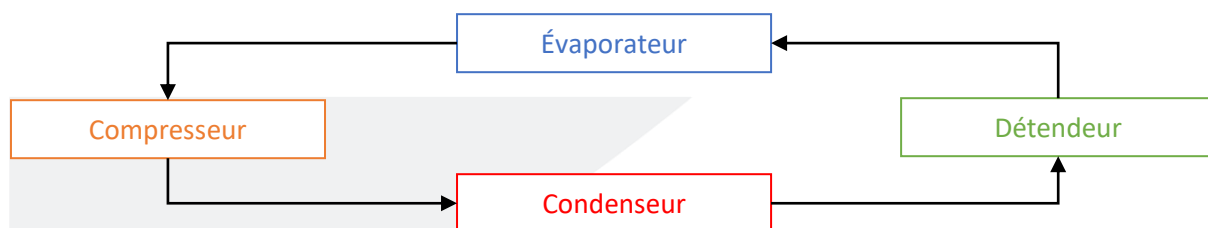


Figure 1 : Schéma simplifié d'un circuit frigorifique

Le premier défi concerne la création de froid elle-même. Il existe en réalité plusieurs systèmes de congélation : doubles compresseurs en cascades, double compresseurs indépendants et moteur Stirling sont les principaux utilisés dans le monde. Nous allons traiter ici le système mis en œuvre chez Froilabo : les doubles compresseurs en cascades.

Le système est constitué de deux circuits hermétiques (un circuit dit « haute température » et un dit « basse température ») reliés ensemble par un échangeur à plaques. Cet échangeur à plaques joue un rôle primordial car il permet l'échange thermique entre les deux circuits. Dans chaque circuit, il joue à la fois le rôle d'évaporateur pour la partie haute pression et celui de condensateur pour la partie basse pression. Plus l'échange thermique entre les deux circuits est efficace, plus les performances globales de l'appareil seront bonnes, garantissant ainsi une plus faible consommation et une homogénéité supérieure.

Chaque circuit possède un gaz frigorigère différent ayant les caractéristiques requises pour les températures atteintes par le circuit (par exemple : R417A ou R290 pour le circuit haute-pression et R508B ou R170 pour le circuit basse pression).

- Comment l'isolation a-t-elle un impact pour l'optimisation des performances des congélateurs ?

Le dernier défi est simple, mais néanmoins crucial pour assurer les bonnes performances du matériel : comment garder le froid à l'intérieur du congélateur ?

Le transfert de chaleur de façon générale a lieu de trois manières différentes : convection, conduction et rayonnement. La création d'un vide dans la paroi du congélateur élimine pratiquement totalement la convection, car celle-ci repose sur le transfert de l'énergie thermique, par déplacement en masse, de molécules de gaz. La conduction est également fortement diminuée par l'absence de pièce en contact sur la quasi-totalité du congélateur. La part due au rayonnement est très faible.

L'utilisation de panneaux isolés sous vide dit « VIP » (de l'anglais « Vacuum Insulated Panel ») permet donc de fournir une forme d'isolation thermique 6 à 8 fois plus performante que les isolations en laine classique. Les panneaux VIP sont utilisés dans les châssis des congélateurs pour fournir une performance d'isolation supérieure à celle des matériaux isolants conventionnels. Ils consistent en une paroi étanche aux gaz entourant un noyau rigide d'où l'air a été évacué.

Grace à une isolation (*figure 2*) sur les six faces du congélateur, les panneaux sous vide (VIP) utilisés dans la conception du congélateur, couplés à une mousse de polyuréthane haute densité font descendre la conductivité thermique à des valeurs inférieures à $0.005 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Le cuivre, excellent conducteur, possède une conductivité thermique parmi les plus élevées des métaux, avec $380 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Pour obtenir la même valeur avec une isolation classique, il faudrait des parois beaucoup plus épaisses. L'utilisation de tels panneaux permet donc également un gain de place à l'intérieur du congélateur et donc un gain de ratio volume intérieur/espace au sol.

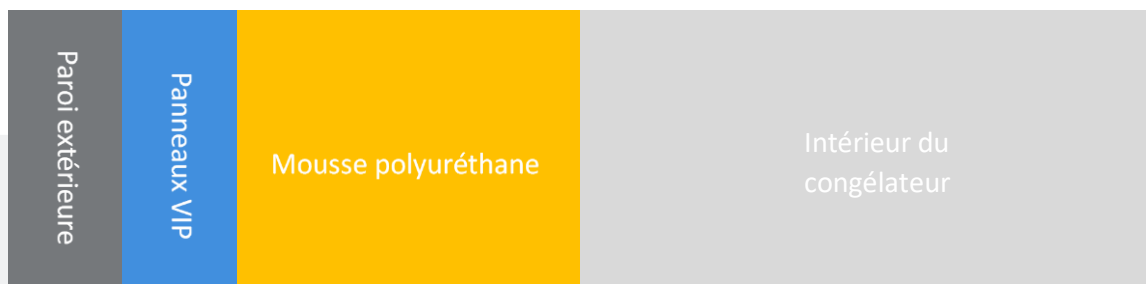


Figure 2 : Schéma en tranche de la paroi isolée d'un congélateur

Ce sujet sur le froid vous intéresse ? Notre équipe aussi est passionnée pour répondre à vos questions sur le froid et nos gammes de produits.