

Conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur

NBN EN 15450:2008

Christophe Delmotte, Ir
Laboratoire Mesure de prestations d'Installations Techniques
CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction

Les notes de cours ne font pas partie des publications officielles du CSTC et ne peuvent donc être utilisées comme référence

La reproduction ou la traduction, même partielle, de ces notes n'est permise qu'avec l'autorisation du CSTC

0. Rappels



Pompes à chaleur

L'énergie passe naturellement
d'un milieu chaud à un milieu froid

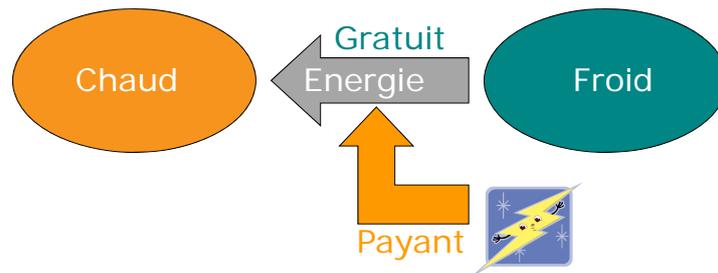


La PAC permet de transférer de l'énergie
d'un milieu froid vers un milieu chaud

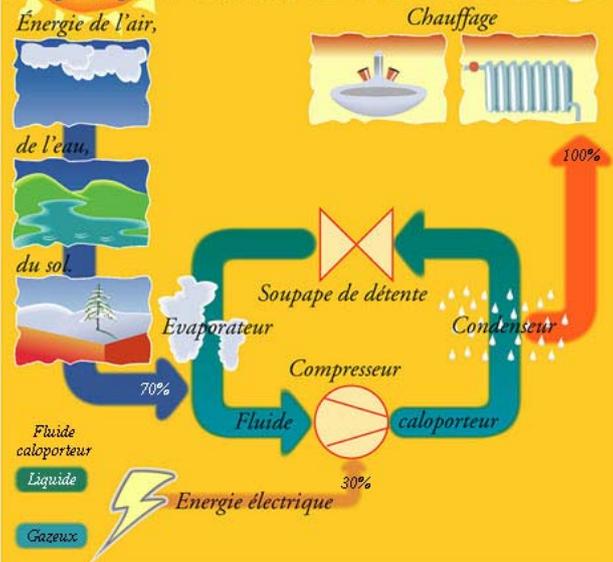


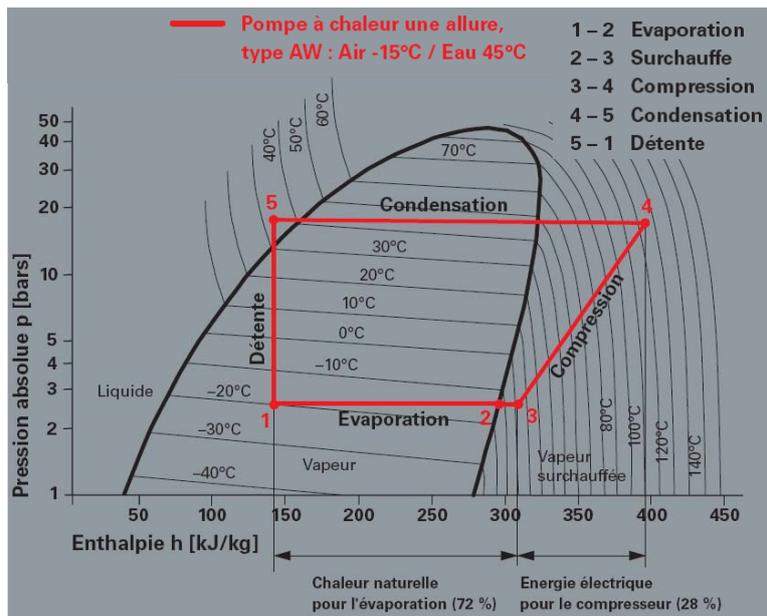
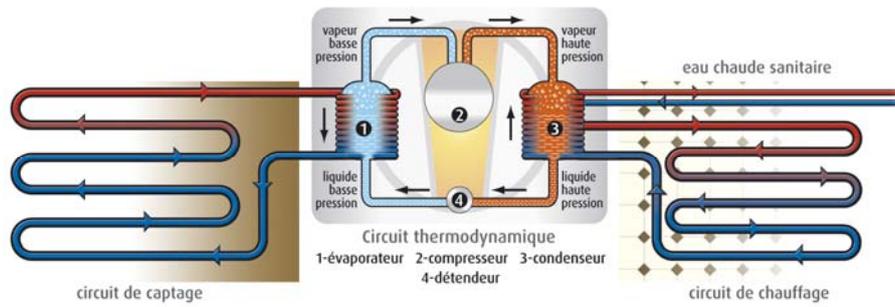
Pompes à chaleur

Le transfert inverse d'énergie requiert une certaine dépense d'énergie!



La pompe à chaleur: un transfert d'énergie





1. Domaine d'application

Domaine d'application

Tableau 1 — Systèmes de chauffage par pompe à chaleur (visés par la présente norme)

Source froide (prélèvement d'énergie)		Source chaude (utilisation de l'énergie)	
source froide ^a	fluide ^b	fluide	source chaude ^c
air rejeté air extérieur	air	air	air intérieur
		eau	air intérieur eau
eau de surface eau souterraine	eau	eau	air intérieur eau
		air	air intérieur
sol	eau glycolée (eau)	air	air intérieur
		eau	air intérieur eau
	fluide frigorigène	eau	air intérieur eau
		fluide frigorigène	air intérieur

^a La source froide est l'endroit d'où l'énergie est extraite.

^b Il s'agit du fluide transporté dans le système de distribution correspondant.

^c La source chaude est l'endroit où l'énergie est utilisée ; il peut s'agir de l'espace chauffé ou de l'eau chauffée dans le cas de la production d'eau chaude sanitaire.

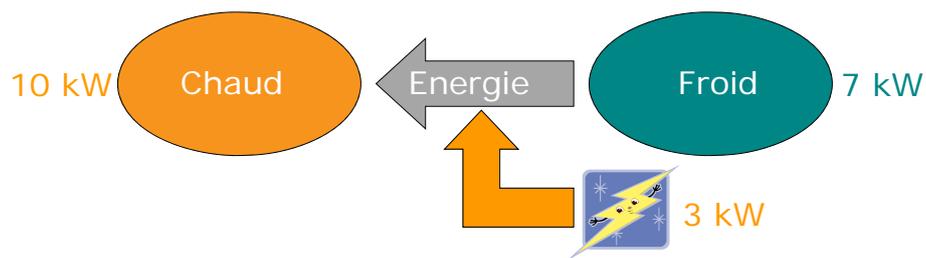
Domaine d'application

Les systèmes conçus principalement pour le refroidissement et les systèmes qui peuvent fonctionner soit en mode de refroidissement soit en mode de chauffage n'entrent pas dans le cadre la présente norme

3. Définitions

Coefficient de performance - COP

Rapport de la puissance calorifique à la puissance absorbée effective de l'appareil, exprimé en Watt/Watt



- $\text{COP} = 10 \text{ kW} / 3 \text{ kW} = 3.33$ (énergie finale!)
- $\text{COP} = 10 \text{ kW} / (3 \text{ kW} \times 2.5) = 1.33$ (énergie primaire!)

Facteur de performance saisonnière - SPF

Rapport de l'énergie annuelle totale QHP fournie par la pompe à chaleur au sous-système de distribution pour le chauffage des locaux et/ou à d'autres systèmes auxiliaires

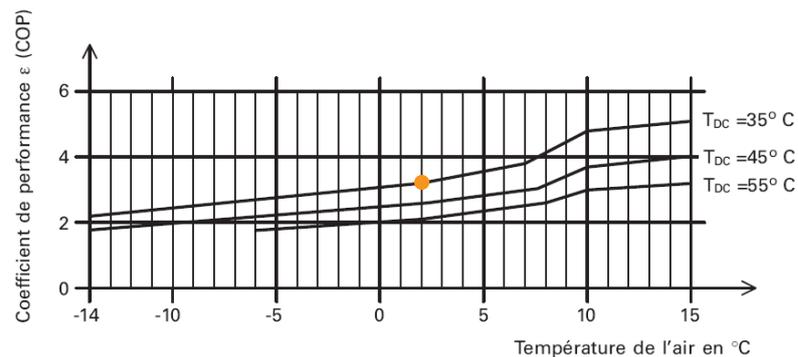
- pour la production d'eau chaude sanitaire, par exemple,

sur la consommation annuelle totale en énergie électrique, y compris la consommation annuelle totale d'énergie des auxiliaires

Facteur de performance saisonnière - SPF

Le COP réel dépend de plusieurs facteurs

- COP annoncé : 3.18 (air +2°C / eau 35°C)
- COP réel dépend du régime de température



Facteur de performance saisonnière - SPF

Le SFP augmente lorsque la différence entre la température de la source froide et celle de la source chaude diminue

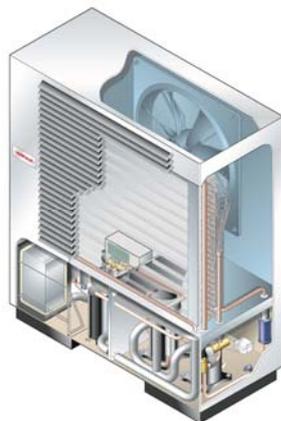
- Favoriser les sources froides à température élevée
- Favoriser les sources chaudes à basse température
 - Une diminution de 1°C entraîne une augmentation du COP de 2% environ

Température d'équilibre

Température extérieure de base la plus basse à laquelle la puissance calorifique de la pompe à chaleur et la demande de chauffage du bâtiment (charge thermique) sont égales

- Pour des températures extérieures plus basses, un second générateur de chaleur sert à couvrir intégralement ou partiellement la demande de chauffage du bâtiment

Régime monoénergie



Régime de fonctionnement dans lequel la pompe à chaleur est conçue pour couvrir à elle seule l'intégralité de la demande de chaleur du système de chauffage

Régime alternatif-biénergie

Régime de fonctionnement dans lequel un second générateur de chaleur

- par exemple, une chaudière à gaz

prend entièrement en charge la demande de chaleur du système de chauffage

- si la température extérieure descend au-dessous de la température d'équilibre

Régime parallèle-biénergie

Régime de fonctionnement dans lequel un second générateur de chaleur

- par exemple, une chaudière à gaz

prend en charge la demande de chaleur du système de chauffage qui ne peut pas être couverte par la pompe à chaleur

- lorsque la température extérieure descend au-dessous de la température d'équilibre

Générateur d'appoint

Appareil de chauffage supplémentaire utilisé pour produire de la chaleur lorsque la puissance de la pompe à chaleur est insuffisante

4. Conception

Implantation

Il convient de tenir compte des éléments suivants

- **Emplacement de la pompe à chaleur**
 - à l'extérieur du bâtiment, dans l'espace chauffé ou dans un espace non chauffé
- **Plage de températures admissibles de l'environnement à proximité de la pompe à chaleur (indiquée par le fabricant)**
- **Risques d'endommagement de l'unité ou de ses composants en raison du gel**
- **Accessibilité pour l'installation et la maintenance**

Source froide

Pour chaque type de source froide, les points suivants doivent être pris en compte lors de la conception

- **Disponibilité de la source froide**
- **Niveau de température de la source froide**
- **Potentiel de prélèvement thermique disponible**
- **Qualité de la source froide**

L'air comme source froide

Le rendement et la puissance de la pompe à chaleur augmentent avec la température de l'air extérieur



L'air comme source froide

Systèmes monoénergies

- Déterminer la puissance requise de la pompe à chaleur en utilisant la température extérieure de base θ_e dans le calcul de la charge thermique conformément à EN 12831

Systèmes biénergies

- Définir une température d'équilibre appropriée en fonction du régime de fonctionnement sélectionné (alternatif-biénergie ou parallèle-biénergie)

Le sol comme source froide



La production de chaleur par le sol peut être obtenue à l'aide

- d'échangeurs de chaleur horizontaux enterrés situés au-dessous de la surface
 - entre 0.8 m et 2 m
 - boucles horizontales
- d'échangeurs de chaleur à sonde verticale
 - boucles verticales

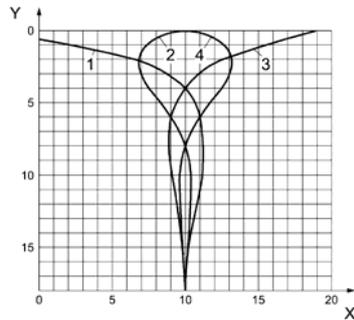


Le sol comme source froide

La température minimale du sol à la profondeur appropriée doit être prise en compte lors de la conception du système de chauffage par pompe à chaleur

- Tenir compte de la diminution de la température du sol résultant de l'extraction de chaleur pendant la période de chauffage
- Tenir compte de l'affaiblissement de la température à long terme dû au fonctionnement de la pompe à chaleur pendant plusieurs années consécutives

Température du sol



Légende

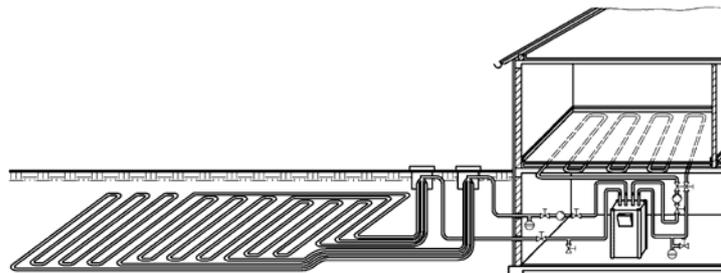
- Y Profondeur en m
- X Température du sol environnant sur un plan horizontal
- 1 Courbe de température du 1^{er} février
- 2 Courbe de température du 1^{er} mai
- 3 Courbe de température du 1^{er} août
- 4 Courbe de température du 1^{er} novembre

La variation saisonnière de la température du sol diminue avec la profondeur

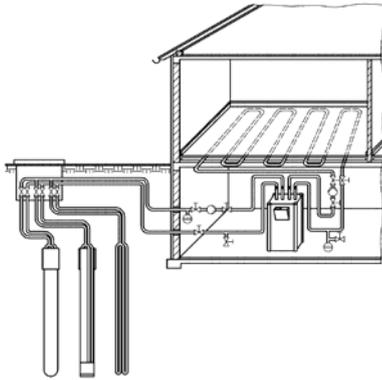
Figure A.1 — Répartition théorique de la température par rapport à la profondeur pour un site avec une température extérieure moyenne annuelle de 10 °C

Température du sol

Pour la conception du système (calcul de la charge thermique), il convient d'utiliser les températures du sol les plus basses (normalement 0 °C)



Température du sol



Pour les échangeurs de chaleur à sonde verticale, la température extérieure moyenne annuelle $\theta_{m,e}$ peut être utilisée comme valeur de calcul

- En Belgique $\theta_{m,e} = 10^\circ\text{C}$

Potentiel de prélèvement thermique

Échangeurs de chaleur horizontaux enterrés

- Cas simples (bâtiments résidentiels)
- Chauffage uniquement
 - Si ECS, prolonger la période de fonctionnement dans le tableau

Tableau A.2 — Exemple d'exigences pour différents types de sols en Europe centrale¹⁾

Qualité du sol	Débit d'extraction de chaleur spécifique	
	période de fonctionnement 1 800 h par an	période de fonctionnement 2 400 h par an
sol sec, non cohésif	10 W/m ²	8 W/m ²
sol humide cohésif	20 à 30 W/m ²	16 à 24 W/m ²
sable ou gravier saturé d'eau	40 W/m ²	32 W/m ²

Potentiel de prélèvement thermique

Maison unifamiliale

- Déperditions calorifiques: 10 kW selon (NBN EN 12831)
- Chauffage uniquement – COP 2,5
- Sol humide cohésif
- $6\,000\text{ W} / 25\text{ W/m}^2 = 240\text{ m}^2$

Tableau A.2 — Exemple d'exigences pour différents types de sols en Europe centrale¹⁾

Qualité du sol	Débit d'extraction de chaleur spécifique	
	période de fonctionnement 1 800 h par an	période de fonctionnement 2 400 h par an
sol sec, non cohésif	10 W/m ²	8 W/m ²
sol humide cohésif	20 à 30 W/m ²	16 à 24 W/m ²
sable ou gravier saturé d'eau	40 W/m ²	32 W/m ²

19-03-15 - Page 33

Potentiel de prélèvement thermique

Échangeurs de chaleur à sonde verticale

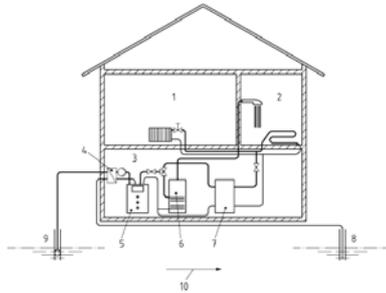
- Chauffage uniquement
 - Si ECS, prolonger la période de fonctionnement dans le tableau

Tableau A.3 — Potentiel de prélèvement thermique spécifique pour différents types de sols en Europe centrale²⁾

Type de sol	Potentiel de prélèvement thermique spécifique	
	période de fonctionnement 1 800 h	période de fonctionnement 2 400 h
Valeurs générales recommandées :		
sous-sol pauvre (sédiment sec et $\lambda < 1,5\text{ W/(m K)}$)	25 W/m	20 W/m
sous-sol normal et sédiment saturé d'eau $1,5 < \lambda < 3,0\text{ W/(m K)}$	60 W/m	50 W/m
roche consolidée avec une conductivité thermique élevée $\lambda > 3,0\text{ W/(m K)}$	84 W/m	70 W/m
NOTE Valeurs valables pour les systèmes de chauffage par pompe à chaleur avec une puissance calorifique allant jusqu'à 30 kW.		

19-03-15 - Page 34

L'eau comme source froide



Eau souterraine
(nappe phréatique)

Eau de surface (rivière, lac)

- Réglementation en matière de captage
- Exigences liées à la qualité de l'eau
- Exigences liées au débit
- Exigences liées au rejet

Puissance du système

La fourniture de chaleur au système doit être dimensionnée conformément à 4.2.2 de l'EN 12828:2003 :

$$\Phi_{SU} = f_{HL} \cdot \Phi_{HL} + f_{DHW} \cdot \Phi_{DHW} + f_{AS} \cdot \Phi_{AS} \quad \text{KW}$$

où

Φ_{SU} puissance calorifique du système de production de chaleur, en kW ;

f_{HL} facteur de conception de la charge thermique ;

Φ_{HL} charge thermique, en kW ;

f_{DHW} facteur de conception des systèmes de production d'eau chaude sanitaire ;

Φ_{DHW} charge thermique pour l'eau chaude sanitaire, en kW ;

f_{AS} facteur de conception des systèmes auxiliaires ;

Φ_{AS} charge thermique des systèmes auxiliaires, en kW.

Puissance du système

Tableau 4 — Facteurs de conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur

Charge	Facteur de conception de la pompe à chaleur	Critères de conception	Valeurs des facteurs de conception
charge thermique	f_{HL}	faible inertie (plafonds suspendus, planchers surélevés et murs fins) ; $C_{ih} \leq 20 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	1,00
		inertie moyenne (sols et plafonds en béton, murs fins) ; $20 \text{ Wh/m}^3\text{K} < C_{ih} < 40 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	0,95
		inertie élevée (sols et plafonds en béton et murs en briques ou en béton) ; $C_{ih} \geq 40 \text{ Wh/m}^3\text{K}$	0,90
eau chaude sanitaire	f_{DHW}	classe standard d'équipement sanitaire	1
systèmes auxiliaires	f_{AS}		1

où

C_{ih} capacité thermique volumique effective des composants du bâtiment, en $\text{Wh/m}^3\text{K}$.

Régulation du système

La puissance calorifique de la pompe à chaleur doit être adaptée à la demande de chaleur du bâtiment

Le nombre maximal de cycles de démarrage par heure doit être limité

Différentes options:

- Sans régulation de la puissance du compresseur
- Avec régulation de la puissance du compresseur
- Pompe à chaleur à deux étages

Sans régulation du compresseur

Commande par tout ou rien du compresseur

- Inertie du système de distribution suffisante
- Ou réservoir tampon supplémentaire pour éviter un fonctionnement en courts cycles
 - La valeur recommandée pour le dimensionnement du volume du réservoir tampon est de 12 l à 35 l par kW de puissance maximale de la pompe à chaleur

Avec régulation du compresseur



Régulation pas à pas ou continue de la puissance avec un compresseur à vitesse variable

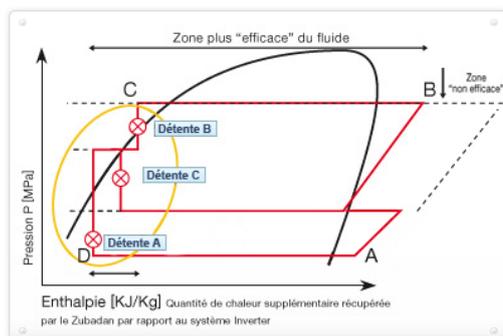
Ce type de régulation peut permettre d'augmenter le rendement saisonnier de la pompe à chaleur en ajustant la puissance calorifique à la charge thermique

Systemes de cycle améliorés

Cycle de compression en cascade

- La régulation de la puissance peut être effectuée dans une cascade où deux cycles de pompe à chaleur sont organisés de telle sorte que le condenseur de l'étage basse température soit l'évaporateur de l'étage haute température
- La cascade est particulièrement adaptée lorsque des températures de départ élevées sont nécessaires, par exemple, en cas de rénovation d'installations existantes ou pour la préparation de l'eau chaude sanitaire

Systemes de cycle améliorés



Cycle de compression à injection de vapeur

- Amélioration du cycle frigorifique
- Amélioration des performances

Facteur de performance saisonnière

Valeurs minimales à respecter

Tableau C.1 — Valeurs minimales et cibles du SPF pour les systèmes de chauffage par pompe à chaleur employés pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments neufs (valeurs type pour l'Europe centrale)

Source froide / chaude	Valeur minimale du SPF	Valeur cible du SPF
air / eau	2,7	3,0
sol / eau	3,5	4,0
eau / eau	3,8	4,5

Tableau C.2 — Valeurs minimales et cibles par défaut du SPF pour les systèmes de chauffage par pompe à chaleur employés pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments rénovés (valeurs type pour l'Europe centrale)

Source froide / chaude	Valeur minimale du SPF	Valeur cible du SPF
air / eau	2,5	2,8
sol / eau	3,3	3,7
eau / eau	3,5	4,2

Facteur de performance saisonnière

Formule de calcul (EN 15316-4-2)

$$SPF_{g,t} = \frac{Q_{out,g,h} + Q_{out,g,DHW}}{E_{in,g} + W_g} \quad (C.2)$$

où

$SPF_{g,t}$	facteur total de performance saisonnière du sous-système de génération ;	(-)
$Q_{out,g,h}$	besoin en énergie calorifique du sous-système de distribution du chauffage des locaux ;	(J)
$Q_{out,g,DHW}$	besoin en énergie calorifique du sous-système de distribution d'eau chaude sanitaire ;	(J)
$E_{in,g}$	énergie électrique totale consommée par la pompe à chaleur et le générateur d'appoint ;	(J)
W_g	énergie totale consommée par les auxiliaires	(J)

Niveau de bruit

Valeurs maximales pour l'émission sonore générée par la pompe à chaleur et ses auxiliaires

Tableau D.1 — Niveaux maximum de bruit en zones résidentielles et mixtes (résidentielles et commerciales)

Valeurs préconisées par le concepteur L_r en dB(A)	
	nuit (de 21 h à 7 h)
zone résidentielle (SL II)	45
zone mixte (SL III)	50

Tableau D.2 — Exigences en matière de protection contre le bruit provenant des équipements techniques de bâtiments dans les bâtiments collectifs d'habitation et les immeubles de bureaux

Niveau d'évaluation $L_{r,H}$ en dB(A)	
	nuit (de 22 h à 6 h)
exigence minimale	30
exigence renforcée	25

Dispositifs de sécurité

Les exigences de sécurité de l'EN 12828 s'appliquent si le fluide caloporteur côté source chaude est l'eau

- Aquastat de sécurité, soupape de sécurité, vase d'expansion...

Tous les systèmes doivent être équipés de dispositifs appropriés permettant d'empêcher toute fuite majeure de fluide frigorigène en cas d'accident

Impact sur l'environnement

Le fluide frigorigène de la PAC doit avoir

- Un potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone égal à zéro
- Un faible potentiel de réchauffement de la planète
 - CFC (chlorofluorocarbone) interdit
 - HCFC (hydrochlorofluorocarbone) interdit (R22 par exemple)
 - HFC (hydrofluorocarbone) – solution actuelle (R404a ou R407c par exemple)

Veiller à éviter les émissions de fluide frigorigène dans l'atmosphère dues à des fuites pendant le fonctionnement ou la maintenance

Dispositions pour la surveillance

Systèmes fluidiques

- Eau, eau glycolée ou fluide frigorigène comme fluide caloporteur
- Prévoir des dispositions pour mesurer les températures de départ et de retour du circuit
- Installer un manchon sur le tuyau de départ ou de retour du circuit de telle sorte qu'un débitmètre volumique puisse être facilement mis en place pour les mesures
- Mesurer la puissance électrique consommée par la pompe à chaleur

Dispositions pour la surveillance

Systemes à air

- Air comme fluide caloporteur
- Prévoir des dispositions pour mesurer les températures de départ et de retour de l'air dans le circuit
- Laisser suffisamment de place dans les conduits d'air de départ ou de retour pour introduire une sonde de mesure de la vitesse ou du débit de l'air dans le conduit
- Mesurer la puissance électrique consommée par la pompe à chaleur

6. Commissionnement

Commissionnement du système

Objectifs

- Vérifier que les conditions de fonctionnement de l'ensemble du système sont satisfaisantes et sûres
- Vérifier que tous les composants du système peuvent fonctionner conformément aux conditions de conception
- Régler les paramètres du système de régulation de façon à satisfaire aux conditions de fonctionnement selon la conception
- Équilibrer le système de distribution de chaleur

Remise de l'installation à l'utilisateur

Documents à remettre à l'utilisateur

- Plans finaux de l'installation, y compris ceux des circuits hydrauliques et aérauliques
- Schémas de câblage du circuit électrique final
- Fiches techniques du fabricant pour tous les composants
- Manuels de l'utilisateur
- Rapport de commissionnement
- Instructions sur le fonctionnement du système
- Instructions de maintenance

NBN - Public Enquiry Portal



Faites valoir votre point de vue sur les normes

Participez aux enquêtes publiques

- Accès aux projets de norme
- Possibilité de faire des commentaires
- <http://pe.nbn.be/>