



Wallonie

FACILITATEUR
URE

Facilitateur Energie pour l'Industrie

Utilisation Rationnelle de l'Énergie

La normalisation climatique du froid industriel

Introduction

La consommation des compresseurs représente entre 45% et 50% de la consommation d'un groupe de froid¹. Dès lors, une surconsommation au compresseur entraîne inévitablement une variation significative des consommations. Les industries spécialisées dans la conservation des produits réfrigérés ou celles disposant d'un grand nombre de groupes de froid constatent une hausse de leurs factures électriques lors de la période estivale. Ce constat peut être vérifié graphiquement en mettant en relation les consommations mensuelles électriques de l'entreprise avec les degrés-jours² ; ceux-ci représentant une image inversée de la température extérieure (le climat). Sur une période donnée (jour, mois, année), plus la valeur des degrés-jour est faible, plus le climat sur cette période est « doux » et plus la facture relative aux consommations des groupes de froid est importante (Figure 1).

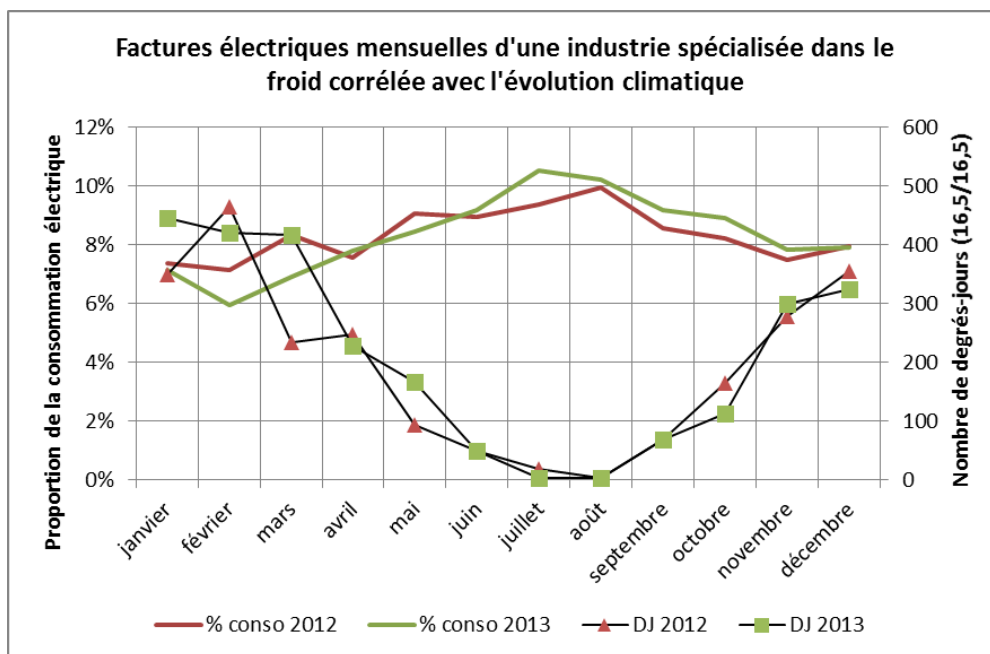


Figure 1: Evolution des factures électriques mensuelles d'une industrie de logistique de produits réfrigérés corrélée avec les degrés-jours 16,5 de la période correspondante

Un lien de cause à effet peut donc être démontré entre l'efficacité énergétique d'un groupe de froid et la température extérieure. Comme de nombreux articles expliquent le fonctionnement d'un groupe de froid³, nous rappellerons brièvement les notions fondamentales en relation avec notre article. Les raisons théoriques provoquant le phénomène de hausse des consommations électriques de groupe de froid lors des périodes estivales sera détaillé. Et enfin, nous développerons le concept des « degrés-jours froids » et leur utilité dans la compréhension de l'évolution des consommations.

¹ Source : Danfoss

² <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15567>

³ <http://energie.wallonie.be/fr/froid-industriel.html?IDC=8041>



Wallonie

FACILITATEUR
URE

Facilitateur Energie pour l'Industrie

Utilisation Rationnelle de l'Énergie

Principe de fonctionnement du cycle frigorifique

Le but d'une installation de réfrigération est de retirer une quantité de chaleur d'un volume dans lequel on désire maintenir une température inférieure à la température ambiante. Cette chaleur devra, à son tour, être évacuée à l'extérieur du système. Pour ce faire, on utilise une propriété physique des fluides, à savoir que la température d'ébullition varie avec la pression et celle, plus particulière des fluides réfrigérants, pour laquelle la température d'ébullition est inférieure à la température ambiante.

Ainsi, l'ammoniac (NH_3) par exemple, a une température d'ébullition de $-33,3^\circ\text{C}$ à pression atmosphérique. Nous pouvons observer sur la figure 2 l'évolution de sa température d'ébullition en fonction de la pression.

A moins quarante degrés (-40°C) et à pression atmosphérique, l'ammoniac est liquide. A quatre degrés ($+4^\circ\text{C}$), température typique d'une chambre froide positive, il va se réchauffer en prélevant de la chaleur à la chambre froide et commencera à se vaporiser dès qu'il atteindra sa température d'ébullition. Pendant ce changement de phase, sa température reste constante ($-33,3^\circ\text{C}$) et il prélève une grande quantité de chaleur à la chambre froide.

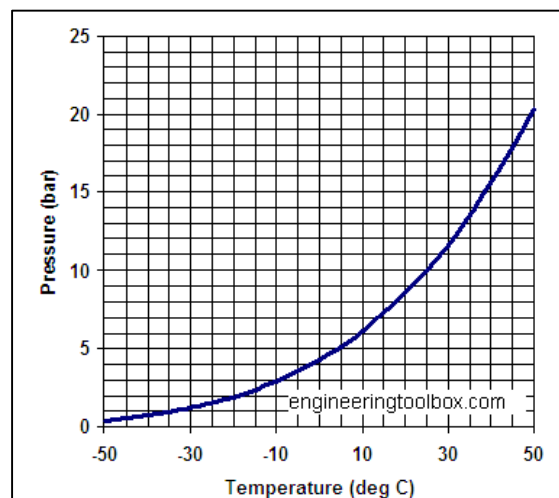


Figure 2 : Evolution de la température d'ébullition de l'ammoniac (NH_3) en fonction de la pression

Ensuite, pour évacuer cette chaleur, il faut le porter à une température supérieure à la température extérieure, ce qui s'obtient par augmentation de la pression du système. Ainsi, en hiver, lorsque la température extérieure est faible, une pression de 5 bar suffit, alors qu'en été, il faut pouvoir monter le fluide à une pression supérieure à 15 bar (ce qui correspond à une température de l'ammoniac de 40°C). Ensuite, l'évacuation de chaleur du système se fera par condensation de l'ammoniac.

Le principe physique sur lequel repose de fonctionnement d'un cycle frigorifique est donc le changement de pression du fluide.

Un groupe frigorifique comporte donc quatre équipements fondamentaux (Figure 3) :

- un *évaporateur*, à basse pression, où le réfrigérant capte de la chaleur à la zone froide pour se vaporiser (phase 6-7) ;
- un *compresseur* qui amène la vapeur de réfrigérant à haute pression et provoque son échauffement (phase 1-2) ;
- un *condenseur*, à haute pression, dans lequel le réfrigérant entre à une température plus élevée que l'ambiance et cède de la chaleur à l'ambiance en se condensant (phase 3-4) ;
- enfin, un *détendeur* qui ramène le réfrigérant liquide à la pression d'entrée de l'évaporateur (phase 5-6).

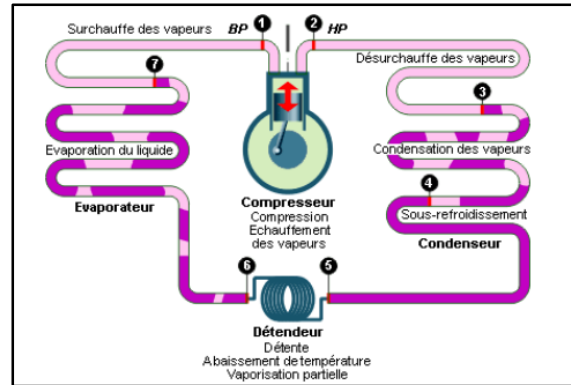


Figure 3 : Schématisation d'un cycle frigorifique (source : Energie +)

Efficacité du cycle frigorifique

Le coefficient d'efficacité d'un circuit frigorifique (EER ou COP_{froid}) est le quotient de l'énergie absorbée à l'évaporateur et de l'énergie transmise au fluide lors de la phase de compression :

$$COP_{\text{froid}} = \frac{Q_{\text{évaporateur}}}{W_{\text{compresseur}}}$$

Où Q est la chaleur absorbée à l'évaporateur
W est le travail électrique du compresseur

On peut également montrer que l'efficacité énergétique est proportionnelle au rapport de températures :

$$\text{Coefficient} * \frac{T_{\text{évaporateur}}}{T_{\text{condenseur}} - T_{\text{évaporateur}}}$$

et qu'elle varie en fonction de l'écart de température entre la source froide et la source chaude.

Où les températures sont exprimées en Kelvins
Coefficients ~ 0,6

Autrement dit l'efficacité d'un groupe de froid sera d'autant meilleure que :

- la température de l'évaporateur sera élevée (c'est-à-dire une consigne de froid plus élevée) ;
- l'écart de températures entre condenseur et évaporateur est faible (c'est-à-dire en hiver).



Wallonie

FACILITATEUR
URE

Facilitateur Energie pour l'Industrie

Utilisation Rationnelle de l'Énergie

Influence climatique sur la consommation d'un groupe de froid

La consommation globale annuelle d'une installation de production de froid peut s'écrire⁴ :

$$Cons_{tot.froid} = Cons_{compresseur} + Cons_{auxiliaires} + Cons_{dégivrage} + Pertes_{réseau}$$

Les différents termes de cette somme représentent des consommations qui varient en fonction des conditions d'utilisation, ce qui rend l'évaluation de la consommation totale peu aisée.

Si du côté de l'évaporateur, les conditions d'échange sont stables et déterminées par la consigne de froid, du côté du condenseur, les conditions d'échange de chaleur dépendent du climat (lorsque les condenseurs sont situés à l'extérieur). Plus la température extérieure est élevée, plus la température de condensation devra être élevée pour permettre d'évacuer la chaleur (l'influence est d'autant plus marquée lorsque l'échange thermique aux condenseurs s'effectue via l'air extérieur). L'efficacité du groupe frigorifique va se dégrader ce qui entraîne inévitablement un travail plus important du compresseur et donc une augmentation de sa consommation électrique.

L'écart de température entre l'évaporateur et le condenseur va donc varier dans le temps. C'est pourquoi, dans les installations performantes, on retrouve une régulation flottante qui lie la consigne de température du réfrigérant (au condenseur) à la température extérieure.

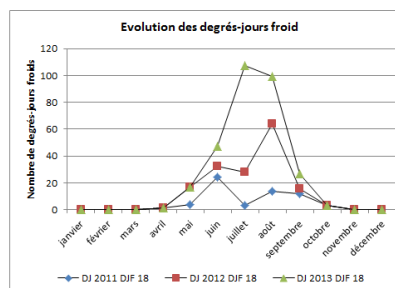
Les degrés-jours froids

Les degrés-jour froid «DJF» (ou de réfrigération) correspondent à une forme de degrés-jour utilisée pour mesurer les besoins en énergie nécessaires au conditionnement ou au refroidissement de l'air. Un degré-jour de réfrigération est compté pour chaque degré de température quotidienne moyenne se trouvant au-dessus de la température de base prise souvent égale à 18°C et pour une période comprise entre le 21 mai et le 30 septembre (exemple: si le 6 juin la température moyenne est de 20,4 °C, pour cette journée, on comptabilise 2,4 DJF).

$$DJF = \text{Nombre de jours} \times (T_{ext\ moy} - T_{base}) \text{ si et seulement si } T_{ext\ moy} - T_{base} > 0$$

Voici la représentation des degrés jours froids sur les années 2011, 2012 et 2013 calculés mensuellement en utilisant la formule présentée ci-dessus et dont $T_{base} = 18^{\circ}\text{C}$.

	DJF 2011 base 18	DJF 2012 base 18	DJF 2013 base F 18
mai	3,5	13,5	0
juin	24,4	8,2	14,8
juillet	3,2	24,7	79,3
août	13,9	50,2	35,6
septembre	11,8	3,9	11
TOTAL	57	101	141



⁴ Source : www.energieplus-lesite.be – Evaluer l'efficacité de la production frigorifique

Les degrés-jours froid fournissent une information indicative de la demande de refroidissement d'un lieu géographique donné. Pour suivre et comparer les consommations de deux périodes, ils peuvent être utilisés pour harmoniser l'effet climatique et rendre les consommations « normalisées ». Dans les faits, il convient de choisir une période de référence dont on connaît les consommations énergétiques et pour laquelle les degrés-jours froids sont connus. Ensuite, pour une autre période de même durée dont on souhaite comparer la consommation à celle de référence, il suffit de multiplier la consommation énergétique de cette deuxième période par le quotient des degrés-jours des deux périodes :

$$Cons_{période\ 2\ normalisée\ vers\ période\ 1} = Cons_{période\ 2} * \frac{DJF_{période\ 1}}{DJF_{période\ 2}}$$

Cette « normalisation » doit être faite en considérant des degrés-jours froids obtenus avec une même température de base.

Le concept de degré-jours froid tire un usage certainement bien plus prépondérant dans des régions qui ne sont pas soumises à un climat tempéré, pour interpréter des consommations de réfrigération voire même de climatisation. Toutefois, dans nos régions, les degrés-jours froids peuvent être utilisés pour expliquer l'évolution des consommations d'entreprises possédant un grand nombre de groupe de froid positif ou négatif.

En conclusion, le procédé de réfrigération bien que basé sur des concepts physiques simples, présente une certaine complexité dont nous n'avons développé qu'un seul aspect : la variation de la température de condensation en fonction du climat. Ce point justifie en grande partie à lui seul l'augmentation des consommations d'un groupe de froid en période estivale. Les degrés jours froids permettent de normaliser l'influence climatique lors du suivi des consommations électriques d'une entreprise.

Ivan Ottaviani et Jean-Benoît Verbeke

Pour contacter le service du facilitateur Energie pour l'Industrie, formez gratuitement le **0800/97.333** ou envoyez un mail à energie@facilitateur.info