



EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR RAC

Mme RAOUDHA MASSAOUDI

WEBINAIRE DE
FORMATION N° 4

14 NOVEMBRE 2021





SOMMAIRE

- ❖ CONTEXTE
- ❖ INTRODUCTION
- ❖ EFFICACITE ENERGETIQUE
- ❖ PERFORMANCE ENERGETIQUE
- ❖ CONCLUSION



CONTEXTE

- ◉ Challenges

- La diminution des sources d'énergie fossile
- L'émission des gaz à effet de serre : réchauffement planétaire
- Le développement durable

INTRODUCTION



- Le nombre total de systèmes de froid, de conditionnement d'air et de pompe à chaleur en fonctionnement dans le monde: **5milliards** dont:
 - ✓ **2,6 milliards** d'unités de conditionnement d'air (fixes et mobiles),
 - ✓ **2.4 milliards** de réfrigérateurs et congélateurs domestiques, meubles réfrigérés, vitrines, chambre froide, pompe à chaleur...
- Le secteur du froid incluant le conditionnement d'air **utilise 20% de l'électricité totale** consommée au niveau mondial;
- La demande mondiale d'électricité pour le froid – y compris le conditionnement d'air – **pourrait plus que doubler d'ici 2050.**
- Les **émissions** dus au secteur du froid représentent **4,14 GtCO₂eq**, soit **7,8 %** des émissions totales de gaz à effet de serre.

EFFICACITE ENERGETIQUE



Les notions de l'Efficacité Energétique

- COP global: coefficient de performance global
COP g = la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur/ la quantité d'énergie électrique totale absorbée par l'installation

- EER: Energy Efficiency Ratio: coefficient d'efficacité frigorifique

EER= la quantité de chaleur absorbée / la quantité d'énergie
fournie au compresseur

EFFICACITE ENERGETIQUE



Les notions de l'Efficacité Energétique

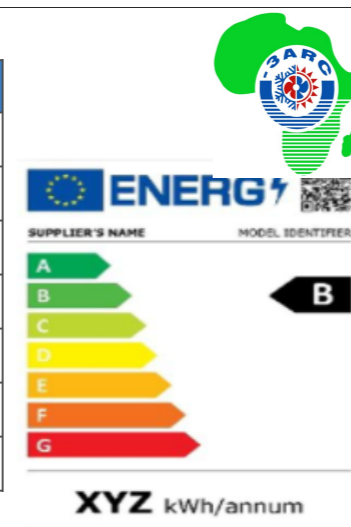
- SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio: taux de rendement énergétique saisonnier:

$$\text{SEER} = \frac{\text{Besoins annuels de climatisation (kWh/an)}}{\text{Consommation d'électricité annuelle de l'appareil en mode climatisation (kWh/an)}}$$

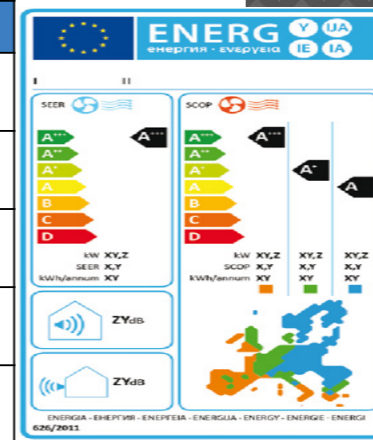
- HSPF ou SCOP: Heating Seasonal Performance Factor: Coefficient de Performance Saisonnier de Chauffage:

$$\text{SCOP} = \frac{\text{Besoins annuels de chauffage (kWh/an)}}{\text{Consommation d'électricité annuelle de l'appareil en mode chauffage (kWh/an)}}$$

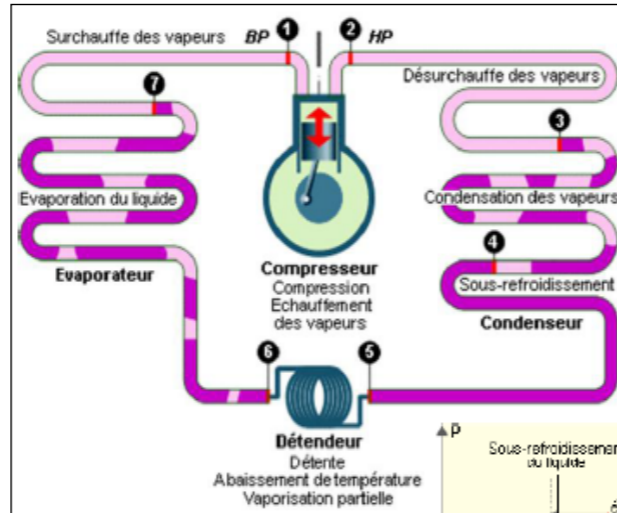
Lettre	EER	Performance
A	Consommation supérieure à 3,2 kWh	Excellente performance frigorifique
B	Consommation comprise entre 3 kWh et 3,2 kWh	Très bonne performance frigorifique
C	Consommation comprise entre 2,8 kWh et 3 kWh	Bonne performance frigorifique
D	Consommation comprise entre 2,6 kWh et 2,8 kWh	Bonne performance frigorifique
E	Consommation comprise entre 2,4 kWh et 2,6 kWh	Performance frigorifique moyenne
F	Consommation comprise entre 2,2 kWh et 2,4 kWh	Performance frigorifique faible
G	Consommation inférieure ou égale à 2,2 kWh	Mauvaise performance frigorifique



Lettre	SEER	Performance
A+++	Consommation supérieure ou égale à 8,5 kWh	Excellente performance frigorifique
A++	Consommation comprise entre 6,1 kWh et 8,5 kWh	Bonne performance frigorifique
A+	Consommation comprise entre 5,6 kWh et 6,1 kWh	Moyenne performance frigorifique
A	Consommation comprise entre 5,1 kWh et 5,6 kWh	Performance frigorifique faible
B	Consommation inférieure ou égale à 5,1 kWh	Performance frigorifique mauvaise

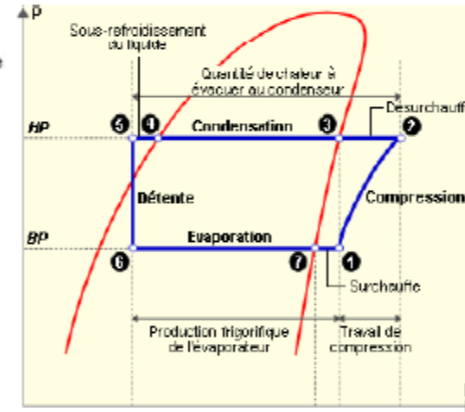


MACHINE FRIGORIFIQUE SIMPLE



• 4 composants principaux

- évaporateur
- compresseur
- condenseur
- détendeur

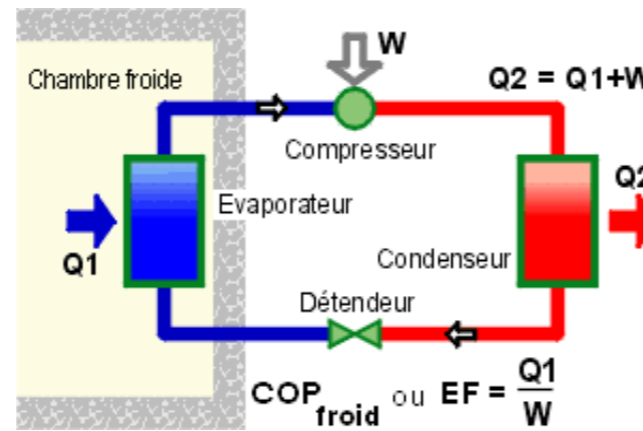




L'efficacité énergétique

Une machine frigorifique est **énergétiquement efficace** si elle demande peu d'énergie pour fournir une puissance frigorifique donnée.

- L'indice de mesure d'Efficacité : COP/EER/SEER/SCOP





COMMENT ÉVALUER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UNE MACHINE EN FONCTIONNEMENT ?

- ◉ Les mesures seront réalisées pendant un temps “stable”, la température extérieure étant de **25 à 35°C** car l'installation doit être bien chargée, le compresseur doit fonctionner à plein régime, tous les ventilateurs étant en fonctionnement continu.

APPAREILS DE MESURES



Compteur d'énergie électrique



Manifold frigoriste



Thermomètre



Anémomètre

ON MESURE



Paramètres	Unité de mesure
la température de l'air aspiré par le condenseur	Tec (en °C)
la température de l'air à la sortie du condenseur (le plus près de la sortie possible)	Tsc (en °C)
la température de l'air aspiré par l'évaporateur	Tee (en °C)
la température de l'air refoulé par l'évaporateur	Tse (en °C)
la vitesse de l'air parcourant chacune des batteries	Vair (en m/sec)
l'énergie absorbée par le compresseur uniquement	Qa (en kWh)
l'énergie absorbée par la totalité de l'installation	Qt (en kWh)
le temps de fonctionnement du compresseur	t (en heures)
la pression d'aspiration du compresseur	P0 (bar)
la pression de refoulement du compresseur	Pc (bar)
la température d'évaporation	T0 [en °C]
la température de condensation	Tc [en °C]

ON CALCULE

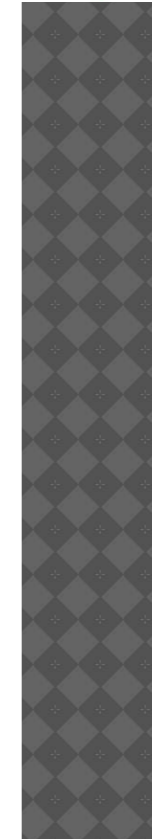


Paramètre	formule	
la surface frontale du condenseur aspirant l'air		S (en m ²)
Puissance condenseur PC	$S \times v \times 1,2 \times (T_{sc} - T_{ec})$	[kW]
Puissance absorbée Pabs	Q_a / t	[kW]
Puissance totale Ptot	Q_t / t	[kW]
Puissance évaporateur PF		[kW]
Coefficient de performance Global	$COP_g = PF/P_{tot}$	sans unité
Coefficient de performance saisonnier de refroidissement	$SEER = PF/P_{abs}$ (t de refroidissement)	sans unité
Coefficient de performance saisonnier de chauffage	$SCOP = PC/P_{abs}$ (t de chauffage)	sans unité

Sur base de ces mesures, il est possible de déduire le point de fonctionnement de l'appareil et de vérifier son adéquation avec les données du constructeur et les données du concepteur de l'installation.



COMMENT AMÉLIORER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES?



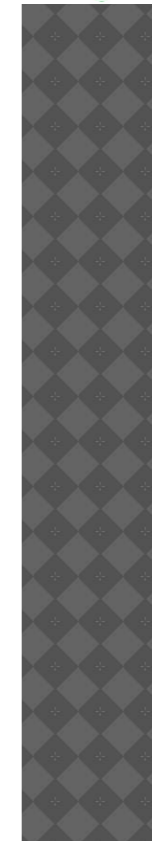


L'énergie la moins coûteuse c'est celle qu'on ne consomme pas

- **PERFORMANCE = EFFICACITE ENERGETIQUE + COMPORTEMENT**
- Les pistes d'amélioration de performance d'une installation frigorifique:
 - ✓ Optimiser l'utilisation des équipements
 - ✓ Adopter de bonnes pratiques
 - ✓ Bien choisir l'équipement



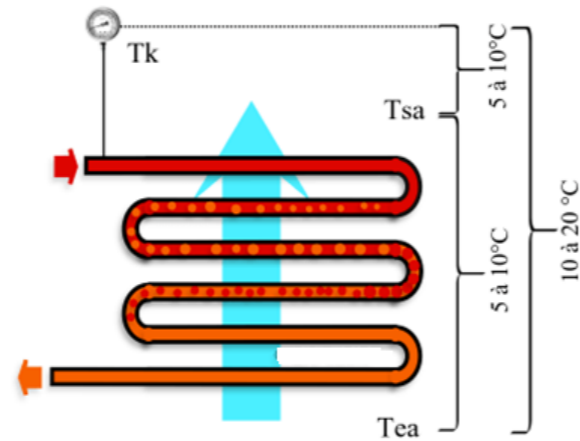
OPTIMISER L'UTILISATION DES EQUIPEMENTS



OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE: CONDENSEUR



- ❑ Optimisation de la différence de température entre le fluide frigorigène (T_c) et l'air ambiant (**max15°C**)



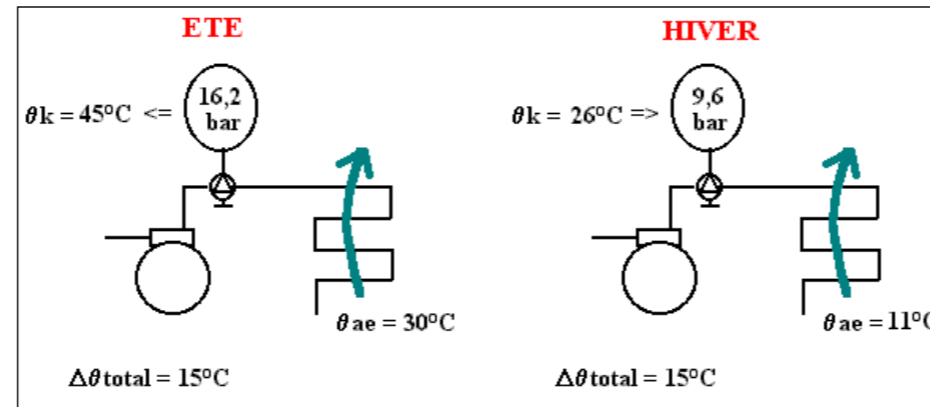
**Optimiser $\Delta\theta$
=15°C**

- Placer les condenseurs de préférence à l'ombre
- Faciliter l'entrée et la sortie de l'air pulsé à travers les condenseurs
- Éviter d'emprisonner les condenseurs afin d'éviter le retour de l'air chaud sortant.

OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE: CONDENSEUR



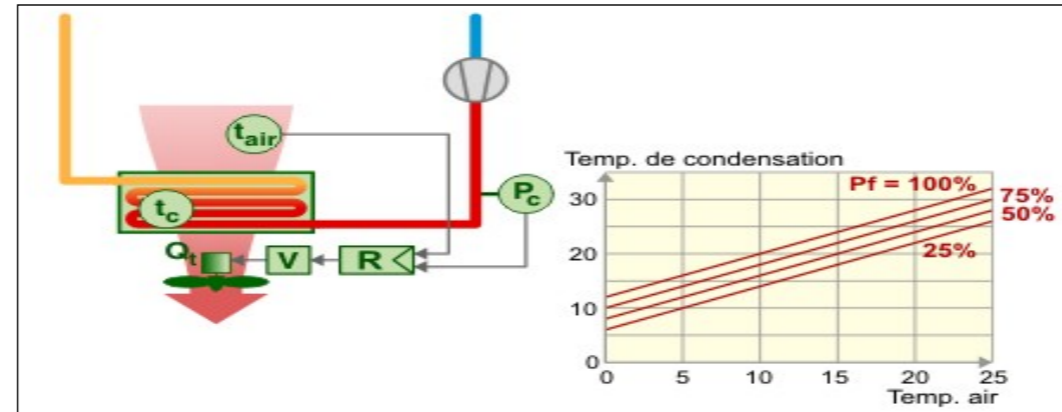
□ Optimisation de la Température de condensation: **HP flottante**



-Lorsque la θ_{ext} est basse, refroidir le condenseur demande moins d'énergie aux ventilateurs.

- La Température de **condensation optimale** se déplace donc selon la θ_{ext}
- Attention à la limite basse pour éviter la formation de vapeur dans la phase liquide

OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE: CONDENSEUR



La régulation HP flottante nécessite quelques modifications:

- Détendeur électronique plutôt que thermostatique
- Variation de fréquence sur les ventilateurs pour augmenter la plage de réglage

➤ **Cette régulation est rentable pour les grosses installations.**



OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE- CONDENSEUR

- Nettoyer le condenseur :Condenseur encrassé: **perte de 12.5 à 25%**

Le COP **augmente** lorsque la **Tc diminue**

- **1 °K d'augmentation de la température de condensation correspond de 2 à 3 % d'augmentation de la consommation électrique du compresseur.**

OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE- ÉVAPORATEUR



❑ Optimisation de la différence de température entre le fluide frigorigène T_0 et le milieu réfrigéré

◦ **En climatisation :**

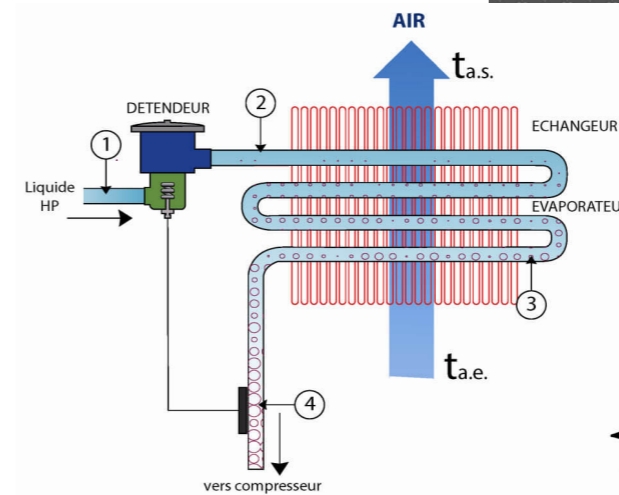
Un $\Delta\theta$ sur l'air ($t_{ae} - t_{as}$) de 6 à 10°C

Un $\Delta\theta$ total ($t_{ae} - t_o$) de 16 à 20°C

◦ **En froid commercial :**

Un $\Delta\theta$ sur l'air de 3 à 5°C

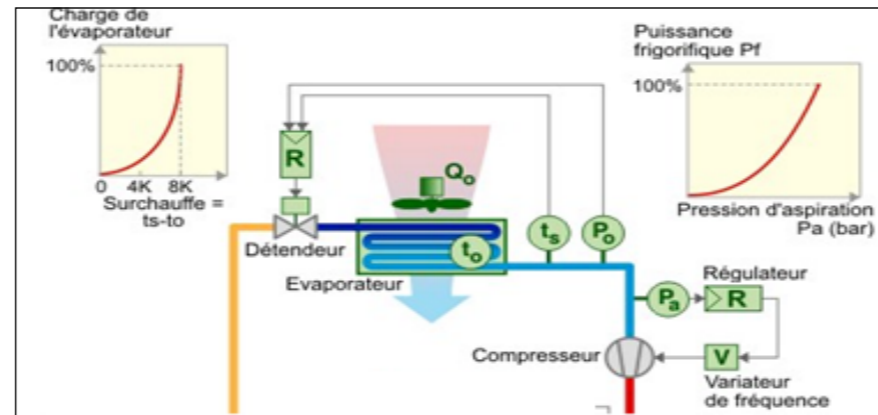
Un $\Delta\theta$ total ($t_{ae} - t_o$) de 6 à 10°C



OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE- ÉVAPORATEUR



- ❑ Optimisation de la température d'évaporation: **BP flottante**



- * Adapter en permanence les pressions de fonctionnement en fonction **des besoins réels** et ceci sans affecter la conservation des produits.
- * Choisir T_0 selon une consigne jour/nuit différenciée
- Nécessite l'utilisation d'un détendeur électronique
- **cette régulation est rentable pour de grosses installations**



OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE- ÉVAPORATEUR

- Nettoyer l'évaporateur: Évaporateur encrassé: **perte de 5% à 12.5%**
- Les pressions d'aspiration plus élevées limite la formation de givre sur les évaporateurs, le temps de dégivrage s'en trouve donc diminué.

Le COP **augmente** lorsque la **T0 augmente**

Par diminution de 1°K de T d'évaporation: 2.5% de consommation supplémentaire



Notions de base

◉ Origine du givre

- l'air ambiant contient de l'eau; cet eau gèle au contact des surfaces froides ($T < 0^{\circ}\text{C}$)

◉ Les conséquences du givre

- Il diminue le transfert de chaleur entre l'évaporateur et le milieu ambiant (création d'une couche isolante sur l'évaporateur)
- Il diminue l'efficacité du compresseur (moins bonne évaporation du réfrigérant, pression à l'entrée du compresseur plus basse, risque de « coups de liquide »)

◉ La problématique du dégivrage

- Trop de dégivrages entraîne une surconsommation du système de dégivrage
- Trop peu de dégivrages diminue l'efficacité énergétique de l'installation
- Il faut donc trouver un optimum entre ces deux contraintes

OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE- CYCLE DE DÉGIVRAGE

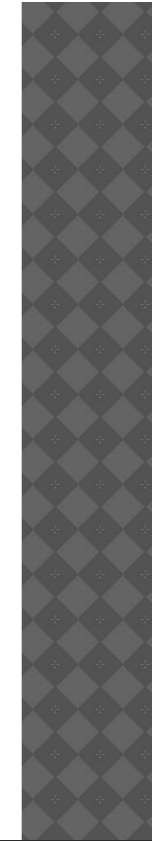


- Pour optimiser le dégivrage il faut:
 - Choisir le type de dégivrage et de régulation adéquat
 - Minimiser l'ouverture des portes
 - Contrôler le contact de fermeture des portes
 - Optimiser la Température d'évaporation
 - Contrôler l'emplacement de la sonde de dégivrage

A partir de réglage de base le frigoriste peut diminuer le nombre de cycle de dégivrage et fixer la durée de chaque cycle.



ADOPTER DE BONNES PRATIQUES



LES OPÉRATIONS D'ENTRETIEN



❑ **Les compresseurs et autres moteurs électriques :**

- ✓ Vérification du niveau et de la pression d'huile,
- ✓ Vidange et graissage réguliers des moteurs,
- ✓ Contrôle de la tension des courroies,
- ✓ Vérification de la charge des moteurs en mesurant la puissance électrique consommée,
- ✓ Contrôle de l'alignement et du niveau des vibrations.

❑ **Les évaporateurs, condenseurs, tours de refroidissement et autres échangeurs :**

- ✓ Contrôle régulier du niveau d'encrassement,
- ✓ Nettoyage des surfaces d'échange en cas de besoin,
- ✓ Contrôle du fonctionnement des ventilateurs,
- ✓ Purge des corps indésirables (air, huile et eau),
- ✓ vérification du système de dégivrage

LES OPÉRATIONS D'ENTRETIEN



- ❑ **Le système de contrôle et de régulation :**
 - ✓ Contrôle des valeurs de consigne des thermostats,
 - ✓ Vérification régulière du calibrage des sondes,
 - ✓ Vérification du contrôle de capacité des compresseurs.
 - ✓ Régler correctement la surchauffe au niveau du détendeur

- ❑ **Le réseau de distribution :**
 - ✓ Révision du réseau pour réduire les pertes de charge,
 - ✓ Vérification des filtres et de l'ouverture des vannes,
 - ✓ Contrôle de l'état du calorifugeage



Contrôle du froid commercial/ domestique	
Mesures et actions indispensables	Potentiel
Vérification des portes <ul style="list-style-type: none">- Remplacer les joints d'étanchéité en caoutchouc- Remplacer les bandes magnétiques- Vérifier les contacts de fermetures des portes	**
Vérification de l'éclairage <ul style="list-style-type: none">- Installer un détecteur de mouvement- Utiliser des LED	**
Contrôle des orifices de sortie du système de ventilation (mobilier frigorifique) <ul style="list-style-type: none">- Réorienter les orifices de sortie- Faire analyser les flux d'air au moyen d'un test fumigène	****
Contrôle du mobilier frigorifique mobile <ul style="list-style-type: none">- Tourner l'appareil ou le changer de place	***
Contrôle de chargement des appareils <ul style="list-style-type: none">- Respecter les limites d'empilement- Vérifier la circulation de l'air- Arrêter les appareils frigorifiques non utilisés	***

Contrôle de la climatisation)



Mesures et actions indispensables	Potentiel
Vérification des valeurs de consignes de la température d'eau glacée Ajustez la courbe de refroidissement du régulateur de manière à ce qu'elle s'adapte aux différentes températures extérieures en hiver comme en été (glissement selon la température extérieure).	****
Contrôle des durées d'exploitation Contrôlez si les durées d'exploitation de l'installation frigorifique et les horaires d'occupation du bâtiment sont coordonnés (fonctionnement jour & nuit, week-end, jours fériés ou pendant les vacances).	****
Contrôle de la valeur de libération du froid climatique (Freecooling) Réglez-la sur une valeur aussi élevée que possible.	****
Éviter le chauffage et le refroidissement simultanés Assurez-vous que le chauffage et le refroidissement ne fonctionnent pas simultanément.	***
Vérification de la fermeture des portes et des fenêtres d'une pièce climatisée	***
Vérification de l'encrassement des filtres Nettoyer les filtres ou les remplacer	***
Contrôle de la qualité d'air Optimiser le débit d'air recyclé	***

CHOIX DES EQUIPEMENTS



Au moment de conception il faut penser à :

- ❑ Choisir un matériel adapté afin que l'installation fonctionne dans des conditions nominales
- ❑ Optimiser la puissance des compresseurs (calcul et choix de la technologie adéquate)
- ❑ Utiliser des moteurs électriques dotés de systèmes de régulation de vitesse (inverter/ variateur de fréquence)
- ❑ Les moteurs fortement surdimensionnés ont un faible rendement.



- ❑ Choisir des détendeurs électroniques pour les grandes installations
- ❑ Réguler la T_c et T_0 afin d'éviter le gaspillage
- ❑ Dimensionner les diamètres de canalisations et les surfaces d'échange des échangeurs
- ❑ Favoriser les installations centralisées
- ❑ Programmation de la production du froid



- ❑ Réduire la quantité de froid produite: réduire les fuites de chaleur
 - * Renforcer le calorifugeage des surfaces froides
 - * Réduire les apports de chaleur par le soleil
 - * Réduire les apports de chaleur par renouvellement d'air

- ❑ Choisir un fluide frigorigène de hautes propriétés thermodynamiques et écologique



CONCLUSION

De la conception à la réalisation et pendant l'utilisation d'une installation frigorifique nous devons toujours veiller aux paramètres de fonctionnement pour une meilleure efficacité énergétique.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

 **QUESTIONS**
/ REPOSES