

# Facilitateur URE - Article de Fond

Philippe Smekens (facilitateur URE pour le SPW – conseiller énergie à la CCIH)

*Articles de fond en vue d'une publication dans "Le REactif".*

## « Production, distribution et utilisation rationnelles du froid industriel »



### 1) Introduction:

La production de froid est une technique complexe, nécessitant beaucoup de savoir faire et d'expérience et de conscience professionnelle de la part des installateurs et des maintenanciers.

Le froid industriel est un poste énergivore qui représente :

**15%** de la consommation électrique mondiale !

**+ de 20%** en secteur agro-alimentaire

**+ de 50%** en supermarché

**+ de 65%** de la consommation électrique en entreprises spécialisées en produits frais :

Nous tâcherons dans ce dossier de répondre aux questions suivantes :

- Comment fonctionne un groupe de froid ?
- Suis-je en règle vis-à-vis de la réglementation concernant la production de froid ?
- Comment faire pour réduire les factures d'énergie de mes groupes de froid ?
- Comment faire pour conserver mon réseau de froid efficace et durable ?
- Comment faire pour commander une nouvelle installation de froid ?
- Est-il possible de récupérer des calories sur le groupe de froid ?
- Quels sont les incitants financiers pour investissements URE (utilisation rationnelle de l'énergie) ?

Un mauvais dimensionnement, une mauvaise configuration et un manque de maintenance des groupes de froid peuvent entraîner des surconsommations de plusieurs dizaines de % d'électricité.

L'utilisation des liquides frigorigènes (produits dangereux) est soumise à une législation environnementale stricte (types de gaz admis en CE, inspection des circuits, recyclage...).

Le choix des technologies (adaptées aux besoins, éprouvées et performantes) peut apporter jusqu'à 40% d'économie d'énergie.

Les temps de retour sur les investissements économiseurs d'énergie sont généralement inférieurs à 2 ans

De nombreux éléments interviennent dans le calcul et la configuration d'un groupe de froid performant. Outre l'aspect énergétique, les normes de maintenance et d'environnement seront ici évoquées car elles influenceront le choix d'un nouveau système de froid comme la maintenance des systèmes existants.

**Nous remercions vivement la société Axima Réfrigération et tout particulièrement deux de ses ingénieurs (Yves Caudron et Sébastien Deru) pour le temps qu'ils auront consacré et les nombreux conseils d'experts qu'ils ont fournis pour l'élaboration de cet article.**

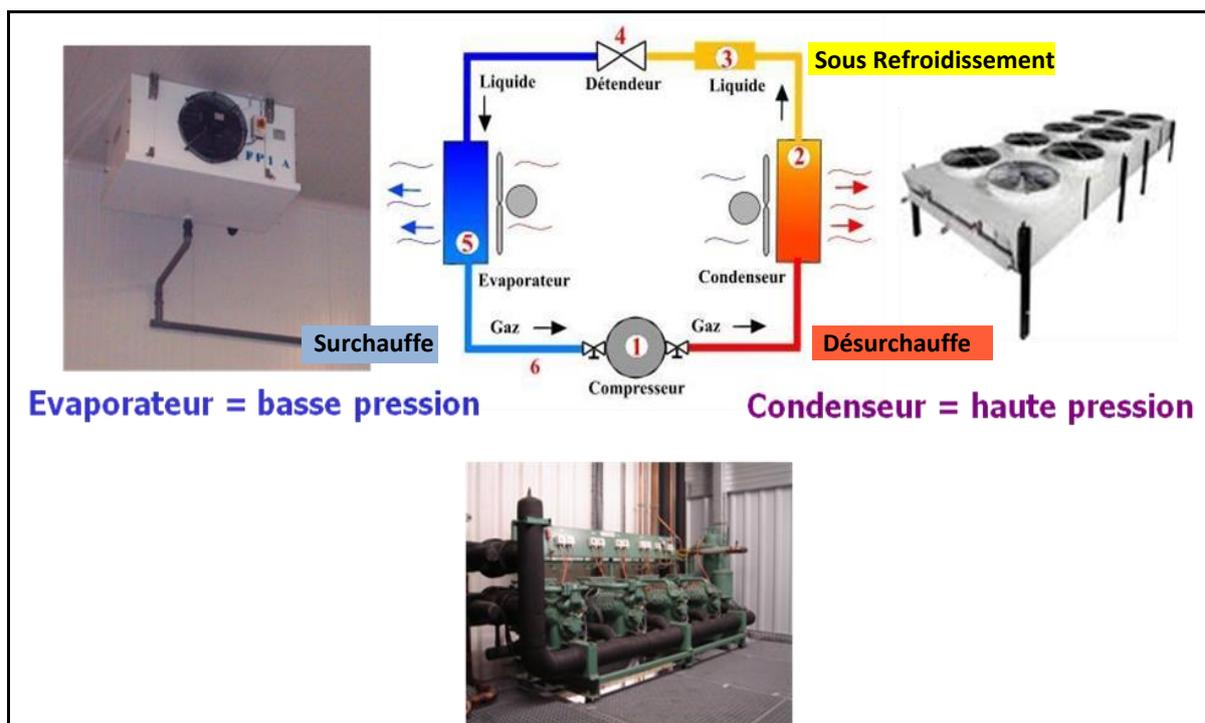
**Un grand merci également à Giacomo Maniscalco (formateur frigoriste au Forem Formation de Mons) qui a apporté quelques précisions concernant les aspects théoriques de l'article.**

Auteur du dossier :

Philippe Smekens (facilitateur URE process pour le SPW et conseiller énergie à la CCIH) –  
Email : philippe.smekens@ccih.be

## 2) Le froid : quelques notions de base :

### Schéma d'un système de froid



Un groupe de froid est rien d'autre qu'une pompe à chaleur (PAC) : il extrait (évacue) les calories d'un élément du circuit vers un autre.

Au niveau de l'**évaporateur**, on absorbe les calories du milieu dans lequel il se trouve. Le fluide frigorigène à basse pression et température négative va s'évaporer au contact de l'air ambiant en absorbant les calories du milieu.

La consommation électrique de l'évaporateur représente en moyenne **10%** de la consommation totale de l'installation frigorifique.

Le **compresseur** comprime le gaz issu de l'évaporateur pour le porter à haute pression ce qui fait monter sa température. Le compresseur est actionné par un moteur électrique dont la consommation est directement liée à la différence de pression HP – BP).

La consommation électrique du compresseur représente en moyenne **80%** de la consommation totale de l'installation frigorifique.

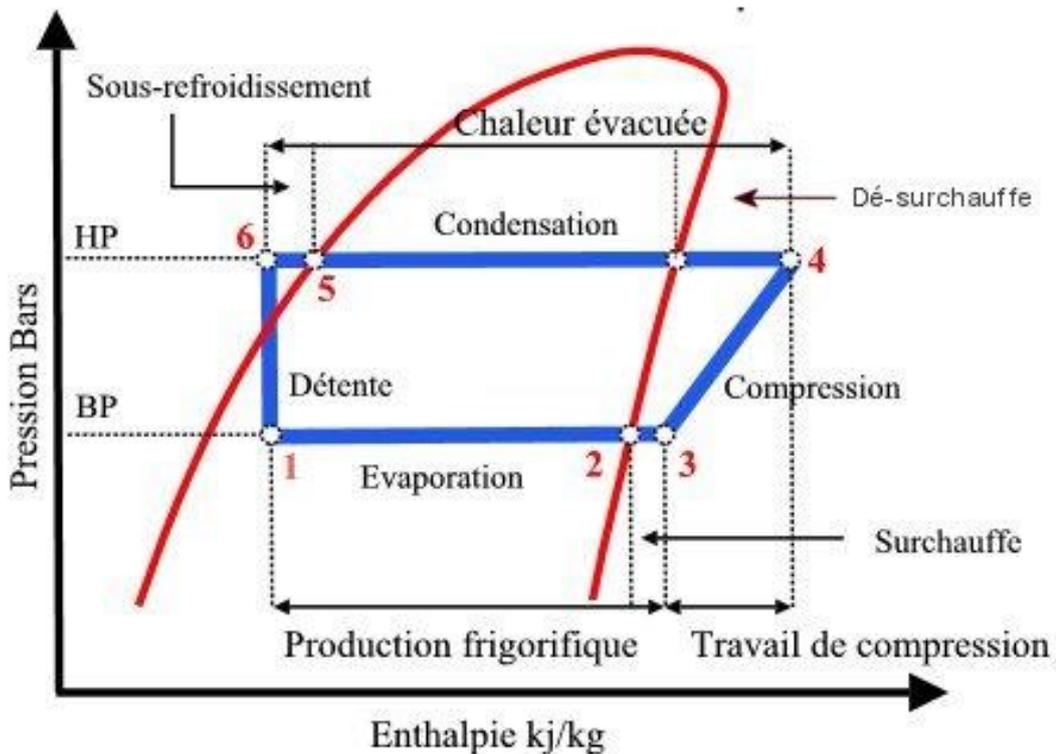
Au niveau du **condenseur**, on évacue les calories absorbées à l'évaporateur et produites pendant la phase de compression. Lors de cet échange de chaleur, le fluide frigorigène passe de l'état gazeux à l'état liquide.

La consommation électrique du condenseur représente en moyenne **10%** de la consommation totale de l'installation frigorifique.

Le **détendeur** fait passer le liquide de haute pression à basse pression. La température du fluide va chuter (température négative).

Bon à savoir :

- Le COP (coefficient de performance) est le rapport entre l'énergie évacuée au condenseur et l'énergie transmise au fluide lors de la phase de compression (= énergie électrique consommée). Le COP est utilisé plutôt pour les PAC utilisées pour les systèmes de production de chaleur.
- Le CEF (coefficient énergétique en froid) ou EER est le rapport entre l'énergie absorbée à l'évaporateur et l'énergie transmise au fluide lors de la phase de compression (= énergie électrique consommée) . Le CEF est utilisé pour les systèmes de production de froid. Le CEF = COP – 1
- L'efficacité énergétique (EE) se calcule en traçant le cycle frigorifique sur le diagramme de Mollier (voir <http://www.abcclim.net/diagramme-mollier.html>)



$$EE = \frac{\text{quantité d'énergie absorbée par l'évaporateur}}{\text{quantité d'énergie consommé par le compresseur}}$$

L'efficacité énergétique EE est en fait proportionnelle au rapport de températures :

$$EE = \frac{T \text{ évaporateur}}{T \text{ condenseur} - T \text{ évaporateur}}$$

T = température exprimée en degrés Kelvins

**Cette formule est à retenir pour la suite du dossier  
(chap. optimisation d'un groupe de froid)**

## Types de compresseurs :

### **Compresseurs à pistons semi-hermétiques :**



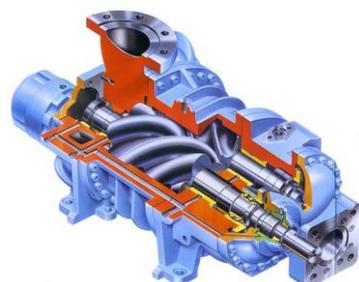
A l'heure actuelle, les compresseurs les plus répandus pour la réfrigération commerciale de petite et moyenne puissance sont les compresseurs à pistons semi-hermétique (le moteur électrique n'est pas démontable mais les pistons sont accessibles). Ces compresseurs ont l'avantage d'être très résistants et de ne pas demander beaucoup d'entretien ou de remplacement de pièces. Ils sont par contre limités au niveau de la puissance frigorifique.

### **Compresseurs à pistons ouverts :**



Ces compresseurs sont utilisés principalement pour des applications industrielles de grande puissance. Le compresseur et le moteur électrique sont soit directement accouplés soit par l'intermédiaire de poulies. Ces compresseurs peuvent également fonctionner à l' $\text{NH}_3$  (au contraire des compresseurs semi-hermétiques). Leur désavantage par rapport au compresseurs à vis (voir ci-dessous) est leur nombre de pièces mobiles (parfois jusqu'à 12 pistons) ce qui demande une maintenance lourde et souvent coûteuse. Leur avantage est leur simplicité de fabrication. Ils sont donc généralement moins chers que leur équivalent à vis.

### **Compresseurs à vis :**



Tout comme les compresseurs à pistons ouverts, ces compresseurs sont utilisés principalement pour des applications industrielles de grande puissance. Le compresseur et le moteur électrique sont directement accouplés. Ces compresseurs peuvent également fonctionner à l' $\text{NH}_3$  (au contraire des compresseurs semi-hermétiques). Leur désavantage est leur relative complexité de fabrication (la compression se fait à l'aide de deux vis sans fin qui tournent l'une dans l'autre). Leur avantage est une maintenance plus aisée du fait du nombre restreint de pièces en mouvement.

Les deux derniers types de compresseurs ci-dessus peuvent atteindre des rendements similaires. Par contre les compresseurs semi-hermétiques ne permettent pas des températures de condensation aussi basse que les compresseurs à pistons ouverts ou que les compresseurs à vis (à cause de la surchauffe des vapeurs basse pression provoqué par le refroidissement du bobinage électrique par les gaz aspirés. Leur rendement sera donc plus faible en cas d'optimisation de la pression de condensation.

1 % de surchauffe à l'aspiration en plus => 1% en plus de consommation du moteur

# Fluides frigorigènes

Afin de fournir du froid de manière efficace et durable, le fluide frigorigène doit avoir les caractéristiques suivantes :

- posséder de bonnes propriétés thermodynamiques (puissance frigorifique volumique élevée, bonne conductivité thermique, etc.),
- être compatible avec les matériaux et les huiles classiques,
- être non toxique pour l'homme et pour l'environnement,
- être ininflammable et
- avoir un coût raisonnable.

Ces différentes propriétés sont techniquement contradictoires, car l'amélioration d'une des caractéristiques entraîne souvent la détérioration d'une autre (p.ex l'augmentation de nombres d'atomes d'hydrogène dans la molécule du réfrigérant réduit sa stabilité atmosphérique, mais augmente son potentiel d'inflammabilité). Le choix du réfrigérant doit être réalisé de manière à trouver un juste milieu entre ces différentes caractéristiques, et ce en fonction des besoins spécifiques en froid du site considéré.

## Les réfrigérants naturels

Les réfrigérants naturels, comme l'**ammoniac NH<sub>3</sub>** (R717) ou le dioxyde de carbone **CO<sub>2</sub>** (R744), sont des substances trouvées dans la nature. Les hydrocarbures, molécules ne contenant que des atomes de carbone et d'hydrogène, en font partie. Dus à leur structure moléculaire, ces fluides naturels présentent des caractéristiques fortement différentes d'un réfrigérant à l'autre. L'utilisation de ceux-ci entraîne, pour des raisons de sécurité, des contraintes techniques souvent plus complexes que les réfrigérants halogénés, mais ont globalement un impact environnemental absolu plus réduit par rapport à ces derniers. Certains de ces produits, comme l'ammoniac ou le propane, sont soumis à des mesures de sécurité spéciales dans le cadre de l'obtention de l'autorisation d'exploitation.

## Les réfrigérants halogénés

### *Les **CFC** (Chlorofluorocarbures) :*

Les CFC, tels le **R11** ou le **R12**, sont des substances ayant une grande stabilité chimique, entraînant ainsi une haute durée de vie de ces molécules dans l'atmosphère. Les CFC sont généralement des réfrigérants ininflammables et possédant de bonnes propriétés physiques.

Ils possèdent un effet nocif sur la couche d'ozone. Ils sont **interdits depuis 2000** (règlement UE 2037/2000)

### *Les **HCFC** (Hydrochlorofluorocarbures)*

Les HCFC, comme p.ex. le **R22**, **R123**, **R124**, sont composées d'atomes de carbone, de fluor, de chlore et d'hydrogène. Ils sont chimiquement moins stables et se dissocient en partie lors de leur passage dans l'atmosphère. Comme les CFC, ils sont pratiquement ininflammables et ont de bonnes caractéristiques thermiques.

Leur impact sur la couche d'ozone est réel mais plus réduit que celui des CFC.

Ils ne peuvent être utilisés comme fluide neuf depuis 2010, ils seront **interdits en 2015** (règlement UE 2037/2000).

### *Les **HFC** (Hydrofluorocarbures)*

Les HFC, comme p.ex. le R134a, R152A, R404A, R407C, R410A, R413A, R507, R508A, R508B, Iscéon 89 ont été développés pour remplacer les CFC et HCFC. Des mélanges de différents HFC, comme le R404A, permettent d'adapter les propriétés physiques des fluides frigorigènes à des besoins spécifiques. Leur inflammabilité est légèrement plus élevée que celle des HCFC, sans pour autant causer des problèmes quelconques. Ces fluides ont un **impact sur le réchauffement climatique**. Ils sont donc soumis au règlement 842/2006 qui vise la réduction des émissions de fluides dans les circuits frigorigènes.

Ces fluides impliquent dans le cas de remplacement des HCFC une diminution sensible de la puissance frigorifique de la centrale. Bon à savoir

## Fluides frigorigènes, installations frigorifiques et environnement

Les **fluides** frigorifiques peuvent avoir un **impact direct** sur l'environnement. Cet impact est quantifié par 2 indices :

L'**ODP** (Ozone Depletion Potential) rend compte des conséquences sur la couche d'ozone de l'émission de 1 kg de fluide, comparée à celle de l'émission d'1 kg de R-11 (CFC). Les fluides impactant la couche d'ozone sont soumis au règlement européen 2037/2000.

Le **GWP** (Global Warming Potential) indique la quantité [kg] de CO2 qui aurait un effet équivalent sur l'effet de serre (réchauffement climatique), à l'émission de 1 kg de fluide (à un horizon de 100 ans).

Ces fluides sont soumis au règlement européen 842/2006

Les **installations frigorifiques** ont aussi un **impact indirect** sur le réchauffement climatique.

Cet impact est évalué par un indicateur que l'on appelle le **TEWI** (Total Equivalent Warming Impact).

Cet indice [en kg équivalent CO2 pour la durée de vie de l'installation] tient compte du GWP, de la masse de fluide chargée dans l'installation, de la fraction de fluide récupérée en fin de vie, du taux de fuite du fluide, de la durée de vie de l'installation, de la consommation électrique annuelle [kWh] de l'équipement et de la quantité de CO2 émise pour produire 1 kWh électrique.

**Règlement 2037/2000** relatif à l'appauvrissement de la couche d'ozone (ODP) :

- CFC : production, mise sur le marché et utilisation interdits en 2000
- HCFC : appoint de fluide neuf : interdit en 2010
- HCFC : appoint de fluide recyclé/régénéré interdit en 2015
- Récupération obligatoire des fluides
- Contrôle d'étanchéité annuel pour les installations de  $\geq 3$  kg

**Règlement 842/2006** relatif à certains gaz à effet de serre fluorés (GWP) :

Ce règlement s'applique aux HFC

- Prévenir (par détection) les fuites de gaz à effet de serre et les réparer
- Contrôle d'étanchéité par du personnel qualifié, contrôle aux fréquences suivantes :
  - Installation < 3kg de fluide  $\Rightarrow$  1 X par an
  - Installation > 30kg de fluide  $\Rightarrow$  2 X par an
  - Installation > 300kg de fluide  $\Rightarrow$  4 X par an + systèmes de détection des fuites
- Récupération obligatoire des fluides
- Certification du personnel et des entreprises concernés par l'installation et la maintenance des équipements frigorifiques.

### **Norme EN 378-1 relative à toute installation frigorifique :**

Ce document est la norme européenne relative aux exigences de sécurité et d'environnement pour les systèmes de réfrigération et pompes à chaleur. Elle reprend la classification des fluides et est harmonisée avec la directive européenne des équipements sous pression (DESP 97/23).

Fluides frigorigènes, classification des groupes de sécurité

	Faiblement toxique	Fortement toxique
Inflammabilité élevée	<b>A3</b>	<b>B3</b>
Faible inflammabilité	<b>A2</b>	<b>B2</b>
Pas de propagation de flamme	<b>A1</b>	<b>B1</b>

## Règlementation Européenne (2014) des gaz fluorés à effet de serre

A partir de	Mesures
01/01/2015	Diminution progressive de la mise sur le marché des HFCs (Hydro Fluoro Carbones) dans l'Union Européenne jusqu'à atteindre une réduction de 79% en 2030.
01/01/2020	Interdiction de l'utilisation de gaz fluorés avec GWP* > 2500 pour toute nouvelle installation, sauf pour les températures inférieures à -50°C. Cette mesure éliminera notamment les fluides R404A et R507. Les R134a, R410A ainsi que la série des R407 seront en revanche toujours permis.
01/01/2020	Interdiction en maintenance de gaz fluorés avec GWP* > 2500 utilisant des fluides vierges, avec une tolérance jusqu'en 2030 lorsque les fluides sont régénérés ou recyclés.
01/01/2022	Interdiction de gaz fluorés avec GWP* > 150 en réfrigération commerciale dans les systèmes centralisés ayant une puissance > 40 kW. Pour les systèmes cascade, un fluide avec GWP* ≤ 1500 pourra être utilisé dans le 1er étage.
01/01/2025	Interdiction des appareils de climatisation type mono split d'une charge en gaz fluorés < 3kg et GWP* > 750

\*GWP : Global Warming Potential = PRG : Pouvoir Réchauffement Global

### Fluides de substitution au R22

	R-22	R-407C	R-404A	R-422D / Isceon MO 29	R-427A / Forane FX 100
Composition	Corps pur	23 % R-32 25 % R-125 52 % R-134a	50% R-143a 50% R-125	65,1 % R-125 31,5 % R-134a 3,4 % R-600a	50 % R-134a 25 % R-125 15 % R-32 10 % R-143a
Glissement de température	-	7 K	< 1 K	± 5 K	± 7 K
Effet de serre direct (GWP) en kg CO <sub>2</sub> /kg	1700	1800	3900	2700	2100
Mise en œuvre	-	Reconversion simple	Reconversion complexe	Reconversion simple	Reconversion simple
Usage d'huile polyolester	Possible	Obligatoire (résiduel < 3 %)	Obligatoire (résiduel < 3 %)	Conseillé (si circuit complexe, résiduel ≤ 5 %)	Obligatoire (résiduel ≤ 15 % Si circuit complexe et T °C ≤ 2 à 7 %)
Pression HP Pression BP	- -	Equivalentes Equivalentes	P ≥ à 20 %	≥ 5%	↘ -
Performances suivant régime et applications	COP → Puissance frigo. → Consommations →	COP ↘ P. frigo. ≤ 5 à 10 % Consommations ↗	COP ↘ Puissance frigo. = Consommations ↗	COP ↘ P. frigo. ≤ 12 à 20 % Consommations ↘	COP ↘ P. frigo. ≤ 5 à 10 % Consommations =
Température critique	+ 96 °C	+ 86 °C	+ 72,1 °C	+ 79,6 °C	+ 86,8 °C
Charge en liquide et en poids	-	Recharge possible	Recharge possible	≤ 5 à 15 % Recharge possible	≤ 5 à 15 % Recharge possible

Tableau 1. Les HFC comparés au R-22. Pour choisir le type de reconversion des systèmes, les opérateurs privilégieront le coût de l'intervention. Le coefficient de performance de leur installation passe au second plan (source : DEHON).

## Puissance ou consommation de certains utilitaires :

### Puissance au mètre courant de comptoirs FROID NEGATIF

Type de comptoir en convection forcée	Surface d'exposition [m <sup>2</sup> /ml]	T°c application [°C]	T°c évaporation [°C]	Puissance frigorifique [W/ml]
Gondole "self-service" à rideau d'air	0,8	- 18 à -20	- 35	420 à 450
	1,1	- 23 à -25		630 à 670
Meuble vertical "self service" à rideau d'air	1	- 18 à -20	- 35	1 900 à 2 100
Meuble vertical "self-service" à portes vitrées	0,84	- 23 à -25	- 35	800 à 860

### Puissance au mètre courant de Comptoirs FROID POSITIF

Type de comptoir en convection forcée	Surface d'exposition [m <sup>2</sup> /ml]	T°c application [°C]	T°c évaporation [°C]	Puissance frigorifique [W/ml]
Vitrine pour les commerces de détail principalement	0,8	+ 2 à + 4	- 10	200 à 220

Condition climatique de l'ambiance : régime établi à 25 °C et HR de 60 %.

### Exemples de coûts de la production de froid :

Des tests sont réalisés en laboratoire dans des classes de fonctionnement tendant à se rapprocher le plus possible de la réalité du terrain. Les fourchettes de consommation moyenne totale TEC/TDA des meubles certifiés par **EUROVENT** sont :

- pour la réfrigération (froid positif) comprise **entre 5 et 15 kWh/m<sup>2</sup>.jour\*** selon l'application;
- pour la congélation (froid négatif) comprise **entre 20 et 35 kWh/m<sup>2</sup>.jour\*** selon l'application.

\* : consommation électrique totale du meuble par m<sup>2</sup> de surface totale d'exposition et par jour.

- Chambre froide à 0°C : Produire 1kW de froid coûte en moyenne 250 €/an (kWh à 0,10€)
- Chambre froide à -25°C : Produire 1kW de froid coûte en moyenne 470 €/an (kWh à 0,10€)

Calculs effectués pour +42°C de condensation toute l'année

## Puissance frigorifique d'une chambre froide (froid positif) en fonction du volume

- Température chambre froide : + 2 °C      =>  $\Delta T = 7 \text{ °K}$
- Température d'évaporation : - 5 °C      =>  $\Delta T = 7 \text{ °K}$
- Température ambiance : + 32 °C
- Réfrigérant : R 134A

Volume chambre froide (m3)	Puissance frigorifique (W)
1,8	400
2,3	500
3,8	690
5	850
7	960
11	1 440
16	1 790
20	2 010
24	2 800
28	2 950
38	3 745
45	4 300
55	4 900
70	5 700
92	7 600
103	8 200
120	9 100
165	12 300

## Puissance frigorifique d'une chambre froide (froid négatif) en fonction du volume

- Température congélateur : - 20 °C      =>  $\Delta T = 10 \text{ °K}$
- Température d'évaporation : - 30 °C      =>  $\Delta T = 10 \text{ °K}$
- Température ambiance : + 32 °C
- Réfrigérant : R 404A

Volume chambre froide (m3)	Puissance frigorifique (W)
2,5	780
4,2	1.050
6,5	1.240
9	1.470
14	2.320
18	2.880
32	3.780
45	4.750
62	6.140

### 3) Optimisation d'une installation existante

sur base de la formule

$$EE \text{ (efficience Energétique)} = \frac{T \text{ évaporateur } [^{\circ}K]}{T \text{ condenseur } [^{\circ}K] - T^{\circ} \text{ évaporateur } [^{\circ}K]}$$

#### Evaporateur :



photo : «évaporateur\_3799.jpg »

Par **diminution de 1°C** de la température d'évaporation  
→ **2,5% de consommation supplémentaire**

#### Maintenance : → ROI : Immédiat

- **Evaporateur encrassé** : Diminution de 2 à 5°C → **Perte = 5 à 12,5%**  
→ Remède : Nettoyage régulier des évaporateurs, contrôle technique

#### Configuration : → **Gain de + de 5%**      **ROI : Moins de 6 mois**

- **Optimisation de l'évaporation** (jour/nuit – été/hiver - demande) :  
-> Technologie : Régulation électronique des circulateurs de fluide et des ventilateurs des évaporateurs
- **Optimisation du ΔT entre le réfrigérant et la chambre froide (max 7°C)**
- **Optimisation du dégivrage** (dégivrer uniquement en cas de besoin, arrêter la ventilation et fermer l'entrée et la sortie des évaporateurs lors du dégivrage)  
-> Technologie : dégivrage avec sublimation du givre : lors du dégivrage on laisse la ventilation active pendant un laps de temps afin d'exploiter l'effet de sublimation du givre (chaleur captée lors du passage de l'état solide à l'état vapeur des cristaux). Après sublimation les résistances de dégivrage sont activées.  
-> Technologie : dégivrer uniquement les évaporateurs givrés (chaque évaporateur est muni de résistances de plusieurs KW qui réchauffent non seulement l'évaporateur mais aussi l'air ambiant)  
-> Technologie : bloquer l'entrée et la sortie de chaque évaporateur (par une « chaussette » ) afin de limiter le réchauffement de l'air ambiant.  
NB : le dégivrage peut aussi se faire par injection de gaz chaud dans l'évaporateur ou par inversion de cycle.

## Condenseur :



photo : « condenseurs SUD\_9446.jpg »

Par augmentation de 1°C de la température de condensation

→ 2,5% de consommation supplémentaire

**Maintenance :** -> **ROI : Immédiat**

- **Condenseur encrassé : Perte = 12,5 à 25%**  
→ Remède : Nettoyage régulier du condenseur (feuilles en automne, pollen au printemps)



photo « condenseur bouché\_9269.jpg »

**Configuration :** -> **Gain de + de 32%** -> **ROI : Moins de 6 mois**

- **Optimisation de la condensation** (jour/nuit - été/hiver - demande) :
  - > Technologie : Variation de vitesse sur les ventilateurs du condenseur
  - > remplacer le gaz contenant des incondensables (air, azote) qui agissent comme des isolants et réduisent donc l'efficacité énergétique des condenseurs.**nb** : seuls les installations au NH3 peuvent être purgées (pas de risque d'émission de gaz à effet de serre)
  - > Vérifier régulièrement l'état des purgeurs

- **Optimisation du  $\Delta T$  entre le fluide et l'air ambiant (max 15°C)**

Condenseur en toiture :

- > réserver un espace suffisant entre le toit et le bas du condenseur pour éviter toute restriction de transport de l'air
- > toit peint en blanc pour éviter la surchauffe de l'air entrant.
- > Vaporisation d'eau à l'entrée des condenseurs en cas de canicule

Condenseur au sol :

- > placer les condenseurs de préférence à l'ombre et au Nord.
- > Faciliter l'entrée et la sortie de l'air pulsé à travers les condenseurs : espace suffisant entre le sol et le condenseur.
- > Eviter d'emprisonner les condenseurs de sorte que l'air chaud sortant ne soit réintroduite à l'entrée des condenseurs.

**Contre exemples :**



Le condenseur de la chambre froide fait partie d'un bloc de froid situé sur la chambre froide. La température ambiante au plafond peut dépasser 50°C ce qui détériore fortement le rendement de la condensation => Chambre froide bon marché à l'achat mais très énergivore !

Photo « condenseur en cuisine\_8341.jpg »



Le groupe de froid (condenseur compris) se trouve dans une cave non ventilée.

Le condenseur est collé au mur.

Le rendement du groupe est tel que le compresseur tourne sans arrêt !

Photo «condenseur en cave\_8613.jpg»

## Isolation des circuits secondaires en aval de l'évaporateur

Dans le cas d'un circuit secondaire de distribution de froid, il est conseillé d'isoler correctement les circuits frigoporteurs. Ceci afin de ne pas laisser les frigories se dissiper en dehors des chambres froide et d'éviter la condensation d'eau sur ces circuits.



photo : « isol circuit froid\_IMG\_3675.jpg »

## Isolation de la chambre froide

Pour une température de chambre de 0°C :

### Sol non isolé :

Sans isolation : déperditions de +/- 30W/m<sup>2</sup>

Avec isolation de 5cm d'épaisseur : déperditions de +/- 5W/m<sup>2</sup>

### Plafond/toiture non isolée :

Sans isolation : déperditions de +/- 50W/m<sup>2</sup>

Avec isolation de 5cm d'épaisseur : déperditions de +/- 10W/m<sup>2</sup>

### Isolation des murs :

Isolation de 6 cm d'épaisseur : déperditions de +/- 9W/m<sup>2</sup>

Isolation de 8 cm d'épaisseur : déperditions de +/- 6,5W/m<sup>2</sup>

Gain de + de 25% pour 2 cm d'isolation supplémentaire !

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

**Exemple chiffré d'optimisation** (au tarif de : 0,1 €/kWh) :

- **Chambre froide à 0°C :**

Sans optimisation : **1 kW** de froid coute **260 €/an**

Avec optimisation : **1kW** de froid coute **170 €/an**

-> **Economie réalisée de 90 €/an par kW de froid produit**

- **Chambre froide à -25°C :**

Sans optimisation : **1 kW** de froid coute **330€/an**

Avec optimisation : **1 kW** de froid coute **220€/an**

-> **Economie réalisée de 110 €/an par kW de froid produit**

## Les protections de nuit des meubles frigos



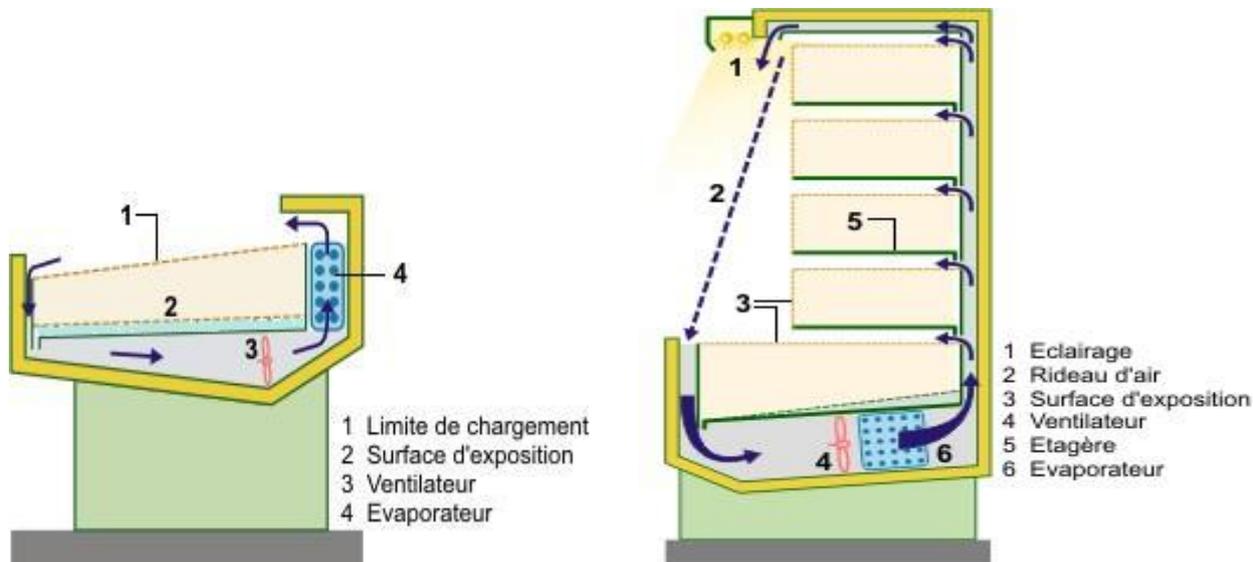
Les rideaux de nuit sont primordiaux dans la lutte contre les apports thermiques des meubles ouverts.

Sur une journée, avec des périodes d'inoccupation de 12 à 14 heures, on peut réduire de l'ordre de :

- **8 à 45 %** les consommations des meubles horizontaux suivant le type de protection (simple rideau à couvercle isolé par exemple);
- **12 à 30 %** les consommations des meubles verticaux.

## Chargement des meubles frigos

Eviter de placer des produits surgelés (refroidis) dans le flux du rideau d'air des meubles. Ces « obstacles » perturbent le flux du rideau d'air et diminuent par conséquent l'efficacité de la congélation ou du rafraîchissement.



## Eviter de produire du froid pour rien\_:



photo « porte ouverte\_9264.jpg »



photo « porte entr ouverte\_9432.jpg »

- Fermeture de porte automatique (ou alarme)
- **Porte avec rideau d'air/lamelles/rideau de nuit :**

Porte ouverte de 2m<sup>2</sup> = +/- 10kW de perte énergétique !!! (Chambre à 0°C)

Porte ouverte de 2m<sup>2</sup> avec rideau d'air = +/- 1kW de perte

→ **90% d'économie d'énergie**

- Gestion de l'éclairage (allumage avec détecteur de mouvement)
- Gestion des dégivrages
- Free-cooling
- Vérification des points de fonctionnement
- Sas d'entrée/sortie

## Eviter la surchauffe des condenseurs (condenseurs mal/non aéré)

### Points clefs à retenir :

- Condenser le plus bas possible (**économie jusqu'à 30%**)
- Evaporer le plus haut possible (**économie jusqu'à 5%**)
- Entretien régulier de l'installation (le préventif diminue le curatif)
- Bien isoler
- Sensibiliser le personnel aux pertes auxiliaires
- Vérification et adaptation des paramètres => **audit énergétique des installations**

## 4) Symptômes de dysfonctionnement d'un groupe de froid

La bonne performance technique ainsi que l'efficacité d'une machine frigorifique dépend en partie de la charge du frigorigène. Cette charge varie en fonction du climat (hiver : charge plus importante / été : charge moins importante) et du changement de régime du compresseur.

La vérification de la HP (haute pression) et de la BP (basse pression) du circuit frigorifique permet de déterminer d'éventuelles anomalies (pannes d'excès ou de manque de charge) qui détériorent le rendement de l'installation et les consignes de T°C des éléments réfrigérés :

Niveau de pression	Type de panne
<b>HP anormalement élevée</b>	Efficacité du condenseur trop petite (ailettes encrassées ou écrasées) Faible débit d'air au condenseur Excès de charge de fluide (erreur du frigoriste) Présence d'incondensables (air, azote) – erreur du frigoriste
<b>BP anormalement élevée</b>	Compresseur trop petit ou clapet cassé Détendeur trop puissant (erreur de conception => risque d'évaporation incomplète du liquide basse pression et de casse du compresseur)
<b>HP anormalement faible</b>	Efficacité de l'évaporateur trop petite (erreur de conception ou ailettes givrées/écrasées) Manque de charge de fluide
<b>BP anormalement faible</b>	Faible débit d'air à l'évaporateur (présence de givre ou problème de ventilation)

## 5) Critères de choix et de performance d'une nouvelle installation

- a. Tout d'abord bien dimensionner son projet dès le départ, penser aux éventuelles extensions futures. Une installation frigorifique centralisée aura toujours un meilleur rendement que plusieurs petites installations. De plus, le matériel nécessaire aux optimisations ci-dessous sera au final moins coûteux sur une installation centralisée.
- b. Optimisation de la température de condensation toute l'année, c'est-à-dire condenser toute l'année à la température la plus basse possible → économie électrique annuelle de plus de 30% par rapport à une installation qui condense à la même température toute l'année.  
Matériel nécessaire sur l'installation pour optimiser la température de condensation toute l'année : variateur de fréquence sur le condenseur (ou moteurs EC) + régulation électronique + sonde de température extérieure au niveau du condenseur
- c. Optimisation de la température d'évaporation toute l'année, c'est-à-dire évaporer toute l'année à la température la plus haute possible → économie électrique annuelle de plus de 5% par rapport à une installation qui évapore à la même température toute l'année.  
Matériel nécessaire sur l'installation pour optimiser la température d'évaporation toute l'année : Détendeur électronique + régulation électronique
- i. Bonne isolation des murs, plafond et sol. Un plafond non isolé engendre 5 fois plus de déperdition énergétique qu'un plafond isolé.
- ii. Opter pour des compresseurs (au moins 1 sur une installation comportant plusieurs compresseurs). Ceci permet d'éviter des arrêts-démarrages intempestifs mais aussi d'avoir des températures beaucoup plus stables.
- iii. Choisir des méthodes intelligentes de dégivrage des évaporateurs. Une hotte d'aspiration et une gaine textile au niveau de la sortie de l'air froid permet de raccourcir les phases de dégivrage d'un évaporateur et donc d'économiser une partie de l'énergie nécessaire à ce dégivrage.
- iv. Eviter de laisser les portes d'une chambre froide ouvertes lorsque ce n'est pas nécessaire. Placer des alarmes prévenant qu'une porte est ouverte depuis trop longtemps, placer des lamelles plastiques ou un rideau d'air dans l'ouverture de la porte.
- v. Demander des enregistreurs d'énergie au moins sur les plus gros consommateurs de l'installation à savoir, les compresseurs. Un installateur compétent et soucieux de l'efficacité énergétique doit pouvoir vous fournir un calcul de la consommation future de votre installation. Ensuite vous pourrez vérifier ces calculs par simple lecture de la consommation sur l'enregistreur d'énergie.
- vi. Une bonne maintenance de l'installation frigorifique permet d'éviter par exemple un encrassement des échangeurs (principalement le condenseur) et donc de dégrader le rendement de l'appareil.
- vii. Préférer les fluides naturels comme l'ammoniac ou le gaz carbonique. Comme expliqué plus haut, ces gaz étant naturellement présent sur terre, ils ne contribuent pas à la destruction de la couche d'ozone ou au réchauffement climatique.
- viii. **S'assurer que les conditions et les performances de fonctionnement de l'installation sont conformes aux prescriptions initiales fournies par l'installateur et durables.**

## **Exemple d'une installation frigorifique moderne et efficace :**

Installation permettant de maintenir des produit à une température ambiante de -25°C :

L'installation fournit 137kW de puissance frigorifique à -33°C d'évaporation et consomme 58kW d'électricité en moyenne toute l'année. Le coefficient de performance de cette installation est donc de 2,34. Une installation « standard » où aucun effort n'aura été fait pour augmenter l'efficacité consommerait 94kW d'électricité pour les mêmes 137kW de froid produits.

L'économie globale est donc ici de près de 38% ce qui représente à peu près 23.000€ d'économie d'énergie électrique par an pour le client.

Cette installation optimisée fonctionne avec de l'ammoniac, à une température de condensation variable toute l'année (jusqu'à 18°C au minimum) grâce à un condenseur à air équipé de moteurs EC, une température d'évaporation variable toute l'année grâce à des détendeurs électroniques, des dégivrages intelligents grâce à une hotte d'aspiration et une gaine textile placée à la sortie de l'air froid et à une gestion centralisée de l'installation par l'intermédiaire d'un automate électronique. Tout ce matériel sera rentabilisé après 16 mois grâce aux économies d'énergie réalisée.



Station de froid\_Axima-Houdeng

## 6) Récupération de calorie à partir d'un groupe de froid

### Récupération de calorie à la désurchauffe

Récupérer en bloc toute la chaleur dégagée au condenseur ne permet pas, en général, de chauffer de l'eau ou de l'air à une température élevée (max 30°C). Par contre, si on se concentre sur la partie du condenseur appelée zone de désurchauffe (circuit reliant le compresseur au condenseur), on peut 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.

Cette technique est utilisée entre autre pour le chauffage des sols de chambres froides (froid négatif) ou de l'ECS (eau chaude sanitaire).

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>).

## Récupération de calorie à la condensation

Cette technique a été exploitée au supermarché Intermarché de Péruwelz pour le chauffage par le sol du magasin et des bureaux (total 1500 m<sup>2</sup>).

Le fluide frigorigène côté haute pression passe par un échangeur de chaleur (R404/eau glycolée). L'eau glycolée est stockée dans un conteneur isolé (buffer) et mise en circulation dans le réseau de chauffage par le sol du magasin et des bureaux et/ou dans un aéroréfrigérant (sorte de condenseur) placé sur le toit. Cet aéroréfrigérant élimine les calories des 2 groupes lorsque la demande de chauffage est limitée ou nulle (en période chaude).

Aux dires du gérant l'installation répond parfaitement aux besoins des utilisateurs malgré l'hiver rigoureux de 2010.

:



**Intermarché de Péruwelz** : récupération de calories sur groupe de froid (par échangeur et buffer d'eau chaude) pour le chauffage par le sol du magasin

Quelques données techniques :

**Groupes frigorifiques** :

Puissance froid positif : 110 kW (EER = 2,5)

Puissance froid négatif : 17 kW (EER = 1,17)

Puissance échangeur froid positif : 150 kW

Puissance échangeur froid négatif : 30 kW

Aéroréfrigérant : 190 kW

Surface chauffée par le sol : 1500 m<sup>2</sup>

**Nous remercions Mr Damien Prévost, gestionnaire de l'Intermarché, de nous avoir permis de visiter ses installations de froid et de nous en confier les données techniques**

## 7) Incitants financiers

### DG04 : Primes énergie – process

#### **Prime 27 : Régulation du froid et optimisation des cycles de dégivrage :**

Les travaux d'installation d'un dispositif de régulation du froid et d'optimisation des cycles de dégivrage (pour contrôler le cycle des compresseurs et optimiser les cycles de dégivrage) dans un bâtiment ou une unité technique d'exploitation situés en Wallonie, font partie des travaux subsidiés par la Région wallonne.

La prime s'élève à **1.250 € par groupe de froid de 15 kW** électrique minimum équipé de ce dispositif.

**Elle ne peut en aucun cas excéder le montant de la facture.**

L'économie d'énergie réalisée doit être d'au moins de 20%.

#### **Prime 26 : Variateur de fréquence sur les compresseurs, les pompes**

Est ici concernée l'installation d'un variateur de vitesse par variation de fréquence sur les compresseurs, les systèmes de ventilation et les pompes ou l'installation de compresseurs, de systèmes de ventilation et de pompes munis d'un variateur de vitesse par variation de fréquence.

La prime s'élève à **100 € par kW de puissance nominale du moteur**. Elle est toutefois plafonnée à 5.000 € par unité technique d'exploitation **et ne peut en aucun cas excéder le montant de la facture.**

L'économie d'énergie réalisée doit être d'au moins de 10%.

**NB :** Pour obtenir les 2 primes, le formulaire adhoc et ses annexes doivent être complétés et introduits dans les 4 mois qui suivent la date de la facture finale auprès du gestionnaire de réseau de distribution d' **électricité** sur le territoire duquel l'investissement a été réalisé.

**Contact :** Mme Carole PISULA - 081/33 56.91 - [carole.pisula@spw.wallonie.be](mailto:carole.pisula@spw.wallonie.be)

**Plus d'info :** [www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) / [Aides et primes](#) > [Entreprises, indépendants, professions libérales](#) > [Primes Energie](#)  
> [Primes Energie - Process](#)

### DG06 : Aides à l'investissement (utilisation durable de l'énergie -protection de l'environnement)

Pour tout investissement de plus de 25.000€

La demande d'aide doit être faite avant l'investissement.

Les investissements admis sont limités aux surcoûts supportés par l'entreprise: par rapport à un investissement relatif à une installation traditionnelle de même nature dans le cas de l'entreprise qui réduit sa consommation de l'énergie utilisée au cours du processus de production;

**Contact :** Mme Ingrid THIRY - 081/33.37.85 - [ingrid.thiry@spw.wallonie.be](mailto:ingrid.thiry@spw.wallonie.be)

**Plus d'info :** [www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) / [Aides et primes](#) > [Entreprises, indépendants, professions libérales](#) > [Aides à l'investissement \(énergies renouvelables, cogénération ou process\)](#)  
> [Aide à l'investissement de la Dir. Gén. Op. Economie](#)

## **SPF : Déductions fiscales pour investissements économiseurs d'énergie**

Les investissements économiseurs d'énergie qui correspondent à la catégorie suivante peuvent être déduits fiscalement (max **13,5 %**) par les entreprises et les professions libérales :

limitation des pertes d'énergie par l'isolation d'appareils, conduites, vannes et gaines de transport en usage ou par le recouvrement des bains de liquide chaud ou froid en usage;

**Contact :** Claude ELIKI NIKOYO - 081/33 55 14 - [claudelikinikoyo@spw.wallonie.be](mailto:claudelikinikoyo@spw.wallonie.be)

**Plus d'info :** [www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) / [Aides et primes](#) > [Entreprises, indépendants, professions libérales](#)  
> **Déduction fiscale pour investissements**

### **8) Documentation :**

[www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) / [Professionnels](#) > [Entreprises, industries](#) > **Cahiers techniques sectoriels**

[www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) / [Professionnels](#) > [Outils et logiciels](#) > [Energie + : outil d'information](#) > CD **ENERGIE +**

Cahier de la production propre publié par le CRTE (Centre de Ressources des technologies pour l'Environnement)  
« LA PRODUCTION DE FROID DANS LE MILIEU AGRO-ALIMENTAIRE, INDUSTRIEL ET TERTIAIRE »  
=> Impacts environnementaux et applications techniques »