

La réfrigération



## ECONOMIES D'ÉNERGIE DANS L'INDUSTRIE



## LA GESTION DU FROID : UNE AFFAIRE DE SPÉCIALISTES ?

Zones de stockage. Source : marché International de Rungis.

### La gestion du froid : une affaire de spécialistes ?

#### La gestion du froid, une question bien spécifique à l'industrie alimentaire :

Tous les secteurs industriels n'ont pas besoin de réfrigération. Le secteur qui y a le plus recours est l'industrie agro-alimentaire, où elle représente un cinquième des consommations d'électricité du secteur. Dans des entreprises spécialisées travaillant les produits frais, la réfrigération peut représenter jusqu'à 2/3 des consommations d'électricité. Source : GEAGroup.

#### La production de froid, cette méconnue :

Très souvent, on n'aime pas toucher au système de réfrigération, parce qu'on le comprend mal, parce que l'on ne désire pas modifier ses paramètres de peur de ne plus respecter les exigences de qualité et de sécurité alimentaire en rompant la chaîne de froid, et parce qu'on sait aussi que les équipements doivent fonctionner dans des gammes de température et de pression bien établis et que l'on ne se risque pas à déséquilibrer le système.

Pourtant, il est important de comprendre les degrés de liberté dont on dispose pour exploiter correctement une installation de réfrigération, les précautions à prendre pour la maintenir en état et contrôler ses consommations d'électricité. Quitte bien sûr à faire appel à un spécialiste du froid dès que l'on touche aux températures ou aux pressions du cycle thermodynamique.

### Comment produit-on du froid ?

#### Comment retirer de la chaleur d'une zone froide et la rejeter dans une ambiance plus chaude ?....

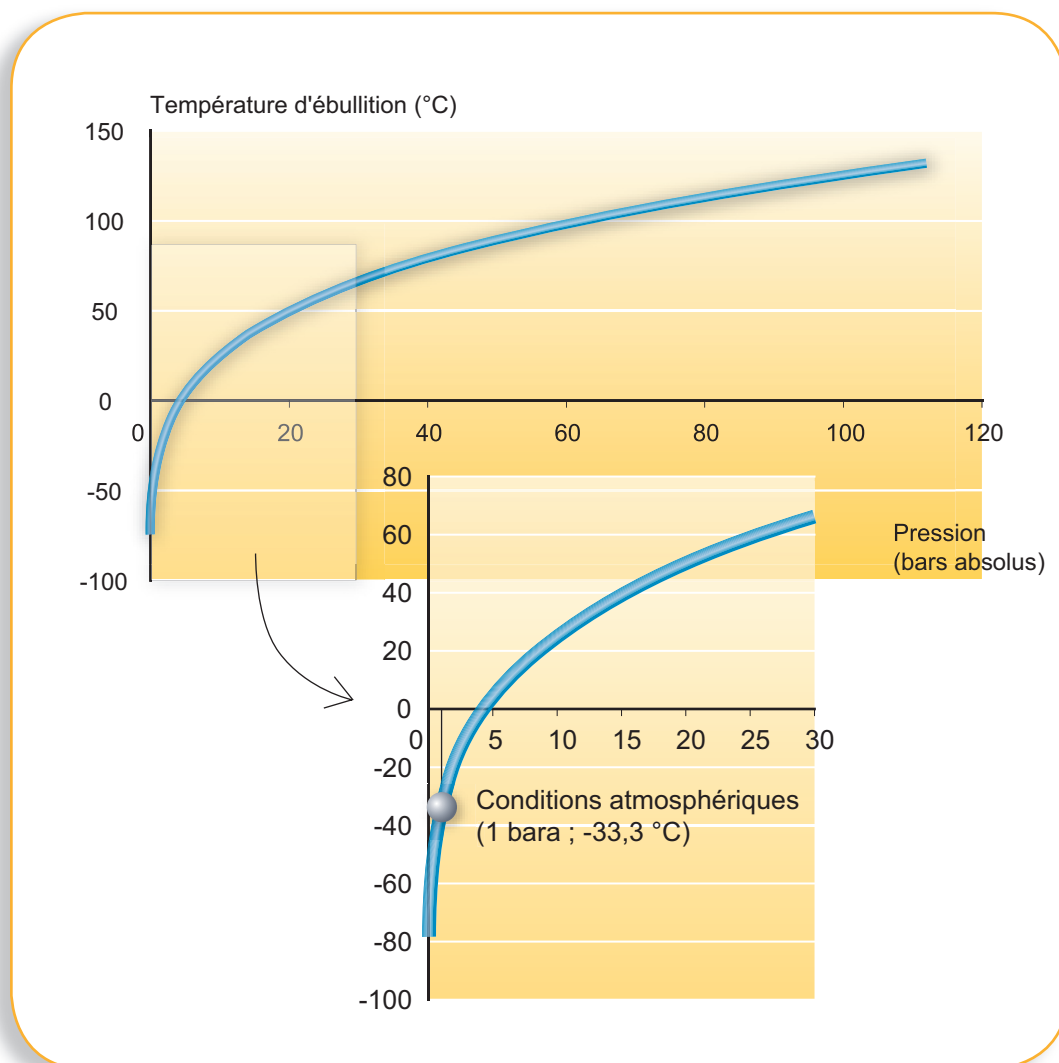
Tout le monde sait que les échanges de chaleur s'effectuent toujours dans le sens du chaud vers le froid. Or, ce que l'on demande à une installation de réfrigération, c'est exactement l'inverse : retirer de la chaleur d'un espace où l'on désire maintenir une température inférieure à celle de l'ambiance et rejeter cette chaleur à l'ambiance, c'est-à-dire à une température plus élevée que celle de la zone de froid.

Pour ce faire, on fait appel aux propriétés particulières des fluides réfrigérants, dont la température d'ébullition varie fortement avec la pression. Ainsi par exemple, le diagramme ci-après montre comment évolue la température d'ébullition (en °C) de l'ammoniac en fonction de sa pression (en bara) [1 bara = pression atmosphérique].

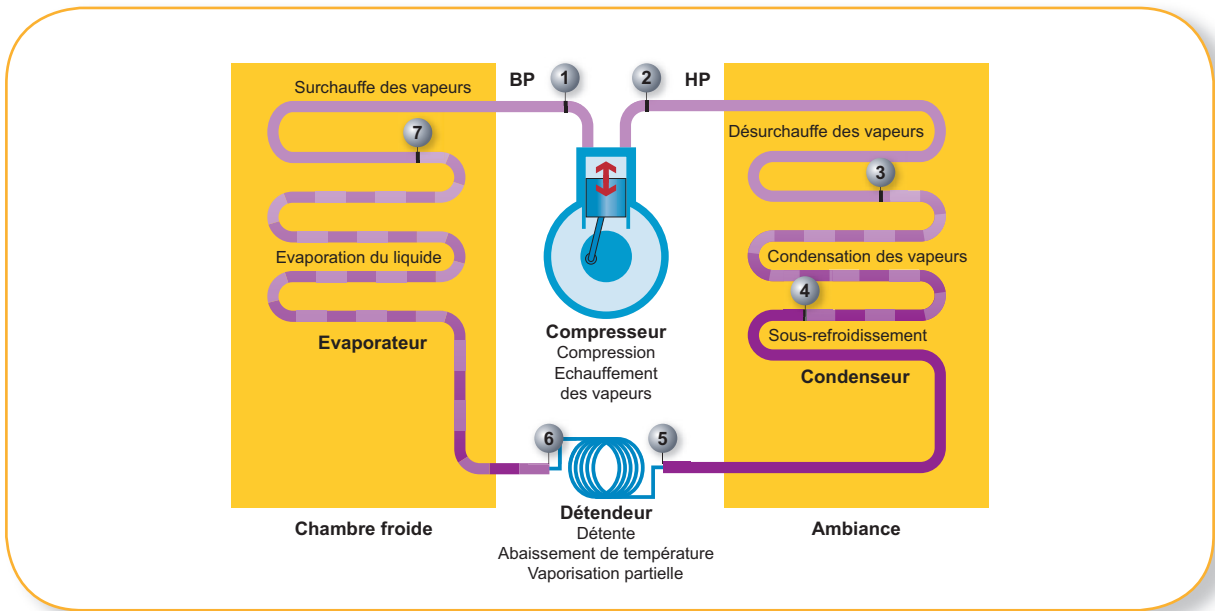
A moins quarante degrés (-40 °C) et à la pression atmosphérique, l'ammoniac est liquide. Si on le met en contact thermique avec de l'air à 4°C (température typique d'une chambre froide), il va se réchauffer en prélevant de la chaleur à la chambre froide et commencera à se vaporiser dès qu'il atteindra sa température d'ébullition -33,3°C. Pendant le changement de phase, il va prélever une grande quantité de chaleur à la chambre froide. On a donc trouvé ici un moyen de prélever de la chaleur dans la zone froide.

Si maintenant, on arrive à porter cette vapeur d'ammoniac à une température supérieure à la température de l'ambiance et si on arrive à la condenser pour qu'elle redevienne liquide, on pourra évacuer toute la chaleur emmagasinée vers l'ambiance. La température extérieure varie selon les saisons et l'été, pendant les jours de canicule, elle peut atteindre voire dépasser 35°C. Regardons le diagramme : pour assurer l'évacuation de la chaleur pendant la condensation de l'ammoniac, il faut que sa pression atteigne 15 bara et probablement plus.

Pour passer du captage de chaleur dans la chambre froide à son élimination à l'ambiance, il faut donc comprimer le réfrigérant.



Température d'ébullition de l'ammoniac en fonction de sa pression.



Les 4 éléments d'un groupe de froid. Source : CD Rom Energie +, <http://energie.wallonie.be>

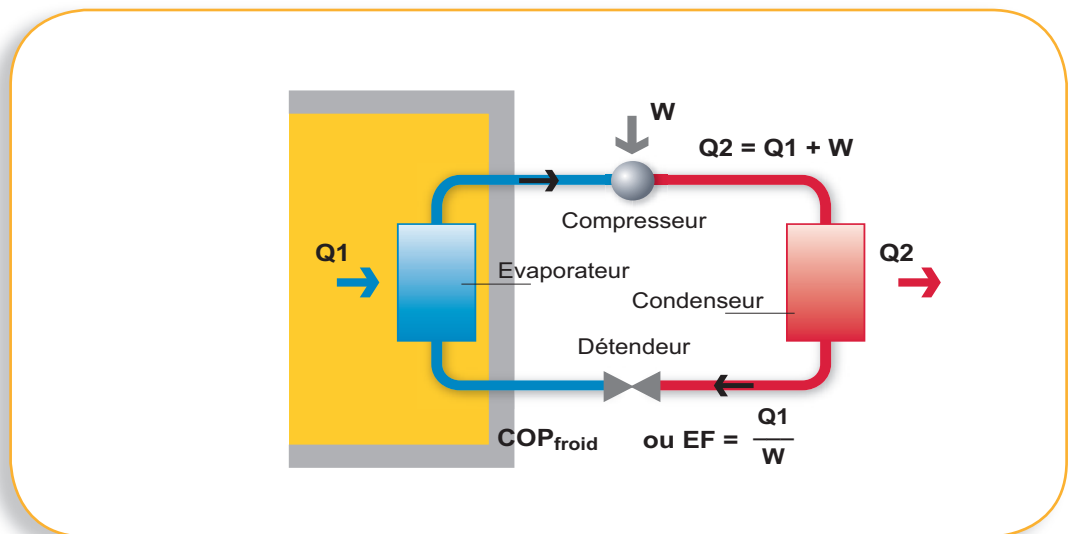
### Les éléments d'une machine frigorifique

On dispose maintenant des 4 éléments d'une machine frigorifique, tels qu'ils apparaissent à la figure suivante (le réfrigérant y circule dans le sens des aiguilles d'une montre) :

- un évaporateur, à basse pression, où le réfrigérant capte de la chaleur à la zone froide pour se vaporiser (passage de 6 à 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).

### Bilan d'énergie et efficacité énergétique

Le schéma ci-après détaille les flux d'énergie du cycle de réfrigération.



Bilan d'énergie d'une machine frigorifique. Source : CD Rom Energie +

Par conservation de l'énergie, toute l'énergie fournie au système doit en sortir. On peut donc dire que la chaleur captée à l'évaporateur ( $Q_1$ ) par le réfrigérant dans la chambre froide, augmentée de l'énergie fournie au compresseur ( $W$ ) doit être évacuée à l'ambiance par le condenseur ( $Q_2$ ) :

$$Q_1 + W = Q_2$$

Dans ces conditions, on définit l'efficacité énergétique  $EE$  du groupe de froid comme le rapport :

$$EE = \frac{\text{Chaleur captée dans la zone froide}}{\text{Energie fournie par le compresseur}} = \frac{Q_1}{W}$$

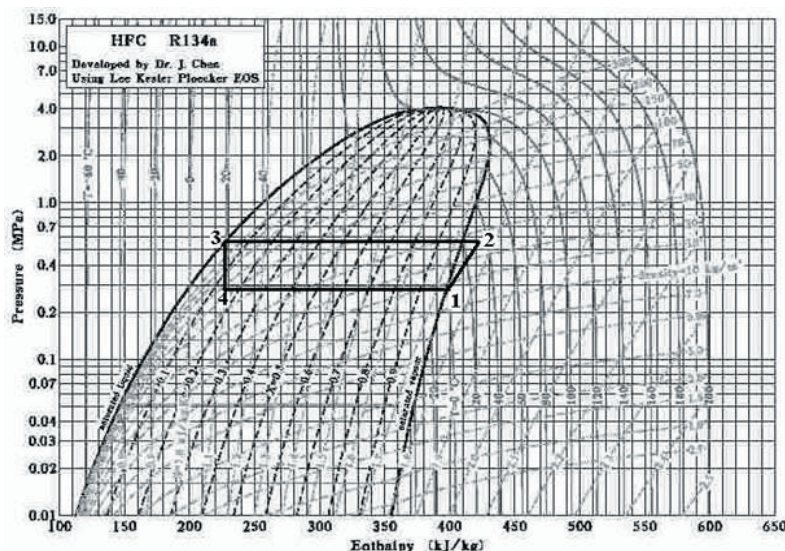
Ce rapport est une mesure du rendement de l'installation puisqu'il mesure la performance de la machine rapportée à la consommation d'électricité. Typiquement, sa valeur se situe entre 2 et 3.

Il est parfois appelé également  $COP_{\text{froid}}$ , en référence aux termes anglais « Coefficient of Performance », bien que cela puisse créer une confusion avec le  $COP$  d'une pompe à chaleur (voir remarque ci-après).

Le  $COP_{\text{froid}}$  est égal à l'énergie évaporée ( $h_1-h_4$ ) divisé par le travail du compresseur ( $h_2-h_1$ ).

### En savoir plus

Pour en savoir plus sur la théorie du froid, vous pouvez consulter le 2ème cahier sectoriel Froid : Théorie du Froid, Réfrigérants et les différents types d'installation



H1 : mettre H1, H2, H3, H4 à la verticale des 4 points, en couleur?



Maintenance d'un groupe de compression. Source : BOCK.

## Optimiser le fonctionnement du cycle frigorifique

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

$T_{\text{évaporateur}}$

$T_{\text{condenseur}} - T_{\text{évaporateur}}$

où T représente la température des éléments exprimée en Kelvins.

Retenez bien ce ratio, il va souvent guider vos démarches lors de la recherche d'économies d'énergie. En effet, on peut déjà effectuer plusieurs constats :

- l'efficacité sera d'autant meilleure que la température de l'évaporateur sera élevée. Il est donc inutile et coûteux de refroidir plus que de raison ;
- l'efficacité sera également d'autant meilleure que l'écart de températures entre condenseur et évaporateur est faible.

Or, pour pouvoir prélever de la chaleur à la chambre froide, la température d'ébullition du réfrigérant dans l'évaporateur doit être plus basse que celle de la chambre froide. De même, pour céder de la chaleur à l'ambiance, la température d'ébullition dans le condenseur doit être plus élevée que celle qui règne à l'extérieur. Donc, l'écart de températures qui figure dans le calcul de l'efficacité énergétique est plus grand que celui qui règne entre la chambre froide et l'air ambiant. On peut donc en déduire que l'on doit trouver des écarts de température optimum :

- entre la chambre froide et le réfrigérant dans l'évaporateur ;
- entre l'ambiance et le réfrigérant dans le condenseur.

Si ces écarts sont trop faibles, les échanges de chaleur n'ont pas lieu ou alors les surfaces d'échange à installer sont gigantesques. S'ils sont trop importants, c'est la facture d'électricité qui devient gigantesque.

Par ailleurs, si les écarts de température entre la chambre froide et l'air ambiant sont faibles, on peut aussi se demander si l'installation frigorifique a encore un intérêt. Un refroidissement par ventilation ou par tour de refroidissement serait peut-être plus intéressant.

Remarque :

- le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est exactement le même que celui d'une machine frigorifique, on y prélève aussi de la chaleur à une source froide pour la restituer à une source chaude. Mais ici, on désire assurer une température prescrite à la source chaude. Pour la pompe à chaleur, on définit donc un COP<sub>chaud</sub> comme le rapport entre la chaleur restituée à la zone chaude et l'énergie dépensée par le compresseur (COP<sub>chaud</sub> = Q<sub>2</sub>/W). Par conservation de l'énergie (voir schéma), on peut montrer que :

$$\text{COP}_{\text{chaud}} = \text{EE} + 1$$

### N'oublions pas les auxiliaires

On a intérêt à évaluer également l'efficacité globale de l'installation en ajoutant à l'électricité consommée par le compresseur celle de tous les éléments auxiliaires.

Ces auxiliaires varient selon la situation rencontrée :

- Parfois l'évaporateur se situe à l'intérieur de la chambre froide. Parfois, il prépare de « l'eau glacée » qui est acheminée vers un échangeur disposé dans la chambre froide. Dans ce cas, il convient de tenir compte de la consommation de la pompe de ce circuit secondaire.
- Dans la chambre froide, on peut être amené à assurer une température homogène par un brassage de l'air au moyen d'un ventilateur.
- L'évacuation de la chaleur du condenseur à l'ambiance s'effectue soit en faisant circuler directement de l'air ou de l'eau sur le condenseur (condenseur évaporatif), soit par l'intermédiaire d'un circuit d'eau qui est lui-même équipé d'une tour de refroidissement. Là aussi, il convient de repérer les consommations des pompes et ventilateurs de ces différents circuits.

### Economies d'énergie

On estime qu'une économie de l'ordre de 20% en moyenne est réalisable sur les installations de froid (ADEME, 2003). Il existe plusieurs voies pour tenter de réduire les consommations d'électricité du froid, les axes de réflexion principaux sont :

- Tenter de réduire les charges thermiques internes à la zone que l'on désire refroidir. Pour une zone de stockage, on évitera d'y introduire des produits sortant d'un four ou d'un bain de cuisson, on s'assurera également que les déperditions thermiques de la chambre froide sont limitées. S'il s'agit de rafraîchir une zone d'occupation, on veillera à en limiter les apports thermiques tels que machines, équipements de bureau, éclairage ou apports solaires.
- Assurer une maintenance appropriée et optimiser les réglages de fonctionnement ;
- Remettre en question les éléments de l'installation (surfaces d'échange, débits, puissance du compresseur, ...).

Tous les éléments d'une machine frigorifique ont été sélectionnés pour fonctionner dans une gamme de températures et de pressions bien prescrites. Si vous envisagez de modifier ces points de réglage, n'hésitez pas à vous faire conseiller par un spécialiste (bureau d'études, fabricant ou installateur) car modifier un réglage peut parfois déséquilibrer l'ensemble.

Et n'oubliez pas que la Région wallonne a prévu un subside aux études de pré-faisabilité qui évaluent la faisabilité technique des projets mais estiment également leur rentabilité (mécanisme AMURE, <http://energie.wallonie.be>).



## Inventaire des composants et paramètres

Un premier pas vers l'identification des mesures d'énergie applicables, est de dresser un inventaire de ses composants de systèmes réfrigérants et des principaux paramètres de fonctionnement du système (Programme européen :

- Motor Challenge Program, 2006),
- description sommaire du système,
- documentation et mesure des paramètres d'exploitation du système,
- indicateurs globaux de performance du système.

### Description sommaire du système

L'établissement d'une description sommaire du système demande de consulter les archives de l'entreprise ou de réaliser des mesures simples afin de rassembler les données suivantes :

- liste et agencement des équipements, principales caractéristiques techniques (puissance électrique, puissance de réfrigération, technologie, âge...),
- réfrigérant utilisé dans l'installation,
- température d'utilisation finale (point d'utilisation, minimum / maximum),
- utilisation finale du refroidissement / de la réfrigération (Quel type et quelle quantité de produit sont traités par le système de réfrigération / refroidissement ?),
- l'usage de plus d'un niveau de température est-il nécessaire à la dissipation de la chaleur ?
- nombre d'heures d'utilisations par an,
- profil de la demande : variation estimée suivant le jour / la semaine, le jour / la nuit et les saisons,
- le système est-il éteint lorsqu'il n'est pas utilisé ?

Dans la plupart des entreprises, la plupart de ces informations peuvent être rassemblées par du personnel interne.

### Documentation et mesure des paramètres d'exploitation du système

Il est souhaitable (et même indispensable pour les systèmes importants de plus de 20 kWel) de documenter ou de mesurer les éléments suivants pour tous les systèmes :

- Différentiel charge / décharge
- Type et fonctionnement du contrôle du système et des contrôles des réfrigérants individuels
- Consommation totale de puissance (y compris le ventilateur des condenseurs et les pompes – par exemple pour le rafraîchissement d'eau ou un circuit secondaire)
- Pour les systèmes de grande taille, un boîtier d'acquisition et des capteurs appropriés devraient être installés (probablement pour la période d'évaluation uniquement), afin de mesurer sur une période représentative : pression, température, flux, puissance / courant et humidité relative.



La collecte de ces données peut être réalisée par une équipe qualifiée en interne, ou par un partenaire extérieur spécialisé.

## Indicateurs globaux de performance du système

Sur la base des données collectées, des indicateurs globaux de performance du système peuvent être évalués :

I	Amortissement annualisé [€/an]	A	Heures annualisées de fonctionnement [h/an]
II	Coûts Annuels de Maintenance [€/an]	B	Puissance électrique totale du système de réfrigération [kW]
III	Coûts de l'énergie de réfrigération [€/an]	C	Coefficient de performance COP <sub>froid</sub> (1) [-]
IV	Coût total (somme de I à III) [€/an]	D	Puissance de refroidissement (produit B*C)
V	Quantité de produit [kg ; litre ;..]	E	Prix de l'électricité [€/kWhel]
Coût unitaire de réfrigération (IV/D) [€/kWrefroidissement]			
Ratio spécifique : (si possible)			
kWhel/Quantité de produit (A*B*E/V)			
€/Quantité de produit (IV/V)			

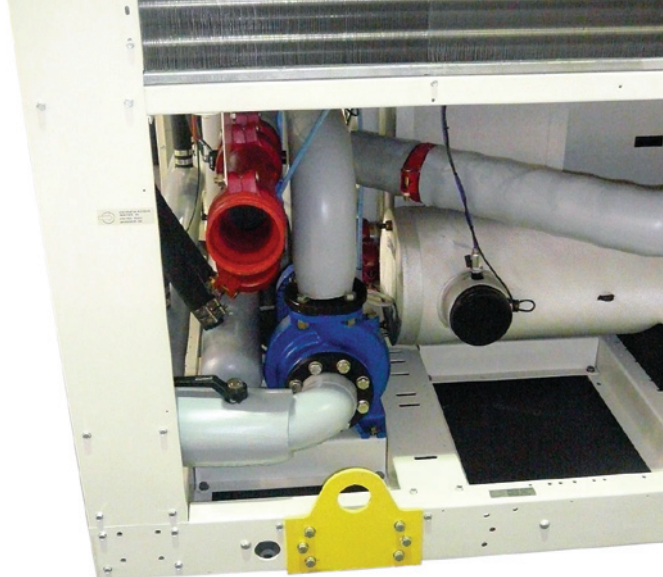
(1) Si cette valeur est inconnue, le COP<sub>froid</sub> peut être estimé sur la base des températures dans le condenseur et dans l'évaporateur (attention : les températures sont exprimées en Kelvin)  $273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$ .

Remarquons que pour de nombreux systèmes (en particulier ceux d'une puissance inférieure à 10 kW), les économies potentielles ne peuvent pas justifier les mesures complexes et coûteuses nécessaire à l'élaboration de données précises. Dans de tels cas, l'évaluation peut être conduite sur la base d'estimations appropriées, par exemple:

- l'amortissement annualisé peut être estimé à 10 % du coût actuel de remplacement du système entier ;
- les coûts de maintenance peuvent être estimés à 7 à 9 % du coût actuel de remplacement ;
- le coût de l'énergie peut être estimé à partir de la puissance nominale et des durées d'exploitation.

## LES 1001 MANIÈRES DE PRODUIRE DU FROID

Free chilling : pompe circuit fermé  
Source : -lh6.gght.com.jpg



### Il n'y a pas que Carnot ...

Dans les pages précédentes, on a décrit un groupe de froid traditionnel qui se base sur un cycle frigorifique à compression de vapeur.

On distingue plusieurs types de techniques ou d'installations, mais on peut en gros les classer en deux catégories : celles qui fonctionnent sans cycle frigorifiques (free-chilling, tours de refroidissement, aéro-réfrigérants secs, refroidissement adiabatique) et celles qui fonctionnent avec cycle frigorifique. Dans tous les cas où c'est applicable, les systèmes de dissipation de la chaleur sans cycle frigorifique devraient être préférées aux systèmes de réfrigération et de refroidissement qui fonctionnent sur la base d'un cycle frigorifique, car cela permet l'économie d'une quantité significative d'énergie.

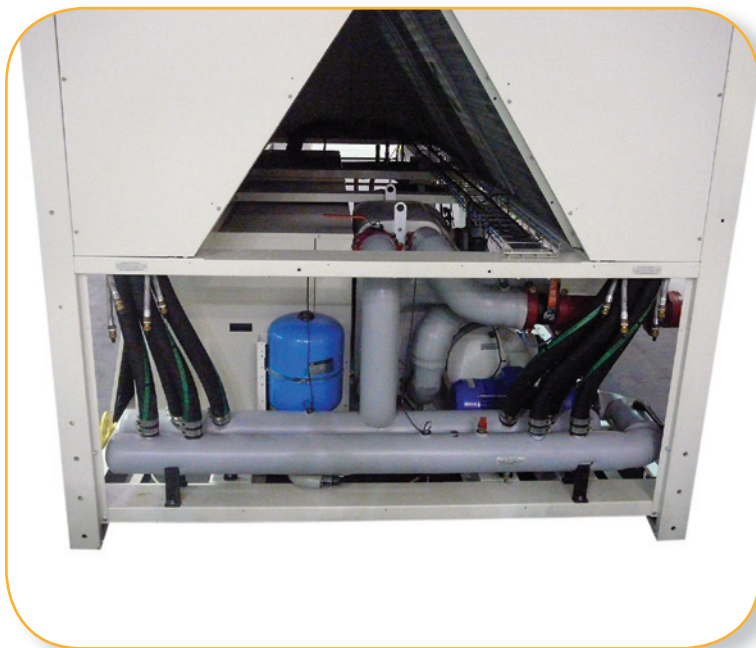
Dans la gamme des températures supérieures à 0°C, de l'eau rafraîchie est couramment utilisée.

#### En savoir plus

Le lecteur désireux d'en savoir plus sur ces différents types d'installation, est invité à consulter le Cahier technique « Le froid industriel ».

On distingue plusieurs types d'installation :

- les installations mettant en œuvre un cycle frigorifique à compression de vapeur utilisant des agents réfrigérants fluorés ;
- les installations mettant en œuvre un cycle frigorifique à compression de vapeur utilisant des agents réfrigérants non fluorés classés dans les « fluides naturels » (ammoniac, eau, CO<sub>2</sub>, hydrocarbures) ;
- les installations mettant en œuvre un cycle frigorifique à absorption ou à adsorption. C'est dans cette catégorie que l'on trouve par exemple les systèmes solaires à sorption et la trigénération ;
- le free-chilling ;
- le refroidissement adiabatique ;
- les aéro-réfrigérants secs (dry coolers) ;
- les tours de refroidissement (cooling towers) ;
- toute installation résultant d'une évolution technique en matière de production de froid. Outre les améliorations des cycles classiques, des travaux de recherche visent la réfrigération magnétique.



Free chilling :

- en haut : échangeurs
- évaporateur multitubulaire
- échangeur à plaques eau / eau glycolée
- en bas : collecteurs.

Source : -lh6.gght.com.jpg

## AMÉLIORATIONS ENTRAÎNANT DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE



Source : FrostenV

### Surveillez les temps d'ouverture des portes d'accès à la chambre froide.

Assurez-vous que les portes ne restent pas inutilement ouvertes. Sinon, attirez l'attention de votre personnel sur ce problème. Au besoin, installez des portes automatiques.

#### Action :

Surveillez l'ouverture des portes de la chambre froide.

### Les condenseurs sont-ils propres ?

→ Une augmentation de 10°C de la température de condensation du réfrigérant entraîne une augmentation de 30% de la consommation d'électricité des compresseurs.

Si le condenseur s'encrasse, les échanges thermiques entre le réfrigérant et l'ambiance se détériorent. Dès lors, pour pouvoir évacuer la chaleur accumulée par le réfrigérant, le compresseur devra amener le réfrigérant à une température d'ébullition plus élevée et de ce fait consommer plus d'électricité.

#### Action :

Surveillez l'encrassement du condenseur.



Condenseur (modèle CHV).  
Source : HKrefrigeration.



Evaporateur (modèle BAZ).  
Source : HKrefrigeration.

## L'évaporateur dans la chambre froide est-il recouvert de givre ?

La couche de givre qui se dépose sur l'évaporateur agit comme une résistance à l'échange de chaleur entre la chambre froide et le réfrigérant. Il y aura perte d'efficacité et augmentation de la consommation d'électricité.

Attention toutefois à ne pas dégivrer trop souvent : en effet l'opération consiste à chauffer la surface de l'évaporateur, et donc consomme de l'énergie également. Des systèmes de dégivrage économes en énergie améliorent l'utilisation du cycle de dégivrage.

Des systèmes de contrôle permettent de programmer les opérations de manière optimale. Les commandes de dégivrage les plus efficaces sont celles qui démarrent le dégivrage suivant de multiples critères, comme la mesure du saut de température à la traversée de l'évaporateur, la mesure de l'accumulation de givre ou encore le taux d'humidité. Toutes ces méthodes, utilisées de manières adaptées, sont plus efficaces que l'usage d'une simple horloge pour piloter le dégivrage. Les économies d'énergie estimées s'élèvent à 1 à 6 % de l'énergie consommée par le système réfrigérant. La Région wallonne a prévu une prime à l'acquisition de tels contrôles.

### Action :

Vérifiez, au besoin avec votre installateur, si le programme des cycles de dégivrage est adéquat. Installez éventuellement une programmation automatique des cycles de dégivrage.





Purgeur condensat.  
Source : MTA-it.

## Les incondensables sont-ils régulièrement purgés ?

→ **Les incondensables s'accumulent dans le condenseur et en détériorent l'efficacité, augmentant de ce fait la consommation d'électricité.**

### Action :

Etablissez un programme de purges régulières et vérifiez l'état de fonctionnement de ces purges. N'oubliez pas de purger l'air du circuit après chaque opération de maintenance.

Les incondensables sont des gaz tels que l'air ou l'azote qui se seraient introduits dans le circuit par accident ou par des fuites (lorsque le circuit de l'évaporateur est à une pression plus faible que la pression atmosphérique), lors d'opérations de maintenance, ou des hydrocarbures provenant de la décomposition des huiles du compresseur. Si ces gaz s'accumulent dans le condenseur, ils y agissent comme une résistance thermique inopportune. Il convient donc de les purger régulièrement.

La question se pose tout particulièrement dans le cas de production de froid négatif.

## N'oubliez pas d'entretenir les éléments auxiliaires.

### Action :

Etablir un programme de vérification de l'efficacité du traitement d'eau en collaboration avec votre fournisseur.

→ **En particulier, assurez-vous d'un traitement d'eau adéquat dans le cas d'un condenseur évaporatif ou d'une tour de refroidissement.**

Une tour de refroidissement qui s'encrasse voit ses performances diminuer et risque de se dégrader par corrosion.

## Condenseur à air ou évaporatif : est-il bien alimenté en air extérieur ?

→ Si le condenseur n'est pas suffisamment refroidi, ses performances chutent.

Si le condenseur n'est pas suffisamment refroidi, ses performances chutent.

Dans le cas d'un condenseur refroidi à l'air ou d'un condenseur évaporatif, il convient de vérifier si le ventilateur de refroidissement est bien opérationnel.

Mais avant tout, il faut se mettre dans des conditions favorables et placer le condenseur à l'ombre, à un endroit où la chaleur peut aisément s'évacuer.



Aéroréfrigérant (modèle FC ECA).  
Source : HKrefrigeration.

## Sus aux fuites de réfrigérants !

La performance maximale n'est possible que si le niveau minimal de réfrigérant est maintenu. Des fuites de fluides, en plus d'être dommageables à l'environnement ou dangereuses en termes de sécurité, vont également diminuer la performance de l'installation.

### Action :

Vérifier que le condenseur est implanté dans une zone d'où la chaleur peut aisément s'évacuer, et qu'il est bien alimenté en air extérieur.

### Action :

Vérifiez régulièrement le niveau de fluide réfrigérant dans votre système et traquez sans pitié les fuites

## Evitez un écart de température trop important de part et d'autre de l'évaporateur

→ Un écart trop important de 1°C occasionne une surconsommation d'électricité des compresseurs de 3%.

L'efficacité énergétique du groupe de froid est d'autant meilleure que l'écart de températures entre le condenseur et l'évaporateur est faible. Toutefois, afin d'extraire de la chaleur de la chambre froide, il est nécessaire de maintenir un écart de température suffisant entre le réfrigérant à l'évaporateur et la chambre froide. Mais si cet écart est trop important, on gaspillera de l'énergie.

Il est conseillé de se poser la question si cet écart de température est supérieur à 7°C. On considère en outre que la température du réfrigérant à la sortie de l'évaporateur doit être supérieure à la température d'entrée de 3 à 8 °C. Si votre installation s'écarte de ces valeurs, examinez alors avec votre installateur ou un bureau d'études spécialisé comment y remédier :

- Vérifier d'abord si le dégivrage est adéquat (voir ante).
- Envisager d'augmenter la surface d'échange de l'évaporateur.
- Envisager un pré-refroidissement (voir plus loin)

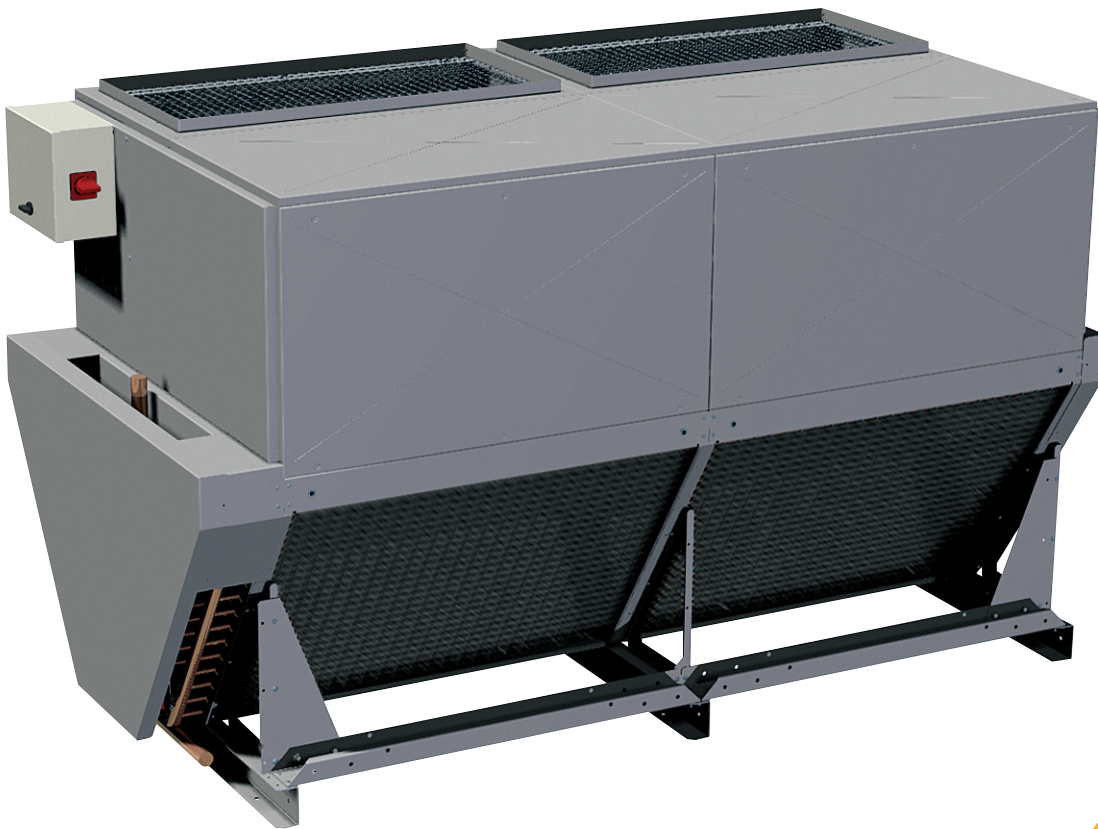
### Action :

Examiner avec un spécialiste comment réduire l'écart de température entre réfrigérant et chambre froide à l'évaporateur s'il excède 7°C.



Evaporateur (modèle BAT).  
Source : HKrefrigeration.





Condenseur.  
Source : Heatkraft.

## Evitez un écart de température trop important de part et d'autre du condenseur

→ Ici aussi, un écart trop important de 1°C occasionne une surconsommation d'électricité des compresseurs de 3%.

L'efficacité énergétique du groupe de froid est d'autant meilleure que l'écart de températures entre le condenseur et l'évaporateur est faible. Toutefois, afin de pouvoir céder de la chaleur à l'ambiance, il est nécessaire de maintenir un écart de température entre le réfrigérant et l'extérieur. Mais plus cet écart est étroit, meilleure est l'efficacité énergétique.

Il est conseillé de se poser la question si cet écart de température est supérieur à 15°C. Examinez alors avec votre installateur ou un bureau d'études spécialisé comment y remédier :

- Vérifier d'abord que le condenseur n'est pas encrassé (voir ante).
- Vérifiez si le système d'évacuation de la chaleur au condenseur fonctionne de manière adéquate : ventilateur d'air en fonctionnement, circuit d'eau en bon ordre de marche, ...
- Examinez avec un spécialiste s'il ne faut pas adopter un autre type de condenseur (remplacer un condenseur à air par un condenseur évaporatif par exemple).

Attention, si du côté de l'évaporateur, les conditions d'échange sont stables et connues par les consignes du système, du côté du condenseur, les conditions d'échange de chaleur peuvent dépendre du climat. L'écart de température au condenseur va donc varier dans le temps, mais doit toujours demeurer dans le même sens. On peut envisager une régulation flottante qui lie la consigne de température du réfrigérant à la température extérieure.

### Action :

Examiner avec un spécialiste comment réduire l'écart de température entre le réfrigérant dans le condenseur et l'extérieur si cet écart excède 15°C.

### Action :

Vérifier l'état de l'isolation thermique des tuyaux du circuit secondaire et remplacer les parties défectueuses.

## Vous avez un circuit secondaire en aval de l'évaporateur? Vérifiez-en le calorifugeage.

→ **Le bon état du calorifuge limite les pertes de distribution.**

Si l'évaporateur est séparé de la chambre froide par un circuit secondaire, celui-ci peut être amené à parcourir des distances non négligeables. Il est alors important qu'il ne perde pas trop d'énergie en ligne.

Exemple : Une isolation de 5 cm pour des tuyauteries d'eau glacée de plus de 80 mm de diamètre constitue un minimum pour de l'eau glacée à 1°C. Une isolation insuffisante a pour conséquence non seulement des pertes d'énergie supplémentaires mais aussi la corrosion des tuyauteries par condensation entre la tuyauterie et l'isolant.

### Action :

Vérifier la qualité et l'épaisseur de l'isolation thermique des parois de la chambre froide. Faites la chasse aux ponts thermiques.

## La chambre froide est-elle suffisamment calorifugée ?

→ **La conductivité de l'isolation thermique des parois de la chambre froide doit se situer entre 0,016 et 0,023 W/m.K.**

Vérifiez si l'épaisseur de calorifuge sur les parois est suffisante. Le flux thermique à travers les parois ne doit pas dépasser 10 W/m<sup>2</sup>.

Recherchez les ponts thermiques et essayez de les limiter : joints de portes, mécanismes de fermeture, ...

Calorifugeage du circuit de distribution. Source : Asta4.





## Les produits à réfrigérer doivent-ils être directement introduits dans la chambre froide ?

Toute la chaleur fatale produite par les autres équipements se trouvant dans les zones froides doit être compensée par le système de réfrigération. Plus ces équipements seront efficaces, moins la production de chaleur fatale sera importante. Si par exemple, le système d'éclairage utilise des tubes fluorescents T8 adaptés aux basses températures et des ballasts électroniques, la charge thermique interne, et par conséquent la charge de refroidissement, peut être réduite. L'idéal est encore d'éteindre les lampes quand elles ne sont pas utiles.

→ **Introduire des produits à température élevée dans la chambre froide en augmente la charge thermique et force le système de réfrigération à consommer plus d'énergie pour maintenir la température de consigne.**

Vos réflexions doivent bien-sûr être prioritairement guidées par le respect des consignes d'hygiène et de protection de la qualité du produit. Mais par prudence, on aura parfois le réflexe de recourir au froid le plus vite possible alors qu'il est peut-être possible d'examiner si on ne peut pas appliquer des règles de bonne pratique, du point de vue énergétique :

- Evitez autant que possible d'introduire des produits sortant d'un four ou d'un bain de cuisson directement dans la chambre froide. Peut-être peut-on simplement les laisser refroidir à l'air libre.
- Examinez si vous pouvez installer un pré-refroidissement des produits avant leur introduction dans la chambre froide. Envisagez de placer vos produits dans un courant d'air à la température extérieure ou de les refroidir avec de l'eau de distribution ou de l'eau refroidie. Ces phases de refroidissement coûteront 10 fois moins cher que d'utiliser le groupe de froid.

### Action :

Vérifiez si les parties des machines responsables des productions de chaleur fatale ne peuvent pas être placées à l'extérieur de la zone réfrigérée. Investissez dans un éclairage et des machines efficaces dans les zones froides.

### Action :

Envisagez un pré-refroidissement. Faites-vous conseiller par un spécialiste qui pourra effectuer des bilans thermiques et financiers détaillés de chaque option, mais assurez-vous que les conditions d'hygiène et de qualité des produits sont respectées.

## Action :

Examinez les applications qui accueilleraient de l'eau chaude à 55°C. Calculez bien la rentabilité du projet, faites-vous conseiller par un spécialiste.



## Action :

Essayez de minimiser la distance entre l'équipement de production de froid et les sites d'usage du froid. Examinez s'il est pertinent de séparer votre système de réfrigération en petites unités organisées de manière décentralisée. Calculez bien la rentabilité du projet, faites-vous conseiller par un spécialiste.



Ballon de stockage d'eau glacée.  
Source : Cantie

## Action :

Examinez l'intérêt énergétique et économique d'utiliser un réservoir de stockage de glace.

## Récupérez-vous la chaleur dégagée au condenseur ?

→ **Intéressez-vous tout particulièrement à la désurchauffe du réfrigérant**

Récupérer en bloc toute la chaleur dégagée au condenseur ne vous permettra souvent que de chauffer de l'eau ou de l'air à une température de quelques 25°C. Par contre, si vous vous concentrez sur la partie du condenseur appelée zone de désurchauffe, dans laquelle la température du réfrigérant diminue progressivement avant d'atteindre la phase de liquéfaction, vous pourrez produire de l'eau chaude à quelques 50-55°C.

La chaleur dégagée pendant la désurchauffe représente à peu près 15% de l'ensemble de la chaleur dégagée au condenseur.

Le compresseur de réfrigération produit de la chaleur fatale. Additionnée à la chaleur libérée au niveau du condenseur, cette chaleur peut être utilisée pour d'autres applications, comme le chauffage d'un local ou la production d'eau chaude. La disponibilité de la chaleur dépend néanmoins du fonctionnement du système réfrigérant, qui produit plus de chaleur en été.

Tout projet de récupération de chaleur doit faire l'objet d'une étude de pré-faisabilité qui doit bien identifier les questions techniques mais aussi la rentabilité du projet : les coûts d'investissement (échangeur(s), pompe, tuyauteries, calorifugeage,...), et les pertes thermiques en ligne pour acheminer la chaleur à son lieu d'utilisation peuvent grever la rentabilité.

Faites-vous conseiller par un bureau d'études spécialisé et bénéficiez de l'aide de la Région wallonne aux études de pré-faisabilité (mécanisme AMURE, <http://energie.wallonie.be>).

## Et si je rapprochais la production et l'utilisation ?

→ **Des distances de transport élevées augmentent les pertes de froid et les chutes de pression.**

Si l'évaporateur est séparé de l'utilisation du froid (chambre froide, process à réfrigérer...) par un circuit secondaire, celui-ci peut être amené à parcourir des distances non négligeables. Quand cela s'avère possible, il faut donc diminuer les distances de transport réfrigéré.

## Dois-je stocker du froid au sein du cycle ?

Le stockage n'est pas obligatoire pour un site industriel, mais peut s'avérer intéressant si la demande en froid n'est pas régulière, afin d'écrêter les pics de demande. Ainsi, la production de froid pour le stockage peut se faire hors des heures de (forte) production, à un tarif électrique généralement intéressant. De plus, la puissance frigorifique de la centrale est réduite, ce qui permet de fonctionner plus souvent en régime nominal et qui conduit à des gains énergétiques (le rendement étant meilleur).



Condenseur évaporatif.  
Source : Frick, directindustry.fr.

Quelle que soit la technique adoptée pour produire le froid, les systèmes de stockage à glace peuvent être utilisés pour optimiser le fonctionnement de l'installation. Néanmoins, le stockage ayant des pertes supplémentaires, l'usage d'un tel processus doit être soigneusement évalué sur les plans énergétiques et économiques.

## Quel type de condenseur pour mon installation ?

→ **Le système réfrigérant est plus efficace avec des condenseurs à évaporation.**

La plupart des cycles de réfrigération utilisent des condenseurs refroidis à l'air pour l'évacuation de la chaleur. Les condenseurs à évaporation pour leur part utilisent un filtre humidifié pour refroidir l'air ambiant lors de son entrée dans le condenseur, accroissant ainsi la capacité d'évacuation de chaleur. Le système réfrigérant est plus efficace avec des condenseurs à évaporation.

De nouvelles voies s'ouvrent en outre pour le développement des systèmes de condensation à eau qui permettent à la fois une réduction de la charge de fluide frigorigène et un très faible accroissement de la consommation d'énergie, voire même une amélioration de l'efficacité énergétique comme dans l'utilisation des condenseurs à évaporation.

## Vos moteurs d'entraînement sont-ils au « top » ?

L'utilisation de moteurs à haute efficacité pour entraîner le compresseur de réfrigération, les ventilateurs du condenseur et les pompes à réfrigérant, peut entraîner des économies jusqu'à 7 %.

## Et pourquoi pas une turbine de détente ?

→ **Détendre le réfrigérant dans une petite turbine permet de générer une puissance mécanique grâce à la chute de pression.**

Généralement, le réfrigérant est détendu dans un étranglement. Le remplacer par une petite turbine permet de générer une puissance mécanique. Cependant, de tels systèmes sont très coûteux et ne peuvent donc être rentables que sur de très grandes installations de réfrigération avec d'importantes durées d'exploitation.

### Action :

Faites-vous conseiller par un spécialiste pour déterminer le type de condenseur le plus approprié pour votre installation.



Compresseur d'air à vis.  
Source : atlasCopco.

### Action :

Examinez l'intérêt de remplacer des anciens moteurs par des moteurs à haute efficacité.

### Action :

Si vous avez une très grande installation de réfrigération, examinez l'intérêt de détendre votre réfrigérant dans une petite turbine plutôt que dans un étranglement.

## Action :

Pour une efficacité maximale, utilisez des compresseurs bien dimensionnés et les mieux adaptés à votre application.

## Vos compresseurs sont-ils bien dimensionnés ?

→ **Le point d'efficacité maximale d'un compresseur de réfrigération se situe à l'intérieur de sa plage d'utilisation.**

L'efficacité d'un compresseur est détériorée lorsqu'il fonctionne en-dehors de sa plage d'utilisation.

L'utilisation d'un compresseur à puissance maximale pendant une courte durée afin d'accumuler une certaine quantité de froid peut ainsi s'avérer plus efficace que l'utilisation continue d'un système faiblement chargé.

## Action :

Si votre demande de froid est variable dans le temps, examinez avec un spécialiste les possibilités offertes par la mise en cascade de compresseurs ou/et le recours à la variation de fréquence des moteurs.

## La demande de froid est-elle variable dans le temps ?

→ **Distinguez une demande saisonnière d'une demande intermittente.**

Si votre demande de froid est relativement stable d'un jour à l'autre mais totalement différente selon les saisons, il peut-être intéressant de remplacer un compresseur de grande puissance par plusieurs moins puissants. En période de demande faible, seule une partie des compresseurs sera mise en fonctionnement.

Vous pouvez pousser le raisonnement plus loin et disposer vos compresseurs en cascade. Pilotez alors l'ensemble par une commande intelligente qui enclenchera les différents éléments en fonction de la demande.

Une telle disposition peut également vous permettre d'économiser de l'énergie dans le cas où votre demande change au cours de la journée ou de la semaine. Mais une autre option se présente à vous : installer pour actionner le compresseur un moteur électrique muni d'un variateur de fréquence. Cette option va modifier la vitesse de rotation du moteur en fonction de la demande et optimiser ainsi les consommations d'électricité.

Dans le cas d'un pilotage en cascade, il suffit qu'un seul compresseur en soit équipé.

N'oubliez pas les auxiliaires : si vous avez un circuit secondaire, le débit d'eau glacée sera lui aussi variable dans le temps : la variation de fréquence sur le moteur de la pompe d'alimentation peut aussi s'envisager.



Groupe de compression.  
Source : HKrefrigeration.



Source : Nordmilch.de.

## Quelle régulation pour piloter votre installation ?

### → Examinez les ressources d'une gestion centralisée

Un groupe de froid est constitué d'éléments qui ont chacun été choisis pour leurs caractéristiques propres dans des conditions relativement étroites de température et de débit. Toute modification aux conditions de fonctionnement peu perturber l'efficacité énergétique de l'ensemble. Il est dès lors très important de pouvoir disposer d'une lecture permanente du cycle thermodynamique et d'une commande intelligente capable de maintenir l'installation dans des conditions de fonctionnement optimales.

Une gestion centralisée permet de suivre en permanence :

- L'évolution de la haute pression en fonction de la température extérieure ;
- L'évolution de la basse pression à l'évaporateur ;
- Le taux d'engagement et le pilotage des compresseurs ;
- La consommation d'électricité en fonction de la production et/ou de la température extérieure.

Elle permet dès lors de piloter la réfrigération dans des conditions optimales et de transmettre des alarmes lorsque des dérives sont observées.

## Revoir toute la conception de la réfrigération

→ **Votre activité évolue avec le temps. Si vos besoins de froid augmentent, vous devrez revoir votre installation. S'ils diminuent, votre installation sera sur-dimensionnée : elle sera toujours fonctionnelle mais opérera dans des conditions qui seront loin de l'optimum énergétique.**

Dans les deux cas, il est intéressant à un moment donné de revoir en profondeur l'ensemble de l'installation. Profitez-en pour examiner toutes les options d'économies d'énergie mentionnées dans cette fiche, assurez une souplesse de régulation, envisagez même au besoin l'installation d'un stockage de froid, si vous observez des pics de demande qui sont en général onéreuses en électricité.



Source : ac.lille.fr.

### Action :

Adressez-vous à un bureau d'études ou un fournisseur spécialisé pour examiner les atouts d'une gestion centralisée.

### Action :

Si vos besoins de froid ont fortement changé, reconsidérez avec l'aide d'un spécialiste toute la conception de l'installation de réfrigération.

## J'ai une installation au HCFC, que dois-je faire ?

Son utilisation reste possible dans l'immédiat mais sera interdite à terme (2015) sous un fonctionnement aux HCFC.

Si votre installation est ancienne et doit être prochainement remplacée, elle peut être conservée en l'état jusqu'à la fin de sa durée de vie.

Si elle est récente, il faudra envisager sa modification ou son remplacement d'ici 2015.

### Faire un état des lieux

Compte tenu des évolutions récentes de la situation, vous devez réunir un certain nombre d'informations qui vous permettront de préciser la démarche à adopter :

- Age et état de l'installation : portez une attention particulière à son confinement que l'on peut évaluer par les appoints effectués récemment.
- Evaluation des besoins actuels et futurs : température, puissance frigorifique, longévité.... Il peut être préférable de consulter un bureau d'études ou un fournisseur spécialisé pour vérifier ces points et faire établir un devis si des modifications s'avèrent nécessaires.

Si votre installation est récente, il faudra donc d'ici 2015 :

- soit garder la même installation en remplaçant le HCFC par un autre fluide frigorigène (HFC ou autres), compatible avec l'installation. Cette opération de reconversion nécessite un réglage et éventuellement le changement de certains composants pour que l'équipement puisse fonctionner ;
- soit investir dans une nouvelle installation fonctionnant avec un nouveau fluide de type HFC ou autres).

Utiliser les fluides de type HFC en remplacement du HCFC dans une installation existante n'implique que peu de remplacement de pièces (joints, garnitures et parfois l'huile du système). C'est donc probablement la solution la plus adaptée si le système frigorigère est récent, bien entretenu et si l'on peut se permettre une diminution de sa capacité frigorigère. Une étude préalable reste cependant nécessaire. De plus, elle est moins coûteuse que le remplacement complet du système frigorigère.

Pour en savoir plus sur les réfrigérants, vous pouvez consulter le 2ème cahier sectoriel relatif au froid : Théorie du Froid, Réfrigérants et les différents types d'installations.





Audit d'installation.

## POUR PLUS D'INFOS...

### Contacts/références :

En bref, toutes ces optimisations sont envisageables dans votre entreprise si vous disposez d'un groupe de froid.

Cette fiche vous donne une idée du potentiel d'optimisation mais l'étude et la mise en œuvre de ces mesures

doivent souvent être réalisées par des spécialistes. Ci-dessous donc une liste de contacts utiles :

- Spécialistes et fournisseurs équipements : Union belge des frigoristes (UBF). liste des membres classés par province : [http://www.ubf-aca.be/ubfaca/fr/leden\\_install\\_B\\_fr.htm](http://www.ubf-aca.be/ubfaca/fr/leden_install_B_fr.htm)
- Liste des bureaux d'audits agréés par la Région Wallonne sur <http://energie.wallonie.be>
- Primes de la Région Wallonne sur <http://energie.wallonie.be>
- Energy Pooling Wallonie : le réseau des conseillers Energie-Entreprises des Chambres de commerce et d'industrie : <http://www.energypooling.be>

### Bibliographie :

ADEME (2003), Entreprises : optimisez vos consommations énergétiques, [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

CD Rom Energie + : <http://energie.wallonie.be>

### Illustrations :

Photo de couverture : crédits Marché International de Rungis.

## RÉSUMÉ DES AMÉLIORATIONS ÉNERGÉTIQUES

Niveau d'investissement	Problème à repérer	Amélioration/Action	Commentaire	Rentabilité
Coût 0	Surveillez les temps d'ouverture des portes d'accès à la chambre froide	Surveillez l'ouverture des portes. Placez au besoin des portes automatiques		+
Coût 0	Les condenseurs sont-ils propres ?	Surveillez leur encrassement		+
Coût 0	L'évaporateur est-il recouvert de givre ?	Vérifiez avec un spécialiste si le programme des cycles de dégivrage est adéquat. Faites l'acquisition d'une programmation automatique	Prime de la Région wallonne	++
Coût 0	Les incondensables sont-ils régulièrement purgés ?	Etablissez un programme de purges régulières et vérifiez l'état de fonctionnement de ces purges.		+
Coût 0	N'oubliez pas les auxiliaires	Etablir notamment un programme de vérification du traitement d'eau de refroidissement des condenseurs		+
Coût 0	Condenseur à air, condenseur évaporatif : est-il bien alimenté en air extérieur ?	Vérifier que la ventilation du condenseur est opérationnelle		+
Coût 0	Sus aux fuites de réfrigérant	Vérifier le niveau de fluide réfrigérant dans votre système et traquer les fuites		++
Faible Coût	Évitez un écart de température trop important à l'évaporateur	Réagissez face à un écart de plus de 7°C. Consultez un spécialiste		++
Faible Coût	Évitez un écart de température trop important au condenseur	Réagissez face à un écart de plus de 15°C. Consultez un spécialiste		++
Faible Coût	Quel est l'état du calorifuge du circuit secondaire d'eau glacée ?	Examinez le réseau et remplacez les parties de calorifuge défectueuses		++
Faible Coût	La chambre froide est-elle suffisamment isolée ? ?	Vérifiez la qualité et l'épaisseur de l'isolation.		+
Investissement	Doit-on immédiatement introduire les produits dans la chambre froide ?	Envisagez un pré-refroidissement	Subside de la Région wallonne à l'étude de pré-faisabilité	+
Investissement	Récupérez-vous la chaleur dégagée au condenseur ?	Concentrez-vous sur la zone de désurchauffe. Faites-vous conseiller par un spécialiste.	Subside de la Région wallonne à l'étude de pré-faisabilité	+
Investissement	Et si je rapprochais la production et l'utilisation ?	Minimiser la distance entre la production et la consommation de froid		+
Investissement	Dois-je stocker du froid au sein du cycle ?	Examiner l'intérêt d'un stockage de glace		+
Investissement	Quel type de condenseur pour mon installation ?	Choisir un condenseur approprié à l'installation		+
Investissement	Vos moteurs d'entraînement sont-ils au top ?	Prendre des moteurs à haute efficacité		+
Investissement	Et pourquoi pas une turbine de détente ?	Examinez l'intérêt de détendre le réfrigérant dans une turbine.		+
Investissement	Vos compresseurs sont-ils bien dimensionnés ?	Utiliser des compresseurs bien dimensionnés et adaptés		+
Investissement	La demande de froid est-elle variable dans le temps ?	Envisagez des compresseurs en cascade et peut-être un variateur de fréquence sur le moteur d'un compresseur.	Prime de la Région wallonne pour la variation de fréquence	+ à ++
Investissement	Quelle régulation pilote l'installation ?	Examinez les atouts d'une gestion centralisée. Adressez-vous à un spécialiste.		++
Investissement	Revoir la conception de la réfrigération	A réaliser avec un spécialiste, notamment si vos besoins ont changé.		++
Investissement	J'ai une installation au HCFC, que dois-je faire ?	Prévoir le remplacement du réfrigérant ou de l'installation pour 2015.		

**ECONOTEC**  
CONSULTANTS



**FEVIA**  
Wallonie



## COLOPHON

Opérateurs désignés par la Région wallonne :

**Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable (ICEDD) asbl**

Boulevard Frère Orban 4, 5000 NAMUR  
Contact : Stéphanie Marchandise, Responsable de Projets  
Tél. : 081 25 04 80 — Fax : 081 25 04 90  
Courriel : sm@icedd.be

**ECONOTEC Consultants**

Rue des Guillemins 26 / 2<sup>e</sup> étage, 4000 LIÈGE  
Contact : LIEBECQ Georges/MARCHAL Fabienne, Consultants  
Tél. : 04 349 56 18 — Fax : 04 349 56 10  
Courriel : georges.liebecq@econotec.be

Pour le compte de :

**Service public de Wallonie**

**Direction générale opérationnelle Aménagement du territoire,  
Logement, Patrimoine et Énergie**

**Département de l'Énergie et du Bâtiment durable**

Avenue Prince de Liège 7, 5100 Jambes  
Tél : 081 33 56 40 — Fax : 081 33 55 11  
Courriel : Energie@spw.wallonie.be  
Site portail de l'énergie de la Région wallonne :  
<http://energie.wallonie.be>

En partenariat avec :

**Fédération de l'Industrie Alimentaire (FEVIA) asbl**

Avenue des Arts 43, 1040 Bruxelles  
Tél. : 02 550 17 40 — Fax : 02 550 17 59  
Courriel : info@fevia.be

**essenscia wallonie asbl** where chemistry meets life sciences Diamant

Building Boulevard Auguste Reyers, 80 B - 1030 Bruxelles

Tél : +32 2 238 98 51

Editeur responsable :

Dominique Simon, directeur

Crédits photographiques :

photo de couverture : source Marché de Rungis

2<sup>e</sup>ère diffusion électronique, édition septembre 2010