

POMPES À CHALEUR

PLANIFICATION | OPTIMISATION |
FONCTIONNEMENT | ENTRETIEN



Avec le soutien de



**VSEI
USIE**



sia

schweizerischer ingenieur- und architektenverein
società suisse des ingénieurs et des architectes
società svizzera degli ingegneri e degli architetti
swiss society of engineers and architects

DIE PLANER.

RÉSEAU POUR L'ÉNERGIE, L'ENVIRONNEMENT
ET LA TECHNIQUE DU BÂTIMENT



brenet

Building and Renewable Energies Network of Technology
Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und
Erneuerbare Energien
Réseau national de compétence technique du bâtiment
et des énergies renouvelables
Rete nazionale di competenza tecnica per gli edifici e



Association Suisse pour
l'Hygiène de l'Air et de l'Eau

IMPRESSUM

Éditeur: Office fédéral de l'énergie,

Service Formation et perfectionnement

Auteurs: Ralf Dott (coordination globale), Andreas Genkinger,

Rita Kobler, Prof. Dr Zoran Alimpic, Peter Hubacher,

Prof. Dr Thomas Afjei

Basée sur l'édition 2008

Révision: Othmar Humm, Faktor Verlag

Mise en page: Noemi Bösch, Faktor Verlag

Traduction: Messerknecht Traductions spécialisées, Monthey

Lectorat spécialisé: Maxime Freymond, GSP, Illarsaz

Les contenus exhaustifs de ce document sont disponibles sur le site

Internet de SuisseEnergie. www.suisseenergie.ch

Impression d'extraits autorisée par Faktor Verlag

5^e édition revue et complétée

Zurich 2019, ISBN: 978-3-905711-54-7

CONTENU

1. BASES	5	7. ACOUSTIQUE ET PROTECTION CONTRE LE BRUIT	63
1.1. CYCLE DE FONCTIONNEMENT	5	7.1. VALEURS LIMITES LÉGALES	63
1.2. LIMITES DU SYSTÈME ET VALEURS CARACTÉRISTIQUES	8	7.2. RÉDUCTION DU BRUIT	64
1.3. NORMES	10		
2. COMPOSANTS D'UNE POMPE À CHALEUR	13	8. PLANIFICATION	69
2.1. COMPRESSEUR	13	8.1. LABEL DE QUALITÉ GSP/EHPA	69
2.2. ÉCHANGEUR DE CHALEUR	15	8.2. PAC SYSTÈME-MODULE (PAC-SM)	69
2.3. DÉTENDEUR	17	8.3. PACesti	70
2.4. DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ	17	8.4. AIDES À L'ÉTUDE DU PROJET	70
2.5. AUTRES COMPOSANTS	18	8.5. APPROVISIONNEMENT EN ÉLECTRICITÉ	70
2.6. DISPOSITIFS DE DÉGIVRAGE	19	8.6. CENTRALE DE CHAUFFE	71
2.7. TYPES DE POMPES À CHALEUR	20	8.7. RENTABILITÉ	72
2.8. PROCESSUS ALTERNATIFS	20	8.8. CONTRÔLE DES RÉSULTATS	73
3. FLUIDE FRIGORIGÈNE	21	9. MISE EN SERVICE	77
3.1. PROPRIÉTÉS	21	9.1. PHASE AVANT LA MISE EN SERVICE	78
3.2. CHOIX DU FLUIDE FRIGORIGÈNE	22	9.2. PRÉPARATION DE LA MISE EN SERVICE	78
3.3. EFFET DE SERRE ET INDICE TEWI	24	9.3. SOURCE DE CHALEUR ET DÉGAGEMENT DE CHALEUR	79
3.4. CONDITIONS-CADRES LÉGALES ET ÉVOLUTIONS	24	9.4. MISE EN SERVICE DE LA POMPE À CHALEUR	79
		9.5. PROTOCOLE DE MISE EN SERVICE	79
4. SOURCES DE CHALEUR	27	9.6. INSTRUCTIONS DE SERVICE	80
4.1. AIR EXTÉRIEUR	27	9.7. PROTOCOLE DE RÉCEPTION	80
4.2. GÉOTHERMIE	29	9.8. DOCUMENTATION RELATIVE À L'INSTALLATION	82
4.3. EAU SOUTERRAINE	35	10. EXPLOITATION	85
4.4. REJETS THERMIQUES	40	10.1. EXPLOITATION ET CONTRÔLE DES RÉSULTATS	85
4.5. REFROIDISSEMENT DE BÂTIMENTS	41	10.2. SURVEILLANCE DE L'EXPLOITATION	85
		10.3. MAINTENANCE	85
5. DÉGAGEMENT DE CHALEUR	43	10.4. OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION	86
5.1. CHAUFFAGE À EAU CHAUDE	44	10.5. DYSFONCTIONNEMENT ET RÉPARATION DES PANNES	89
5.2. INSTALLATIONS DE CLIMATISATION	47	11. EXEMPLES CONCRETS	91
5.3. PRODUCTION D'EAU CHAUDE	47	11.1. INSTALLATIONS DE PETITE TAILLE	91
5.4. AUTRES SYSTÈMES	50	11.2. INSTALLATIONS PLUS COMPLEXES	96
6. INTÉGRATION PAC DANS LES INSTALLATIONS TECHNIQUES	53	12. ANNEXE	103
6.1. PRINCIPES	53	12.1. AUTEURS	103
6.2. MODES D'EXPLOITATION	54		
6.3. SYSTÈME HYDRAULIQUE	56		
6.4. CIRCULATEURS	61		

UNE TECHNOLOGIE-CLÉ

Au cours des dernières années, les pompes à chaleur destinées au chauffage et au refroidissement des maisons, ainsi qu'à la production d'eau chaude, ont connu un franc succès. Les constructions nouvelles sont majoritairement équipées de ces générateurs de chaleur écologiques et pour les maisons existantes, la tendance suit la même direction. Les grands potentiels de la chaleur rejetée, de la chaleur environnementale et de la géothermie de surface offrent des conditions idéales pour l'utilisation des pompes à chaleur.

Mais cet essor rapide ne garantit aucunement l'utilisation optimale de cette technologie-clé. Une planification et une installation appropriées, ainsi qu'une exploitation des pompes à chaleur selon les besoins, sont essentielles. Les meilleurs candidats à l'utilisation des pompes à chaleur sont les bâtiments bien isolés, dotés de chauffages au sol. Ce système de distribution de chaleur permet d'avoir des températures de départ plus basses – un critère important pour une efficacité élevée. Cependant, pour les bâtiments dotés de radiateurs, eux aussi, les pompes à chaleur sont des générateurs de chaleur fiables. Une planification soignée permet de prendre en considération non seulement l'intégration de la génération de chaleur dans les installations techniques, mais aussi le comportement en charge partielle en hiver et en été, de définir le mode de production d'eau chaude et de contrôler l'efficacité de la pompe à chaleur.

Les bonnes solutions sont généralement le résultat d'une coopération interdisciplinaire entre les parties prenantes de la planification et de l'exécution, notamment les architectes, les techniciens et les installateurs spécialisés. Pour les investisseurs, les propriétaires fonciers et les administrateurs de biens immobiliers, ce travail d'équipe offre des arguments imparables en faveur de ce système de chauffage respectueux de l'environnement. Le fonctionnement de la pompe à chaleur, déjà économe en termes de ressources, peut malgré tout encore être optimisé. Grâce à l'utilisation d'électricité issue de sources renouvelables ou d'électricité verte certifiée, la pompe à chaleur répond tout à fait à l'exigence d'un approvisionnement en énergie durable.

Avec le document «Pompes à chaleur: planification, optimisation, exploitation, entretien», révisé et complété la branche dispose aujourd'hui d'un ouvrage de référence éprouvé, dans la version actuelle. Ce document permet de transmettre à un vaste public spécialisé des informations sur le mode de fonctionnement, les possibilités d'utilisation et les propriétés de ces générateurs de chaleur respectueux de l'environnement. L'Office fédéral de l'énergie, en sa qualité d'éditeur, remercie toutes les parties prenantes.

**Office fédéral de l'énergie,
Service Formation et perfectionnement,
Christoph Blaser**

1. BASES

1.1. CYCLE DE FONCTIONNEMENT

Actuellement, la technique la plus fréquemment mise en œuvre dans les pompes à chaleur repose sur le procédé de compression de vapeur froide. Un fluide frigorigène s'évapore dans la partie froide lors de l'absorption d'une quantité aussi grande que possible de chaleur d'évaporation (\dot{Q}_{KM}). Par compression, ce fluide se réchauffe puis se liquéfie à nouveau, processus dégageant de la chaleur de condensation (\dot{Q}_{PAC}). Il est ensuite détendu à la pression d'évaporation au travers d'un détendeur. Toutes les installations fonctionnant selon ce principe utilisent la dépendance entre la température d'évaporation resp. de condensation et la pression du fluide frigorigène. Une telle installation peut être représentée de façon simplifiée comme dans l'illustration 1.1.

Le travail et la chaleur sont des grandeurs de processus. Ces facteurs représentent les formes possibles de transport de l'énergie

hors des limites du système. L'énergie E , le travail W et la chaleur Q ont pour unité le joule (J).

Énergie interne u : L'énergie interne spécifique est une grandeur d'état calorifique représentant la réserve d'énergie d'un système thermodynamique (kJ/kg).

Enthalpie h : L'enthalpie spécifique est une grandeur d'état calorifique définie par la formule $h = u + p \cdot v$.

Exergie: L'énergie comprend l'exergie et l'anergie. L'exergie est la fraction de l'énergie qui, dans un environnement donné, peut être convertie en n'importe quelle forme d'énergie (p. ex. électricité pour le compresseur).

Anergie: L'anergie est la fraction de l'énergie qui, dans un environnement donné, ne peut être convertie en n'importe quelle forme d'énergie (p. ex. la chaleur de l'environnement comme source de chaleur).

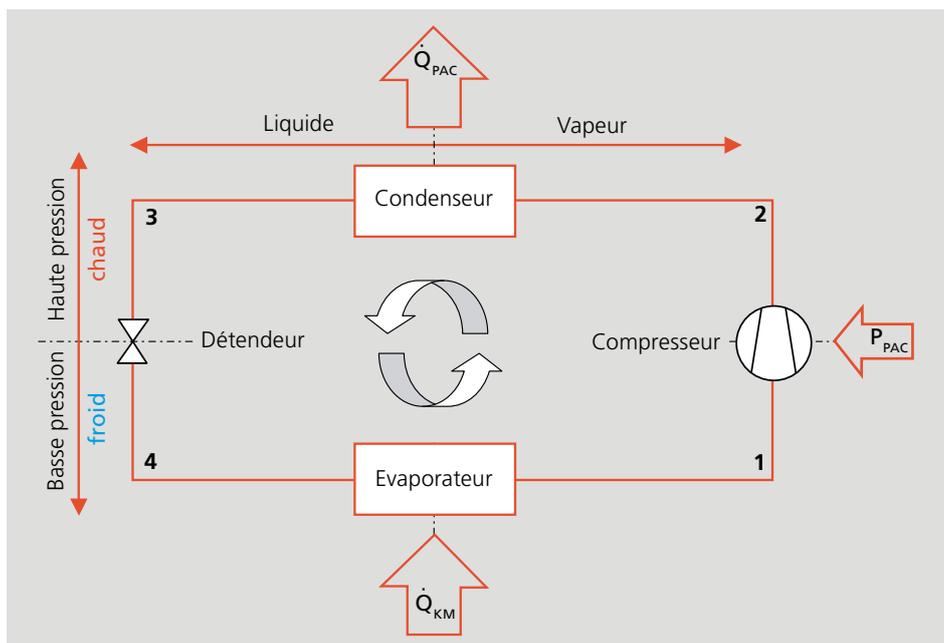


Illustration 1.1:
Principe du procédé
de compression de
vapeur froide.

Puissance P ou \dot{Q} est le quotient du travail effectué ou de la chaleur transformée par unité de temps, mesurés en watts (W).

Entropie s: L'entropie est une mesure de l'irréversibilité et ainsi de la dégradation de l'énergie dans un processus.

CYCLE DE CARNOT

Le rendement idéal est donné par le cycle de Carnot; il s'agit d'un cycle n'ayant aucune perte. Dans le cycle de Carnot, on obtient le coefficient $\epsilon_{C,PAC}$ pour le chauffage (pompe à chaleur, rendement: chaleur) comme suit:

$$\epsilon_{C,PAC} = \frac{\dot{Q}_{PAC}}{P} = \frac{T_C}{T_C - T_0}$$

Le cas du refroidissement (machine frigorifique, rendement: froid) est toujours moins efficace car dans ce cas la chaleur de compression ne peut pas être utilisée:

$$\epsilon_{C,KM} = \frac{\dot{Q}_{KM}}{P} = \frac{T_0}{T_C - T_0} = \epsilon_{C,PAC} - 1$$

\dot{Q}_{PAC} puissance thermique en kW

\dot{Q}_{KM} puissance frigorifique en kW

P puissance absorbée en kW

T_0 température d'évaporation en K

T_C température de condensation en K

$\epsilon_{C,PAC}$ ($\epsilon_{C,KM}$) est une limite physique, les pompes à chaleur réelles (machines frigorifiques) ne peuvent jamais atteindre cette valeur. Le rapport entre la caractéristique de puissance réelle et la caractéristique de puissance de Carnot est appelé efficacité η (exergétique):

$$\eta_{PAC} = \frac{\epsilon_{PAC}}{\epsilon_{C,PAC}} \text{ resp. } \eta_{KM} = \frac{\epsilon_{KM}}{\epsilon_{C,KM}}$$

Le niveau de qualité se situe typiquement dans le domaine entre 0,4 et 0,6.

DIAGRAMME LOG P,H

Un diagramme log p,h permet de représenter clairement le cycle de fonctionnement et montre le rapport entre les grandeurs d'état du fluide frigorigène. Les états du fluide frigorigène peuvent également être déduits du tableau des pressions du fluide en question. L'illustration 1.2 présente le déroulement des grandeurs d'état lors de processus particulier. L'illustration 1.3 présente le processus cyclique exempt de pertes d'une pompe à chaleur dans un diagramme log p,h, et l'illustration 1.4 présente le processus réel (avec pertes).

Le processus cyclique (courbe bleue) de l'illustration 1.3, resp. illustration 1.4 se déroule principalement en quatre phases:

- 1–2: Compression
- 2–3: Condensation
- 3–4: Détente
- 4–1: Évaporation

$$\epsilon_{PAC} = \frac{\dot{Q}_{PAC}}{P} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Illustration 1.2: Variation des grandeurs d'état physiques dans le diagramme log-p,h.

Légende:
log p: pression en bar, échelle logarithmique
s: entropie spécifique en kWh/Kkg
h: enthalpie spécifique en kWh/kg
v: volume spécifique en m³/kg
t: température en °C
x: part de vapeur en %

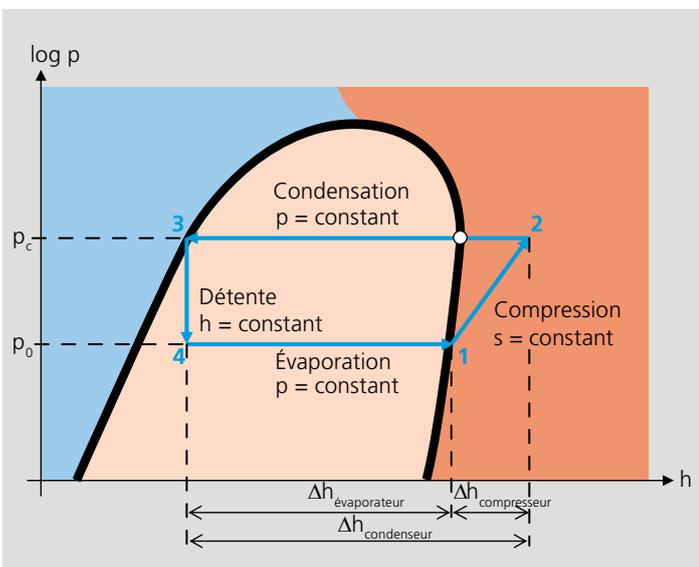
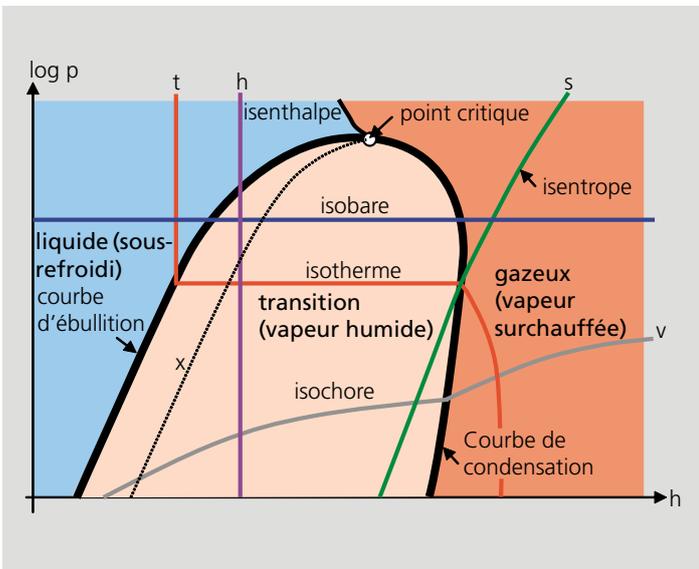


Illustration 1.3: Le processus sans perte dans le diagramme log p,h.

- \dot{Q}_{PAC} puissance thermique en kW
- P puissance absorbée en kW
- h_1 enthalpie du fluide frigorigène à l'entrée du compresseur en kJ/kg
- h_2 enthalpie du fluide frigorigène à la sortie du compresseur en kJ/kg
- h_3 enthalpie du fluide frigorigène à la sortie du condenseur en kJ/kg

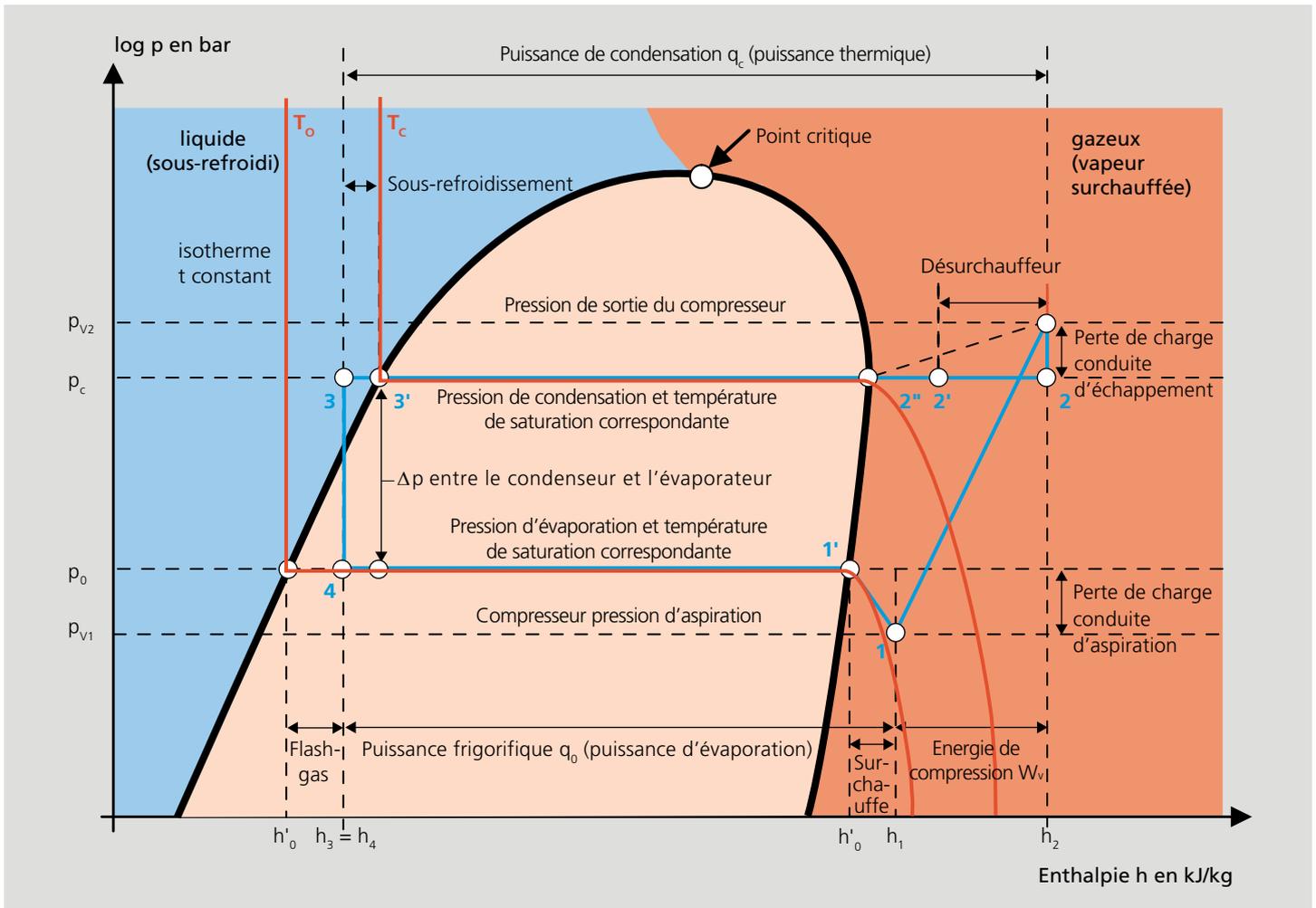
Dans l'illustration 1.4 du processus réel, on relèvera quelques points:

- Dans certains types de compresseur, afin d'éviter la pénétration de gouttelettes de fluide frigorigène dans le compresseur et son endommagement, il est nécessaire de surchauffer le gaz aspiré (points 1'-1).
- Une partie de la chaleur peut être prélevée à un niveau de température plus élevé, donc par la température de condensation, au moyen d'un désurchauffeur de gaz chaud (points 2-2').

Exemple: Une pompe à chaleur est activée à 45°C côté condenseur. Il est toutefois possible, selon le fluide frigorigène et le niveau de charge, de prélever env. 5 à 15 % de cette puissance de chauffe au moyen d'un désurchauffeur à un niveau de température supérieur à 60°C. Cela permet de réchauffer l'eau chaude sanitaire.

Remarque: Ce procédé n'est utile que pour les pompes à chaleur de plus grande taille. L'illustration 1.5 montre les rapports de température des fluides externes (p. ex. eau de chauffage) sur une pompe à chaleur. Les températures moyennes du fluide dans le condenseur/évaporateur sont toujours plus basses/plus élevées que celles du fluide frigorigène (T_c/T_o). Ces différences de température sont dépendantes du type de construction de l'échangeur de chaleur et du fluide externe. La température d'entrée de l'évaporateur et la température de sortie du

Illustration 1.4: Le diagramme log-p,h pour le processus frigorifique d'un fluide frigorigène.



condenseur sont caractérisées spécialement: ces températures sont mentionnées dans les données des fiches techniques conjointement avec les coefficients de performance pour ce point de fonctionnement.

1.2. LIMITES DU SYSTÈME ET VALEURS CARACTÉRISTIQUES

Les indicateurs d'efficacité les plus utilisés au quotidien pour les installations de pompe à chaleur sont le coefficient de performance (COP) et le coefficient de performance annuel (COPA). Le COP est clairement défini d'après la norme européenne EN 14511, et correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance absorbée en un point de fonctionnement fixe. Le Coeffi-

cient de performance annuel (COPA) correspond sans équivoque au taux d'utilisation (c.-à-d. le rapport entre l'émission d'énergie et la consommation d'énergie sur une année), mais est toutefois dans la pratique souvent utilisé avec des limites de système peu claires. Selon l'espace d'observation, on obtient en effet des chiffres très différents. Les notions plus différenciées indiquées dans l'illustration 1.7 ont fait leurs preuves. On devrait en outre toujours différencier les valeurs se référant à l'exploitation du chauffage, à la production d'eau chaude ou à la production d'eau chaude et de chauffage combinée. Le cas échéant (p. ex. chauffage de piscine), d'autres consommateurs doivent également être pris en compte.

Illustration 1.5: Températures et flux d'énergie dans une pompe à chaleur (source: FHNW IEBAu).

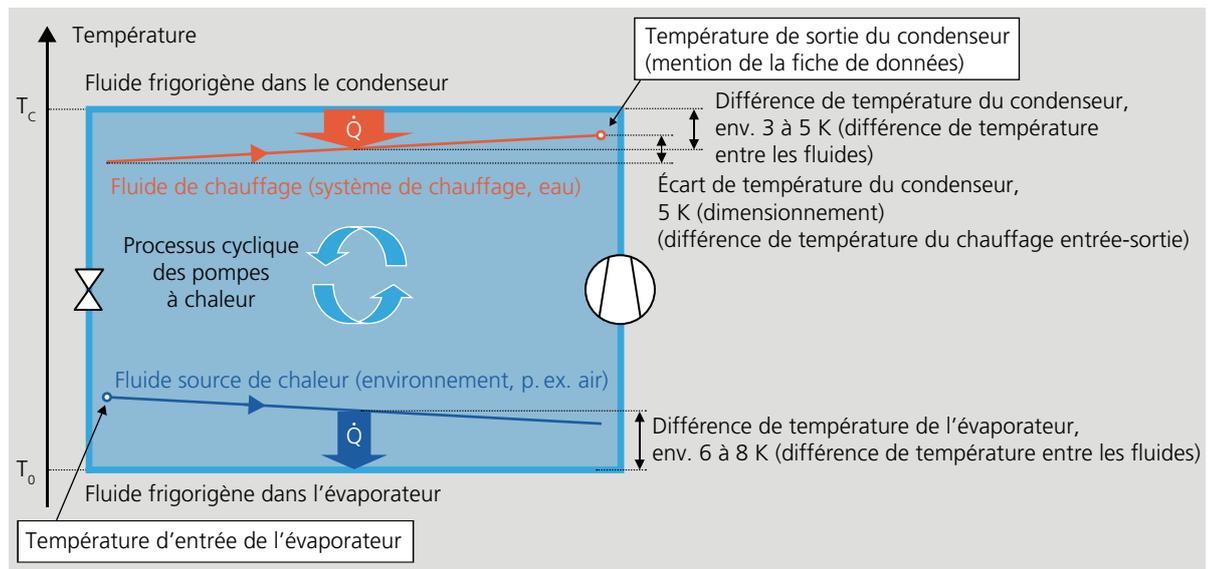


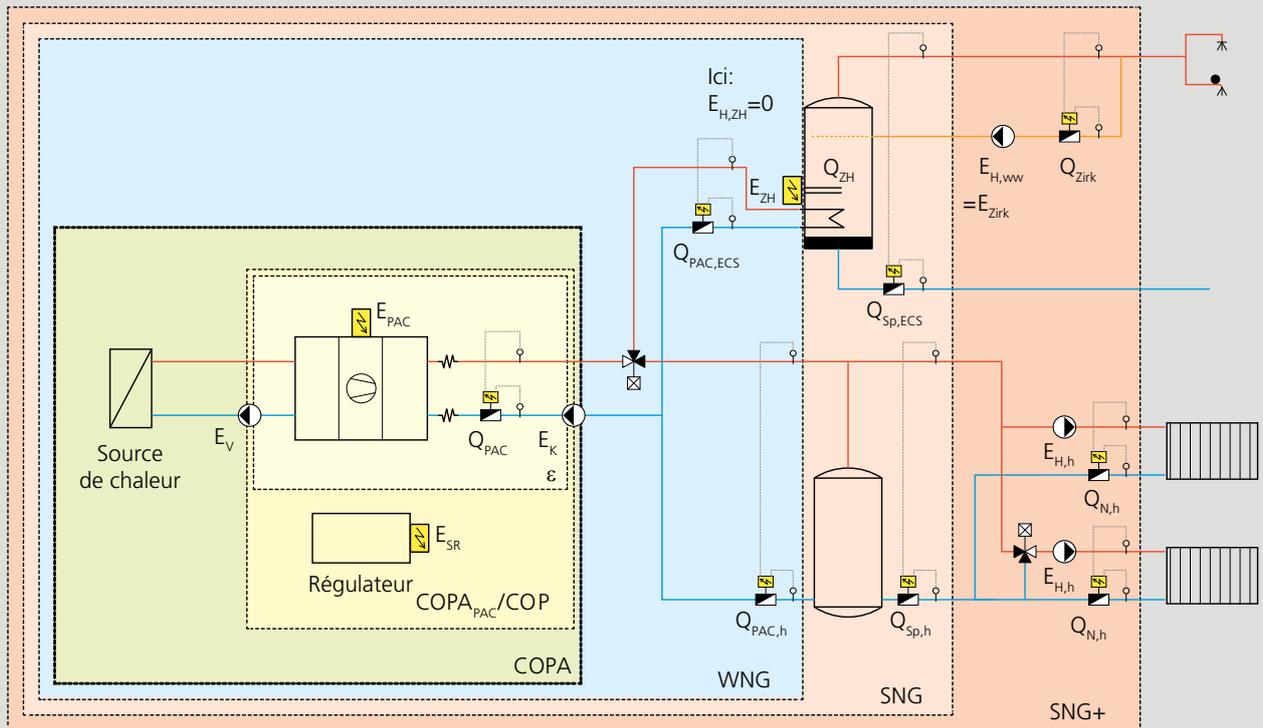
Illustration 1.6: Explication des symboles de l'illustration 1.7 à la page 9.

Puissances (valeurs momentanées ou valeurs moyennes sur une brève période)

- \dot{Q}_{PAC} Puissance de chauffe de la PAC
- P_{PAC} Puissance absorbée par le compresseur de la pompe à chaleur
- (P_V) Part de puissance pour compenser la perte de charge de l'évaporateur
- (P_K) Part de puissance pour pallier la perte de charge du condenseur
- P_{SR} Puissance absorbée par la commande/régulation à l'intérieur de la pompe à chaleur
- P_A Puissance absorbée moyenne par le dispositif de dégivrage

Énergies (valeurs annuelles)

- $Q_{PAC} = Q_{PAC,h} + Q_{PAC,ww}$ chaleur produite par la pompe à chaleur
- Q_{ZH} Chaleur produite par le chauffage d'appoint
- $Q_{Sp} = Q_{Sp,h} + Q_{Sp,ww}$ chaleur utile dégagée par les accumulateurs
- $Q_N = Q_{N,h} + Q_{N,ww}$ chaleur disponible chez l'utilisateur
- E_{PAC} Consommation d'énergie du compresseur de la pompe à chaleur
- (E_V) Consommation d'énergie de la pompe d'évaporation/ventilateur (part PAC interne)
- (E_K) Consommation d'énergie de la pompe du condenseur (part PAC interne)
- E_V Consommation d'énergie de la pompe de l'évaporateur/ventilateur (globale)
- E_K Consommation d'énergie de la pompe du condenseur (globale)
- E_{SR} Consommation d'énergie de la commande et de la régulation
- E_A Consommation d'énergie du dispositif de dégivrage
- E_C Consommation d'énergie du chauffage de carter
- E_{ZH} Consommation d'énergie du chauffage d'appoint
- $E_{H,ZH}$ Consommation d'énergie auxiliaire pour le chauffage d'appoint (p. ex. circulateurs)
- $E_{H,h}$ Consommation d'énergie auxiliaire pour la distribution de chaleur chauffage (p. ex. circulateurs)
- $E_{H,ww}$ Consommation d'énergie auxiliaire pour la production d'eau chaude sanitaire (p. ex. circulation)



Lié à la puissance	Indice de performance (ϵ)	Coefficient de performance (COP)
	$\epsilon = \frac{\dot{Q}_{PAC}}{P_{PAC}}$	$COP = \frac{\dot{Q}_{PAC}}{P_{PAC} + (P_V) + (P_K) + P_{SR} + P_A}$
Lié à l'énergie	Coefficient de performance annuel de la PAC	
	$COPA_{PAC} = \frac{Q_{PAC}}{E_{PAC} + (E_V) + (E_K) + E_{SR} + E_A + E_C}$	
	Coefficient de performance annuel COPA	
	$COPA = \frac{Q_{PAC}}{E_{PAC} + E_V + (E_K) + E_{SR} + E_A + E_C}$	
Rendement du générateur de chaleur (WNG)		
$WNG = \frac{Q_{PAC} + [Q_{ZH}]}{E_{PAC} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + [E_{ZH} + E_{H,ZH}]}$		
[...]: Y c. chauffage d'appoint		
Rendement du système (SNG)		
$SNG = \frac{Q_{Sp}}{E_{PAC} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + E_{ZH} + E_{H,ZH}}$		
Rendement du système Plus (SNG+)		
$SNG+ = \frac{Q_N}{E_{PAC} + E_V + E_K + E_{SR} + E_A + E_C + E_{ZH} + E_{H,ZH} + E_{H,h} + E_{H,ww}}$		

Illustration 1.7: Limites du système et valeurs caractéristiques des pompes à chaleur.

COEFFICIENT DE PERFORMANCE SAISONNIER (SCOP) ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DU CHAUFFAGE (η_s)

Avec l'introduction des exigences d'écodesign et de l'étiquette énergie pour les appareils de chauffage, la définition du dit «coefficient de performance saisonnier» SCOP, conformément à la norme EN 14825, est devenue extrêmement importante. Outre des exigences légales, divers labels de qualité se basent aujourd'hui sur cet indicateur. Le SCOP décrit l'efficacité d'un appareil de chauffage pour une charge théorique donnée, fixement prédéterminée (définie sous forme de courbe de chauffage). L'appareil n'est pas seulement évalué en un certain point de fonctionnement donné (COP). Le COP «saisonnier» (SCOP) représente à l'inverse une efficacité qui prend en considération et pondère tous les points de fonctionnement (en charge partielle) apparaissant au cours de l'année. Le climat de Strasbourg (F), qui coïncide à peu près avec la situation sur le Plateau suisse, sert de base climatique. En variante, deux autres situations climatiques («plus froid»/Helsinki et «plus chaud»/Athènes) peuvent être utilisées. Au moyen des limites de système fixées ci-dessus, le SCOP est la valeur qui reflète le plus fidèlement le taux d'utilisation du générateur de chaleur. Sur la base du SCOP, la norme EN 14825 définit une efficacité énergétique primaire η_s , qui suppose un facteur de conversion ou facteur d'énergie primaire pour l'électricité de 2,5 (version 2018). Lors de la conversion du SCOP en η_s , de petites corrections pour la régulation et les pompes

de circulation sont également prises en compte. Pour le mode de production d'eau chaude comme pour le mode de refroidissement, on détermine des valeurs caractéristiques comparables. On n'entrera ici pas davantage dans les détails; ces notions sont toutefois résumées dans le tableau 1.1.

1.3. NORMES

Les contrôles de produits et la planification des installations reposent essentiellement sur des normes, qui sont mondiales (ISO), européennes (EN) ou nationales (en Suisse: SN, resp. SIA) correspondant à l'état actuel de la technique. Ces normes sont souvent basées sur des labels de qualité et des exigences légales. Les normes fréquemment citées dans le domaine des pompes à chaleur sont compilées dans le tableau 1.2.

Remarque: En plus des normes d'essai et des normes de planification, il faut également tenir compte des directives et des cahiers techniques relatifs à la sécurité des appareils, dont notamment

- Directive sur les appareils de pression (2014/68/EU, auparavant 97/23/EG)
- Directive sur les machines (2006/42/EG)
- Directives de la Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST): EKAS 1825 (liquides inflammables), EKAS 6507 (ammoniac), EKAS 6516 (équipements sous pression)
- ATEX, directives sur la protection contre les explosions
- SUVA fiche 2153 «Prévention des explosions»

Tableau 1.1:
Désignations de l'efficacité dans le cadre des exigences d'écodesign sur les appareils de chauffage, d'eau chaude et de refroidissement.

Indice	Description	Description	Norme
Mode chauffage/mode eau chaude			
COP	Coefficient of Performance	Efficienc e à un point de fonctionnement déterminé	EN 14511/ EN 16417
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance	Efficienc e saisonnière compte tenu des conditions de fonctionnement modifiées	EN 14825/ EN 16147
η_s / η_{wh}	Efficienc e de l'énergie primaire	Efficacit é énergétique primaire, basée sur SCOP	EN 14825/ EN 16417
Mode de refroidissement			
EER	Energy Efficiency Ratio	Analogie avec le COP pour le refroidissement	EN 14511
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio	Analogie avec le SCOP pour le refroidissement	EN 14825
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio	Comparable au SEER, mais autre répartition de la charge et sans pertes en veille. Pas de notion d'écodesign.	Eurovent/ SIA 382/1

CONDITIONS-CADRES LÉGALES

Lors de la planification, de l'installation et de la mise en service d'installations de pompes à chaleur, il faut impérativement respecter les exigences légales. Celles-ci sont réglées en partie au plan national, cantonal ou com-

munal. Le tableau 1.3 présente un aperçu non exhaustif. Dans tous les cas, les interlocuteurs sont les autorités locales (commune et canton).

Norme	Description	Application
Normes		
SN EN 14511	Norme générale pour les pompes à chaleur	Labels de qualité, données des fiches techniques
SN EN 14825	Norme pour PAC. Détermine le procédé pour le calcul SCOP et SEER	Étiquette-énergie, labels de qualité, données des fiches techniques, autorisation de commercialisation
SN EN 16147	Norme pour chauffe-eau pompe à chaleur	Étiquette-énergie, labels de qualité, données des fiches techniques, autorisation de commercialisation
Normes de planification		
SIA 181	Protection contre le bruit dans le bâtiment	Base pour la protection contre le bruit dans les installations PAC
SN EN 378	Exigences techniques de sécurité et exigences environnementales	Utilisation de fluides frigorigènes
SIA 382/1	Exigences sur les machines frigorifiques	–
SIA 384/1	Bases d'installations de chauffage. Y c. PAC	Calcul de la puissance des générateurs de chaleur
SIA 384/3	Procédé pour déterminer les besoins finaux en énergie des installations de chauffage. Y c. PAC	Estimation simplifiée (outil de typologie) et programmes de calcul détaillés (PACEsti)
SIA 384/6	Sondes géothermiques	Bases de planification, exécution et fonctionnement de sondes géothermiques.
SIA 384/7	Utilisation de la chaleur des eaux souterraines	Complément à la norme SIA 384/6
SIA 384/201	Calcul de la puissance de chauffage normalisée des locaux et des bâtiments	Avec SIA 384/1 Base de dimensionnement pour la puissance du générateur de chaleur
SIA 385/2	Dimensionnement des installations d'eau potable	Conjointement avec SIA 384/1 Base de dimensionnement des générateurs de chaleur.
SIA MB 2048	Optimisation énergétique de l'exploitation	–

Tableau 1.2: Principales normes sélectionnées en relation avec les PAC. La version actuelle est toujours importante.

Base	Contenu	Remarque
Ordonnance sur l'énergie (OEné). Depuis 2018: Ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE)	Autorisation de commercialisation et obligation d'information pour la mise en circulation de PAC	Comprend l'obligation de déclaration des données des produits et obligation d'étiquetage énergétique
Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB)	Exigences aux immissions du bruit extérieur	–
Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPec)	Exigences à l'utilisation de PAC, en particulier à des températures départ admissibles pour système de chauffage, dimensionnement (corps de chauffe él.)	Le MoPec est un modèle mis en œuvre par le canton.
Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim)	Manipulation et utilisation de fluides frigorigènes	Obligation de déclarer pour les installations avec plus de 3 kg de fluides frigorigènes stables dans l'air
Loi sur la protection des eaux (LEaux), Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)	p. ex. pour l'utilisation des eaux souterraines ou la chaleur terrestre	Réglementation cantonale
Procédure d'autorisation de construire	p. ex. pour l'utilisation des eaux souterraines ou la chaleur terrestre	Communal/cantonal
Directive de protection incendie (AEAI 24-15)	Exigences de protection incendie pour les installations thermiques	Cantonal

Tableau 1.3: Sélection de lois, d'ordonnances et de directives pour les installations PAC.

ECODESIGN ET ETIQUETTE-ENERGIE

Depuis 2015, l'Union européenne impose des exigences au regard de l'«écoconception» des appareils de chauffage. Simultanément, l'obligation relative à l'étiquette énergie de ces équipements d'une puissance thermique jusqu'à 70 kW a été mise en place. La Suisse a repris cette obligation une année plus tard dans l'Ordonnance sur l'énergie (depuis 2018 Ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique OEEE). Les deux exigences se basent sur l'efficacité énergétique primaire η_s . L'étiquette énergie est en outre un instrument qui doit permettre de comparer entre elles différentes technologies. Ainsi, les chaudières, les installations CCF, les chauffages électriques directs et les pompes à chaleur sont évalués à l'aide d'une seule et même étiquette (illustration 1.8. Les pompes à chaleur sont toutefois subdivisées plus précisément en «pompes à chaleur» (température de départ de dimensionnement 55 °C) et «pompes à chaleur basse température» (température de départ de dimensionnement 35 °C) – des exigences énergétiques plus élevées

sont aussi imposées à ces dernières en raison d'une meilleure efficacité due à des paramètres physiques. Elles se situent toutefois toujours dans les classes d'efficacité les plus élevées. Néanmoins, l'évaluation est toujours liée à une charge définie, déterminée sous la forme d'une courbe de chauffage sous un climat moyen (Strasbourg/F; à peu près comparable au Plateau suisse). L'étiquette énergie évalue donc uniquement un appareil, et non son utilisation effective ou son intégration dans le système global.

Remarque: comme pour tous les générateurs de chaleur, les installateurs de pompes à chaleur d'une puissance de chauffe jusqu'à 70 kW doivent présenter une étiquette énergie. Celui-ci évalue toutefois uniquement l'appareil dans des conditions bien déterminées. Comme unique critère de sélection, l'étiquette énergie n'est ainsi pas tout à fait appropriée. Une pompe à chaleur air-eau évaluée A++ peut dans certaines conditions (p. ex. espace alpin) être moins appropriée qu'un appareil eau glycolée-eau évalué A+.

Tableau 1.4: Affectation à des classes et exigences énergétiques minimales pour PAC (SCOP pour appareils eau-air, état 2018) (source: FHNW IEBAu).

	Dimensionnement température départ 55 °C		Dimensionnement température départ 35 °C	
	SCOP	η_s	SCOP	η_s
A+++	3,83	150 %	4,45	175 %
A++	3,20	125 %	3,83	150 %
A+	2,53	98 %	3,15	123 %
Exigence Ecodesign	2,83	110 %	3,20	125 %

Illustration 1.8: Affectation aux classes et exigences minimales à l'efficacité énergétique primaire η_s de générateurs de chaleur. Pour les PAC basse température («PAC 35 °C»), une affectation aux classes séparée a été créée (source: FHNW IEBAu, Andreas Genkinger).

Classe	η_s pour classe	(B1)	Brûleur		CCF	Electricité	PAC 55 °C	PAC 35 °C	η_s pour classe	Classe
		≤10/30 kW*	≤70 kW	70–400 kW						
A+++	≥150 %								≥175 %	A+++
A++	≥125 %								≥150 %	A++
A+	≥98 %								≥123 %	A+
A	≥90 %								≥115 %	A
B	≥82 %								≥107 %	B
C	≥75 %								≥100 %	C
D	≥36 %								≥61 %	D
E	≥34 %								≥59 %	E
F	≥30 %								≥55 %	F
G	<30 %								<55 %	G

*Type B1 Brûleur ≤ 10 kW / Type B11 Chauffe-eau combiné ≤ 30 kW

2. COMPOSANTS D'UNE POMPE À CHALEUR

Les quatre composants principaux indispensables à la réalisation d'un cycle à compression de vapeur froide traditionnel sont:

- le compresseur
- le condenseur
- le détendeur (vanne de détente)
- l'évaporateur

2.1. COMPRESSEUR

Le compresseur amène le gaz frigorigène en provenance de l'évaporateur à une pression suffisante pour qu'il puisse se liquéfier.

Il existe plusieurs types de compresseurs présentant des avantages ou inconvénients spécifiques en fonction des conditions d'utilisation ou de l'application souhaitée.

TYPES DE COMPRESSEURS

Le tableau 2.1 se limite aux compresseurs fréquemment utilisés dans les pompes à chaleur. Le tableau ne mentionne pas les compresseurs à ailettes, à palettes, et à pistons rotatifs. Les turbocompresseurs sont également appelés «Turboacor» sur le marché. Ces compresseurs Turboacor sans huile, à paliers magnétiques sont utilisés à partir d'une puissance de chauffage d'environ

320 kW, atteignent une température de départ maximale de 48°C (à pleine charge) et présentent des rendements très élevés en charge partielle (10 % à 70 %). Associé à une aube directrice d'entrée en aspiration, le Turboacor s'adapte parfaitement aux différents états de charge. Ses autres avantages: faible courant de démarrage, électronique de commande entièrement intégrée avec convertisseur de fréquence intégré (CF), faible poids, faible puissance acoustique, pas de pièces d'usure mécanique et, par conséquent, une sécurité de fonctionnement supérieure grâce au nombre réduit d'éléments mobiles.

MODÈLES

Selon l'application et les coûts, on distingue trois modèles de compresseurs.

Compresseurs ouverts: Le moteur et le compresseur sont des ensembles distincts. L'arbre d'entraînement du compresseur sort du carter et est relié au moteur soit directement soit par le biais d'une courroie trapézoïdale; la traversée du carter par l'arbre doit être étanche aux gaz. La motorisation peut être électrique mais également à combustion.

Tableau 2.1:
Types de compresseurs.

Type de compresseur	à pistons alternatifs	à spirale (Scroll)	à vis	turbo
Principe de fonctionnement	compression	compression	compression	flux de fluide
Compression	statique	statique	statique	dynamique
Cylindrée	géométrique	géométrique	géométrique	dépendant de la contre-pression
Admission	à pulsations	constante	constante	constante
Débit volumique (plage)	jusqu'à 1000 m ³ /h	jusqu'à 500 m ³ /h	100 à 10000 m ³ /h	250 à 50000 m ³ /h
Puissance de chauffe (plage à BO/W35)	jusqu'à 800 kW	jusqu'à 400 kW	80 à 8000 kW	100 à 40000 kW
Rapport de pression en règle générale (à 1 allure)	jusqu'à 10	jusqu'à 10	jusqu'à 30	jusqu'à 5
Régulation à vitesse de rotation constante	par palier	difficile	sans palier	sans palier
Régulation de la vitesse de rotation	possible	possible	possible	possible
Sensibilité aux coups de liquide	élevée	faible	faible	faible
Production de vibrations	oui	non	non	non

Illustration 2.1:
Compresseur ouvert
à pistons alternatifs
(version industrielle)
(photo: Grasso).



Compresseurs hermétiques: Le moteur et le compresseur forment un ensemble. Contrairement au modèle semi-hermétique, le compresseur hermétique est monté dans un carter fermé, soudé de manière parfaitement étanche. Le moteur est généralement refroidi au moyen du gaz frigorigène aspiré. En cas de panne, il faut remplacer tout le compresseur.

Compresseurs semi-hermétiques: Le moteur et le compresseur forment un ensemble. L'arbre d'entraînement est relié au moteur, sous le carter. Le refroidissement du moteur électrique se fait soit au moyen du gaz frigorigène aspiré soit à travers le carter (eau ou air). Pour éviter la friction et l'usure et colmater les fuites dans la chambre de compression, les compresseurs sont généralement lubrifiés avec de l'huile. Le fluide frigorigène se mélange ainsi avec l'huile et peut donc en contenir une forte proportion, en particulier lors des temps d'arrêt du compresseur. Lors du redémarrage du compresseur, le mélange huile-fluide frigorigène se met alors à mousser. Pour éviter ce problème, le récipient de stockage d'huile peut être chauffé, le fluide frigorigène dilué à l'intérieur étant ainsi suffisamment volatilisé (chauffage du carter ou de la cuve à huile).

Compresseurs exempts d'huile: Par compresseurs exempts d'huile, on entend les compresseurs qui ne présentent aucune lubrification à l'huile grâce à une construction et une fabrication spéciales. Comme aucune huile ne circule dans le circuit frigorigène, le principal avantage de ces compresseurs est de résoudre le problème de l'évacuation de cette huile hors du système, ce qui présente un avantage important dans le cas d'évaporateurs en système immergé ou de systèmes interconnectés (plusieurs compresseurs par circuit).

Illustration 2.2:
Compresseur
semi-hermétique à
pistons alternatifs
(photo: Bitzer).

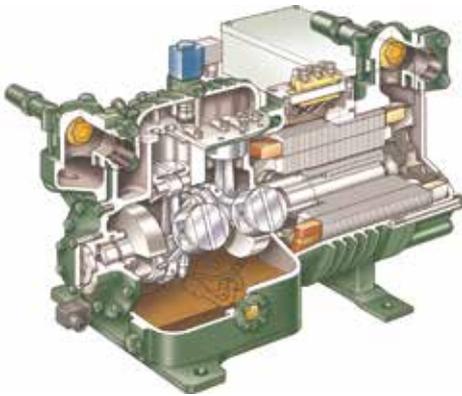


Illustration 2.3:
Compresseur
semi-hermétique à
vis (photo: Bitzer).

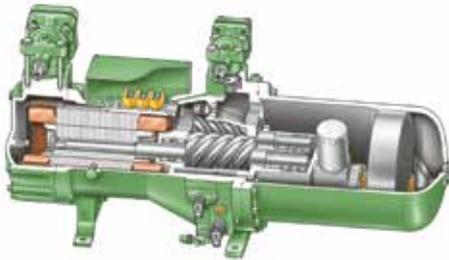


Illustration 2.4:
Compresseur
hermétique spiral
(Scroll) (photo:
Copeland).

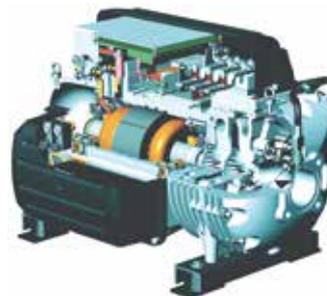


Illustration 2.5:
Compresseur semi-hermétique turbo
(exempt d'huile)
(photo: Turbocor).

2.2. ÉCHANGEUR DE CHALEUR

ÉVAPORATEUR

L'évaporateur prélève la chaleur de l'environnement (air, eau, saumure etc.). Cette chaleur est absorbée par le fluide frigorigène, qui, de ce fait, s'évapore. La chaleur est donc transférée de la source de chaleur au fluide frigorigène.

Il faut en principe faire une distinction entre l'évaporation sèche et l'évaporation en système immergé; il existe cependant des systèmes combinant ces deux variantes.

Évaporation sèche: Le fluide frigorigène est amené vers l'évaporateur par une vanne de détente. Le débit de fluide frigorigène est régulé par la différence entre la température du gaz et la température de saturation (surchauffe du gaz aspiré). Le gaz frigorigène est surchauffé et donc «sec» à la sortie de l'évaporateur.

Évaporation en système immergé: Le fluide frigorigène est introduit dans l'évaporateur par le biais d'une régulation à flotteur haute pression ou basse pression. La quantité de fluide frigorigène est réglée par le biais du niveau de liquide du côté haute pression ou basse pression. Le gaz frigorigène n'est pratiquement pas surchauffé à la sortie de l'évaporateur, et est donc «humide». C'est pourquoi il y a généralement lieu de prévoir un séparateur de liquide afin de protéger le condenseur des coups de liquide. L'avantage principal de l'évaporateur en système immergé réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'avoir des différences minimales

de température entre le fluide frigorigène et la source de chaleur, c'est-à-dire que la température d'évaporation peut être prévue plus élevée, ou augmente davantage dans la plage de charge partielle. Il s'ensuit un meilleur rendement du système.

CONDENSEUR

Le condenseur sert à désurchauffer, liquéfier et sous-refroidir le gaz frigorigène provenant du compresseur, qui dégage alors de la chaleur en faveur des installations destinées à l'utiliser.

La chaleur peut également être dégagée par plusieurs échangeurs de chaleur, à des niveaux de température différents. Cette application équipée d'un désurchauffeur, condenseur et sous-refroidisseur devient vraiment rentable dans les installations de grande taille ainsi que dans les systèmes présentant de grandes différences de température entre l'entrée et la sortie du médium, comme par exemple le chauffage à distance, l'eau chaude sanitaire ou des applications industrielles.

TYPES

Les **échangeurs de chaleur à plaques** sont une construction compacte en exécution soudée ou fermée hermétiquement pour la transmission de la chaleur de milieux liquides ou gazeux (applications spécifiques). Les appareils à plaques présentent l'avantage d'avoir des contenances réduites, de grandes surfaces d'échange pour un encombrement limité, et une grande modularité dans la fabrication. Ils conviennent pour une évapora-

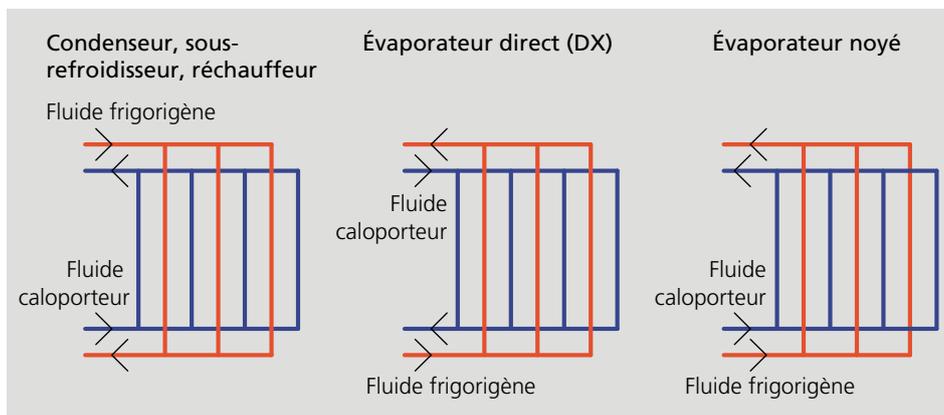


Illustration 2.6: Schéma d'un échangeur de chaleur à plaques.

tion sèche ou en système immergé. Ce type est principalement utilisé dans les pompes à chaleur jusqu'à env. 200 kW.

Les **échangeurs de chaleur à faisceaux tubulaires** constituent l'exécution classique réalisée au moyen d'un registre tubulaire et d'un corps de chaudière pour la transmission

de la chaleur de milieux liquides, ou gazeux dans certains cas particuliers. Les appareils à faisceaux tubulaires se caractérisent par une grande diversité des matériaux employés, une bonne résistance à l'encrassement et au gel, et une régulation plutôt lente. Ils conviennent pour une évaporation sèche ou en système immergé; toutefois, la variante en système immergé requiert une quantité de fluide frigorigène nettement plus importante.

Les **échangeurs de chaleur coaxiaux** assurent l'échange de chaleur par le biais d'un tube double cintré en spirale, généralement en cuivre ou en acier inoxydable. Ils sont utilisés dans des installations de très petite taille, ou pour des raisons liées à une technique de construction spécifique.

Les **échangeurs de chaleur à registre** sont constitués de serpentins ou de blocs de plaques de matériaux de qualités différentes, intégrés dans des réservoirs ouverts ou fermés ainsi que dans des environnements fixes. Ils sont généralement employés dans des milieux fortement pollués (eaux usées, terre etc.).

Les **échangeurs de chaleur à lamelles** sont principalement constitués de tubes isolés ou multiples disposés en parallèle, sur lesquels sont pressés des lamelles. Ils conviennent pour la transmission de la chaleur de milieux gazeux (p. ex. air). Plusieurs combinaisons de matériaux et plusieurs circuits sont possibles. Une grande attention est à porter à la distance optimale entre les lamelles, étant donné que l'encrassement, le givrage etc. sont susceptibles de réduire considérablement le rendement de ce type d'appareil. Lorsque la température de l'air descend en dessous



Illustration 2.7:
Échangeur de chaleur à plaques
(photo: BMS).



Illustration 2.8:
Échangeur de chaleur à faisceaux tubulaires
(photo: Bitzer).



Illustration 2.9:
Échangeur de chaleur coaxial (photo: Wieland).

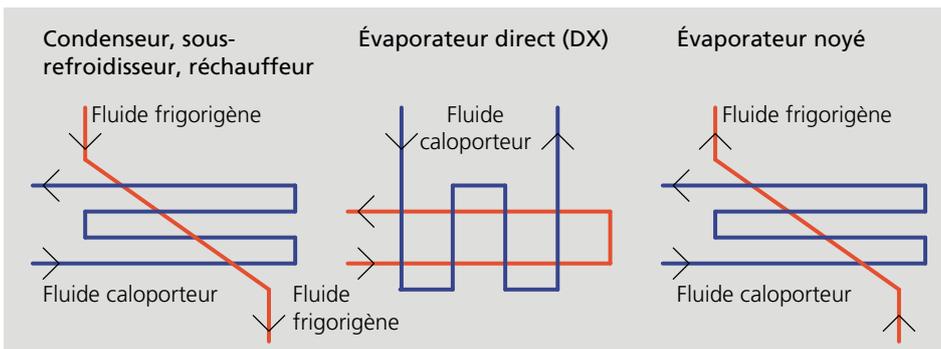


Illustration 2.10:
Schéma d'un échangeur de chaleur à faisceaux tubulaires.

de 5°C environ, l'échangeur de chaleur se couvre de givre et de glace, qu'il faut dégeler, ce qui réduit fortement son efficacité (voir chapitre 2.6).

2.3. DÉTENDEUR

Le détendeur réduit la pression exercée sur le fluide frigorigène lorsqu'il passe du côté haute pression au côté basse pression du circuit frigorigène. Il régule également le flux du fluide frigorigène en direction de l'évaporateur. Un détendeur correctement dimensionné, notamment une vanne d'expansion électronique, a une influence considérable sur l'efficacité d'un processus de pompe à chaleur.

TYPES DE DÉTENDEURS

Les **vannes d'expansion** régulent le flux du fluide frigorigène en direction de l'évaporateur en utilisant la surchauffe du gaz aspiré à la sortie de l'évaporateur; elles sont exclusivement employées dans les systèmes à évaporation sèche. Il faut distinguer les vannes d'expansion **thermostatiques**, à compensation de la pression interne ou externe, des vannes d'expansion **électroniques**. Le gros avantage de la version électronique est la faible surchauffe du gaz aspiré et la plage

de fonctionnement supérieure d'une vanne. Cela est très avantageux lors de différentes conditions de fonctionnement et dans le comportement en charge partielle.

Les **régulateurs à flotteur haute pression** acheminent le flux du fluide frigorigène à l'évaporateur en fonction du niveau de fluide du côté haute pression du flotteur. Les régulateurs à flotteur haute pression ne doivent pas être réglés et fonctionnent de manière très stable dans l'ensemble de la plage de fonctionnement de l'installation. Les **régulateurs à flotteur basse pression** fonctionnent de manière analogue aux régulateurs haute pression. Toutefois, ils régulent le flux de fluide frigorigène en fonction du niveau de fluide dans l'évaporateur. Il existe également des modèles électroniques de régulateur à flotteur.

2.4. DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Un certain nombre de dispositifs de sécurité sont nécessaires pour que les appareils et leurs composants, les conduites, et les différents fluides employés ne soient pas soumis à des contraintes trop sévères. Le type et la forme de ces dispositifs sont fixés par le législateur en fonction de la taille et du lieu d'implantation de l'installation, des fluides

Illustration 2.11:
Échangeur de chaleur à registre (bloc de plaques)
(photo: Omega).



Illustration 2.12:
Échangeur de chaleur à lamelles (batterie sans ventilateur, carrosserie etc.) (photo: Günter).

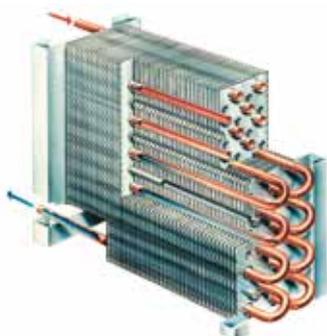
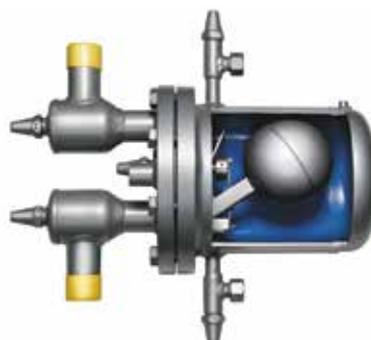


Illustration 2.13:
Vanne d'expansion thermostatique
(photo: Danfoss).



Illustration 2.14:
Régulateur à flotteur haute pression
(photo: TH-Witt).



frigorigènes utilisés etc. Les principaux dispositifs de sécurité sont les suivants:

Le limiteur de pression ou le pressostat haute pression (coupure du système en cas d'augmentation trop forte de la pression) est destiné à protéger le compresseur et tous les composants haute pression. A partir d'une certaine taille de compresseur ou d'installation, cet appareil devra obligatoirement fonctionner de manière mécanique et couper directement l'alimentation électrique du contacteur principal.

Basse pression: Coupure du système en cas de diminution de la pression afin de protéger le compresseur et tous les composants basse pression.

Pressostat pour pression différentielle d'huile: Coupure du système en cas de diminution de la pression différentielle afin de contrôler la lubrification du compresseur.

Surchauffe du gaz sous pression: Coupure du système en cas d'augmentation de la température afin de contrôler la température du gaz chaud.

Protection antigel: Coupure du système en cas de diminution de la température afin de protéger l'évaporateur contre le gel.

Écoulement: Coupure du système en cas de diminution du débit d'écoulement second-

naire afin de protéger l'évaporateur contre l'encrassement ou le givrage et le condenseur et le désurchauffeur contre la surchauffe.

Protection des enroulements, Klixon, thermique et protection du moteur afin de protéger les moteurs électriques (compresseur, ventilateurs, pompes etc.).

Soupapes de sécurité, disques de rupture, sections de rupture etc., afin de protéger le système contre les pressions trop importantes en fonctionnement ou à l'arrêt (p. ex. en cas d'incendie).

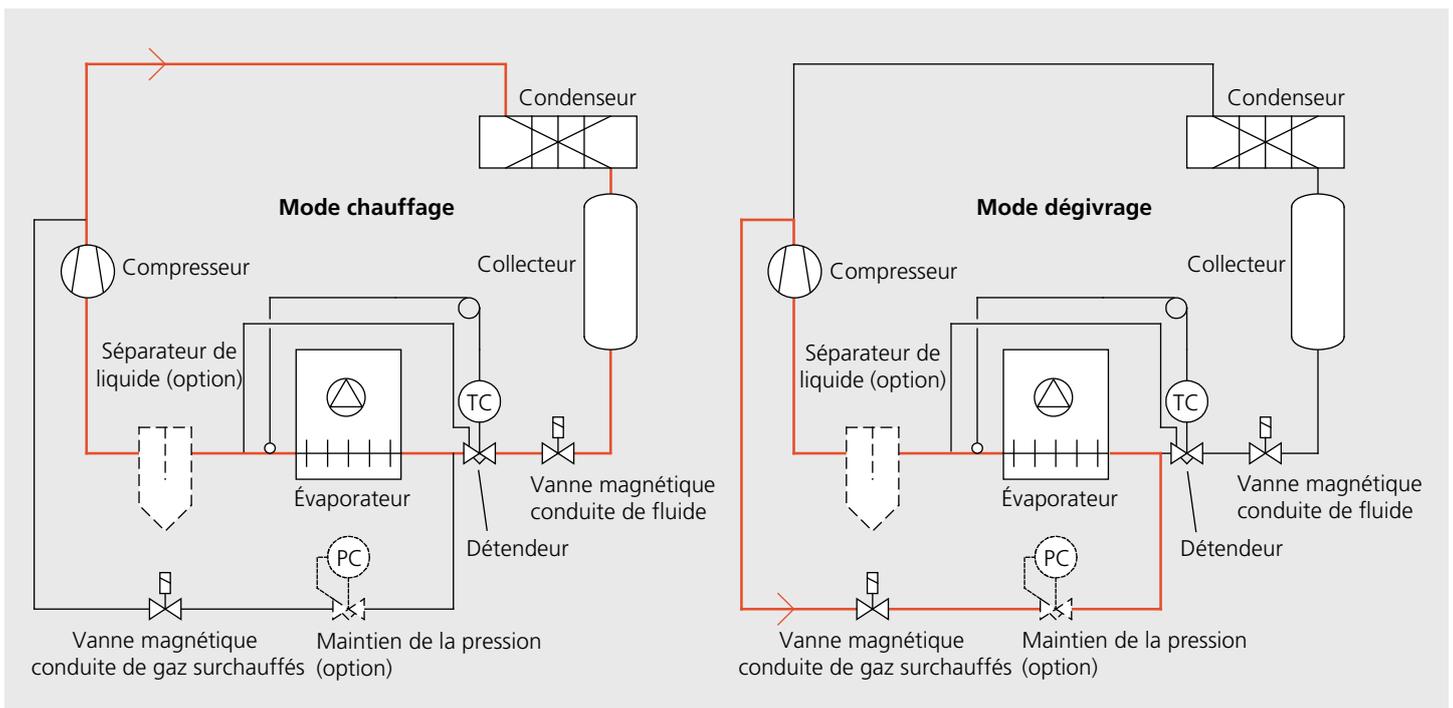
Contrôle du niveau, du fluide frigorigène etc. afin de contrôler la quantité de fluide frigorigène (débordement, fuites, déplacements etc.).

2.5. AUTRES COMPOSANTS

Les composants et appareils suivants sont indispensables ou à tout le moins utiles pour le bon fonctionnement de l'installation:

Déshydrateur-filtre pour capter l'humidité résiduelle dans le système de refroidissement. Cette humidité peut provoquer le givrage du détendeur, des modifications de la qualité des fluides et des dégâts à l'enroulement.

Illustration 2.15:
Schéma de principe
pour le dégivrage
d'un by-pass gaz
chauds.



Regard avec indicateur d'humidité pour le contrôle visuel de l'humidité dans le système ainsi que la production de flashgas (formation de bulles de gaz) comme indice d'un manque de fluide frigorigène, d'encrassement du déshydrateur-filtre etc.

Filtre aspirant pour la protection mécanique du compresseur.

Electro-aimant pour le déclenchement ou la commutation automatique ou l'aspiration des différents échangeurs de chaleur.

Régulateur de pression pour le maintien en pression constante, haute ou basse des différentes parties du système.

Absorbeur de vibrations pour l'amortissement des parties vibrantes, p. ex. le compresseur.

Silencieux pour le gaz sous pression pour amortir les pulsations du gaz dans les compresseurs à piston.

Collecteur de fluide frigorigène pour recueillir le fluide frigorigène lors de différents états opérationnels ou de l'aspiration.

Séparateur d'huile pour éviter les dépôts d'huile importants dans le système et de souiller l'évaporateur avec de l'huile. Utilisé dans le cas de compresseurs à vis, d'installations à plusieurs compresseurs ou d'évaporateurs en système immergé.

Vannes d'arrêt et instruments de mesure pour l'entretien habituel et le contrôle des installations (vannes schrader).

Chauffage du carter ou de la cuve à huile pour empêcher la dilution du fluide frigorigène dans l'huile pendant les temps d'arrêt.

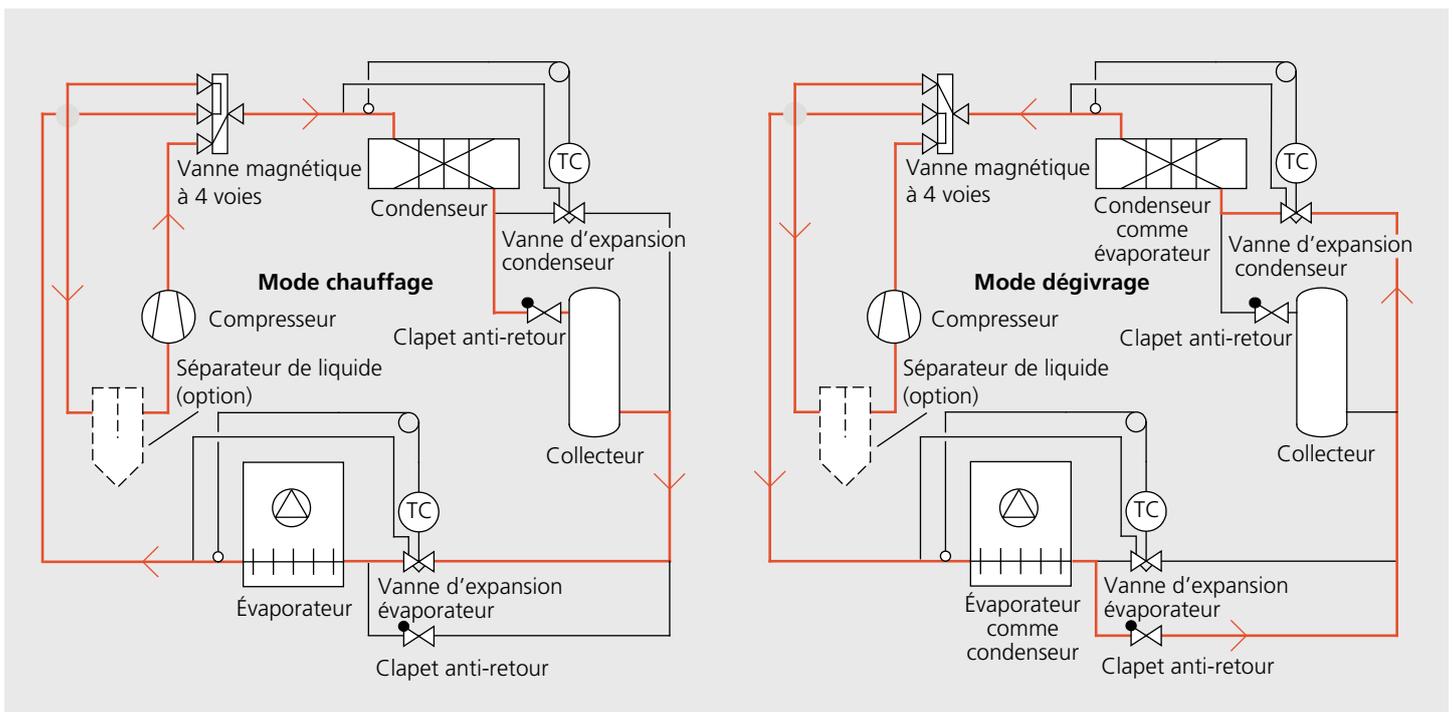
2.6. DISPOSITIFS DE DÉGIVRAGE

Les échangeurs de chaleur à lamelles – p. ex. comme évaporateur de pompes à chaleur air-eau – peuvent givrer ou geler lorsque la température de l'air est basse, de sorte que l'échange de chaleur risque d'être de plus en plus mauvais. C'est pourquoi il est indispensable de pouvoir dégivrer la surface de contact lorsque cela s'avère nécessaire.

BY-PASS GAZ CHAUDS (ILLUSTR. 2.15)

Pendant le processus de dégivrage, le condenseur est contourné au moyen d'une soupape de by-pass, et le gaz sous pression provenant du compresseur est directement envoyé vers l'évaporateur. Il est ici très important que la pression soit maintenue élevée en aval du compresseur. La puissance nécessaire pour le dégivrage correspond pratiquement à la puissance électrique absorbée par le compresseur.

Illustration 2.16:
Schéma de principe
d'un cycle inversé.



DÉGIVRAGE PAR INVERSION DU CYCLE (ILLUSTR. 2.16)

Le cycle est inversé au moyen d'une électrovanne à 4 voies ou de combinaisons de vannes. Le condenseur sert d'évaporateur et l'évaporateur de condenseur. Il faut veiller à ce qu'une quantité suffisante d'énergie soit disponible dans la partie destinée à l'utilisation de la chaleur pendant le processus de dégivrage, étant donné que ce dernier soustrait de la chaleur. La puissance nécessaire pour le dégivrage correspond à 2 ou 3 fois la puissance électrique absorbée par le compresseur.

DÉGIVRAGE NATUREL

Au-dessus de 2 à 3 °C environ, la solution la plus rapide et efficace pour le dégivrage de l'évaporateur est l'utilisation du ventilateur uniquement, qui peut être combiné sans problème avec d'autres méthodes de dégivrage.

2.7. TYPES DE POMPES À CHALEUR

Dans le domaine des pompes à chaleur, on distingue:

Le modèle compact: Tous les composants sont regroupés (d'usine ou sur place) dans un seul boîtier, une salle des machines ou sur un seul châssis.

Le modèle split: Des composants de base de la pompe à chaleur se trouvent en dehors de l'élément central; par exemple l'évaporateur d'une pompe à chaleur air-eau se trouve à l'extérieur et le groupe compresseur-condenseur se trouve à l'intérieur du bâtiment.

2.8. PROCESSUS ALTERNATIFS

A côté du système mettant en œuvre le cycle de vapeur froide (système à condensation); il existe encore d'autres procédés pouvant être utilisés dans les pompes à chaleur, comme par exemple les systèmes à absorption, à refroidissement thermo-électrique (effet Peltier), à cycle Stirling, à injection de vapeur froide et à gaz froid.

Toutefois, les seules pompes à chaleur effectivement commercialisées parmi ces différents types sont les systèmes à absorption. L'indice de performance de ces installations est inférieur à celui des systèmes à condensation. On utilise ce procédé principalement dans les situations où la chaleur utile (chaleur rejetée etc.) est constamment disponible, et si possible gratuitement.

3. FLUIDE FRIGORIGÈNE

3.1. PROPRIÉTÉS

Le fluide frigorigène est l'agent frigorigène mis en œuvre dans les machines à vapeur froide. On emploie souvent cette notion dans un sens général pour toutes les machines frigorifiques ou tous les procédés de production de froid, comme les pompes à chaleur. Dans la mesure du possible, tout fluide frigorigène devrait présenter les caractéristiques suivantes:

- bonnes propriétés thermodynamiques
 - Puissance frigorifique volumétrique élevée (→ petit compresseur). Valeurs typiques dans l'illustration 3.1)
 - Niveau de pression adapté à la plage d'utilisation (→ température critique suffisamment élevée et point de congélation suffisamment bas)
 - pertes de pression due à la circulation
 - stabilité chimique et thermique
 - non toxique
 - non inflammable, non explosif
 - bonne miscibilité avec les lubrifiants
 - non destructeur de l'ozone (Ozone depletion potential ODP = 0)
- pas de potentiel à effet de serre (Global warming potential GWP = 0)
 - prix avantageux

On distingue cinq groupes de fluides frigorigènes (illustr. 3.2), les propriétés des fluides frigorigènes synthétiques sont présentées à titre d'exemple pour les dérivés du méthane/éthane dans l'illustration 3.3:

- Les CFC (hydrochlorofluorocarbures entièrement halogénés), sont très nocifs pour la couche d'ozone et générateurs d'effet de serre.
- Les HCFC (hydrochlorofluorocarbures partiellement halogénés) sont nocifs pour la couche d'ozone et générateurs d'effet de serre.
- Les HFC/PFC (hydrocarbures fluorés partiellement halogénés) sont exempts de chlore et donc non nocifs pour la couche d'ozone, mais néanmoins générateurs d'effet de serre.
- HFO (oléfines hydrofluorés). Les PFC insaturés, c.-à-d. ceux comportant au moins une double liaison entre deux atomes de carbone (C = C). On les appelle également

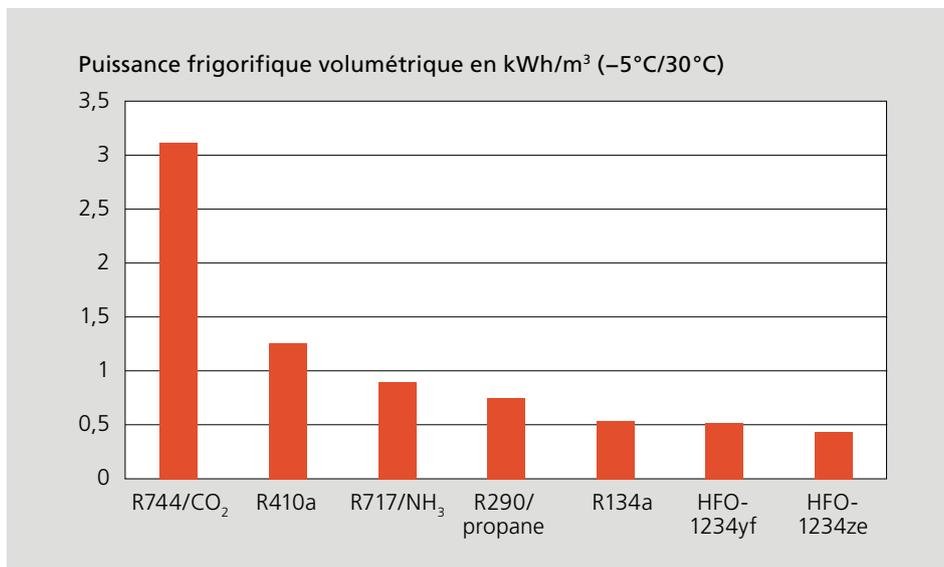
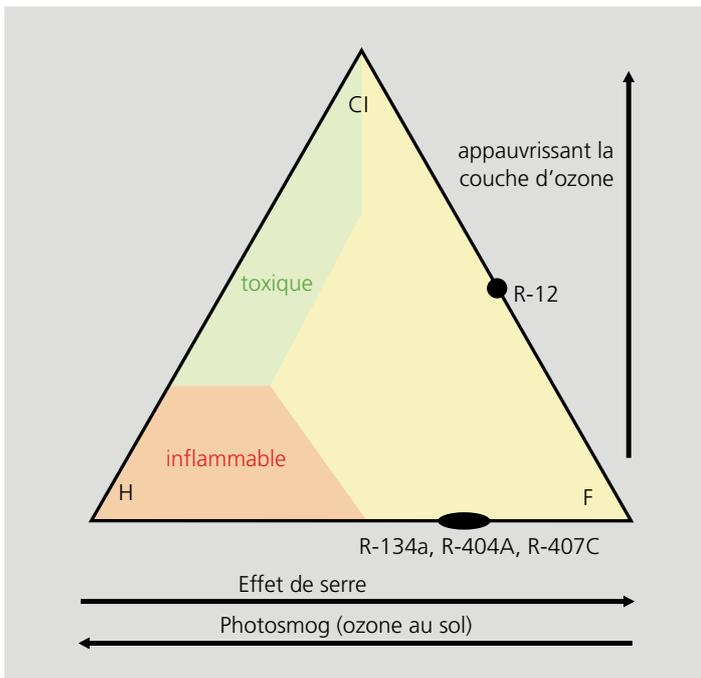


Illustration 3.1: Puissance frigorifique volumétrique en kWh/m³.

oléfines. Les HFO ont été développés en alternative aux substances stables, génératrices d'effet de serre, la double liaison rend la molécule instable et, par comparaison, se dégrade rapidement dans l'atmosphère. En raison de leur faible potentiel à effet de serre, ils sont également appelés fluides frigorigènes Low-GWP. Une plus large utilisation de ce groupe de fluides frigorigènes est encore incertaine notamment en raison du manque d'expérience à long terme.

- Les fluides frigorigènes naturels ne détruisent pas la couche d'ozone et n'influencent pas le climat. Ces substances sont toutefois partiellement toxiques (ammoniac), inflammables (propane) ou nécessitent des pressions d'exploitation élevées (CO₂). On peut remédier à ces inconvénients de façon constructive (p. ex. intégration de la PAC dans un

Illustration 3.2: Propriétés des fluides frigorigènes synthétiques (dérivés halogénés du méthane, resp. de l'éthane).



boîtier). Pour des considérations écologiques, il faudrait utiliser des fluides frigorigènes naturels.

Le tableau 3.1 fournit un aperçu des différents fluides frigorigènes. La désignation commence toujours par un «R» pour «refrigerant».

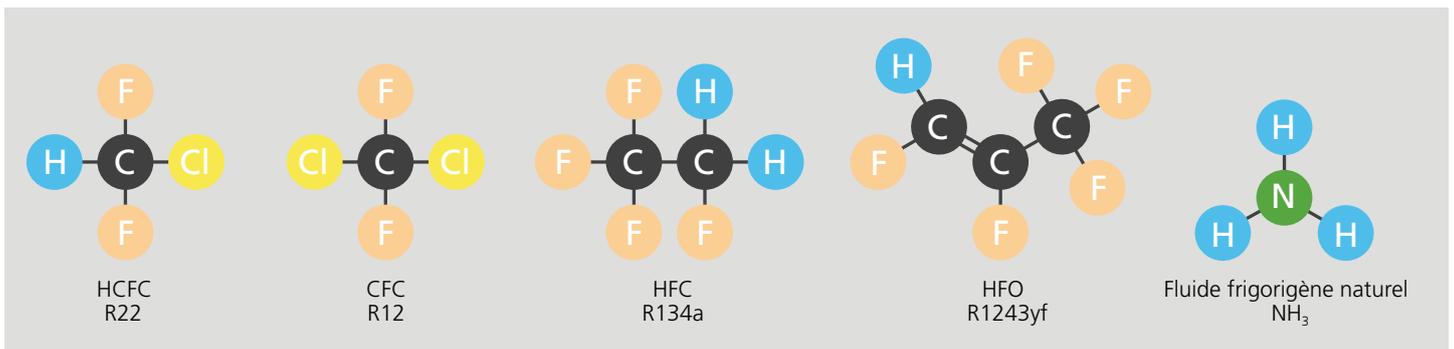
3.2. CHOIX DU FLUIDE FRIGORIGÈNE

Pour des raisons de sécurité et de protection de l'environnement, il est en principe important de limiter la quantité de fluides frigorigènes. Les exigences techniques de sécurité relatives à l'utilisation des différents fluides frigorigènes sont définies dans la SN EN 378. Les fluides frigorigènes détruisant la couche d'ozone (HCFC et CFC) ne sont légalement plus autorisés dans les PAC et les installations frigorifiques. À puissance et efficacité égales, il convient d'utiliser un fluide frigorigène présentant un potentiel à effet de serre (GWP) plus faible.

L'utilisation admissible de fluides frigorigènes est réglée dans l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim). Sa mise en œuvre doit renforcer l'utilisation de fluides frigorigènes naturels présentant un potentiel d'effet de serre réduit.

Dans quelques cas particuliers, il est possible de demander une dérogation à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Un formulaire de demande pour dérogation pour installation frigorifique ainsi que des informations complémentaires figure sur le site de l'Office fédéral de l'environnement OFEV: www.bafu.admin.ch → thèmes → produits-chimiques.

Illustration 3.3: Structure chimique des fluides frigorigènes (exemples). Les propriétés des fluides frigorigènes synthétiques dépendent essentiellement des atomes de chlore (Cl) et de fluor (F) (source: Andreas Genkinger, FHNW IEBau).



Statut juridique des fluides frigorigènes selon l'Annexe 2.10 ORRChim	Catégorie		Fluide frigorigène	GWP	Remarques
Frigorigènes appauvrissant la couche d'ozone, interdits	CFC (chlorés, perhalogénés)		R11 R12 R502 (mélange) R13B1	4750 10900 4657 7140	Interdits dans les installations nouvelles, en vente, agrandies ou transformées. Les installations existantes peuvent rester en service, mais pas rechargées. Les installations existantes contenant plus de 3 kg de fluide frigorigène doivent être déclarées (www.smkw.ch), livret d'entretien et contrôle de l'étanchéité sont requis.
	HCFC (chlorés, partiellement halogénés)	Fluides purs Mélanges (blends), en général à base de R22	R22 R401A (MP39) R402A (HP80) R402B (HP81) R408A (FX-10) R409A (FX-56)	1810 1182 2788 2416 3152 1585	
Frigorigènes stables dans l'air à utilisation restreinte dans les nouveaux appareils et installations	HFC / PFC (sans chlore)	Fluides purs	R23 R32 R134a R125 R143a	14800 675 1430 3500 4470	La construction, l'extension et la transformation d'installations avec des fluides frigorigènes stables dans l'air et qui dépassent certaines puissances sont interdites depuis le 1.12.2013. Condition pour une dérogation: l'état de la technique ne permet pas de respecter les exigences de sécurité selon les normes SN EN 378-1, -2 et -3 sans utiliser un frigorigène stable dans l'air. Les installations contenant plus de 3 kg de frigorigène doivent être déclarées (www.smkw.ch), livret d'entretien et contrôle de l'étanchéité sont requis.
		Mélanges (blends)	R404A R407C R407F R410A R413A R417A R422A R422D R437A R507A	3920 1770 1825 2090 2050 2350 3140 2730 1685 3980	
		Mélanges avec HFO (blends)	R448A R449A R450A R513A	1386 1397 601 631	
Frigorigènes autorisés sous réserve du respect des exigences de sécurité	HFO (fluoro-oléfines partiellement halogénées)	Fluides purs	R1234yf R1234ze	4 7	Fluides autorisés. Les installations contenant plus de 3 kg de frigorigène doivent avoir un livret d'entretien. Les fluides naturels sont préconisés pour les nouvelles installations et les transformations. Les installations contenant plus de 3 kg de frigorigène doivent avoir un livret d'entretien.
	Frigorigènes naturels	Fluides purs Mélanges (blends)	R170 (Éthane) R290 (Propane) R717 (NH ₃) R718 (H ₂ O) R744 (CO ₂) R600a (Isobutane) R1270 (Propène) R290/R600a R290/R170 R723 (DME/NH ₃)	6 3 0 0 1 3 2 3 3 8	

Tableau 3.1: Aperçu des principaux fluides frigorigènes (liste non exhaustive), état au 20 juin 2017. L'utilisation autorisée est réglée par l'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim) (source: OFEV).

3.3. EFFET DE SERRE ET INDICE TEWI

Le TEWI (Total Equivalent Warming Impact ou impact de réchauffement total équivalent) est un procédé permettant d'évaluer le réchauffement global par la détermination de l'incidence directe des émissions de fluides frigorigènes dans l'atmosphère ainsi que de l'incidence indirecte des émissions de dioxyde de carbone dues à la production de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation frigorifique pendant sa durée de vie. Dans une installation donnée, le TEWI comprend:

- l'influence directe sur l'effet de serre par fuites de fluides frigorigènes sous certaines conditions;
- l'influence indirecte sur l'effet de serre provenant des émissions de CO₂, dues à la consommation d'énergie requise pour faire fonctionner l'installation.

Important pour l'indice TEWI:

- L'utilisation de l'indice TEWI est efficace pour évaluer l'effet de serre.
- L'indice TEWI peut être calculé au moyen de la formule mentionnée dans l'encart ci-dessous.
- Le rendement énergétique a une grande influence sur le TEWI (par la réduction de la consommation d'énergie).

- L'indice TEWI peut être fortement réduit si la PAC est alimentée par de l'électricité verte produite exclusivement à partir de sources d'énergie renouvelable.
- L'indice TEWI exerce une influence sur les frais d'exploitation.

L'indice TEWI est un procédé d'évaluation du réchauffement global. Mesures efficaces pour réduire l'indice TEWI:

- Utiliser des fluides frigorigènes naturels ou présentant un faible GWP.
- Construction, resp. choix de l'installation frigorifique optimale et du fluide frigorigène
- Optimisation de l'installation pour obtenir des valeurs COP/EER et/des rendements maximaux
- Maintenance professionnelle, sans fuites de fluides frigorigènes
- Récupération et/ou recyclage des fluides frigorigènes usés

3.4. CONDITIONS-CADRES LÉGALES ET ÉVOLUTIONS

En ce qui concerne le respect de l'environnement des fluides frigorigènes, si l'accent était auparavant mis sur la diminution de la destruction de la couche d'ozone, il s'est déplacé sur l'effet de serre. En Europe, l'utilisation des fluides frigorigènes à GWP élevé sera à l'avenir fortement restreinte par

Procédé de calcul pour le TEWI

TEWI = Total Equivalent Warming Impact

$$TEWI = (GWP \cdot L \cdot n) + (PES \cdot m \cdot [1 - \alpha_{\text{Récupération}}]) + (n \cdot E_{\text{an}} \cdot \beta)$$

Avec

$PES \cdot L \cdot n$

la part des pertes par fuite

$(PES \cdot m \cdot [1 - \alpha_{\text{Récupération}}])$

la part des pertes par récupération

$(n \cdot E_{\text{an}} \cdot \beta)$

la part des pertes par consommation d'énergie

Hypothèse

TEWI la contribution globale de réchauffement en équivalents par kg CO₂

PES le potentiel d'effet de serre, rapporté au CO₂

L les fuites en kg par an

n la durée de vie de l'installation par an

m la charge de fluide frigorigène en kg

$\alpha_{\text{Récupération}}$ le facteur de récupération, resp. de recyclage (0 à 1)

E_{an} la consommation d'énergie en kWh par an

β les émissions de CO₂ en kg par kWh

le nouveau règlement F-Gas (règlement relatif aux gaz à effet de serre fluorés). L'Ordonnance suisse mentionnée ci-dessus sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim) va dans le même sens. Les fluides frigorigènes détruisant la couche d'ozone sont complètement interdits en Suisse depuis quelques années, même pour d'éventuels remplissages en cas de fuites. Pour les installations contenant plus de 3 kg de frigorigène, un livret d'entretien est requis. Les personnes exécutantes doivent y consigner toutes les interventions et maintenances (p. ex. remplissage avec des fluides frigorigènes). En cas d'utilisation de fluides frigorigènes appauvrissant la couche d'ozone ou stables dans l'air, l'installation doit être en outre annoncée aux autorités compétentes et des contrôles de l'étanchéité doivent être effectués régulièrement (tabl. 3.1). Suite à cette annonce, l'installation reçoit une vignette permettant de l'identifier (à apposer sur l'installation). L'organisme fournissant toute information et documents pour le livret d'entretien est le Bureau suisse de déclaration des installations productrices de froid et des pompes à chaleur (www.smkw.ch).

Les fluides frigorigènes à effet de serre peuvent encore être utilisés, mais de manière limitée, par exemple les pompes à chaleur pour le confort utilisant le fluide R134a autrefois très répandu (un HFC) et dotées d'une puissance d'évaporateur supérieure à 600 kW ne peuvent plus être commercialisées. On constate actuellement (2018) une conversion vers des substances présentant un faible GWP. En se basant sur les installations de climatisation des automobiles, différentes alternatives ont été étudiées de près, parmi lesquelles le fluide frigorigène HFO-R1234yf et les mélanges qui en découlent. La faible stabilité du R1234yf a toutefois engendré des avis controversés quant à sa facilité d'utilisation. Par ailleurs, on ne dispose pas encore d'un recul suffisant avec ces substances. Les fluides frigorigènes naturels, tels que l'ammoniac, le dioxyde de carbone et le propane, constituent également une option intéressante. Ils sont connus de

longue date et se sont imposés dans certains domaines d'utilisation. Des caractéristiques et des exigences de sécurité spécifiques ont toutefois empêché jusqu'à présent une utilisation généralisée. On ignore encore quels fluides frigorigènes s'imposeront à moyen et long terme.

4. SOURCES DE CHALEUR

Les types de sources de chaleur pouvant être utilisés avec des pompes à chaleur sont les suivants:

- Air extérieur
- Géothermie
- Eaux souterraines et de surface
- Rejets thermiques
- Refroidissement de bâtiments

En principe, plus le niveau de température de la source de chaleur est bas, moins bonne est l'efficacité (COP) de la pompe à chaleur.

4.1. AIR EXTÉRIEUR

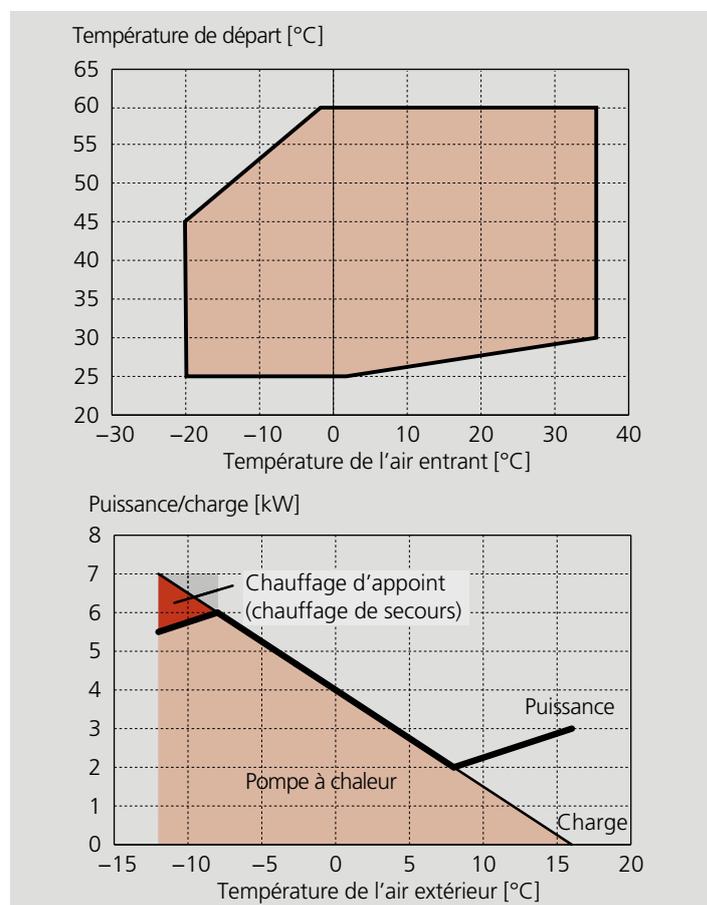
L'air extérieur représente une ressource en quantité inépuisable en tant que source de chaleur. La faible capacité thermique de l'air – par rapport à la saumure et à l'eau – représente toutefois un inconvénient: par comparaison, elle exige des débits volumiques élevés dans l'évaporateur. Il arrive également que du condensat gelé se forme sur l'évaporateur (en cas d'air extérieur frais et humide) et qu'un dégivrage régulier soit nécessaire. Par ailleurs, il faut noter que la température de la source de chaleur est opposée à la température du système de chauffage requise. Lorsque les températures extérieures sont en hausse, la puissance de chauffage de l'appareil augmente. La mise en cascade ou la régulation de la vitesse de régulation des compresseurs peuvent contrecarrer cet effet (illustr. 4.1). Le transport de l'air par le biais du ventilateur peut engendrer des émissions sonores gênantes. C'est la raison pour laquelle les autorités communales d'attribution des permis de construire exigent généralement un certificat de protection contre le bruit (chap. 7).

Illustration 4.1: Exemple des limites d'utilisation d'une pompe à chaleur air-eau (en haut). Lors de températures d'air entrant basses, seules de basses températures de départ peuvent encore être atteintes. En bas: Charge du bâtiment et puissance de chauffage (PAC réglée en fonction de la charge). Lors de températures extérieures basses, il faut donc couvrir la charge avec un chauffage d'appoint. Attention: Selon la loi, la pompe à chaleur doit pouvoir couvrir à elle seule les besoins jusqu'à la température de dimensionnement.

Systèmes

On distingue les modèles suivants:

- **Installation compacte pour le placement en intérieur:** L'installation compacte destinée à un placement en intérieur est en règle générale dédiée à des installations de petite et de moyenne taille (puissance de chauffe: 5 kW à 50 kW).
- **Installation compacte pour le placement en extérieur:** L'installation compacte destinée à un placement en extérieur est privilégiée lorsque aucune place n'est disponible à l'intérieur du bâtiment (ou s'il est souhaité par le maître d'ouvrage).
- **Installation à éléments séparés:** Les installations à éléments séparés sont uti-



lisées dans le cas où l'air extérieur, en raison du débit volumique d'air requis, ne peut être acheminé directement jusqu'au module placé dans le bâtiment. La partie évaporateur est disposée à l'extérieur tandis que le condenseur se trouve dans le bâtiment. Le compresseur peut être installé dans l'unité intérieure ou extérieure.

Indications pour la planification

L'utilisation d'air extérieur en tant que source de chaleur n'est en principe pas sujette à autorisation. Le raccordement électrique doit toutefois être autorisé par le fournisseur d'électricité compétent. Il convient également de respecter les exigences des procédures cantonales et com-

munes d'autorisation de construire, en particulier en ce qui concerne la protection contre le bruit.

- La température du système de chauffage peut être limitée, en raison de la température parfois basse de la source (illustr. 4.1).
- Conformément à la loi (MoPEC), les pompes à chaleur doivent être dimensionnées de façon à couvrir l'ensemble de la plage de fonctionnement.
- En présence de températures extérieures inférieures à environ +5 °C et pour un certain degré d'humidité ambiante, l'évaporateur se couvre de givre. Un système de dégivrage automatique est nécessaire. Il convient de respecter les instructions spécifiques aux appareils.
- Le refroidissement de l'air en dessous du point de rosée produit de l'eau de condensation. Celle-ci doit être collectée et évacuée dans une conduite protégée contre le gel. Ceci s'applique également à la tuyauterie de l'évaporateur.
- Il convient de veiller à ce que l'air refroidi de la pompe à chaleur ne soit pas happé par le flux d'air extérieur (court-circuit). Il existe en outre le risque de formation d'une strate d'air froid.
- L'utilisation d'échangeurs de chaleur ou le prélèvement de l'air au niveau de points «chauds» (garage, installation d'évacuation de l'air du bâtiment, centrales techniques etc.) permet d'accroître l'efficacité énergétique de la pompe à chaleur.
- La pompe à chaleur doit être protégée des dommages susceptibles d'être causés par des personnes, ainsi que de la neige, des feuilles mortes, des particules de poussière et des petits animaux. À l'inverse, il y a lieu de protéger les personnes des éléments mobiles (ventilateurs, condenseurs et pompes, y c. leurs raccords électriques).
- Une installation fixe d'appareils extérieurs requiert un permis de construire.
- Lors de la planification d'une installation à éléments séparés, les règles de base en matière de technique frigoriste doivent être respectées avec un soin tout particulier.
- Il convient de porter une attention particulière aux émissions sonores (chap. 7).

Illustration 4.2:
Installation compacte pour le placement à l'intérieur
(photo: BKW SA).



Illustration 4.3:
Installation compacte pour le placement à l'extérieur
(photo: BKW SA).



Illustration 4.4:
Sonde géothermique
(photo: BKW SA).



4.2. GÉOTHERMIE

La terre est un générateur de chaleur idéal. Dès une profondeur d'environ 10 m sous la surface du sol, la terre présente une température approximativement constante tout au long de l'année. Plus la profondeur augmente, plus la température en sous-sol croît, à raison d'environ 3 K tous les 100 m. Cette constance sur l'année constitue une condition idéale pour l'utilisation de la chaleur terrestre à des fins de chauffage. Les sondes géothermiques sont généralement disposées dans un trou de forage réalisé à des profondeurs comprises entre 50 m et 350 m.



Illustration 4.5:
Pieu foré
(photo: enercret
Röthis).



Illustration 4.6:
Pieu enfoncé
(photo: enercret
Röthis).

L'exploitation de la chaleur terrestre est soumise à autorisation. La norme SIA 384/6 «Sondes géothermiques» fournit les bases pour le dimensionnement et l'intégration.

SONDES GÉOTHERMIQUES (SGV)

Pour récupérer la chaleur du sol, on utilise aujourd'hui, en règle générale, des sondes géothermiques ou des champs de sondes géothermiques remplis d'eau ou d'un mélange eau/glycol.

Systèmes

Il s'agit en majeure partie de tubes en matière synthétique PE, pouvant être utilisés dans différents agencements. Ceux-ci peuvent être formés d'un seul tube en U (Simplex), de deux tubes en U (Duplex) ou en exécution coaxiale. En raison de leur efficacité (grande surface de transmission de chaleur) et de leur facilité de maniement, l'agencement avec deux tubes en U (Duplex) s'est notamment imposé. Au centre, on place un tuyau supplémentaire par lequel le trou de forage est rempli par le bas d'un mélange bentonite/ciment/eau, et qui garantit le contact entre les tuyaux de la sonde et le terrain.

Les installations de sondes géothermiques doivent être placées en fonction des aspects énergétiques suivants:

- Puissance de transmission de la sonde (prélèvement ou injection)



Illustration 4.7:
Corbeille d'armature
du pieu avec sondes
fixées (source: Haka-
Gerodur).

- Besoin d'énergie: Volume et durée du prélèvement de chaleur et de l'éventuelle réinjection (régénération, refroidissement) au cours de l'année
- Géologie du sous-sol: Température, conductibilité thermique, densité, capacité thermique, présence d'eaux souterraines etc.
- Nombre de sondes avec capacité thermique du remblai
- Longueur et profondeur des sondes
- Distance entre les sondes
- Diamètre du forage et des conduites
- Remplissage d'eau ou d'antigel, sans formation de glace
- Perte de charge du système

Indications pour la planification

- Pour connaître les sites où l'utilisation de la géothermie est autorisée, consulter les géoportails d'information (cartes d'utilisation de la géothermie) des cantons
- Les installations de sonde géothermique sont réalisées par des entreprises de forage agréées et sont toujours soumises à autorisation (compétence cantonale). Le GSP remet un certificat de qualité pour les entreprises de forage de sondes géothermiques verticales, dont il est recommandé de tenir compte. Ceci est obligatoire pour le label de qualité Pompe à chaleur Système-Module (chap. 8.2).
- Le dimensionnement doit être effectué conformément à la norme SIA 384/6 qui prévoit un procédé simplifié pour les installations simples comptant jusqu'à quatre sondes. Principe: plus le champ de sondes géothermiques est grand, plus le prélè-

vement de chaleur possible à long terme par mètre de sonde est faible. Il convient également de tenir compte des sondes voisines pas entièrement régénérées.

- Si l'installation de sonde géothermique est utilisée en tant que «source de froid» à des fins de refroidissement (freecooling), le sol peut être partiellement «régénéré» par l'apport de chaleur. Les conséquences de la régénération sur le dimensionnement de la sonde géothermique doivent être établies par un spécialiste reconnu et simulées à l'aide d'un outil logiciel adapté.
- Les installations de sonde géothermique ne doivent pas être utilisées pour la déshumidification des constructions, car les conditions-cadres mentionnées ne sont généralement pas respectées.
- L'accès de l'appareil de forage au lieu de forage doit être garanti.
- Les remarques relatives à la géométrie des sondes terrestres figurent dans le tableau 4.1.
- Les conduites de raccordement des sondes géothermiques sont réunies dans un distributeur, qui peut être situé à l'extérieur ou à l'intérieur du bâtiment (attention à la protection antigel: isolation thermique ou remplissage des conduites avec de l'antigel). L'illustration 4.8 présente un distributeur externe accessible.
- Le distributeur doit être accessible tout au long de sa durée de vie. Il doit comporter un marquage clair indiquant quelles sondes

Tableau 4.1: Longueur et contenu de sondes ainsi que diamètre de forage. Hypothèse: double tube en U.

Diamètre des sondes géothermiques	Contenu par mètre	Diamètre de forage*	Longueur maximale
32 mm	2,12 litres	112 à 115 mm	env. 150 m
40 mm	3,34 litres	127 à 135 mm	env. 300 m**
50 mm	5,18 litres	152 mm	supérieur à 300 m**

* Il faut utiliser des diamètres plus grands (4 ¾" à 7 5/8") pour les forages avec injection d'eau dans un sous-sol menacé d'écroulement (sables siliceux etc.) selon le diamètre des sondes géothermiques et les conditions pédologiques.

** À partir d'env. 250 m, il faut utiliser des sondes géothermiques présentant une résistance plus élevée à la pression.

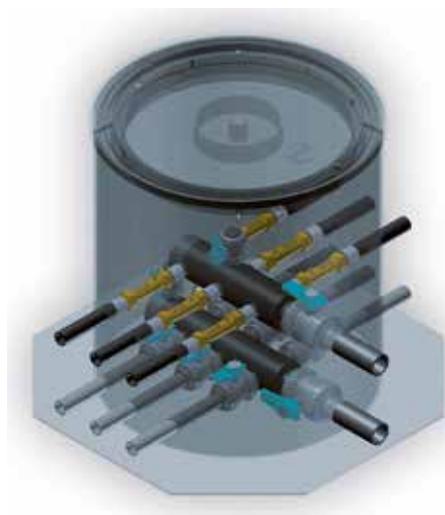


Illustration 4.8: Distribution externe praticable (source: Jansen AG).

sont raccordées au distributeur et où. En cas d'installations dotées de deux sondes ou plus, il convient d'installer et de régler des vannes de régulation du débit volumique.

- Concevoir les sondes géothermiques à long terme et s'assurer d'un dimensionnement suffisant (réserve en cas de remplacement de la pompe à chaleur par un appareil de meilleure efficacité).

Illustration 4.10: Nouvelle installation d'un registre géothermique. Il est ensuite à nouveau recouvert de terre (source: HakaGerodur).



SONDE GÉOTHERMIQUE AVEC TECHNIQUE AU DIOXYDE DE CARBONE

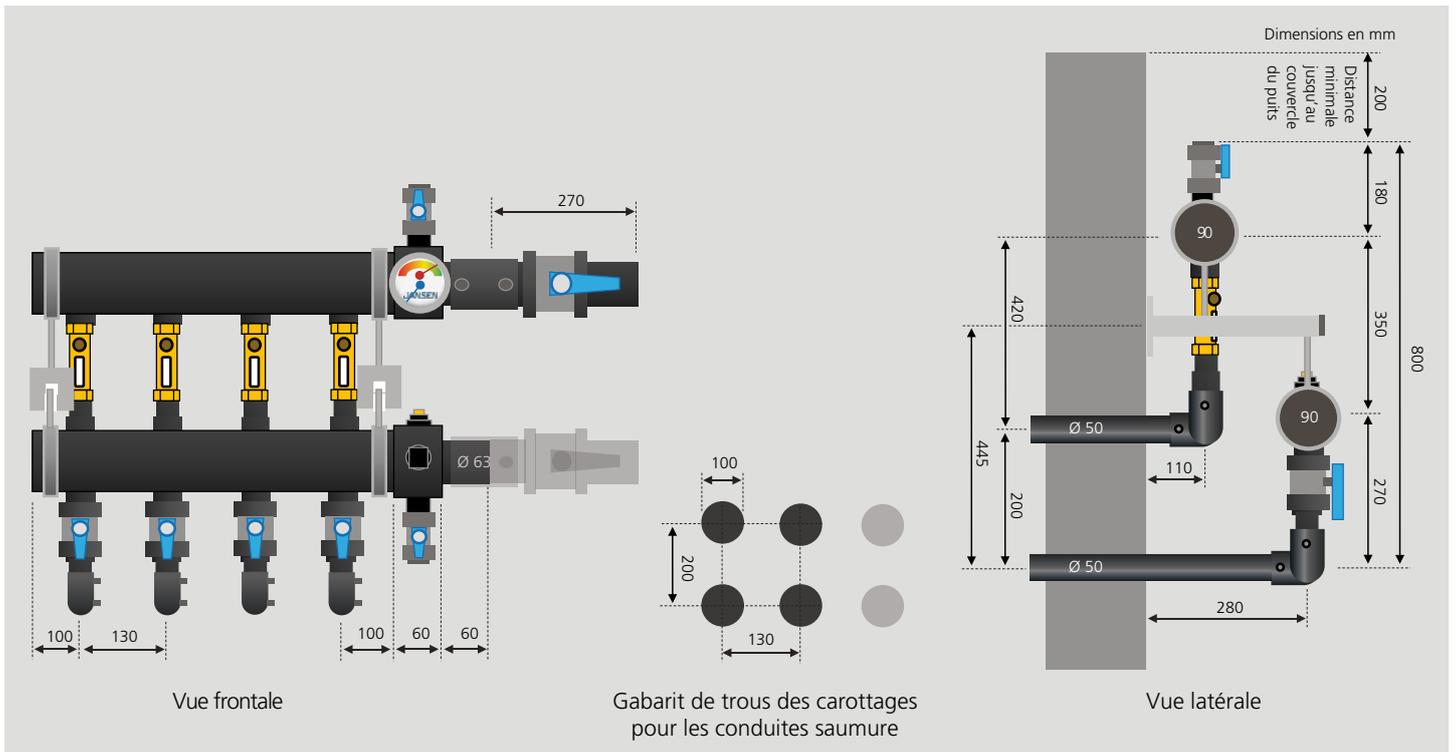
En variante à la sonde géothermique avec remplissage eau ou eau/glycol, la sonde peut également fonctionner avec du CO₂. La

sonde au CO₂ fonctionne selon le principe du caloduc (heat pipe). Du CO₂ (dioxyde de carbone) non toxique circule dans la sonde géothermique. Le CO₂ est injecté, à l'état liquide et sous pression, dans la sonde géothermique. Il descend et se réchauffe à mesure que la température augmente dans le sol. Lors de ce processus, le liquide s'évapore puis se condense à nouveau au niveau du point le plus froid, c'est-à-dire dans l'évaporateur de la pompe à chaleur, et transmet ainsi la chaleur du sol à la pompe à chaleur. Le CO₂ circule, à l'inverse du fluide frigorigène d'une sonde géothermique traditionnelle, sans énergie auxiliaire, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie. Toutefois, une telle sonde ne peut pas être régénérée en été par un apport de chaleur depuis la pompe à chaleur. Cette sonde ne permet ainsi aucun refroidissement du bâtiment.

REGISTRE GÉOTHERMIQUE

À la place des sondes géothermiques, on utilise également des registres géothermiques. Ceux-ci se composent de serpentins enfouis horizontalement dans le sol, à une profondeur comprise entre 1,2 et 1,5 mètre

Illustration 4.9: Exemple d'un distributeur (source: Jansen AG).





1 Solidement soudé: Toutes les conduites sont solidement soudées avec la paroi du puits et garantissent une étanchéité absolue.



2 Couverture de puits de grande valeur: Couvrete en matière synthétique PE, résistant aux UV, étanche à l'eau de ruissellement, en exécution robuste.



3 Robuste et fonctionnel: Fabriqué en plaques PE d'une épaisseur jusqu'à 12 mm. Satisfait aux exigences statiques élevées. Cèllets solides pour l'arrimage, le transport et l'intégration.



4 Conduite principale verrouillable: Selon le type de puits, soit avec un robinet sphérique ou un clapet verrouillable; pour une installation correcte et un fonctionnement optimal.



5 Conduites saumure et affichages de débit: Toutes les conduites saumure sont verrouillables. Les affichages de débit sont fixés au moyen d'écrous d'accouplement 1/4" et permettant ainsi une maintenance aisée si besoin.



6 Raccord de rinçage: Les raccords de rinçage 1" sont verrouillables et permettent un rinçage et un remplissage rapide de l'installation.

*Illustration 4.11:
Distributeur complet
(source: Jansen AG).*

sous la surface du terrain. Les registres géothermiques prélèvent au sol principalement la chaleur apportée par le rayonnement solaire et la pluie. En règle générale, on utilise un mélange antigél en tant que fluide frigorigène.

Systèmes

Les registres géothermiques sont en règle générale des tuyaux en matière synthétique ou des tuyaux en cuivre enrobés de matière synthétique, et sont rassemblés dans le bâtiment, ou dans une gaine à l'extérieur du bâtiment, sur un distributeur ou collecteur.

Indications pour la planification

- Les registres géothermiques peuvent être sujets à autorisation (compétence cantonale).
- L'énergie maximale prélevée dans le sol (puissance frigorifique) s'élève, pour chaque m² de surface de registre, à environ 25 à 30 W ou à environ 60 kWh pendant la période de chauffage. En cas de sol défavorable (sec), les valeurs se situent entre 10 et 15 W/m².
- Lors du recouvrement du registre géothermique, le système doit être sous pression, afin de détecter les éventuels dommages (les pierres, gravats etc. ne sont pas appropriés au recouvrement).
- Selon la saison, les registres de sondes géothermiques peuvent déclencher des mouvements de terrain s'ils givent.

PIEUX ÉNERGÉTIQUES

Les pieux énergétiques sont généralement utilisés dans les lieux dotés d'un terrain instable, en tant que pieux de fondation. Le pieu énergétique est ainsi utilisé en premier lieu en tant qu'élément statique. L'agencement et l'étendue sont déterminés selon les exigences relatives au bâtiment ou au terrain. Le gain énergétique dépend ainsi des conditions géologiques et de mesures partiellement statiques (longueur et agencement). En règle générale, on utilise un mélange antigél en tant que fluide caloporteur.

Systèmes

On différencie deux types de conceptions:

- Les pieux forés à la tarière se composent de cages d'armature auxquelles sont fixés des tuyaux. Ils sont plongés dans un trou de forage, qui est ensuite rempli de béton.
- Les pieux enfoncés sont des pieux en béton préfabriqués, dans lesquels les tuyaux sont posés et coulés en usine. Lors de l'enfoncement, il convient de prendre garde à ne pas endommager les raccords des conduites à l'extrémité des pieux.

Indications pour la planification

- Les pieux énergétiques sont sujets à autorisation (compétence cantonale).
- La planification doit être réalisée par des spécialistes qualifiés.
- L'accès de l'outil de travail à l'emplacement de forage ou d'enfoncement doit être garanti.
- Les conduites menant du pieu énergétique au distributeur doivent être posées à une profondeur suffisante et être pourvues d'une isolation thermique.
- Selon le sol et l'agencement, un fonctionnement avec uniquement de l'eau en tant que fluide frigorigène est possible.

CORBEILLES GÉOTHERMIQUES

Les corbeilles géothermiques sont des tuyaux en matière synthétique enroulés en spirale, installés à une profondeur comprise entre 1,5 et 3,5 m (illustr. 4.12). Tout comme

Illustration 4.12: Corbeilles géothermiques (photo: Calmothem).



les registres géothermiques, elles sont influencées par les conditions météorologiques à la surface du sol.

TRANCHÉE GÉOTHERMIQUES

Des tuyaux en matière synthétique sont posés horizontalement dans des puits profonds de 1 à 1,5 m. Ceux-ci subissent également l'influence des conditions météorologiques à la surface du sol.

PAROIS MOULÉES

Les parois moulées sont creusées, selon le sol ou la profondeur, à l'aide d'un grappin ou d'une fraise. Dans le segment moulé dans le sol, on introduit la cage d'armature sur laquelle sont fixés les tuyaux en matière synthétique, puis on remplit de béton.

RACCORDEMENT DU SYSTÈME D'EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Outre la conception correcte de la source de chaleur, le système hydraulique du circuit primaire mérite également qu'on lui porte une attention particulière.

FLUIDE FRIGORIGÈNE

En général, les systèmes d'exploitation de l'énergie géothermique fonctionnent avec un mélange antigel. Toutefois, les systèmes d'exploitation de l'énergie géothermique peuvent également, pour une conception appropriée (p. ex. par calcul de simulation), fonctionner avec de l'eau sans additifs. Dans ce cas, la température d'évaporation doit être suffisamment élevée pour empêcher toute formation de glace.

La concentration du mélange antigel doit correspondre aux prescriptions du fabricant (protection anticorrosion). Les propriétés physiques du mélange antigel varient selon la température et la capacité thermique.

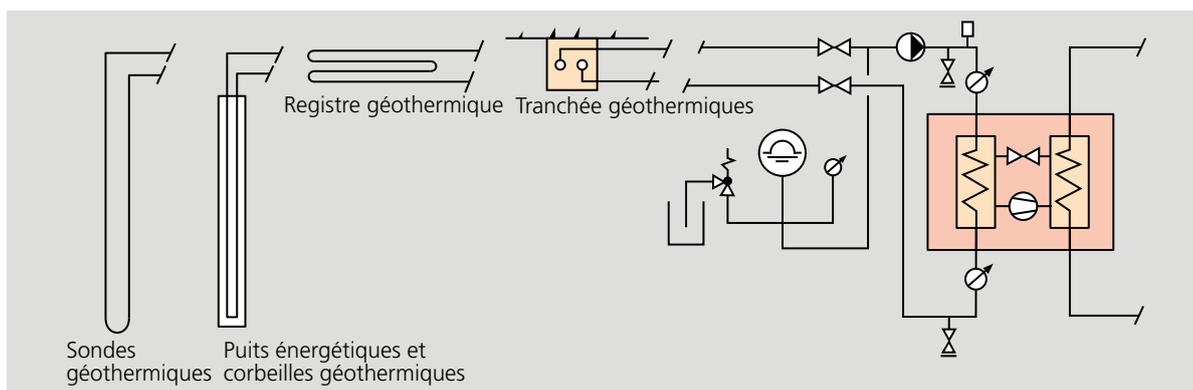
CIRCULATEURS

Le circulateur doit toujours être conçu et calculé de manière spécifique à l'installation. Selon la longueur et l'agencement de la sonde géothermique, la perte de pression peut être considérable. Un circulateur surdimensionné ou sous-dimensionné peut faire chuter drastiquement le rendement de l'ensemble de l'installation. De manière générale, on vise un rendement maximal du circulateur. Dans le cas des pompes à chaleur à régulation de puissance, la puissance du circulateur dans le circuit de la sonde doit également être adaptée au besoin. La formation d'eau de suintement doit également être prise en compte.

DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

- Le dispositif de surveillance de la pression désactive l'installation de pompe à chaleur en cas de chute de pression dans le circuit primaire.
- Le vase d'expansion compense les variations de pression dans le système, résultant d'une variation de température et de modifications au niveau du matériau (p. ex. des fissures sur les tuyaux en matière synthétique).
- Pour protéger l'installation contre les surpressions, il convient d'intégrer une soupape de sécurité. Le trop-plein doit être guidé vers un vase de réception.

Illustration 4.13: Intégration à un système d'exploitation de l'énergie géothermique.



SYSTÈMES DE TUYAUX

- Il convient d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion tels que la matière synthétique, l'acier chromé (V4A) ou l'acier traité anticorrosion. Aucun tuyau ou raccord galvanisé ne doit être utilisé.
- À l'intérieur du bâtiment, il est impératif d'isoler le réseau de conduites, y compris les armatures, de manière étanche à la vapeur, afin d'éviter tout suintement d'eau.

ÉQUILIBRAGE HYDRAULIQUE

Les circuits de sonde géothermique individuels doivent être équilibrés hydrauliquement les uns par rapport aux autres. Des armatures de régulation correspondantes doivent être montées au niveau du distributeur de sonde géothermique.

4.3. EAU SOUTERRAINE

RÉSERVES D'EAU SOUTERRAINE

L'eau qui, en sous-sol, remplit la roche poreuse, les fissures ou les failles, est appelée eau souterraine. Elle s'écoule, sous l'effet de la pesanteur, principalement le long des zones perméables dans la roche meuble et la roche solide (couches riches en graviers et en sable, grès, roche fissurée ou karstique).

L'eau souterraine proche de la surface est la plupart du temps exploitée à partir de profondeurs comprises entre quelques mètres et plusieurs dizaines de mètres, principalement à partir de gisements de roche meuble riche en gravier. L'eau souterraine proche de la surface peut également être utilisée comme eau potable. Son utilisation est dès lors réglementée par les lois sur la protection des eaux souterraines et toujours soumise à autorisation ou à concession.

La température annuelle moyenne de l'eau souterraine proche de la surface est en règle générale comprise entre 9 et 11 °C, et est ainsi supérieure à la température moyenne de l'air extérieur. La température peut être influencée par des infiltrations d'eau de surface ou par la température de l'air. Si l'influence des eaux de surface est relativement faible et que la profondeur d'exploitation s'élève à plusieurs mètres sous la surface du terrain, les variations de la température en fonction des saisons sont toutefois très faibles. De même, le décalage entre les valeurs maximale et minimale augmente avec la profondeur. La variation de température maximale est d'environ 5 K (illustr. 4.10). En raison du niveau de température relativement élevé et constant, l'eau souterraine représente une source de chaleur idéale et fiable pour les pompes à chaleur. Elle peut également être utilisée pour refroidir. Les bases de dimensionnement sont fixées dans la norme SIA 384/7:2010 «Utilisation de la chaleur de l'eau souterraine».

Illustration 4.14: Températures de la nappe phréatique.

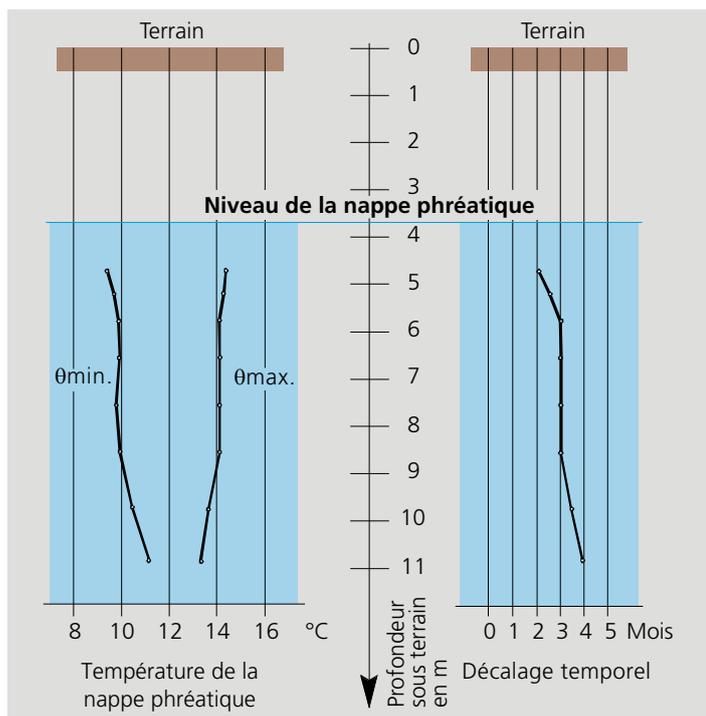
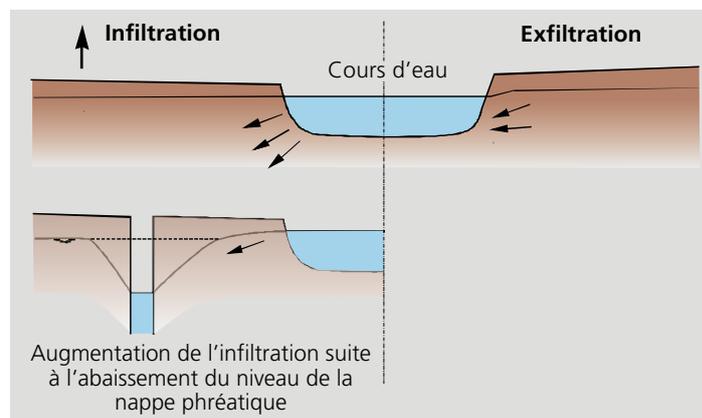


Illustration 4.15: Infiltration des eaux de surface.



QUALITÉ DE L'EAU SOUTERRAINE

La qualité de l'eau souterraine peut être influencée de manière décisive par l'infiltration des eaux de surface (illustr. 4.15). Outre l'influence thermique, l'influence sur la qualité de l'eau souterraine doit également être prise en compte. L'eau souterraine n'est dans la plupart des cas pas corrosive. Toutefois, l'apport de matières organiques ou d'oxygène par l'infiltration des eaux de surface peut produire des réactions non souhaitées. C'est pourquoi il est recommandé d'effectuer une analyse simple de la qualité de l'eau souterraine. Il y a lieu de respecter les valeurs limites suivantes:

- Valeur pH: ≥ 7
- Fer (dissous): $\leq 0,15$ mg/l
- Manganèse (dissous): $\leq 0,1$ mg/l

Les impuretés dues au sable, susceptibles de causer des dommages mécaniques dans l'installation, doivent être totalement absentes dans une installation réalisée dans les règles de l'art, qu'elles proviennent des eaux de surface ou résultent d'une extraction dans des puits filtrants. Pour garantir cela, le puits de prélèvement ainsi que le puits de restitution doivent être planifiés et réalisés sous le contrôle d'un spécialiste qualifié. Par conséquent, il est important de procéder à un désablage professionnel avant l'achèvement et la mise en service du puits.

PRÉLÈVEMENT ET RESTITUTION DE L'EAU SOUTERRAINE

Le dimensionnement du puits de prélèvement et de restitution (illustr. 4.16) dépend avant tout des propriétés de la roche contenant l'eau ainsi que du débit requis par la pompe à chaleur. La quantité de prélèvement optimale à partir d'un puits se situe dans la zone de la moitié de la quantité de prélèvement maximale (illustr. 4.17). Le débit requis par kW de besoin calorifique est en règle générale compris entre 150 et 200 l/h. Plus la quantité de prélèvement augmente, plus l'on doit utiliser, en général, des diamètres de forage importants. Le dimensionnement dépend toutefois fortement des conditions locales et doit être réalisé par un spécialiste. La restitution s'effectue fréquemment également via un puits d'infiltration peu profond. A cet effet, la capacité d'infiltration du sol doit être déterminée. Dans certains cas, la restitution peut s'effectuer dans une eau de surface proche.

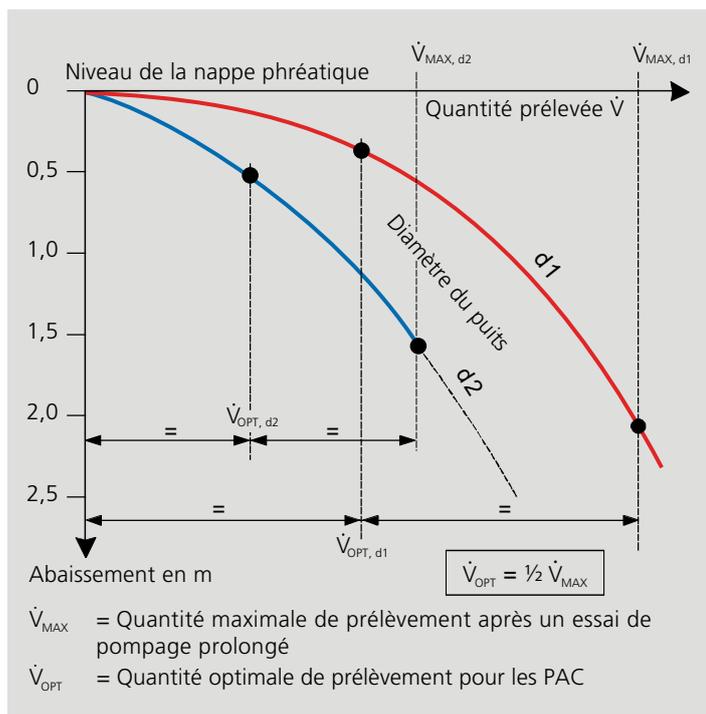
Planification et mise en œuvre

- Pour connaître les sites où l'exploitation de l'eau souterraine est autorisée, consulter les géoportails d'information (cartes de la protection des eaux et d'utilisation de la chaleur) des cantons
- Une autorisation officielle est nécessaire à l'exploitation de l'eau souterraine. Cela con-

Illustration 4.16: Puits de prélèvement et de restitution (photo: BKW SA).



Illustration 4.17: Deux exemples pour le dimensionnement d'un prélèvement d'eau souterraine.

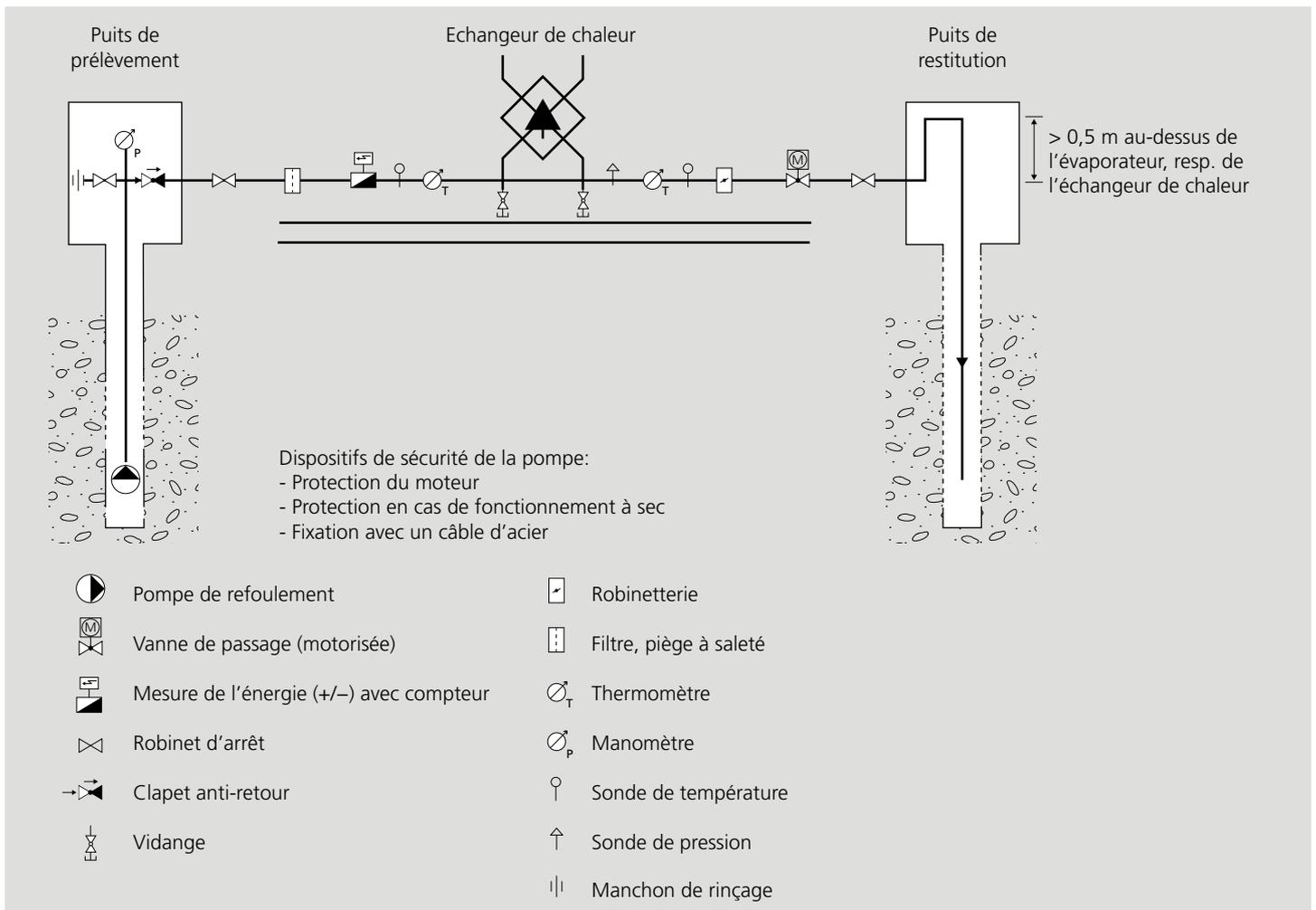


cerne également les forages d'essai. La pratique en matière d'autorisation diffère d'un canton à l'autre. Des surveillances du niveau et de la température de l'eau souterraine dans les puits sont fréquemment demandées. Par exemple, des capteurs de pression et de température spéciaux doivent être descendus avec la pompe d'eaux souterraines.

- La planification et la mise en œuvre doivent être effectuées avec l'aval d'un géologue ou d'un hydrogéologue conseil.
- Une simple analyse de l'eau est recommandée. Il faut toutefois prendre en compte que la qualité de l'eau peut être soumise à des variations saisonnières. Il convient de faire attention aux matériaux des conduites et des composants (corrosion et encrassement).
- En cas de captages à proximité des eaux de surface, il convient de prendre en compte la possibilité d'infiltration de celles-ci.

- Lors de la localisation des points de prélèvement et de restitution, il convient de veiller à l'écoulement de l'eau souterraine (aucune restitution dans la zone d'afflux du prélèvement).
- La puissance de la pompe de refoulement doit être adaptée au niveau d'eau souterraine le plus faible auquel on puisse s'attendre.
- Un contrôle de la température et de l'écoulement permet de pallier le refroidissement de l'eau exploitée en dessous du point de congélation, ainsi qu'une surexploitation du captage.
- En cas de pollution de l'eau souterraine, installer un circuit intermédiaire qui protège l'échangeur de chaleur de la pompe à chaleur.

Illustration 4.18:
Aperçu des composants du système
(source: Norme SIA 384/7). Remarque:
symboles selon
SIA 410.



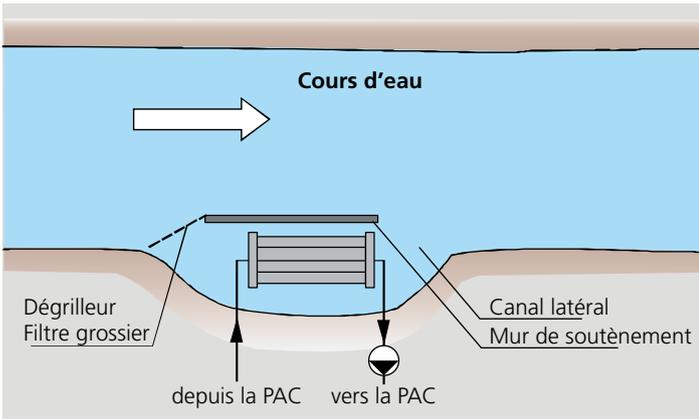
Conformément à la norme SIA 384/7, le système d'installations complet doit comprendre les composants de système suivants (illustr. 4.18):

- Puits de prélèvement
- Système d'alimentation (pompe, manchons de rinçage, canalisations et échangeur de chaleur), pour conduire l'eau souterraine du puits de prélèvement à la restitution.

- Dispositifs de sécurité pour protéger la pompe de refoulement (marche à sec)
- Dispositifs de protection de l'échangeur de chaleur (contre la sollicitation mécanique ou chimique excessive)
- Restitution (puits ou infiltration)
- Dispositifs de surveillance de l'eau souterraine captée (quantité d'eau, température de l'eau au prélèvement et à la restitution)
- Dispositif de surveillance de l'eau souterraine (niveau de l'eau)

Illustration 4.19: Registre dans les eaux courantes.

Illustration 4.20: Définition de la différence de température logarithmique.



EAUX DE SURFACE

Les eaux de surface recèlent un potentiel considérable pour chauffer et refroidir les bâtiments situés à proximité, l'écosystème devant cependant être pris en compte. L'exploitation des eaux de surface est donc également soumise à autorisation et à concession, les interlocuteurs étant les cantons ou les communes. Les variations de température relativement importantes des

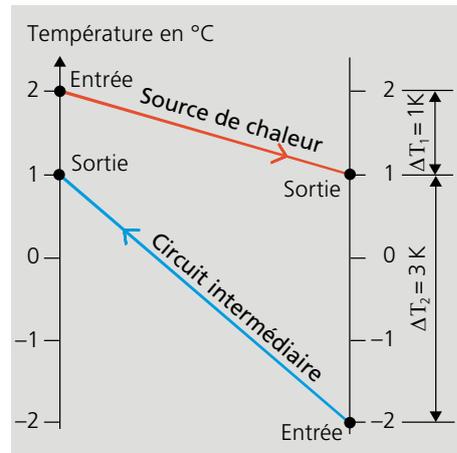
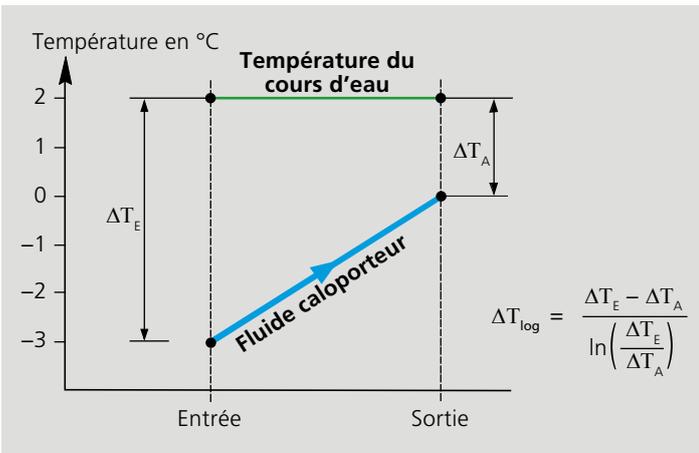


Illustration 4.21: Températures des sources de chaleur et du circuit intermédiaire.

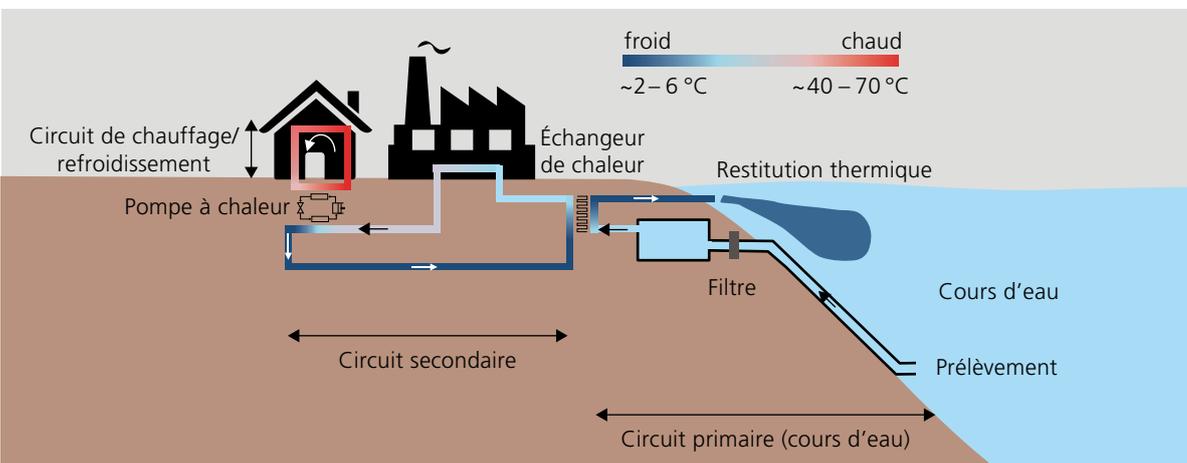


Illustration 4.22: Puits filtrants lors de l'exploitation de l'eau de lac. Dans l'exemple, le circuit secondaire est utilisé pour refroidir (processus industriel) et pour chauffer (bâtiments), l'eau de restitution est plus froide que l'eau de prélèvement (source: EAWAG 2018).

eaux de surface (eaux de rivières, de lacs ou de ruisseaux) ne permettent généralement pas un fonctionnement monovalent avec exploitation directe. C'est pourquoi on réalise la plupart du temps une exploitation indirecte: la source de chaleur transmet sa chaleur à un échangeur de chaleur, relié à la pompe à chaleur par un circuit intermédiaire. Le circuit intermédiaire contient un mélange antigel afin que la température d'évaporation puisse descendre sans risque en dessous de 0 °C. Le circuit intermédiaire souvent exigé également par les autorités protège aussi l'eau contre une contamination par le fluide frigorigène en cas de dommage.

Le prélèvement de chaleur à partir des eaux de surface est possible de deux manières:

- **Registre dans les eaux courantes** (illustr. 4.19): une très grande quantité d'eau s'écoule à travers le registre, le refroidissement est faible en conséquence (illustr. 4.20).
- **Solution du puits de filtration** (illustr. 4.22): l'eau est collectée directement dans un puits de filtration à côté des eaux de surface, et de là, est pompée vers un échangeur de chaleur.

Pour la solution du registre, il est recommandé de tabler sur une différence de température logarithmique moyenne de 5 à 6 K (illustr. 4.20). Pour dimensionner la surface de l'échangeur de chaleur, on peut utiliser des coefficients U de 200 à 300 W/m² K (vitesse d'écoulement > 0,5 m/s). Il est recommandé d'ajouter une marge de sécurité d'environ 25 % pour un éventuel encrassement du registre. La source de chaleur à écoulement rapide (eaux de ruisseaux et de rivières) empêche la formation de glace. La distance entre les tuyaux doit être au minimum égale à 4 cm. En outre, le registre doit être protégé contre les éboulis par des mesures constructives et être facile à nettoyer. Dans des eaux stagnantes, cette solution n'est applicable qu'à certaines conditions. L'avantage de la solution du puits de filtration réside dans le prélèvement d'eau quasiment exempte d'impuretés. Un fonctionnement monovalent est souvent possible. Lors de l'utilisation de l'eau des lacs, il convient de

faire attention à la stratification de sa température: le prélèvement doit être effectué à une profondeur d'au moins 15 m, à une profondeur supérieure (entre 30 et 70 m) pour l'exploitation du froid. La restitution ne doit pas réchauffer davantage les couches en surface.

Pour résumer, on peut dire que:

- Un circuit intermédiaire fournit des températures d'évaporation plus basses et ainsi des rendements moins bons (illustr. 4.21).
- L'apport en eau de rivière est souvent variable (en particulier dans le cas de petits ruisseaux).
- Dans les cours d'eau, il convient également de tenir compte de l'exploitation supérieure et inférieure (c.-à-d. dire en amont et en aval).
- Pour chaque kW de besoin calorifique, le besoin en eau est en règle générale compris entre environ 300 et 400 l/h.
- La réalisation est plutôt difficile (en particulier la solution du registre, les captages d'eaux lacustres sont relativement non probématiques).
- L'exploitation des eaux de surface est assujettie à une autorisation officielle. Le procédé d'octroi de l'autorisation ainsi que l'entretien peuvent s'avérer très complexes, notamment dans le cas de la solution du registre.
- Une analyse de l'eau est vivement recommandée. Il faut toutefois prendre en compte que la qualité de l'eau peut être soumise à des variations saisonnières. Il faut veiller à la matérialisation des conduites et des composants (corrosion et encrassement).
- Il convient de prendre garde aux encrassements et obstructions dus aux moules zébrées ou à un biofilm.
- L'apport de chaleur estival est extrêmement délicat d'un point de vue écologique et n'est donc guère autorisé.

4.4. REJETS THERMIQUES

Les rejets thermiques doivent être utilisés directement chaque fois que possible. Si une utilisation directe s'avère impossible en raison des températures d'exploitation requises, les rejets thermiques présents peuvent être amenés au niveau de température requis au moyen d'une pompe à chaleur.

EAUX USÉES

Les eaux usées sont présentes sous différentes formes, par exemple sous forme non épurée dans les canalisations, sous forme préalablement épurée dans les entreprises industrielles ayant un besoin élevé en eau propre ou sous forme épurée à la sortie des stations d'épuration. Les températures d'eau varient entre 10 et 25 °C dans les canalisations et dans les stations d'épuration, ou peuvent atteindre plus de 60 °C dans les entreprises industrielles.

Le refroidissement des eaux usées ne présente aucun problème dans des installations correctement planifiées et lorsque l'on respecte les prescriptions de l'exploitant de la station d'épuration, et ne nuit en rien à l'épuration des eaux usées ni aux eaux courantes.

Systèmes

Échangeur de chaleur de canalisation:

Le prélèvement d'énergie s'effectue par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur intégré dans le fond de la canalisation d'eaux usées. Dans le cas des canalisations d'eaux usées neuves, on utilise également, pour le prélèvement de la chaleur, des tuyaux directement intégrés dans le béton de la canalisation d'eaux usées.

Échangeur de chaleur dans la dérivation:

L'intégration s'effectue parallèlement à la canalisation d'eaux usées. Cette solution présente l'avantage de ne causer quasiment aucune perturbation de la canalisation d'eaux usées pendant la période de construction.

Prélèvement d'énergie sans échangeur de chaleur de canalisation: Ce système est avantageux dans le cas des installations de grande taille dans lesquelles l'utilisation

d'échangeurs de chaleur de canalisation se heurte à des limites techniques. Dans ce cas, on guide les eaux usées, avec ou sans circuit intermédiaire, via l'évaporateur, jusqu'à la pompe à chaleur. Afin d'éviter tout encrassement de l'évaporateur ou de l'échangeur de chaleur, une épuration préalable des eaux usées est nécessaire, ou il convient de concevoir les appareils en fonction de la qualité des eaux usées.

Pompes à chaleur pour eaux usées: Le prélèvement d'énergie s'effectue directement dans ou à côté du bâtiment, avant que les eaux usées ne soient acheminées dans les canalisations. Plusieurs systèmes spécifiques aux fabricants sont disponibles.

Indications pour la planification

- Pour des raisons techniques et économiques, ces installations nécessitent une quantité d'eau minimale.
- En cas d'utilisation d'échangeurs de chaleur de canalisation, on peut tabler sur une puissance de prélèvement spécifique d'environ 1,5 à 2 kW/m².
- Des températures d'eaux usées élevées permettent un refroidissement plus important et ainsi un prélèvement d'énergie accru. Les conditions idéales sont données pour des températures d'eaux usées qui, dans le pire des cas, sont supérieures à 10 °C.
- Une condition importante est une production d'eau continue. La nuit et le week-end également, les quantités d'eau minimales nécessaires au fonctionnement doivent être respectées.
- L'accès doit être garanti pour le montage ainsi que pour la maintenance ultérieure.
- Les échangeurs dans le canal de dérivation doivent être exempts de saleté et de corps étrangers (sable, pierres, vase).
- La distance entre la source de chaleur et l'emplacement de la pompe à chaleur doit être aussi faible que possible, car dans le cas contraire, une énergie de transport considérable est nécessaire pour le transport de l'énergie collectée, ce qui entraîne des répercussions négatives sur le COPA.
- De telles installations doivent être planifiées par des spécialistes expérimentés.

- Inclure dès le départ l'office compétent pour le domaine des eaux usées.
- Ne convient pas aux installations de petite taille.

Remarque: L'utilisation des rejets thermiques est également souvent prescrite en vertu de la loi. Cela ne concerne pas uniquement les eaux usées, la source de rejets thermiques peut également être le refroidissement en retour des installations frigorifiques par exemple.

4.5. REFROIDISSEMENT DE BÂTIMENTS

Aujourd'hui, le refroidissement des très grands bâtiments de services est nécessaire en raison des importantes charges internes (conformément à la norme SIA 2024:2015) et des exigences de confort élevées. Pour ce faire, il est recommandé de refroidir les bâtiments directement par l'exploitation de chaleur terrestre, des eaux souterraines ou des eaux de surface. Dans ce cas, on parle de refroidissement naturel (freecooling). La chaleur non utilisable est évacuée vers l'air, le sol, les eaux de surface, les eaux usées ou les eaux souterraines. Le champ de sondes géothermiques est ainsi «régénéré» pendant les mois d'été, ce qui entraîne une augmentation du COPA de la pompe à chaleur. Si le refroidissement naturel n'est pas possible, le prélèvement de chaleur s'effectue avec un compresseur (refroidissement actif).

Systemes

On distingue en principe les systèmes suivants:

- Installations avec apport de froid (machine frigorifique)
- Installations avec apport de chaleur (pompe à chaleur)

En d'autres termes, la dimension du guidage détermine s'il s'agit d'une machine frigorifique ou d'une pompe à chaleur ou d'une installation combinée. L'énergie peut en principe être amenée au consommateur ou prélevée depuis celui-ci via le même système de distribution. En mode de refroidissement, le système doit être protégé contre des tem-

pératures de fonctionnement trop basses (formation d'eau de suintement) ou doit être correctement isolé en fonction des conditions d'utilisation et protégé contre la corrosion. L'utilisation combinée des systèmes de transmission de chaleur est soumise à certaines restrictions: dans leur configuration traditionnelle, les systèmes de chauffage fonctionnent, en mode de refroidissement, avec une température de fluide d'au moins 17 °C à 20 °C, de sorte qu'aucune eau de condensation ne peut en général se former. En mode de refroidissement, la capacité de production est toutefois limitée.

Exemples: Si l'on utilise un système de chauffage au sol basse température pour le refroidissement d'un bâtiment (changeover), et que l'énergie est envoyée directement à l'installation de sonde géothermique, par exemple au moyen d'échangeurs de chaleur, il s'agit d'un **refroidissement naturel**.

Le refroidissement de l'air entrant s'effectue au moyen d'un compresseur, à l'aide d'une machine frigorifique ou d'une pompe à chaleur pouvant être commutée en mode de refroidissement. Les rejets thermiques sont au moins partiellement utilisés dans le bâtiment, la chaleur résiduelle étant évacuée via l'air extérieur. Il s'agit alors d'une **machine frigorifique avec utilisation des rejets thermiques**.

Indications pour la planification

- Respecter l'assujettissement à autorisation (compétence cantonale).
- Le besoin en chaleur et en froid du bâtiment, avec les températures de fluide associées, doit être défini dans une phase préalable.
- Dans le cas d'installations de sonde géothermique, il convient de prendre en compte l'utilisation primaire lors du choix de la longueur de sonde.
- En cas d'exploitation de l'eau souterraine, des eaux de surface et des eaux usées, il convient de définir les températures de restitution maximales conjointement avec les autorités compétentes.

- Le dimensionnement et la définition des limites d'utilisation ainsi que les interfaces hydrauliques et de régulation doivent être impérativement établis avec le fabricant ou le fournisseur de l'installation frigorifique.
- Il faut également accorder une attention particulière à l'isolation thermique (eau de condensation) du système de refroidissement en retour, s'il est exécuté en mode free-cooling (conduites froides du refroidissement en retour dans l'espace chauffé).
- Il est impératif de veiller tout spécialement au bon choix des interfaces de régulation entre la production, la distribution et le consommateur. Une séparation claire et correcte facilite la planification et la réalisation ainsi que le fonctionnement, notamment dans des installations complexes.
- Dans les systèmes de chauffage au sol, il convient de prévoir une limitation de la température de départ (minimum 18°C) (pour empêcher la formation de condensat sur le sol ou dans la chape).

INSTALLATIONS DE VENTILATION ET DE CLIMATISATION

Systèmes

L'utilisation de pompes à chaleur est également intéressante avec les installations de ventilation et de climatisation. La pompe à chaleur représente un composant idéal pour la récupération de la chaleur (RC) ou l'utilisation des rejets thermiques (AWN). Il est ainsi possible de récupérer à la fois la chaleur sensible et la chaleur latente à partir d'un flux d'air évacué et de ramener cette énergie calorifique dans le circuit.

Les solutions standard sont par exemple utilisées dans les appareils de ventilation des piscines couvertes et dans les bâtiments à ventilation contrôlée.

Dans les piscines couvertes, c'est avant tout la déshumidification de l'air ambiant qui importe. Dans ces appareils, le flux d'air est tout d'abord guidé via l'évaporateur (déshumidification) puis via le condenseur (réchauffement du flux d'air). La chaleur en excès est souvent utilisée pour chauffer l'eau du bassin.

Une autre application concerne les installations de ventilation décentralisées. Dans les installations de petite taille avec une distance entre les installations d'air rejeté et les installations d'air entrant inférieure à 25 m, l'évaporateur est directement intégré dans le monobloc d'air rejeté ou le condenseur dans le monobloc d'air entrant. Dans les grandes installations ou pour de grandes distances, un circuit intermédiaire est recommandé. Dans le cas d'un excès de chaleur, les installations peuvent être utilisées pour chauffer le bâtiment ou, hors de la période de chauffage, pour la production d'eau chaude sanitaire.

Indications pour la planification

- Les échangeurs de chaleur disposés dans les installations de ventilation doivent être facilement accessibles pour un nettoyage régulier. Il convient en outre de prévoir une isolation thermique appropriée (eau de condensation).
- Les deux flux d'énergie (source et puits) doivent être disponibles de la façon la plus synchronisée possible, sous peine de requérir un stockage d'énergie pouvant engendrer très vite des coûts élevés.

5. DÉGAGEMENT DE CHALEUR

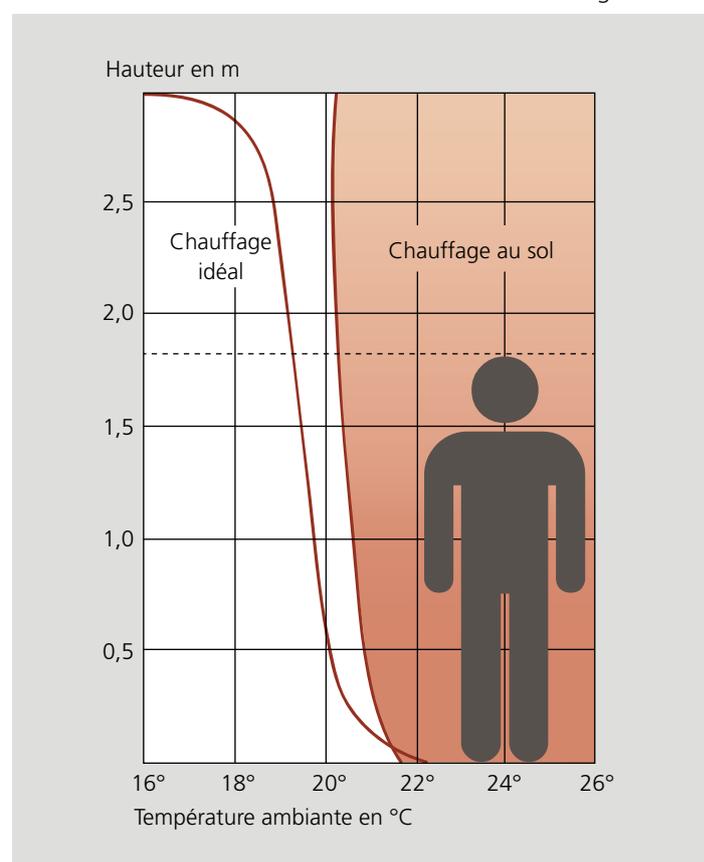
Un système de dégagement de chaleur est un système qui cède à la pièce la chaleur générée par le système de production de chaleur et transportée par le système de distribution de chaleur. Nous allons nous intéresser ici au cas du chauffage, il sera ensuite question du système de dégagement de chaleur. Les températures du système de dégagement de chaleur dépendent directement de la puissance de chauffage normalisée (puissance thermique à installer) du bâtiment et, par conséquent, de ses conditions énergétiques (lieu, emplacement, géométrie, construction, isolation thermique, utilisation) et des prescriptions légales. La réduction des besoins en énergie exigée par les lois sur l'énergie en vigueur depuis les années 80 a donc eu un impact direct sur la puissance thermique à installer et la conception des systèmes de chauffage domestique. Aujourd'hui, c'est le législateur qui impose les températures de départ admissibles maximales.

La réalisation est un critère essentiel en ce qui concerne les températures nécessaires dans le système de chauffage. La taille de la surface de transmission de chaleur, notamment, est pertinente, sachant qu'elle peut varier considérablement selon qu'il s'agit d'un chauffage au sol ou d'un chauffage par radiateurs.

Puisque les pompes à chaleur utilisent plus efficacement l'énergie du compresseur lorsque les différences de température sont faibles entre l'évaporateur et le condenseur, la température de condensation au sein du système de chauffage doit être la plus basse possible, tout comme la température de départ. En particulier, la température de départ glissante de l'exploitation constante doit être préférée en cas de charge partielle. La température de sortie de la pompe

à chaleur et pas uniquement du système de dégagement de chaleur doit ainsi être considérée comme une grandeur déterminante. Les pompes à chaleur fonctionnant à des températures de sortie inutilement élevées gaspillent de l'énergie électrique précieuse et alourdissent le budget de fonctionnement de l'exploitant. En outre, la durée de vie technique des composants soumis à des pressions d'exploitation plus élevées (dans le circuit frigorifique) est raccourcie. Sur le plan énergétique, les bâtiments qui proposent les meilleures conditions pour le fonctionnement des pompes à chaleur sont les maisons à très faible consommation d'énergie avec des systèmes de dégagement à surface étendue, qui sont toutefois également sou-

Illustration 5.1: Courbe de température dans une pièce avec chauffage au sol. La température chute légèrement en fonction de la hauteur et est ressentie comme agréable.



mises, dans leur fonctionnement, aux lois de la thermodynamique et de la construction. Des limites sont donc également fixées au niveau de leur dimensionnement. Si les appareils les plus modernes proposent, pour certains, une modulation de la puissance, la plage de modulation reste cependant plus ou moins limitée. Contrairement à une chaudière dont la puissance du brûleur et, par conséquent, celle de la chaudière peuvent être augmentées dans un cadre limité, ceci est impossible avec les pompes à chaleur. Elles ne sont donc pas adaptées pour assécher les bâtiments à une température de départ élevée ou pour compenser au niveau énergétique un abaissement nocturne.

5.1. CHAUFFAGE À EAU CHAUDE

Systèmes

Les systèmes de dégagement de chaleur pour le chauffage à eau chaude concernent surtout le chauffage au sol ou par corps de chauffe ou une combinaison de ces deux systèmes. Ces dernières années, l'installation de systèmes de composants thermoactifs (TABS) est devenue très courante, surtout dans les bâtiments basse énergie.

Sur le plan physique, le dégagement de chaleur vers la pièce se base presque exclusivement sur la convection et le rayonnement thermique. Le rapport entre la convection et le rayonnement est exprimé pour tous les systèmes de dégagement de chaleur par

l'exposant de corps de chauffe n dans la liste de sélection des corps de chauffe et est important pour les calculs ultérieurs. Plus l'exposant de corps de chauffe est petit, plus la proportion de rayonnement est importante. L'exposant de corps de chauffe est par exemple:

- Corps de chauffe à plaques: $n = 1,2 - 1,3$
- Radiateurs $n = 1,3$
- Chauffages au sol: $n = 1,1$

CHAUFFAGE AU SOL

Avantages

- Un dégagement de chaleur important à des températures de départ basses dû à la compensation par la taille importante de la surface au sol.
- Autorégulation: le dégagement de chaleur s'autorégule jusqu'à un certain degré. Exemple: lorsque l'air ambiant se réchauffe en raison du rayonnement solaire ou du nombre accru de personnes dans la pièce, le dégagement de chaleur de la surface au sol diminue automatiquement. Cet effet d'autorégulation est particulièrement marqué avec les chauffages au sol du fait de la faible différence de température entre la température de l'air ambiant et la température en surface de la surface de chauffe (en règle générale environ 2 K). Bonne répartition de la chaleur sur toute la hauteur de la pièce (illustr. 5.1).
- La chape (combles) peut servir d'accumulateur d'énergie.

Illustration 5.2: Courbe du coefficient de performance en fonction de la température de départ de chauffage ($^{\circ}\text{C}$) d'une pompe à chaleur avec collecteur terrestre (0°C) et chauffage au sol (hiver).

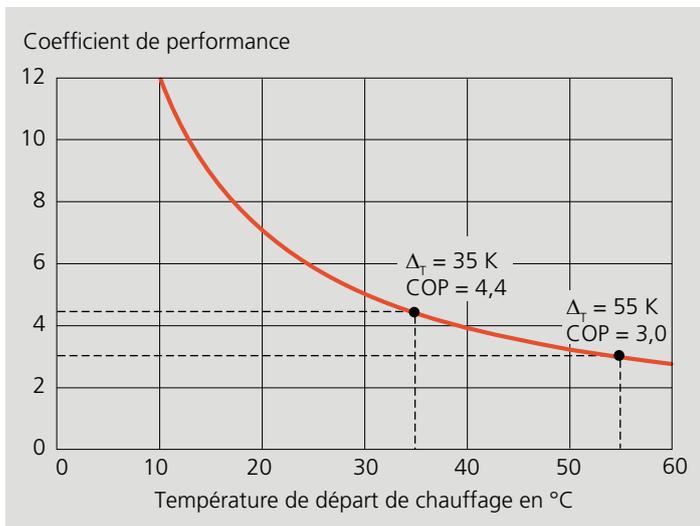
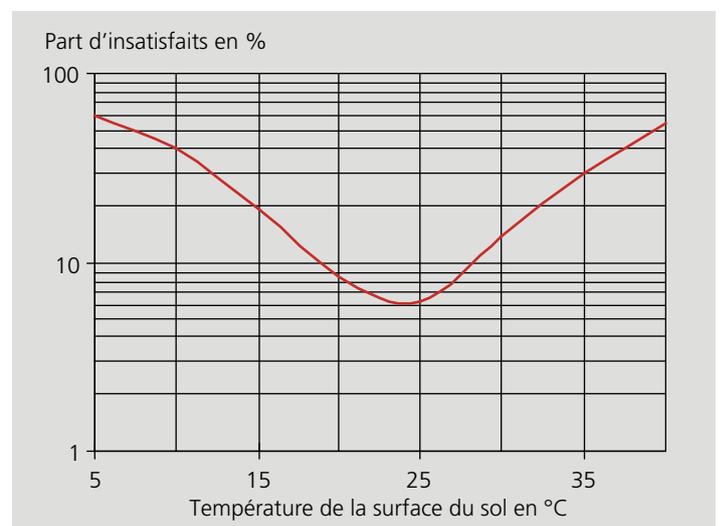


Illustration 5.3: Pourcentage des personnes non satisfaites, qui portent des pantoufles, en fonction de la température de la surface du sol.



- En été, le chauffage au sol peut également servir à refroidir le sol (en douceur) (changeover). Il suffit tout simplement d'installer un échangeur de chaleur supplémentaire en séparation du réseau entre le chauffage et le refroidissement. Éviter la formation de condensat (régulation du point de rosée)!

Inconvénients

- Inertie due à l'installation dans la chape
- Accès au système de dégagement de la chaleur plus donné après l'installation.

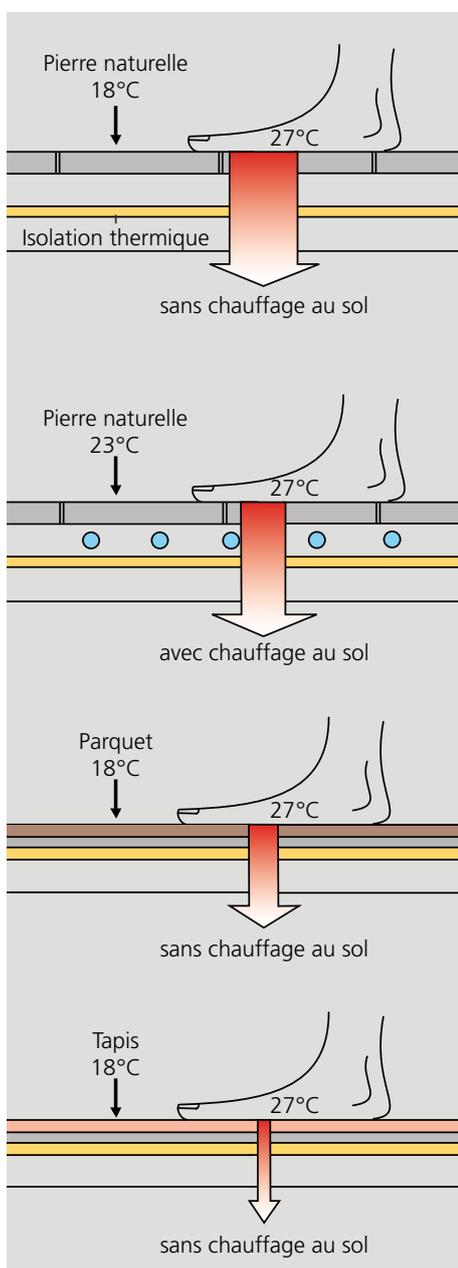


Illustration 5.4: Dégagement de chaleur par le pied selon les différents matériaux de sol.

Les températures de départ peuvent donc être en partie considérablement réduites. Les faibles températures de départ de la pompe à chaleur ont permis d'obtenir une utilisation plus efficace de l'énergie.

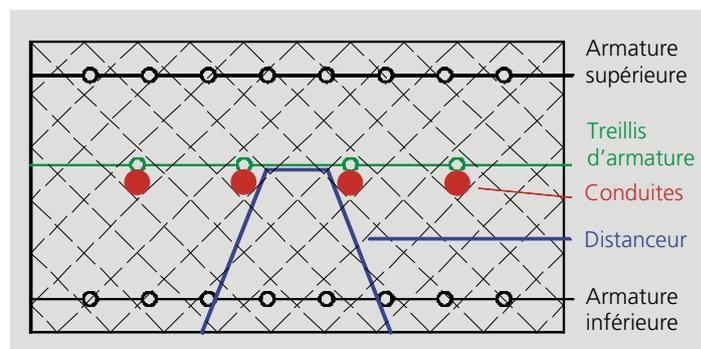
- L'idée très répandue selon laquelle le chauffage au sol est inévitablement lié à un sol chaud ne correspond pas à la réalité. C'est au bureau technique et aux installateurs que revient la mission d'informer les architectes et maîtres d'ouvrage sur l'importance des faibles températures de départ lors du choix des matériaux pour le revêtement de sol. En effet, les chauffages au sol font régulièrement l'objet de réclamations en raison de surfaces froides (illustr. 5.3).
- L'illustration 5.4 montre très clairement le dégagement de chaleur par le pied selon les différents matériaux de sol.

SYSTÈMES DE COMPOSANTS THERMOACTIFS

Les systèmes de composants thermoactifs sont des éléments de construction qui font partie des surfaces de délimitation d'une pièce et qui sont alimentés en fluide calo-

Illustration 5.5: Coupe détaillée des éléments thermoactifs.

Illustration 5.6: Bâtiment administratif avec 6000 m² d'éléments thermoactifs (illustr.: Vesca).



porteur ou frigorigène par l'intermédiaire d'un système de conduites intégré et qui permettent ainsi de chauffer ou de refroidir les locaux. Ils s'appliquent à divers types de construction allant des plafonds chauffants ou réfrigérants aux chauffages au sol, en passant par les dalles d'étages avec conduites intégrées. Ces systèmes à forte inertie intégrés à l'intérieur sont employés à dessein afin de découpler dans le temps l'offre énergétique et les besoins énergétiques domestiques sur le plan de l'utilisation finale de l'énergie, par exemple, refroidissement actif des éléments de construction la nuit et refroidissement passif des locaux par le biais des composants froids le jour. Les concepts de bâtiments et d'installations, qui prévoient des systèmes de composants thermoactifs à forte inertie, exigent au cours de processus de planification adaptés et fiables l'utilisation d'outils de simulation de bâtiment modernes, afin d'obtenir des affirmations fondées en matière de confort et de besoins énergétiques.

La transmission thermique est déterminante: l'échange de chaleur entre les composants thermoactifs et le local peut être calculé au moyen d'un coefficient de transmission thermique combiné (α) pour le rayonnement et

la convection. Pour les flux de chaleur horizontaux ou orientés vers le haut à la verticale, ce coefficient combiné est d'environ 7 à 8 W/m² K (par convection env. 2 à 3 W/m² K, ceux par rayonnement env. 5 W/m² K). Par exemple, à une différence de température type de 6 K entre la surface du composant et l'air ambiant (température à la surface du composant de 19 °C et température de l'air ambiant de 25 °C), la transmission thermique est égale à environ 50 W/m². Si une puissance thermique de 50 W/m² agit pendant 24 heures à pleine puissance, la quantité de chaleur qui peut être transmise chaque jour au local est de 1,2 kWh/m².

CHAUFFAGE PAR RADIATEURS

Avantages

- Réagit rapidement aux changements de charge.
- Le système de dégagement de chaleur est accessible en permanence.
- Il est possible d'éviter l'arrivée d'air froid sur des surfaces froides en fonction de l'emplacement du radiateur.
- Flexibilité élevée lors de transformations, les radiateurs étant aisément démontables et pouvant être déplacés.

Illustration 5.7: Courbe de température avec un chauffage par radiateurs.

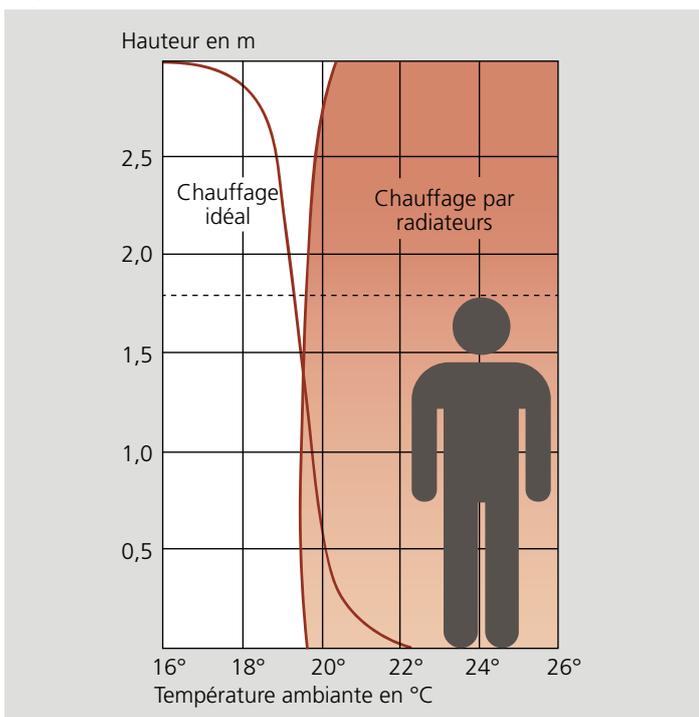
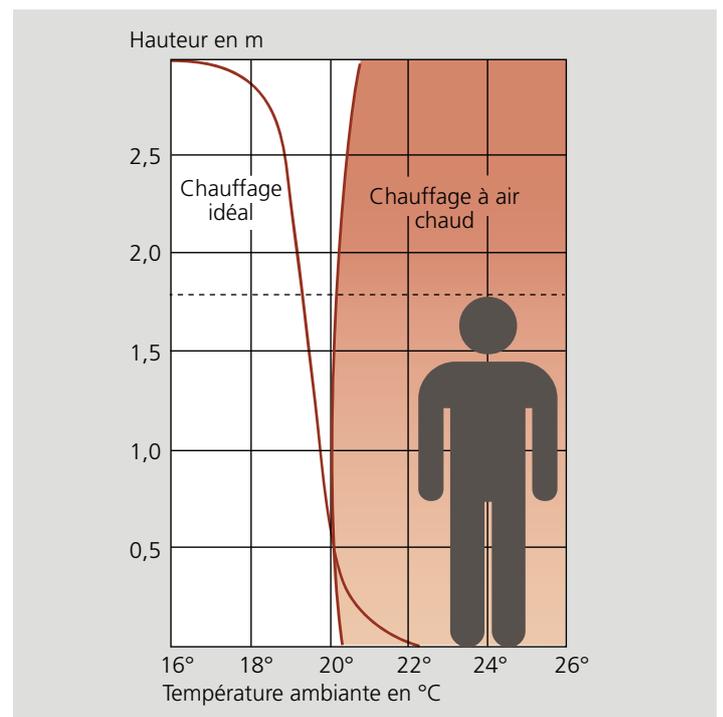


Illustration 5.8: Courbe de température avec un chauffage à air chaud.



Inconvénients

- Rendement thermique plus faible à températures de départ basses
- Mauvaise répartition de la température sur la hauteur des pièces (illustr. 5.7)
- Sols froids avec dalles
- Exige des surfaces de radiateurs relativement grandes.
- Ce système ne permet pas de refroidir.

Avec les systèmes de chauffage par radiateurs, les surfaces de chauffe (surfaces qui contribuent activement au dégagement de la chaleur) varient également en fonction des températures du système et des besoins de chauffage. Des limites ont également été imposées en ce qui concerne les façades (surfaces à l'avant des surfaces de chauffe) et le choix des matériaux.

Indications pour la planification

- Choisir les températures de départ les plus basses possibles (radiateur basse température).
- Respecter les conditions-cadres légales (températures de départ maximales).
- Tenir compte de la différence de température lors du choix du fluide frigorigène (glissement de température).
- En cas de revêtement en parquet, tenir compte de la température de départ maximale des conduites situées dans les combles (normes SIA).

5.2. INSTALLATIONS DE CLIMATISATION

CHAUFFAGE À AIR

Systèmes

Le chauffage à air chaud pour la ventilation d'une maison (aussi appelé aération douce) pour maisons passives et Minergie P constitue une alternative possible aux systèmes de dégagement de chaleur à circulation d'eau. Son principal avantage réside dans le fait que l'on peut se passer d'un système de chauffage à circulation d'eau séparé. Il exige une planification extrêmement minutieuse.

Avantages

- Réagit rapidement aux changements de charge.
- Le système de dégagement de chaleur est accessible en permanence lorsqu'il n'est pas scellé dans le béton.
- Système de distribution supplémentaire inutile (utilisation du système de ventilation à des fins de chauffage)

Inconvénients

- Mauvaise répartition de la température sur la hauteur des pièces
- Sols froids avec dalles
- Arrivée d'air froid possible sur des surfaces froides
- Hygiène dans le réseau de conduites d'air
- Exige une température de condensation supérieure (COP plus mauvais)
- L'eau a une capacité thermique 3200 fois supérieure à l'air (en volume), les installations de ventilation sont donc moins efficaces sur le plan énergétique que les systèmes à circulation d'eau (débits volumiques d'air élevés requis).
- L'air sec est un danger.

Indications pour la planification

- Choisir les températures d'air pulsé les plus basses possibles. Il faut toutefois s'assurer qu'il n'y ait pas de courant d'air.
- Tenir compte de la différence de température lors du choix du fluide frigorigène (glissement de température).
- Éviter l'installation d'une entrée d'air pulsé dans les pièces habitées.

5.3. PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Systèmes On distingue deux systèmes de production d'eau chaude au moyen d'une pompe à chaleur. Il convient de s'assurer grâce à un dispositif de désinfection anti-légionellose que la température de l'eau puisse être chauffée, de temps en temps, à plus de 60°C, et ce aussi bien dans l'accumulateur que dans les conduites de raccordement vers les consommateurs.

Utilisation indirecte: L'eau est chauffée indirectement par un ou plusieurs échangeurs de chaleur du système de chauffage.

Utilisation directe: L'eau est chauffée directement par un ou plusieurs échangeurs de chaleur du circuit frigorifique.

Les deux systèmes peuvent également être combinés (p. ex. pompe à chaleur à eau chaude, souvent appelée chauffe-eau pompe à chaleur).

UTILISATION INDIRECTE

Avantages

- Intégration simple à des raccordements hydrauliques standardisés
- Composants standard très accessibles

Inconvénients

- Fonctionnement en parallèle du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire uniquement possible à un faible rendement total de l'installation
- Rendement plus faible en raison de l'échangeur de chaleur supplémentaire

- Températures de l'eau plus basses en raison de l'échangeur de chaleur supplémentaire

Exemples types d'utilisation indirecte:

- Accumulateur avec échangeur de chaleur à l'extérieur
- Accumulateur-registre
- Accumulateur combiné ou spiro

Remarque: La mise en place d'un circuit prioritaire pour l'eau chaude sanitaire avec niveau de température adapté (p. ex. 55 °C pour la charge d'eau chaude sanitaire, 40 °C pour le chauffage) est à préférer au fonctionnement en parallèle (simultané) du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire, afin que la pompe à chaleur puisse fonctionner au point de fonctionnement optimal de chacun (températures de sortie les plus basses possibles; efficacité la plus grande possible).

Illustration 5.9:
Système de production d'eau chaude indirecte.

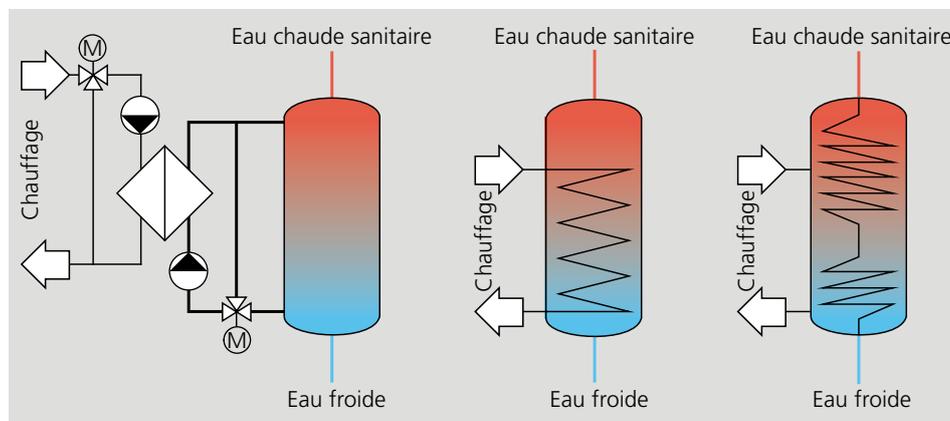
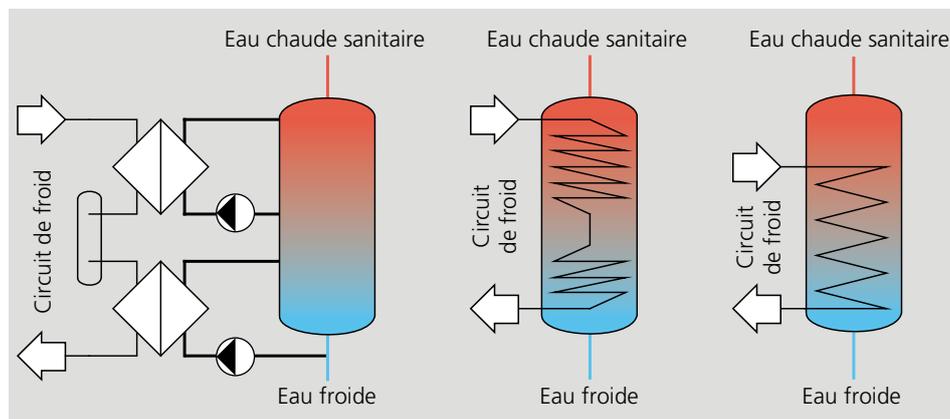


Illustration 5.10:
Système de production d'eau chaude directe.



UTILISATION DIRECTE

Avantages

- Rendement plus élevé
- Utilisation de la chaleur à bonne température grâce à la désurchauffe, à la condensation et au sous-refroidissement du fluide frigorigène

Inconvénients

- L'existence d'échangeurs de chaleur séparés pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire constitue un avantage au niveau du fluide frigorigène
- Des quantités plus importantes de fluide frigorigène
- Accumulation de calcaire plus importante, donc nettoyage de l'échangeur de chaleur plus fréquent (désurchauffeur, condenseur)
- Le circuit de froid-lubrifiant doit être conçu dans un matériau de classe alimentaire (tubes à double paroi avec sonde de fluide frigorigène)

Découplage thermique à bonne température:

La hausse de température dans le système de production d'eau chaude sanitaire est généralement sensiblement supérieure à celle observée dans le système de production d'eau de chauffage. Cette situation peut être utile dans la mesure où lors de la conception de la pompe à chaleur et lors du raccordement hydraulique les chaleurs de désurchauffe, de condensation et de sous-refroidissement sont prélevées à différents niveaux de température. Cette optimisation du prélèvement de chaleur peut être appliquée à divers systèmes.

- Échangeurs de chaleur séparés (désurchauffeur, condenseur, sous-refroidisseur)
- Mesures constructives en vue d'utiliser le sous-refroidissement et la désurchauffe dans le condenseur

Exemples types d'utilisation indirecte:

- Accumulateur avec condenseur et sous-refroidisseur à l'extérieur
- Accumulateur avec zones de registre séparées pour la désurchauffe, la condensation et le sous-refroidissement
- Accumulateur avec registre simple

Indications pour la planification

- Dans les systèmes monovalents, il convient d'étudier l'utilisation d'un système de chauffage de secours électrique (observer les exigences légales).
- Les mesures de prévention de la légionellose doivent être respectées dans l'ensemble du réseau d'eau chaude.
- La pompe à chaleur doit être utilisée toute l'année pour la production d'eau chaude et pas uniquement au cours de la saison de chauffage. Cet élément doit être pris en compte lors du dimensionnement des sondes géothermiques.
- Des températures trop élevées sur la surface de l'échangeur de chaleur favorisent l'accumulation de calcaire dans l'eau destinée à être chauffée.
- L'influence de la circulation doit être prise en compte.
- La stratification dans l'accumulateur d'eau chaude doit être garantie (vérifier les accumulateurs existants).
- Les échangeurs de chaleur dans l'accumulateur d'eau chaude doivent être conçus pour la puissance maximale de la pompe à chaleur. (La puissance des pompes à chaleur air-eau est presque doublée en été.)
- L'emplacement doit être si possible proche du consommateur principal afin de réduire les pertes par distribution et les durées de productivité.

LÉGIONELLES

Les bactéries de la classe des légionelles sont présentes presque partout dans la nature, ainsi que dans l'eau potable. L'inhalation de légionelles provoque un risque d'infection («légionellose»), principalement des poumons. Les légionelles trouvent des conditions de vie idéales à des températures entre 25 et 45 °C, elles ne sont détruites qu'à partir de 55 °C. La norme SIA 385/1 (édition 2011) exige par conséquent des températures minimales de 60 °C dans l'accumulateur d'eau chaude (boiler), respectivement du côté eau chaude de la pompe à chaleur. Les conduites doivent être maintenues au moins à 55 °C, la température aux points de soutirage ne doit pas descendre en dessous

de 50 °C. Il convient d'éviter le réchauffement des conduites d'eau froide (p. ex. par des conduites parallèles d'eau chaude ou de chauffage).

Les pompes à chaleur à faibles températures de départ doivent être équipées d'un «dispositif de désinfection anti-légionellose», qui augmente régulièrement la température à 60 °C. Il n'y a aucun risque de formation de légionelle dans de l'eau chaude sanitaire consommée dans les 24 heures; c'est pourquoi l'accumulateur ne doit pas être choisi trop grand (dimensionnement selon la norme SIA 385/2). Les autres mesures à prendre au niveau du réseau de distribution sont:

- Séparation du réseau des parties de conduites non utilisées
- Conduites courtes
- Bon rinçage (pas d'eau stagnante)
- Rincer et nettoyer régulièrement les points de prélèvement rarement utilisés ainsi que les flexibles de douche, les robinetteries de baignoire et de douche.

5.4. AUTRES SYSTÈMES

CHAUFFE-EAU À POMPE À CHALEUR

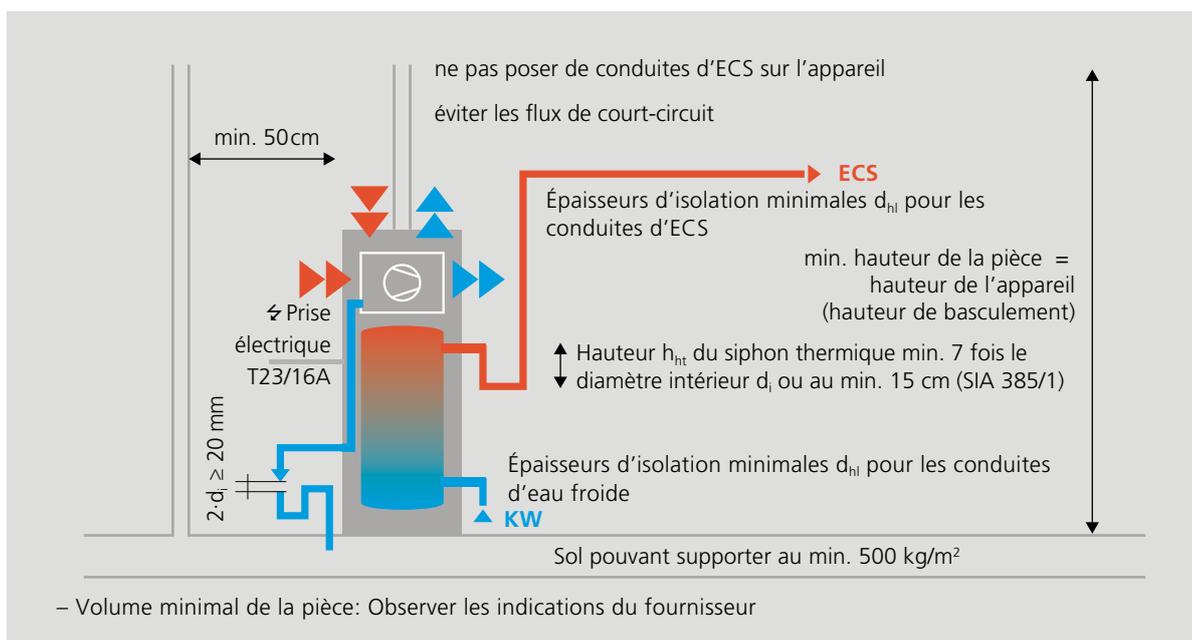
Le chauffe-eau à pompe à chaleur est une unité compacte composée d'une pompe à chaleur air-eau et d'un accumulateur. L'énergie nécessaire provenant de l'air peut

être extraite du local d'installation, d'un local voisin ou de l'air évacué d'un bâtiment. L'air est refroidi et déshumidifié dans l'évaporateur, c'est-à-dire que le local choisi est par exemple une pièce de stockage ou de séchage. Un bon dimensionnement, le siphonnage des raccords d'eau chaude sanitaire (selon le système de distribution, p. ex. inutile en cas de chauffage auxiliaire) et une isolation thermique complète assurent une efficacité énergétique élevée, les appareils étant ainsi indiqués pour remplacer les chauffe-eau électriques. Outre les appareils compacts, il existe également des installations split pour une utilisation simplifiée de l'air extérieur en tant que source de chaleur.

Indications pour la planification

- Le bilan énergétique doit faire l'objet de vérifications approfondies afin d'éviter le vol de chaleur par les pièces chauffées
- Prévoir une très bonne isolation thermique par rapport aux pièces chauffées
- Les mesures de prévention de la légionellose doivent être respectées dans l'ensemble du réseau d'eau chaude (voir par. 5.3)
- Prévoir un corps de chauffe électrique supplémentaire en cas d'urgence (également autorisé pour l'éventuel dispositif anti-légionellose)
- Évacuation du condensat nécessaire

Illustration 5.11:
Placement de l'échangeur de chaleur – pompe à chaleur (source: GKS Merkblatt «Warmwasser-Wärmepumpen»).



POMPE À CHALEUR POUR PISCINE

Pompe à chaleur air-eau pour le chauffage de piscines extérieures à la saison chaude.

Indications pour la planification

- Respecter les prescriptions cantonales concernant l'installation et l'énergie (p. ex. recouvrement du bassin).
- Veiller au choix des matériaux pour les composants.
- Veiller au lieu d'installation pour une pompe à chaleur air-eau (acoustique, encrassement, limites de construction).
- Respecter les directives (autorisations).

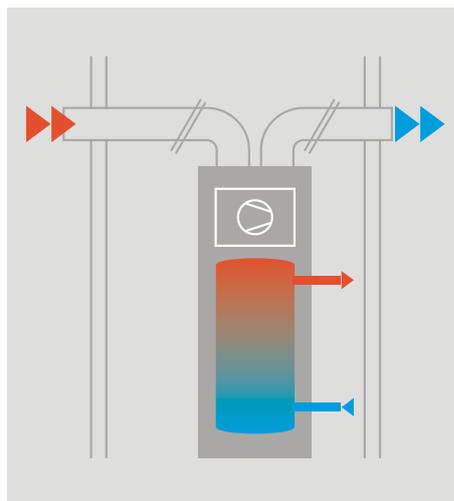


Illustration 5.12: Chauffe-eau à pompe à chaleur avec système de canal pour l'exploitation de l'air extérieur comme source de chaleur (source: GKS Merkblatt «Warmwasser-Wärmepumpen»).

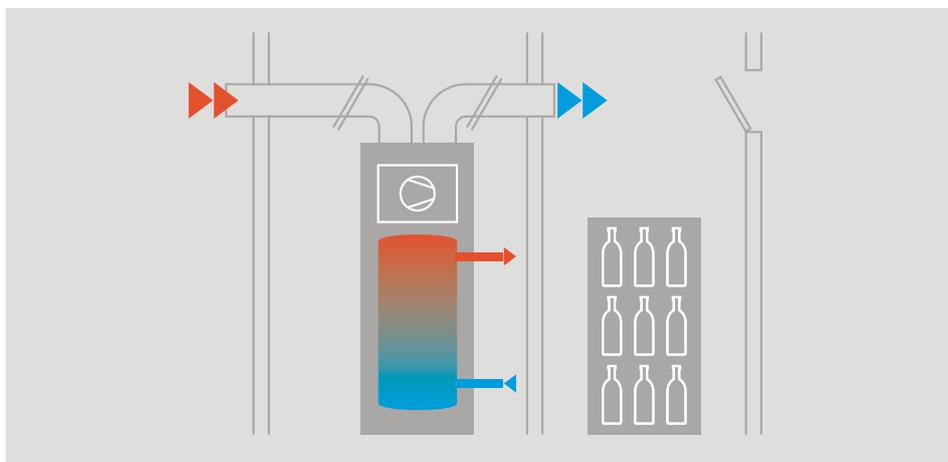


Illustration 5.13: Placement du chauffe-eau à pompe à chaleur pour le refroidissement de la pièce.



Illustration 5.14: Placement du chauffe-eau à pompe à chaleur pour la déshumidification de la pièce.

6. INTÉGRATION PAC DANS LES INSTALLATIONS TECHNIQUES

6.1. PRINCIPES

La pompe à chaleur est intégrée à l'installation technique via le système hydraulique. L'interface sera réalisée de manière à garantir un fonctionnement efficient du point de vue énergétique, économique et fiable. Les points suivants sont à respecter:

- Raccordement hydraulique approprié, sans montage en série des circulateurs etc.
- Événuel découplage hydraulique de la production de chaleur par rapport à la distribution de chaleur au moyen des accumulateurs ou avec un séparateur hydraulique (si nécessaire)
- Purge de l'installation avant le raccordement de la pompe à chaleur.
- Dégagement de la puissance thermique (éventuellement y c. les pertes par raccordement du condenseur)
- Degré de couverture de la pompe à chaleur (si possible monovalente)
- Débit d'air possible et/ou nécessaire dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau
- Processus de dégivrage dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau
- Températures de fonctionnement du système de dégagement de chaleur (notamment la température de départ maximale)
- Limites d'utilisation de la pompe à chaleur
- Adaptation aux cas de charge partielle
- Puissance disponible provenant de l'environnement (évent. avec le raccordement de l'évaporateur)
- Les prescriptions pour l'aération de la centrale de chauffe ainsi que la séparation physique entre la chaudière et la pompe à chaleur dépendent du type et de la quantité de fluide ainsi que du fluide énergétique supplémentaire

Illustration 6.1:
Fonctionnement
monovalent.

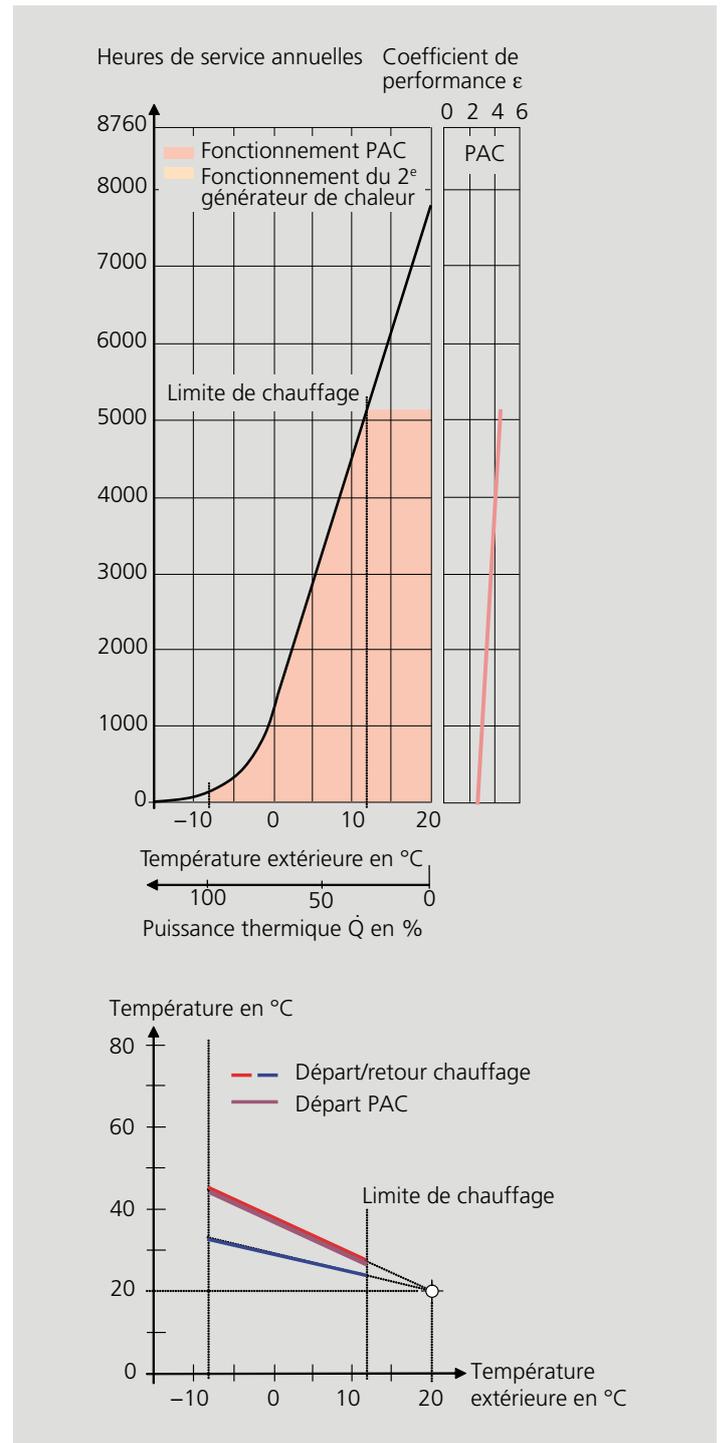
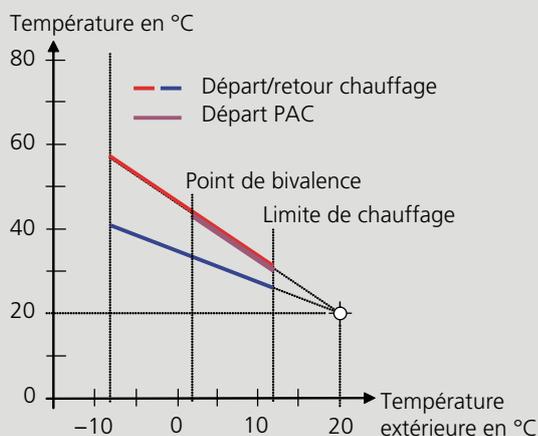
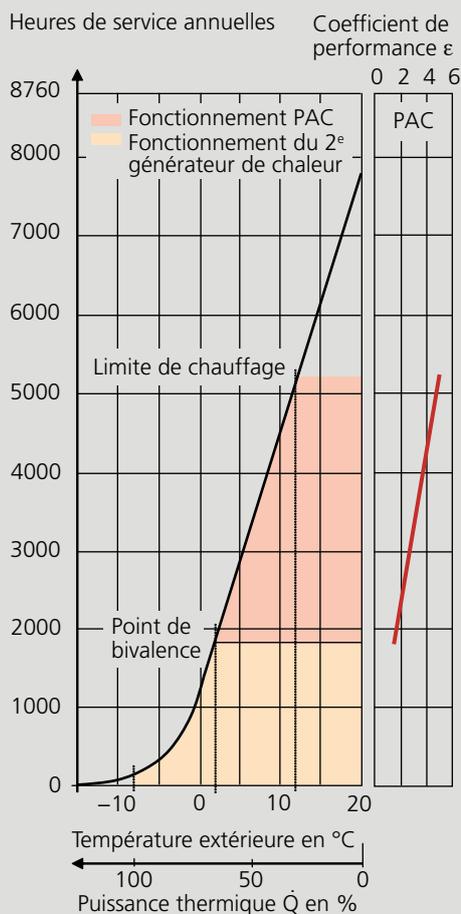


Illustration 6.2:
Fonctionnement
bivalent-alternatif.



- Protection contre le bruit (intérieur et extérieur)
- Optimisation de l'exploitation, voir cahier technique SIA 2048 (listes de contrôle)

6.2. MODES D'EXPLOITATION

FONCTIONNEMENT MONOVALENT

En mode de fonctionnement monovalent, la pompe à chaleur fournit la puissance de chauffage nécessaire dans tous les états de fonctionnement. La pompe à chaleur doit donc être dimensionnée en fonction de la puissance thermique maximale à installer dans le bâtiment pour la température de départ maximale nécessaire (illustr. 6.1)

FONCTIONNEMENT BIVALENT

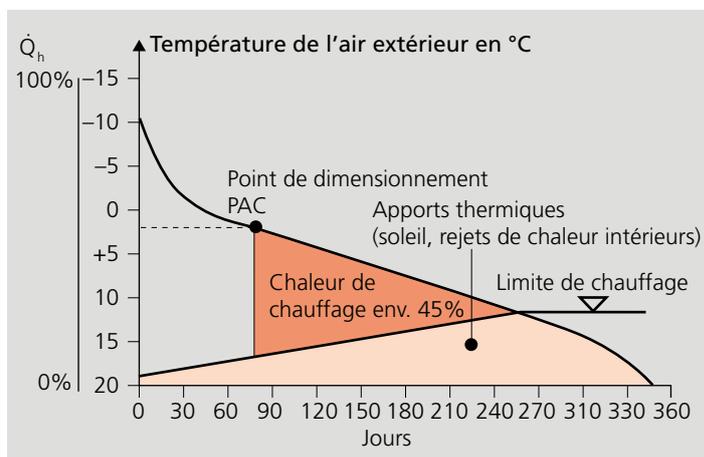
Lorsque la pompe à chaleur ne peut (ou ne doit) pas fournir l'ensemble de la puissance de chauffage, il faut un second générateur de chaleur. On parle alors d'un système ou d'un fonctionnement bivalent. Le point de bivalence est fonction de différents critères:

- La puissance de raccordement nécessaire ou possible
- La température de départ maximale
- Encombrement du chauffage complémentaire
- Température de la source de chaleur

Pour les plus grandes installations, aussi

- Rentabilité
- Redondance

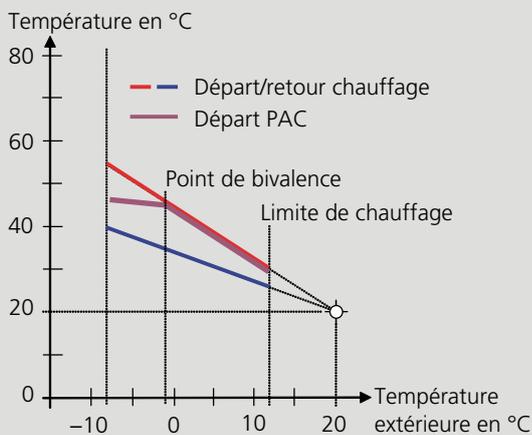
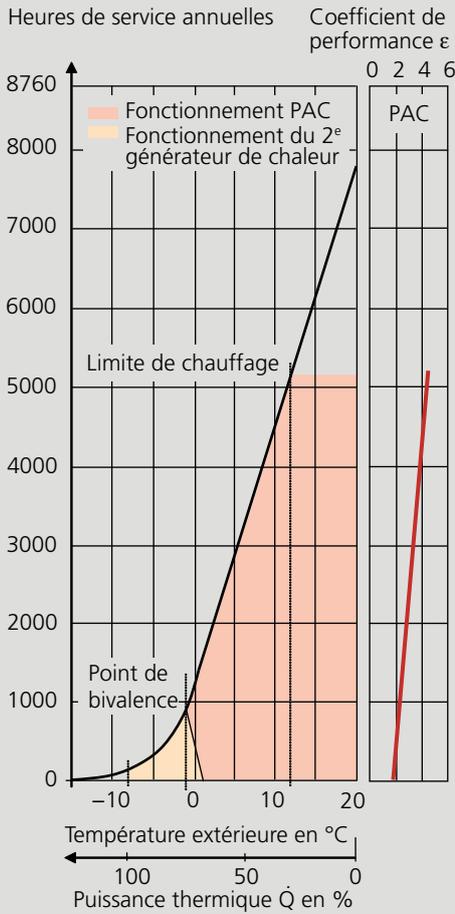
Illustration 6.3:
Fonctionnement
bivalent-alternatif.



Indications

- La citerne à mazout, la chaudière, les accumulateurs et la cheminée nécessitent de l'espace supplémentaire.
- Dans la mesure du possible, il faut éviter les systèmes de chauffage bivalents dans les petites installations (maisons familiales, petits immeubles), car trop complexes.

Illustration 6.4: Fonctionnement bivalent-parallèle ou bivalent partiellement parallèle.



La limite du point de fonctionnement permettant à la pompe à chaleur de fournir la puissance de chauffage dépend de la température de l'air extérieur. Elle s'appelle alors «point de bivalence», et la température correspondante «température de bivalence». On distingue deux modes de fonctionnement.

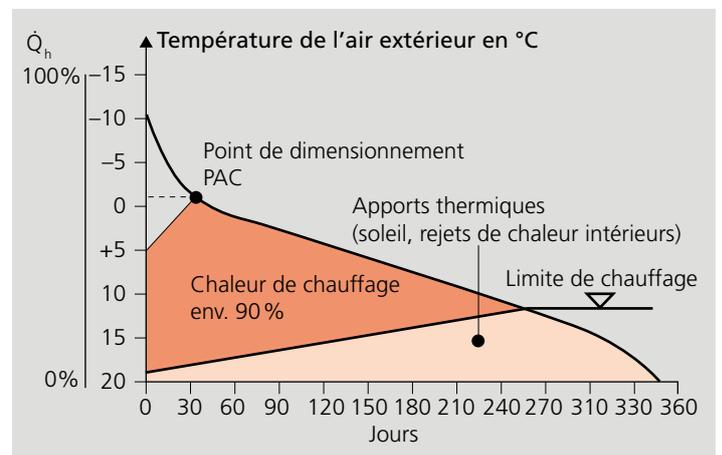
FONCTIONNEMENT BIVALENT ALTERNATIF

La pompe à chaleur couvre la puissance thermique requise lorsque la température extérieure est relativement élevée (supérieure au point de bivalence). Pendant la période où les températures extérieures sont basses, la puissance thermique requise est fournie en totalité par un générateur de chaleur alternatif (chaudière à bois, à gaz ou à mazout). La pompe à chaleur doit être réglée sur le point de bivalence et le deuxième générateur de chaleur doit être dimensionné en fonction de la puissance thermique maximale requise par le bâtiment (illustr. 6.2).

FONCTIONNEMENT BIVALENT PARALLÈLE OU BIVALENT PARTIELLEMENT PARALLÈLE

Le mode bivalent partiellement parallèle est caractérisé par le fait que les générateurs de chaleur fonctionnent de manière simultanée pendant un certain laps de temps. La pompe à chaleur couvre la puissance thermique requise pour des températures extérieures élevées (supérieures au point de bivalence). Lorsque la température extérieure descend

Illustration 6.5: Fonctionnement bivalent-parallèle.



sous le point de bivalence, le deuxième générateur de chaleur (chaudière à bois, à gaz ou à mazout) se met également en route.

Pendant cette phase, les deux appareils travaillent en parallèle (illustr. 6.4).

En mode partiellement parallèle, la pompe à chaleur s'arrête totalement à une température extérieure donnée. Ceci concerne surtout les pompes à chaleur air-eau. Ce n'est donc qu'en mode partiellement parallèle que le deuxième générateur de chaleur (chaudière) doit être dimensionné en fonction de la puissance totale requise.

6.3. SYSTÈME HYDRAULIQUE

DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE ET DÉBIT VOLUMIQUE AU NIVEAU DES ÉCHANGEURS DE CHALEUR

La différence de température au niveau des échangeurs de chaleur détermine le débit, la hauteur de refoulement et la consommation électrique des circulateurs ou des ventilateurs concernés. Les systèmes de dégagement de chaleur sont réglés, suivant la température requise du fluide de chauffage, entre max. 40/30 °C pour les corps de chauffe (50 °C possibles en cas d'assainissement) et min. 26/22 °C pour les chauffages de surface (maximum 35 °C). Les systèmes de chauffage au sol autorégulés (température de départ max. 30 °C) n'ont pas de vannes thermostatiques, et ne requièrent donc pas de découplage hydraulique.

Découplage hydraulique: La réduction de la charge du bâtiment, par exemple lorsque les températures extérieures sont relativement hautes, fait que le débit volumique des consommateurs diminue. Afin de pouvoir s'adapter à cette modification de la consommation, les pompes à chaleur ne disposant pas de modulation doivent être équipées d'un dispositif de séparation hydraulique, consistant en un accumulateur, un by-pass ou un clapet de décharge (illustr. 6.6). Les pompes à chaleur équipées d'un dispositif de modulation peuvent fonctionner par exemple avec un seul découplage hydraulique.

Accumulateur thermique: Un accumulateur permet d'assurer notamment la transition entre les temps de délestage de l'entreprise de distribution électrique. Il peut être utile de distinguer les types d'accumulateurs suivants:

- **Accumulateur technique** pour la séparation hydraulique et pour garantir une fréquence d'enclenchement admissible maximale.
- **Accumulateur thermique** pour stocker l'énergie thermique afin de couvrir les pointes et assurer la transition entre les temps de délestage, avec une augmentation minimale de la contenance de l'installation (masse d'accumulation).
- **Séparateur hydraulique** pour découpler le circuit de chauffage du générateur thermique du circuit des consommateurs, pas de montage en série des circulateurs.

STRATÉGIES POUR LE CHARGEMENT DE L'ACCUMULATEUR

Chargement étagé: Lorsque l'accumulateur thermique est chargé par étapes, le débit volumique passant par le générateur de chaleur reste constant. Le générateur de chaleur ne peut augmenter la température de retour que d'un gradient de température donné. Ainsi, la température d'accumulation est augmentée d'une petite différence à chaque passage. Cette méthode donne de meilleurs coefficients de performance que la charge par stratification, surtout lors du premier cycle de charge. Cependant, les températures finales d'accumulation varient sensiblement, en fonction de l'état de la sortie avant la charge de l'accumulateur (illustr. 6.7).

Chargement par stratification: Lors du chargement en couches stratifiées de l'accumulateur, la température du générateur de chaleur est réglée sur une valeur de consigne donnée au moyen d'une régulation de charge, et ce indépendamment de la température de retour du consommateur. La température de consigne peut être réglée sur une valeur constante ou sur une valeur variable (p. ex. en fonction de la température

extérieure). La charge par stratification présente l'avantage de charger l'accumulateur à une température bien définie, de sorte que le consommateur dispose à son tour d'une température bien définie (illustr. 6.8).

Remarque: Pour les petites installations, le chargement étagé s'est imposée en tant que variante sûre sur le plan du fonctionnement et efficace en matière énergétique. Cette variante devrait donc être mise en place pour ces installations.

Indications pour la planification

- Pour allonger le temps de fonctionnement de la pompe à chaleur, il faut une masse d'accumulation suffisante. Celle-ci peut se trouver dans la masse du bâtiment (chauffage au sol, système de composants thermoactifs) ou dans un accumulateur thermique. Dans le premier cas, un accumulateur thermique n'est donc pas nécessairement obligatoire (même pour les chauffages au sol). Le temps de fonctionnement minimum pour chaque démarrage de compresseur devrait être d'environ 20 à 30 minutes.
- Un équilibrage hydraulique précis est particulièrement important pour les chauffages au sol autorégulés sans vanne thermostatique. L'idéal est de procéder à l'équilibrage hydraulique de tous les circuits de chauffage au sol dans la boucle de Tichelmann.
- Les accumulateurs thermiques (faible contenance en eau) sont surtout employés comme séparation hydraulique (p. ex. dans le cas de plusieurs groupes de chauffage).
- Les raccordements des accumulateurs thermiques hydrauliques doivent se faire par l'intermédiaire d'un thermosiphon, et être bien isolés (pour réduire les pertes d'accumulateur).

MODULES D'EAU CHAUDE INSTANTANÉE

Les modules d'eau propre sont des échangeurs de chaleur externes à plaques (ou des échangeurs de chaleur internes à serpent), qui chauffent l'eau chaude sanitaire en continu au moment du soutirage. L'énergie nécessaire pour cela provient d'un accumulateur (illustr. 6.10). Cette solution

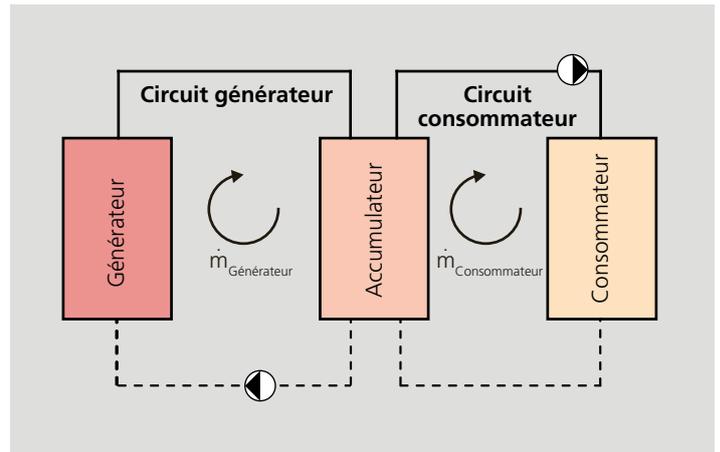


Illustration 6.6: Le débit volumique via le circuit générateur doit toujours être dimensionné plus généreusement que le circuit des consommateurs: $m_{\text{Générateur}} > m_{\text{Consommateur}}$

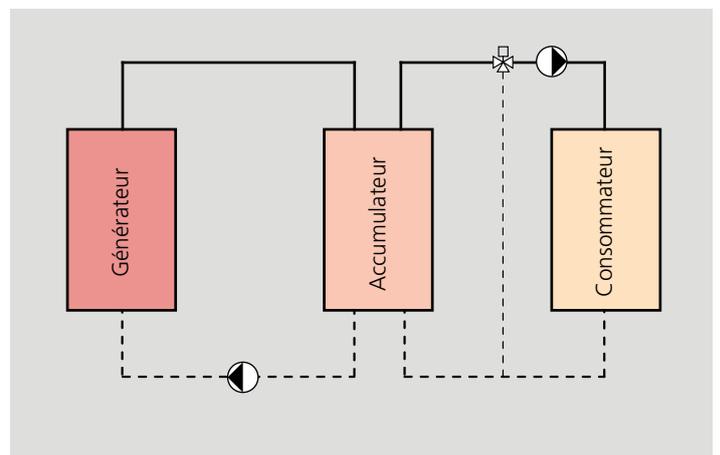


Illustration 6.7: Commande hydraulique pour le chargement étagé.

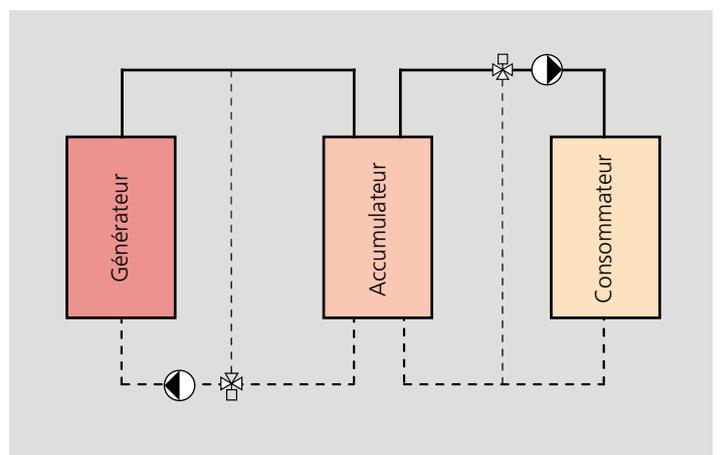
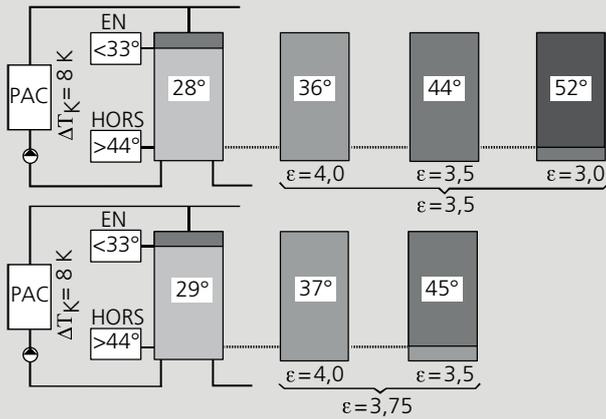
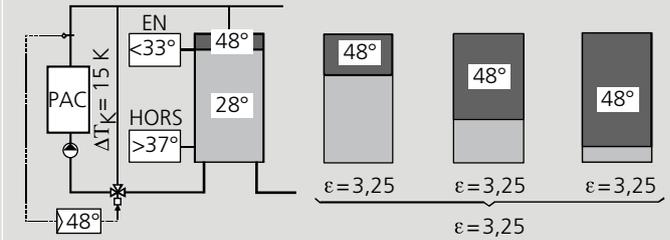


Illustration 6.8: Commande hydraulique pour le chargement par stratification.

Chargement étagé



Chargement par stratification



ϵ = Coefficient de performance de la pompe à chaleur dans les conditions d'exploitation respectives

Remarque: La différence des coefficients de performance pour charge étagée et charge par stratification est moins grande que celle présentée ici, bien qu'il soit tenu compte de la consommation électrique supplémentaire de la pompe.

Description

L'accumulateur est chargé par étapes en plusieurs passages avec des températures de sortie du condenseur croissantes. L'accumulateur ne peut pas être chargé à une température finale exacte. Celle-ci varie selon les différences de température à travers le condenseur.

Avantages

- Température de condensation plus basse
- Moins de frais (pas de régulation de la charge)

Inconvénients

- Température variable de l'accumulateur
- Variations de la température de départ lors du chargement
- Manque de capacité au premier passage
- Plus grande puissance de la pompe du condenseur
- La capacité de l'accumulateur n'est pas utilisée au maximum
- Chargement plus mauvais
- Effet négatif sur l'évaporateur (spécialement au départ!)

Débit du condenseur \dot{V}_k à une puissance de condensation/ chauffage Φ_k

$$\dot{V}_k [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \cdot \Phi_k [\text{kW}] / \Delta T_k [\text{K}]$$

Il faut trouver un compromis:

- Débit le plus grand possible, pour que la température du condenseur soit basse, les variations de température de l'accumulateur faibles et la capacité de l'accumulateur grande.
- Débit le plus faible possible, pour que la puissance de la pompe du condenseur soit petite.

Recommandation pour le dimensionnement de la différence de température du condenseur ΔT_{Cond}

Source de chaleur à peu près constante

- monovalent $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dim}}$
- bivalent-parallèle $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$
- bivalent-alternatif $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$

Source de chaleur fortement variable

- monovalent $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dim}}$
- bivalent-parallèle $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$
- bivalent-alternatif $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$

Température d'enclenchement T_{EN}

Afin de prévenir, du côté utilisation de chaleur, un éventuel «passage à vide» au niveau de la température de retour, T_{EN} doit être au moins aussi élevée que la température de retour maximale. Les pertes de l'accumulateur peuvent entraîner, après une longue interruption, une température de départ trop basse, ce qui normalement ne doit pratiquement rien perturber (exceptions: ventilation sans URT, chauffage de l'eau). En cas de chargement étagé, un manque de réserve temporaire dû à une température de retour trop basse durant le premier passage ne peut pas être évitée.

Température de déclenchement $T_{\text{décl}}$

$T_{\text{décl}} \leq T_{\text{Cond,max}} - \Delta T_{\text{Cond}}$ avec la condition $T_{\text{décl}} > T_{\text{en}}$ (sinon l'eau entre $T_{\text{décl}}$ et T_{en} ne peut pas sortir de l'accumulateur!) Avec l'air extérieur comme source de chaleur, ΔT_{Cond} est très variable. Il faut prendre la plus grosse valeur constatée. Lorsque la condition $T_{\text{décl}} > T_{\text{en}}$ ne peut pas être tenue, le point de déclenchement (et évent. aussi le point d'enclenchement) doit être asservi aux conditions météorologiques.

Description

L'accumulateur est chargé en un passage et de manière stratifiée avec une température de sortie du condenseur constante. La température de consigne du chargement peut être définie avec précision. Cette valeur peut être définie selon les conditions météorologiques.

Avantages

- Maîtrise exacte de la température de l'accumulateur
- Température constante de départ garantie
- Pas de manque de capacité
- Puissance de la pompe du condenseur plus faible
- Utilisation maximale de la capacité de l'accumulateur
- Meilleure stratification
- Pas d'effet négatif sur l'évaporateur

Inconvénients

- Température de condensation plus élevée
- Frais plus élevés (régulation de la charge)
- Efficience moindre

Débit du condenseur \dot{V}_k à une puissance de condensation/ chauffage Φ_k

$$\dot{V}_k [\text{m}^3/\text{h}] = 0,86 \cdot \Phi_k [\text{kW}] / \Delta T_k [\text{K}]$$

Généralement:

- En cas de puissance à peu près constante de la source de chaleur, on peut dimensionner sur la base d'un débit minimal (si réglage selon conditions météo, un débit éventuellement plus élevé peut être utilisé).
- En cas de puissance variable de la source de chaleur, il faut en général partir avec un débit plus élevé.

Recommandation pour le dimensionnement de la différence de température du condenseur donnée ΔT_{Cond}

Source de chaleur à peu près constante

- monovalent $\Delta T_{\text{Cond}} = \Delta T_{\text{dim}}$
- bivalent-parallèle $\Delta T_{\text{Cond}} = \Delta T_{\text{biv}}$
- bivalent-alternatif $\Delta T_{\text{Cond}} = \Delta T_{\text{biv}}$

Source de chaleur fortement variable

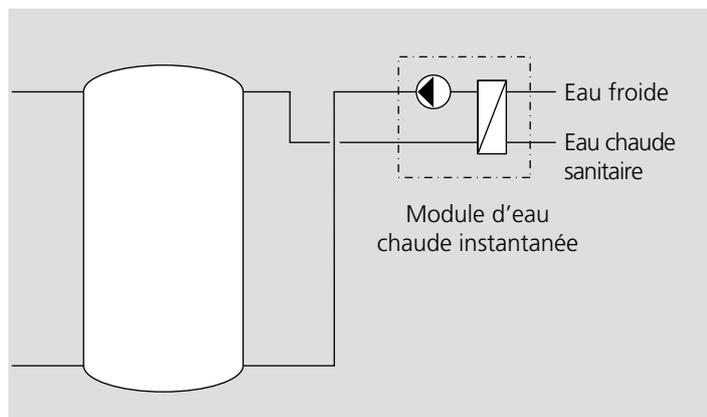
- monovalent $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,5 \cdot \Delta T_{\text{dim}}$
- bivalent-parallèle $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$
- bivalent-alternatif $\Delta T_{\text{Cond}} = 0,7 \cdot \Delta T_{\text{biv}}$

Température de chargement T_{char}

Pour que le déclenchement fonctionne, il s'applique: $T_{\text{char}} > T_{\text{décl}}$

Illustration 6.9
(page de gauche):
Chargement étagé
versus chargement
par stratification
(source: Ravel dans
le domaine de la
chaleur; Pompes à
chaleur, Cahier 3,
1993).

Illustration 6.10:
Module d'eau
propre avec inté-
gration à l'accumu-
lateur. La structure
interne du module
est représentée ici
de façon simplifiée.



présente des avantages essentiellement en matière d'hygiène: on ne stocke quasiment pas d'eau chaude – sauf dans les conduites de distribution. L'eau chaude sanitaire peut ainsi être maintenue à basse température, ce qui est bénéfique pour l'efficacité de la pompe à chaleur.

AVANTAGES

- Basses températures d'eau chaude sanitaire possibles
- Pas d'eau chaude sanitaire stagnante

INCONVÉNIENTS

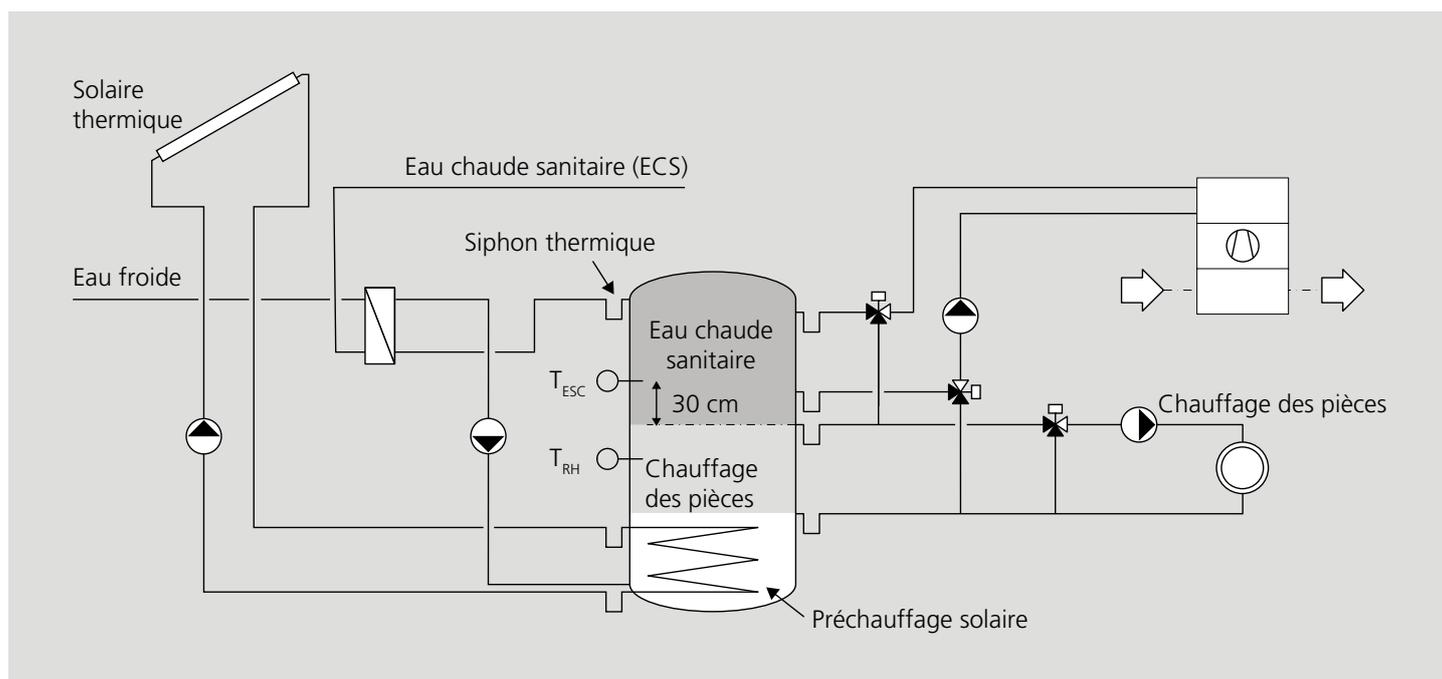
- Pas d'eau chaude sanitaire en cas de panne de courant
- Coûts éventuellement un peu plus élevés

- Attention à l'entartrage
- Indications pour la planification
- Nécessité d'un dimensionnement minutieux selon les besoins réels
- Protection anti-légionellose (thermique, rayonnement UV) en cas de conduites maintenues en température

Indications pour la planification

- Séparation nette des zones pour l'eau chaude sanitaire, l'eau de chauffage et le préchauffage solaire avec des vannes d'inversion dans le départ et le retour
- Siphonner les raccordements
- Respecter les débits volumiques et les vitesses d'écoulement maximums au niveau des raccords de l'accumulateur
- Intervalles de temps recommandés pour la charge d'eau chaude sanitaire (2 fois 2 heures par jour)
- Faire attention au positionnement des sondes
- Priorité eau chaude
- Depuis peu, il existe des solutions contrôlées (accumulateur, système de pompe à chaleur contrôlés) qui garantissent une bonne efficacité des installations d'accumulateur combiné même dans le fonctionnement de la pompe à chaleur.

Illustration 6.11:
Accumulateur
combiné et pompes
à chaleur. Exemple
de schéma de
module d'eau
chaude instantanée.
L'échangeur de cha-
leur à plaques est
reproduit ici avec
une orientation de
montage correcte
(verticale, côté
chaud dessous).



ACCUMULATEUR COMBINÉ

Les accumulateurs combinés sont des accumulateurs qui fournissent aussi bien l'eau de chauffage que la chaleur pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Ils sont intéressants en cas d'intégration de chaleur solaire, mais aussi en raison de leur faible encombrement (par rapport aux solutions à deux accumulateurs séparés). Une attention particulière doit être accordée à l'intégration dans le système global afin de conserver la stratification de la température dans l'accumulateur et que la pompe à chaleur puisse fournir la chaleur en fonction des exigences de température effectives du consommateur. Il faut notamment tenir compte des débits volumiques maximums (maintenant la stratification) lors de la charge et de la décharge, ainsi que des conduites de circulation. Si la stratification de la température est régulièrement perturbée, les besoins en énergie augmentent considérablement.

SYSTÈME HYDRAULIQUE DANS LES INSTALLATIONS DE REFROIDISSEMENT PASSIF

Refroidissement direct (passif) avec des sondes géothermiques: En été, la terre étant plus froide que la température

ambiante, il est possible d'exploiter cette fraîcheur afin de refroidir les pièces de l'immeuble par le biais d'un système de chauffage au sol ou par les murs, ou d'un système à éléments thermoactifs. Cela permet en même temps de régénérer le sol entourant la sonde.

Fonctionnement: Un échangeur de chaleur à plaques est intégré dans le circuit de saumure (illustr. 6.12, freecooling). La température de refroidissement minimum (température du point de rosée) est régulée par un mélangeur à 3 voies et le circulateur est enclenché et déclenché par une sonde de température ambiante. Pour éviter l'eau de suintement (température inférieure au point de rosée) sur les surfaces de refroidissement, il est nécessaire de disposer d'un dispositif de contrôle de la température de départ (minimum 18°C).

Avantages

- Construction simple
- Régénération supplémentaire du terrain
- Frais d'exploitation minimaux
- Efficacité (uniquement l'électricité pour la pompe)

Inconvénients

- Puissance de refroidissement limitée

Lorsque le refroidissement passif n'est pas uniquement considéré comme un surcoût avantageux de l'installation de chauffage, la sonde géothermique doit être dimensionnée à la puissance de refroidissement requise.

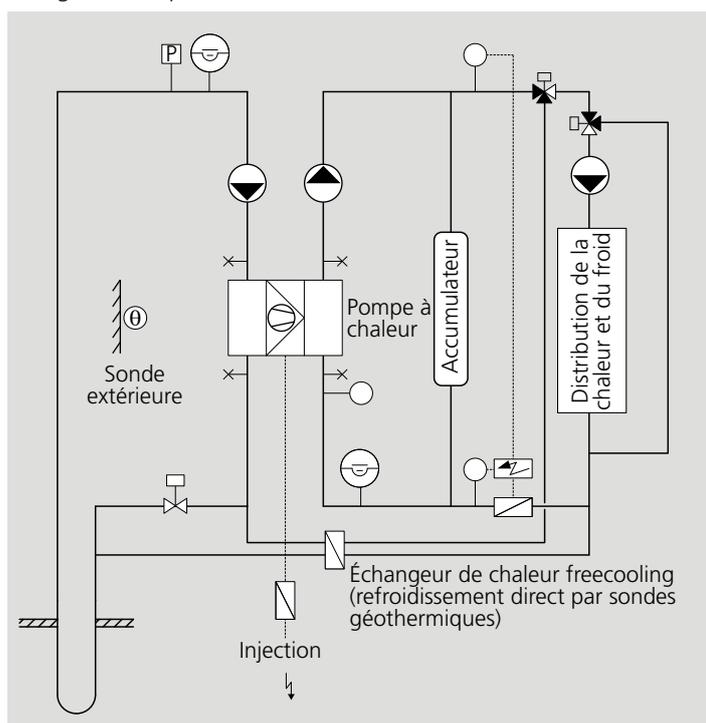
Valeurs indicatives pour les puissances de refroidissement de la restitution de chaleur:

- Sonde géothermique env. 30 W/m

Valeurs indicatives pour les puissances de refroidissement de l'absorption de chaleur:

- Chauffage par les murs env. 50 W/m²
- Chauffage au sol env. 25 W/m²
- Chauffage par plafond (système à éléments thermoactifs) env. 30 à 40 W/m²

Illustration 6.12: Refroidissement direct avec sondes géothermiques.



SYSTÈME HYDRAULIQUE AVEC REFROIDISSEMENT ACTIF

Refroidissement par inversion du cycle dans le circuit de froid

Fonctionnement: En été, la pompe à chaleur peut servir de machine de refroidissement grâce à une vanne d'inversion à 4 voies. L'utilisation d'un accumulateur de froid est nécessaire.

La température de refroidissement minimum: température du point de rosée) est réglée par une vanne de mélange à 3 voies et le circulateur est enclenché et déclenché par une sonde de température ambiante.

Avantages

- Peu coûteux, comme il y a déjà une pompe à chaleur
- Grande puissance de refroidissement
- Régénération supplémentaire du terrain dans le cas de pompes à chaleur saumure-eau

Inconvénients

- Frais d'électricité pour le fonctionnement de la pompe à chaleur
- Un modèle particulier de pompe à chaleur est nécessaire.

Refroidissement par inversion du cycle dans le système hydraulique

Fonctionnement: Des robinetteries de commutation font transiter le circuit de chauffage par l'évaporateur et le circuit de la source de chaleur par le condenseur.

Avantages

- Pompe à chaleur conventionnelle
- Peu coûteux
- Grande puissance de refroidissement
- Régénération supplémentaire du terrain

Inconvénients

- Frais d'électricité pour le fonctionnement de la pompe à chaleur

Indications

À l'instar du refroidissement actif et passif évoqué ci-dessus concernant les sondes géothermiques, les eaux souterraines ou les eaux de surface sont également exploitables à des fins de refroidissement. Attention: respecter les températures et les obligations légales. On propose également de plus en plus des pompes à chaleur air-eau avec possibilité de refroidissement actif par inversion du cycle. L'énergie photovoltaïque convient particulièrement bien à l'entraînement d'une machine frigorifique pour le refroidissement des locaux, la charge et le rendement (rayonnement solaire) intervenant généralement simultanément.

Indications pour la planification

Des vannes thermostatiques spéciales, convenant pour le froid comme pour le chaud, sont nécessaires. Les vannes thermostatiques de chauffage conventionnelles se ferment lorsque les températures ambiantes sont basses.

6.4. CIRCULATEURS

Le dimensionnement des circulateurs dépend des facteurs suivants:

- Point de fonctionnement défini lors du dimensionnement
- Débit volumique
- Perte de charge
- Durée de fonctionnement
- Type de régulation (vitesse)

Point de fonctionnement défini lors du dimensionnement

Le point de fonctionnement choisi est déterminant pour le dimensionnement des circulateurs, c'est-à-dire le débit volumique maximal et minimal requis aux températures prescrites (et le fluide). En cas de points de fonctionnement différents (p. ex. chauffage avec vannes thermostatiques), utiliser si possible des circulateurs à vitesse de rotation variable.

Débit volumique

Le débit volumique est déterminé par le consommateur de chaleur, respectivement le générateur de chaleur (débit volumique minimum). Il est calculé selon la formule:

$$\dot{V} = \frac{\Phi}{\rho \cdot c \cdot (\theta_{VL} - \theta_{RL})}$$

soit:

\dot{V} = débit volumique en m³/s

Φ = puissance thermique en W (J/s)

ρ = densité du fluide en kg/m³

c = capacité thermique spécifique du fluide en J/(kg K)

θ = température du fluide en °C

Pour l'eau, il s'applique env. $c = 4200 \text{ J/(kg K)}$ et $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Perte de charge

La perte de pression dans un circuit est déterminée par la taille (longueur) de ce circuit, le débit volumique de la circulation, les diamètres des conduites et les éléments intégrés dans le circuit. Tous les composants de l'installation susceptibles de provoquer une perte de pression dans le circuit concerné doivent être pris en compte. Les diagrammes de pompe indiquent les différentes hauteurs de refoulement. La formule suivante permet de convertir la perte de pression (Pa) en hauteur de refoulement (m):

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

H = hauteur de refoulement en m

Δp = perte de charge en Pa

ρ = densité du fluide en kg/m³

g = accélération due à la pesanteur en m/s²

Durée de fonctionnement

Les circulateurs ne doivent fonctionner que pendant la période où il faut transporter une puissance thermique (dans la mesure permise par la régulation). Toute durée de fonctionnement inutile du circulateur consomme de l'énergie électrique, réduit l'efficacité

énergétique et augmente les frais. La régulation peut commander les pompes de manière électronique ou au moyen d'un programmateur horaire. Si le système hydraulique le permet, il est possible de réguler le nombre de rotations des circulateurs. De cette manière, la pompe ne fait circuler que le volume strictement requis, de manière à économiser l'énergie et à réduire les coûts énergétiques.

Indications

- Pour contrôler le dimensionnement des pompes de groupe de chauffage, il faut se baser sur une puissance électrique consommée de la pompe dans une plage de 1 % de la puissance de chauffage thermique.
- La perte de charge est réduite au carré de la diminution du débit massique et l'énergie au cube de la diminution du débit massique. Exemple: moitié du débit massique $\rightarrow (1/2)^2 = 1/4$ de perte de pression $\rightarrow (1/2)^3 = 1/8$ de besoins en énergie.

7. ACOUSTIQUE ET PROTECTION CONTRE LE BRUIT

7.1. VALEURS LIMITES LÉGALES

IMMISSIONS DU BRUIT DANS LE VOISINAGE

En Suisse, l'Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) réglemente la détermination et l'évaluation des immissions du bruit en extérieur à l'aide de valeurs limites d'exposition (tabl. 7.1). Les immissions du bruit causées par les pompes à chaleur sont évaluées conformément à l'annexe 6 de l'OPB. Pour les nouvelles installations fixes ou le remplacement des installations existantes (L_r ; voir illustr. 7.1), les valeurs de planification sont déterminantes. Le degré de sensibilité II (DS II) s'applique aux zones où aucune entreprise

gênante n'est autorisée, notamment dans les zones d'habitation ainsi que dans celles réservées à des constructions et installations publiques. Le degré de sensibilité III est valable dans les zones où sont admises des entreprises moyennement gênantes, notamment dans les zones d'habitation et artisanales (OPB → article 43).

Les communes sont compétentes en matière d'affectation des degrés.

Exigences relatives aux pièces dans lesquelles séjournent des personnes, telles que les salles de séjour et chambres à coucher, les bureaux etc.

Les valeurs limites de bruit légales doivent être respectées. Concernant les installa-

Tableau 7.1: Valeurs limites d'exposition pour le bruit de l'industrie et des arts et métiers conformément à l'Ordonnance sur la protection contre le bruit (niveau d'évaluation L_r au lieu d'immission). En font également partie les installations de chauffage, de ventilation et de climatisation.

Degré de sensibilité (DS)	Valeur de planification L_r en dB(A)		Valeur limite d'immission L_r en dB(A)		Valeur d'alarme L_r en dB(A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
I (zone de détente)	50	40	55	45	65	60
II (zone d'habitation)	55	45	60	50	70	65
III (zone mixte)	60	50	65	55	70	65
IV (zone industrielle)	65	55	70	60	75	70

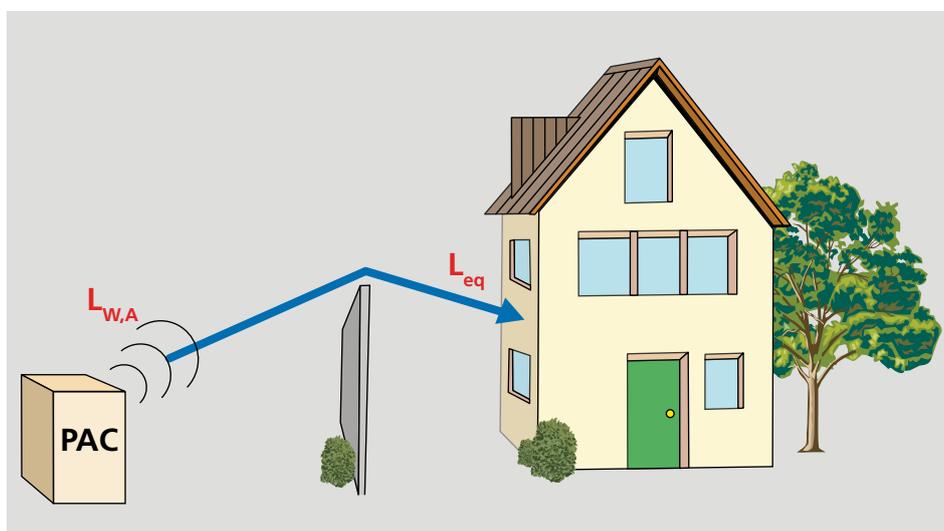


Illustration 7.1: $L_{W,A}$ est l'intensité sonore à la source. L_{eq} est le niveau moyen (niveau de pression acoustique), mesuré dans une fenêtre ouverte. L_r est le niveau d'évaluation (L_{eq} compte tenu des corrections de niveau).

tions techniques, l'OPB se réfère à la norme SIA 181 (tabl. 7.2). Lors d'une installation en extérieur d'une pompe à chaleur air-eau notamment, il est impératif de prendre en compte les bâtiments alentour, ainsi que l'orientation des chambres à coucher et des salles de séjour.

La combinaison de données de mesure acoustiques (niveaux) avec des règles empiriques relatives à la gêne causée par des bruits spécifiques (corrections) permet de définir des critères d'évaluation de situations de bruit, qui décrivent de manière appropriée la réaction moyenne. Il en résulte une grandeur appelée niveau d'évaluation L_{eq} . Dans le cadre de la procédure d'autorisation, le certificat de protection contre le bruit pour les pompes à chaleur air-eau de Cercle Bruit, le groupement des responsables cantonaux de protection contre le bruit, revêt une importance particulière. Les pompes à chaleur saumure-eau et eau-eau ne posent généralement pas de problème en matière d'émissions de bruit extérieur. Le certificat suit le principe de précaution selon lequel les émissions doivent être limitées dans la mesure du possible. Les mesures suivantes sont prises en compte:

- Choix d'une installation dotée d'un faible niveau sonore $L_{w,A}$
- Lieu d'installation du ou des composants bruyants de l'installation
- Isolation phonique de tout type
- Éventuelles directives opérationnelles

Tableau 7.2: Exigences minimales posées à la protection contre les bruits des installations techniques dans le bâtiment (norme SIA 181).

Type de bruit côté émission (local d'émission)	Bruits isolés		Bruits permanents
	Bruits liés au fonctionnement	Bruits liés à l'utilisation	Bruits liés au fonctionnement ou à l'utilisation
Sensibilité au bruit	Valeurs exigées L_{eq}		
faible	38 dB(A)	43 dB(A)	33 dB(A)
moyenne	33 dB(A)	38 dB(A)	28 dB(A)
élevée	28 dB(A)	33 dB(A)	25 dB(A)
Remarques concernant le tableau: Exigences plus élevées pour la protection contre les bruits des installations techniques dans le bâtiment. Il s'applique des valeurs réduites de 3 dB(A). 25 dB(A) représentant la valeur la plus faible.			

À partir des données d'émission sonore de l'appareil (du niveau sonore $L_{w,A}$), le niveau d'évaluation est déterminé en tenant compte des mesures susmentionnées et est comparé à la valeur de planification déterminante (tableau 7.1). Le lieu d'installation de la pompe à chaleur (ou de ses composants bruyants) représente également un facteur d'influence important: d'un côté, une plus grande distance réduit les effets sonores au niveau du site sensible au bruit, d'un autre côté la situation de l'installation influence sensiblement la répartition du bruit du fait de la directionalité (illustr. 7.2). Le choix du lieu d'installation optimal doit donc être soigneusement étudié bien en amont.

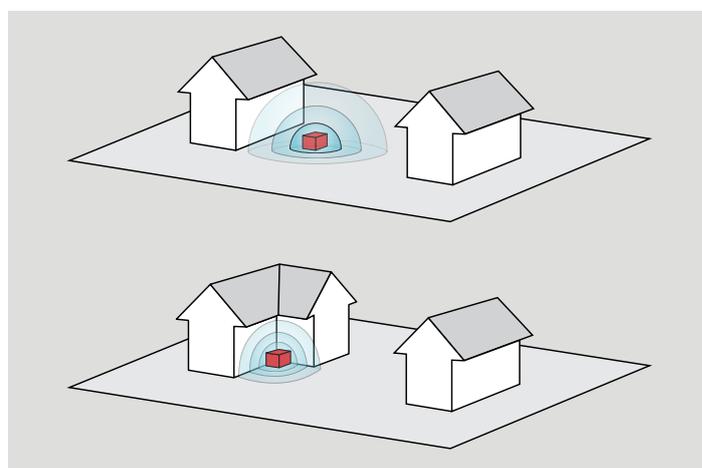
7.2. RÉDUCTION DU BRUIT

Lors de la planification d'installations de pompe à chaleur, une évaluation soignée des émissions sonores est nécessaire. Lorsque les mesures de réduction du bruit sont prises en compte très tôt dans le processus de développement, les coûts supplémentaires qui en résultent peuvent être réduits à un minimum. À l'inverse, des mesures mises en œuvre ultérieurement impliquent souvent une dépense supplémentaire extrêmement élevée et exigent beaucoup d'efforts.

CAUSES DU BRUIT

Dans les installations de pompe à chaleur air-eau, le bruit perceptible dans le voisinage est, dans la plupart des cas, causé par le ventilateur. L'ouverture d'amenée d'air di-

Illustration 7.2: La valeur L_{eq} dépend notamment du lieu de placement de la pompe à chaleur, la directionalité, dans la situation du dessus, entraîne une augmentation +3 dB(A) du niveau; dans la situation d'angle, en bas, une augmentation de +9 dB(A) (source: Cercle Bruit).



rectement raccordée au ventilateur émet nettement plus de bruit que l'ouverture d'amenée d'air côté évaporateur. Malgré l'importance en général prédominante du bruit du ventilateur, il ne faut toutefois pas négliger les autres sources de bruit, telles que les émissions sonores du compresseur, les bruits d'écoulement, la régulation du balaourd, les bruits électriques et les bruits de commutation lors du dégivrage.

ÉMISSIONS SONORES

Bruit aérien: Il convient de prévoir une carrosserie insonorisante de la pompe à chaleur ou, dans le cas de grandes installations, une isolation sonore ou un revêtement insonorisant de la pièce. On peut éventuellement envisager l'intégration d'atténuateurs lamellaires pour les ouvertures d'entrée et de sortie de l'air.

Bruit solidien: Une utilisation importante de raccords flexibles (tuyaux, compensateurs, manchettes élastiques, connexions électriques flexibles) permet d'empêcher les bruits solidiens. Pour réduire les vibrations de la pompe à chaleur, il convient d'utiliser des amortisseurs de vibrations disposés entre la pompe à chaleur et le socle de celle-ci, ou entre le socle de la pompe à chaleur et le sol en béton.

RÉPARTITION DU BRUIT

Le soin porté à l'installation de la pompe à chaleur est également primordial. La disposition de la pompe à chaleur dans un conduit de descente du linge, disposé entre

les chambres à coucher et la buanderie, ne permet pas d'offrir une isolation suffisante. De même, les conduites de raccordement (source de chaleur, distributeur de chaleur et câbles électriques) doivent être flexibles et être montées séparément du corps de la construction (fixations insonorisantes).

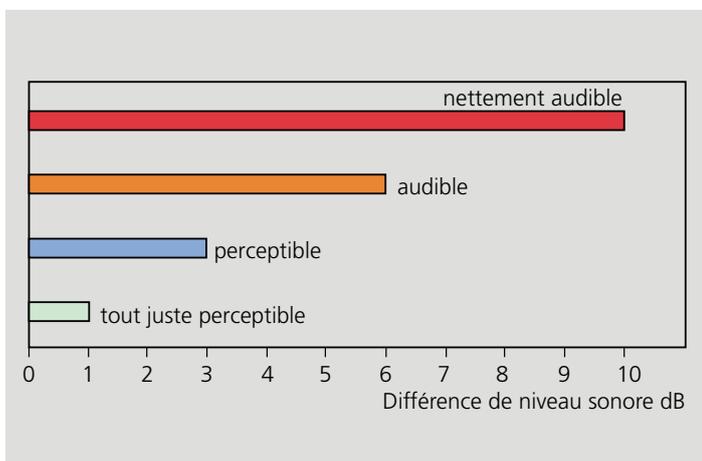
MESURES DE RÉDUCTION DU BRUIT

Toutes les mesures de réduction du bruit présentées dans l'illustration 7.4 doivent être prises en compte lors de la planification et de la réalisation. Comme le montre l'illus-

Tabelle 7.3: Valeurs typiques pour la pression acoustique que l'ouïe peut percevoir sur une plage extrêmement grande.

Niveau sonore	Pression acoustique	Exemple de source de bruit
170 dB		Fusil d'assaut
160 dB	2 000 000 000 µPa (2 kPa)	Pistolet 9 mm
150 dB		Cloueuse
140 dB	200 000 000 µPa (200 Pa)	Avion à réaction (banc d'essai)
130 dB		
120 dB	20 000 000 µPa (20 Pa)	Seuil de douleur
110 dB		
100 dB	2 000 000 µPa (2 Pa)	Marteau-piqueur
90 dB		Discothèque
80 dB	200 000 µPa (200 mPa)	Chaîne de montage
70 dB		Trafic routier
60 dB	20 000 µPa (20 mPa)	Conversation
50 dB		Bureau
40 dB	2 000 µPa (2 mPa)	Séjour
30 dB		Salle de lecture
20 dB	200 µPa	Chambre à coucher
10 dB		Studio radiophonique
0 dB	20 µPa	Seuil d'audibilité

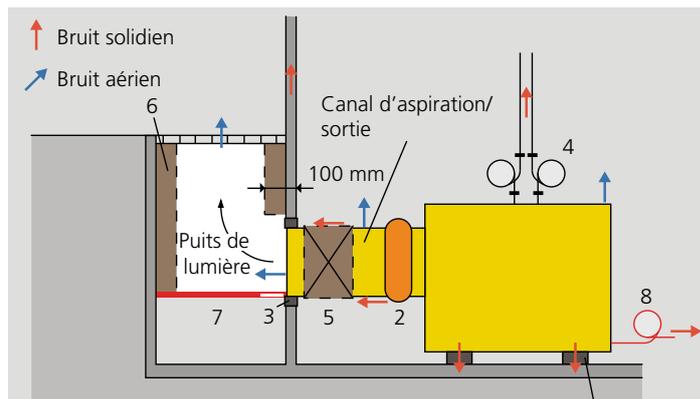
Illustration 7.3: Il faut une modification de dB à 10 dB pour percevoir un bruit, c'est-à-dire la différence audible de l'augmentation du niveau sonore. La plus petite modification audible est d'env. 1 db; à partir de 3 dB (nettement audible) elle est perceptible.



tration 7.5, on distingue le bruit solidien du bruit aérien. En général, on ramène facilement le bruit solidien sous les valeurs limites avec un socle d'appareil adapté et des amortisseurs de vibrations bien dimensionnés. En ce qui concerne le bruit aérien, les composants de l'installation, tels que les ventilateurs et les compresseurs par exemple, doivent être dimensionnés ou sélectionnés en fonction des valeurs souhaitées. Dans les bâtiments, c'est surtout la nuit que le bruit aérien peut poser problème (tabl. 7.4).

L'illustration 7.6 est une liste de contrôle des mesures de réduction du bruit.

Une planification minutieuse avec l'acousticien et le fournisseur de l'appareil permet généralement de ramener les émissions sonores sous la valeur de consigne souhaitée sans surcoût important.



- 1: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et le sol de la cave
- 2: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et le canal d'air (le soufflet ne doit pas être étiré)
- 3: Séparation des bruits solidiens entre le canal d'air et le bâtiment
- 4: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et les conduites de chauffage
- 5: Amortisseur de bruit à absorption dans les canaux d'air lors d'exigences plus élevées
- 6: Chicane avec chemisage absorbant
- 7: Amortisseur de bruit pour les basses fréquences lors d'exigences plus élevées (amortisseur de bruit à résonance)
- 8: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et les raccords électriques

Illustration 7.4: Mesures de réduction du bruit (source: «Isolation acoustique lors de l'installation de pompes à chaleur», éditeur GSP).

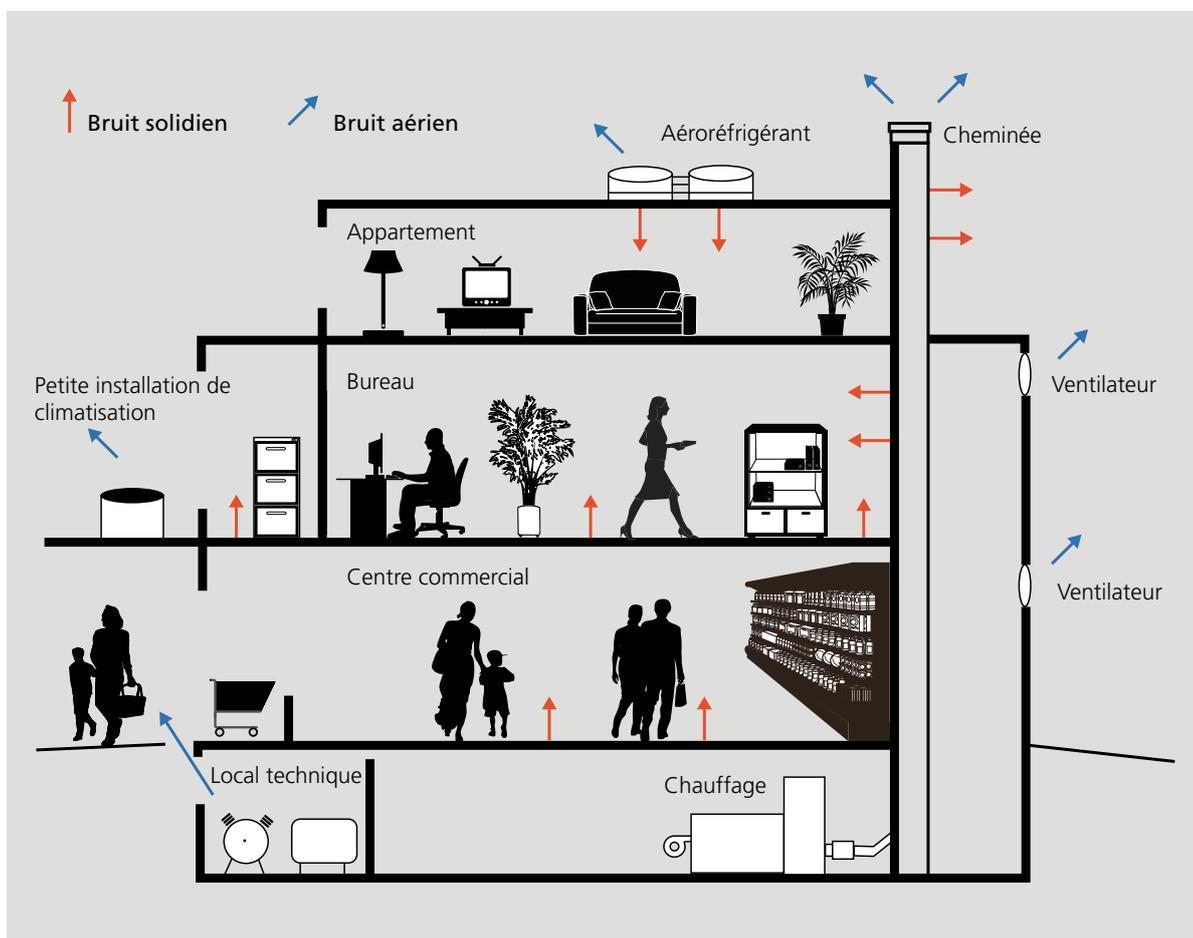


Illustration 7.5: Bruit solidien et bruit aérien à l'exemple d'un bâtiment d'habitation et d'un bâtiment commercial équipés d'installations techniques (source: Merkblatt Lärm-begrenzung bei Haustechnik-anlagen, Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt).

Sources	Voies de transmission	Solutions possibles
Pompes à chaleur Machines frigorifiques (placement intérieur/unité intérieure appareils split)	<ul style="list-style-type: none"> • Bruit solidien des compresseurs: par les fondations, conduites de chauffage et câbles électriques • Bruit aérien des ventilateurs: par les ouvertures d'aspiration et d'évacuation d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir des appareils plus silencieux • Optimiser l'emplacement • Amortisseur de bruit • Isolation phonique des canaux d'air • Passage des conduites (déviation) • Boîtier, carrosserie, répartition des espaces • Socle, roulements élastiques
Pompes à chaleur Machines frigorifiques (placement à l'extérieur)	<ul style="list-style-type: none"> • Bruit aérien des compresseurs et ventilateurs: par les ouvertures d'aspiration et d'évacuation d'air, resp. les boîtiers • Bruit solidien des compresseurs: par les conduites de chauffage 	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir des appareils plus silencieux • Optimiser l'emplacement • Éléments d'isolation phonique élastiques sous la pompe à chaleur • Séparation du socle et des fondations du bâtiment
Condenseur/ évaporateur refroidis à l'air (unité extérieure, appareils split)	<ul style="list-style-type: none"> • Bruit aérien des ventilateurs • Bruit solidien des compresseurs: par les conduites de fluide frigorigène 	<ul style="list-style-type: none"> • Montage et passage des conduites de chauffage et de fluide frigorigène • Encapsulation partielle ou complète • Blocage des régimes supérieurs (mode silencieux)

Tableau 7.1: Bruit et réduction du bruit dans les installations de pompe à chaleur – sources et solutions.

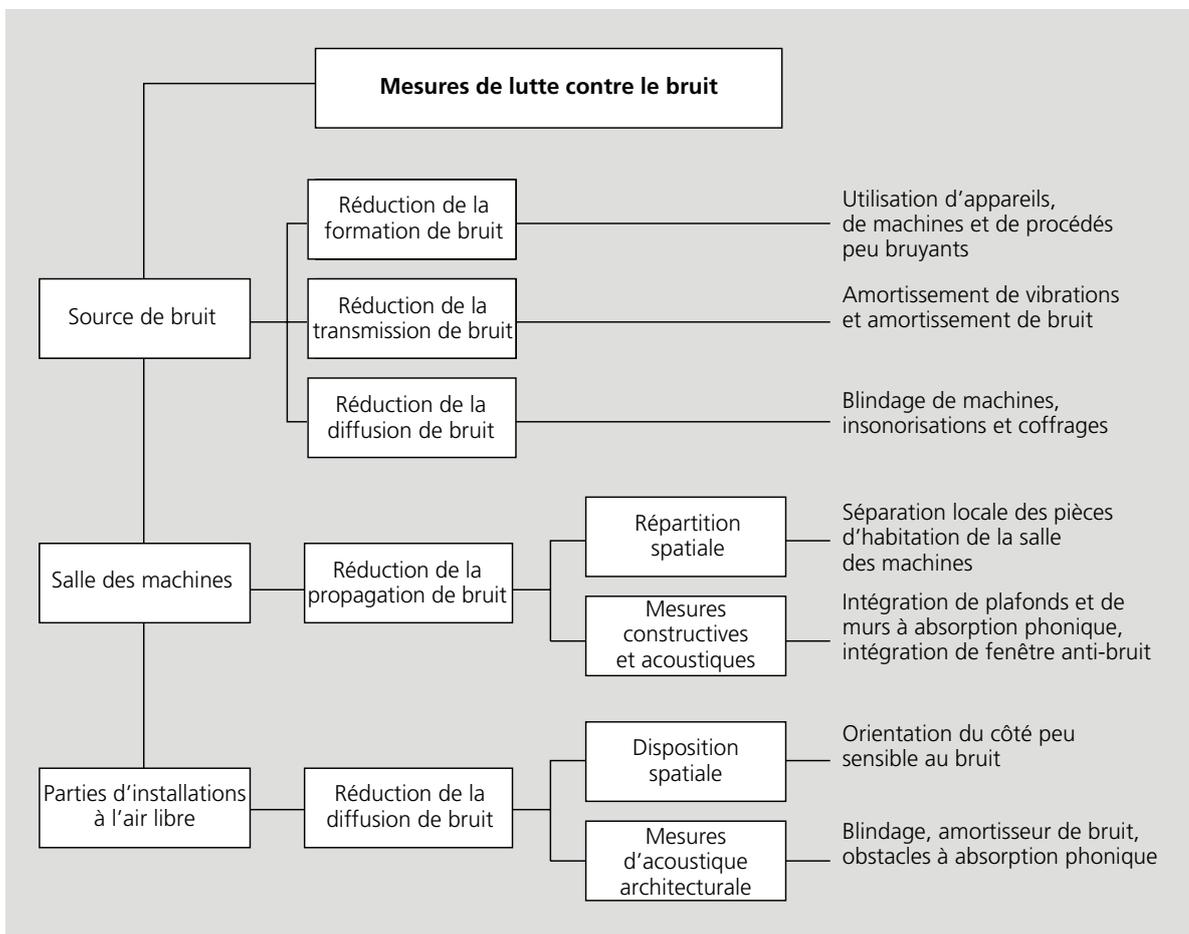


Illustration 7.6: Mesures de réduction du bruit (source: Merkblatt Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen, Kantone Basel-Landschaft und Basel-Stadt).

8. PLANIFICATION

8.1. LABEL DE QUALITÉ GSP/EHPA

Le label de qualité pour les pompes à chaleur de l'Association européenne pour les pompes à chaleur (EHPA) et du Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP) s'est imposé, depuis des années, comme un gage de qualité pour les pompes à chaleur pour le chauffage. Il distingue les appareils particulièrement efficaces sur le plan énergétique des fabricants répondant aux exigences de qualité en matière de documents de planification et de prestations de service. Le label de qualité se base sur le plan énergétique sur les valeurs COP et, depuis peu, SCOP de l'appareil. Il s'applique aux pompes à chaleur électriques, fabriquées en série jusqu'à une puissance de chauffage de 400 kW.

8.2. PAC SYSTÈME-MODULE (PAC-SM)

L'intégration des pompes à chaleur dans un système global étant déterminante pour leur fonctionnement optimal, de la production de chaleur au dégagement de chaleur vers la pièce, en passant par le stockage et la distribution, le Groupement professionnel suisse (GSP), ImmoClimat Suisse (ICS), Suissetec et «Die Planer» ont développé et lancé conjointement et avec le soutien de SuisseEnergie le PAC système-module. L'accent est mis sur l'efficacité énergétique et la sécurité de fonctionnement de l'ensemble de l'installation, mais l'objectif est également une at-

tribution claire des responsabilités. Pour l'évaluation énergétique de l'appareil, le PAC système-module s'appuie sur le label de qualité GSP/EHPA, mais exige également des valeurs COP particulièrement bonnes pour la production d'eau chaude. Les principales prescriptions du PAC système-module sont les suivantes:

- Dans les nouvelles constructions, le calcul de la puissance de chauffage doit être effectué conformément à la norme SIA 384/1, la puissance de chauffage normalisée selon la norme SIA 384/201. Le supplément pour la production d'eau chaude sanitaire doit dépendre de la norme SIA 384/1.
- Dans les rénovations, la puissance de chauffage doit être déterminée en fonction de la consommation antérieure. Il existe un outil de calcul.
- Lorsque des sondes géothermiques représentent la source de chaleur, elles doivent être dimensionnées selon la norme SIA 384/6.
- Certificat de protection contre le bruit selon Cercle Bruit et les cantons, exigences selon l'Ordonnance sur la protection contre le bruit.
- Des raccords hydrauliques éprouvés sont prescrits pour l'intégration hydraulique.
- Circulateurs: de type à rotor noyé; doivent être conformes à l'Ordonnance sur l'énergie, ce qui implique un indice d'efficacité énergétique IEE de 0,23 au maximum (version 2018).

Type de pompe à chaleur	Air-eau	Saumure-eau	Eau-eau
Valeurs COP minimales, correspondant au label de qualité PAC	3,1 à A2/W35	4,3 à B0/W35	5,1 à W10/W35
	1,7 à A-7/W55 2,6 à A7/W55	2,5 à B0/W55	3,3 à W10/W55
Températures de départ minimales atteignables	55 °C à A-7 °C	60 °C à B0	60 °C à W10

Tableau 8.1: Exigences minimales posées au COP dans le module système de pompes à chaleur. État janvier 2018. A: Température de l'air extérieur; B: Température de la saumure; W: Température de l'eau

- Les pompes à chaleur sont certifiées selon le règlement du label de qualité EHPA.
- Fabricant ou fournisseur proposant un service après-vente en Suisse
- Choisir des entreprises de forage présentant le certificat de qualité pour les entreprises de forage.
- Efficacité énergétique de la pompe à chaleur selon le tableau 8.1
- Mise en service et contrôle ultérieur selon le cahier des charges du PAC système-module

Le PAC système-module est applicable aux installations jusqu'à une puissance de chauffage de 15 kW. Les installations peuvent être certifiées avec ou sans production d'eau chaude sanitaire et avec appoint solaire optionnel pour la production d'eau chaude sanitaire. La plupart des cantons et autres organismes de promotion conditionnent les contributions financières au remplacement de chauffages à énergie fossile ou électriques directs par des pompes à chaleur du PAC système-module. Pour plus d'informations: www.pac-systeme-module.ch

8.3. PACesti

PACesti est l'outil de calcul le plus fréquemment utilisé pour la planification des installations de pompe à chaleur. Il sert à calculer le coefficient de performance annuel des pompes à chaleur, les valeurs calculées seront directement utilisables pour les justificatifs Minergie. PACesti est basé sur Excel et est disponible gratuitement sur Internet. Il dispose d'une base de données intégrée dotée des caractéristiques des pompes à chaleur courantes. Les utilisateurs de PACesti ont recours aux justificatifs énergétiques et reprennent les données relatives à la station météorologique, la catégorie de l'ouvrage, la surface de référence énergétique, aux besoins de chaleur pour le chauffage et aux déperditions de chaleur dues à la transmission et à l'aération. Si le produit ne figure pas dans la base de données des pompes à chaleur, le planificateur s'adresse au WPZ (centre de test pour les pompes à chaleur) ou au fabricant ou au fournisseur de l'appareil pour obtenir les valeurs. Les tempé-

tures du système de l'installation de pompe à chaleur, notamment les températures de départ et de retour, sont très importantes pour le calcul du COPA. La température de départ est primordiale pour les locaux exposés. Le planificateur du chauffage fournit les valeurs pertinentes. L'outil de calcul PACesti facilite la comparaison des différentes variantes d'installations, par exemple avec l'air et le sol comme source de chaleur. Pour télécharger PACesti: www.endk.ch → Professionnels → Outils

8.4. AIDES À L'ÉTUDE DU PROJET

Les normes reflètent l'état actuel de la technique, leur application offre la garantie d'une mise en œuvre appropriée des installations de pompe à chaleur efficaces. Cependant, la plupart du temps, il existe des réglementations complexes qui ne sont guère étudiées au quotidien. Le Groupement professionnel suisse (GSP), ImmoClimat Suisse (ICS), et l'Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment (Suissetec) ont donc établi des notices techniques sur de nombreux aspects des installations de pompe à chaleur. Celles-ci délivrent des instructions de planification et d'installation sous une forme compacte et facilement compréhensible, aident à réaliser les calculs et proposent des listes de contrôle sur une sélection de thèmes. Ces notices techniques sont disponibles sur les sites Internet de chacune de ces associations et représentent de précieux documents de travail. D'autres outils d'aide sont le programme de calcul PACesti évoqué ci-dessus, le «Calculateur de bruit» du GSP (www.fws.ch/fr/nos-services/cercle-bruit/) ainsi que les directives et les aides à l'exécution de la Confédération (OFEN/OFEV) et des cantons ainsi que de Cercle Bruit.

8.5. APPROVISIONNEMENT EN ÉLECTRICITÉ

Dans le cas des pompes à chaleur, des moteurs électriques relativement grands sont utilisés pour l'approvisionnement en électricité d'installations domestiques. Dans les

réseaux de conception fragile, leur démarrage peut engendrer des chutes de tension. C'est pourquoi les pompes à chaleur sont sujettes à autorisation. Étant donné que chaque fournisseur d'électricité est responsable de son réseau, il convient de prendre connaissance à l'avance des clauses de raccordement propres à l'exploitant du réseau compétent.

RACCORDEMENT ET AUTORISATIONS

Selon le fournisseur d'énergie et la puissance disponible ou le tarif, un cahier des charges est imposé à l'exploitant de la pompe à chaleur, relatif par exemple aux délestages ou limitations de puissance imposés pendant un laps de temps pouvant durer jusqu'à plusieurs heures en période de pointe, à une limitation du courant de démarrage, au nombre d'activations par heure etc. Dans les installations de grande taille, il peut également s'avérer économique pour l'exploitant d'équiper la pompe à chaleur d'un dispositif de compensation du courant réactif. En effet, en présence d'un facteur de puissance trop bas (généralement pour un $\cos-\phi$ inférieur à 0,92), bon nombre de fournisseurs d'énergie facturent en supplément la puissance réactive correspondante. Il est également possible de choisir une conduite électrique plus petite et ainsi moins coûteuse. Les informations tarifaires (dans le meilleur des cas un tarif spécial pompes à chaleur), accompagnées des tableaux de délestage et des formulaires de demande, peuvent être obtenues auprès du fournisseur d'électricité compétent.

Dans le cas des grandes installations, il est également recommandé de raccorder les pompes à chaleur et les machines frigorifiques directement à la distribution principale. En cas d'alimentation de secours, les compresseurs ne sont pas obligatoirement alimentés par les groupes électrogènes diesel, en l'absence du raccordement d'appareils sensibles qui doivent toujours être chauffés ou refroidis.

LIMITATION DU COURANT DE DÉMARRAGE

La plupart des exploitants du réseau exigent, à partir d'une puissance de moteur donnée (la plupart du temps à partir de 3 kW), une limitation du courant de démarrage. Voici quelques exemples de réduction du courant de démarrage:

- Démarreur à résistances (pour petits compresseurs)
- Démarreur progressif (intégré de série dans la plupart des petites pompes à chaleur)
- Convertisseur de fréquence: respecter la classe selon le type d'utilisation (habitations, industrie, artisanat) et les directives CEM (filtre, détendeur, pose des câbles). (CEM: compatibilité électromagnétique)
- Démarrage sur fraction d'enroulement (enroulement standard dans les compresseurs semi-hermétiques à partir d'une puissance moteur de 3 kW env.)
- Démarrage étoile-triangle (pour les compresseurs ouverts et les très gros compresseurs semi-hermétiques)
- Dans le cas des installations combinées (systèmes à plusieurs compresseurs), il convient de toujours choisir un démarrage échelonné des différents compresseurs.

Ces types de démarrages ou des combinaisons de ceux-ci permettent en général de satisfaire aux exigences des fournisseurs d'électricité. Les différences de tarifs peuvent être conséquentes, notamment pour les grandes installations.

8.6. CENTRALE DE CHAUFFE

Les exigences relatives à la centrale de chauffe, en ce qui concerne son lieu d'implantation, les dispositifs de sécurité, l'aération etc., peuvent s'avérer extrêmement complexes, notamment dans le cas de grandes installations et d'installations bivalentes.

INSTALLATION ET ACCESSIBILITÉ

- La pièce dans laquelle est installée une petite pompe à chaleur ayant une puissance de chauffe inférieure à 20 kW peut la plupart du temps faire l'objet d'une planifi-

cation identique à celle d'une chaufferie traditionnelle. En cas d'utilisation de fluides frigorigènes combustibles, la carrosserie de la pompe à chaleur ou la pièce d'installation doit être ventilée vers l'extérieur (respecter les prescriptions de la police du feu).

- Lorsque l'on souhaite installer une pompe à chaleur air-eau à l'intérieur d'une maison, une évacuation du condensat doit toujours être prévue (condensat de l'évaporateur).
- Seule une installation facile d'accès peut être correctement entretenue. Les indications du fabricant à ce sujet doivent être impérativement respectées.

SÉCURITÉ

- La protection des personnes représente un thème de première importance. Les fluides frigorigènes aujourd'hui disponibles sur le marché sont, pour certains, toxiques ou combustibles. Selon la configuration de l'installation, il peut être nécessaire de convenir avec les autorités locales de la présence d'extincteurs, de dispositifs et équipements destinés à la protection des personnes, d'issues de secours, de secteurs coupe-feu etc., ainsi que, dans certains cas, de réaliser une analyse des risques.
- Toutes les installations doivent être protégées contre des pressions du système trop élevées. Selon le type d'installation et la taille de celle-ci, les événements des soupapes de sécurité doivent mener directement à l'air libre ou dans un collecteur spécial; il convient à ce sujet de respecter les prescriptions et réglementations en vigueur.
- Les prescriptions et réglementations en vigueur indiquent si l'aération de la pièce dans laquelle est installée la pompe à chaleur doit être conçue en prévention de risques éventuels pour les personnes ou l'environnement, et de quelle manière. SN EN 378, EKAS, SUVA, AEAI, voir chapitres 1.3 et 1.4). En cas de doute, contacter les autorités locales.

CONDITIONS TECHNIQUES

- Il convient de prendre en compte la protection contre le bruit et en particulier le bruit solidien lors de la planification et de

l'installation. La situation géographique doit être étudiée dès la planification par les architectes ou les maîtres d'ouvrage, en tenant compte des espaces critiques en termes de bruit (chambre à coucher, bureau etc.) et des propriétés voisines (chap. 7).

- Dans le cas d'installations bivalentes avec des chaudières, il convient de veiller, lors de l'aération de la pièce, que l'aération de la pompe à chaleur n'exerce aucune influence sur l'arrivée d'air de combustion du système de chauffage à mazout, à gaz ou à bois.

8.7. RENTABILITÉ

REMARQUES GÉNÉRALES

La rentabilité d'installations énergétiques dépend des facteurs d'influence traditionnels: coûts de capital (amortissement et intérêts des coûts d'appareillage et d'installation), coûts énergétiques (p. ex. courant pour la pompe à chaleur), coûts d'utilisation et de maintenance. Les grandeurs suivantes sont déterminantes lors du calcul de rentabilité:

- **Coûts d'investissement:** Les coûts d'investissement comprennent toutes les dépenses nécessaires à la réalisation d'une installation, par exemple également accès à la source de chaleur.
- **Coûts d'exploitation:** Les coûts d'exploitation des systèmes énergétiques comprennent les coûts de l'énergie, de maintenance, de manutention et d'entretien.
- **Durée d'utilisation et période d'observation:** La durée d'utilisation désigne la durée effective à laquelle on peut s'attendre entre la mise en service et le remplacement de l'installation.
- **Taux d'intérêts calculé:** Le taux d'intérêts calculé est la grandeur la plus importante dans les calculs de rentabilité. Il doit correspondre au taux d'intérêt en vigueur sur le marché pour l'intérêt du capital investi dans l'installation.
- **Renchérissment:** Le renchérissement indique l'évolution des prix au cours du temps, p. ex. coûts de l'énergie
- **Coûts externes:** Pour les coûts externes (y c. les coûts environnementaux ou l'aug-

mentation prévue du coût de l'énergie (KEPZ), les valeurs doivent être choisies en fonction des dernières découvertes scientifiques disponibles ou de valeurs approuvées par les autorités fédérales.

- **Comparaison entre les différentes offres de pompes à chaleur:** Lors de la comparaison entre les différentes offres de pompes à chaleur, il convient de prendre en considération les critères suivants.

COÛTS

- Coûts d'investissement
- Coûts de maintenance
- Coûts d'exploitation

VOLUME DE LIVRAISON

- Intégralité
- Interfaces (choix et adéquation)
- Coûts relatifs à la construction
- Durée et conditions de la garantie, évent. avec réception en usine
- Intégration
- Fonctionnalité

PRESTATIONS

- Fonctionnalité
- Coefficient de performance annuel (COPA) à des conditions-cadres définies
- Coefficient de performance (COP) à 3 ou 4 conditions différentes, relatif à l'exploitation en pleine charge ou en charge partielle, resp. SCOP. La même chose s'applique au cas de refroidissement avec l'indice Energy Efficiency Ratio (EER).
- Puissance de chauffe et de refroidissement
- Limites d'utilisation

Dans les installations de plus grande taille, en plus:

- Perte de charge des échangeurs de chaleur
- Caractéristique TEWI (chap. 3.3)

QUALITÉ

- Label de qualité ou pompe à chaleur Système-Module
- Service du fournisseur (365 jours, 24 heures sur 24)

- Disponibilité des pièces de rechange
- Assurance-qualité du système
- Références

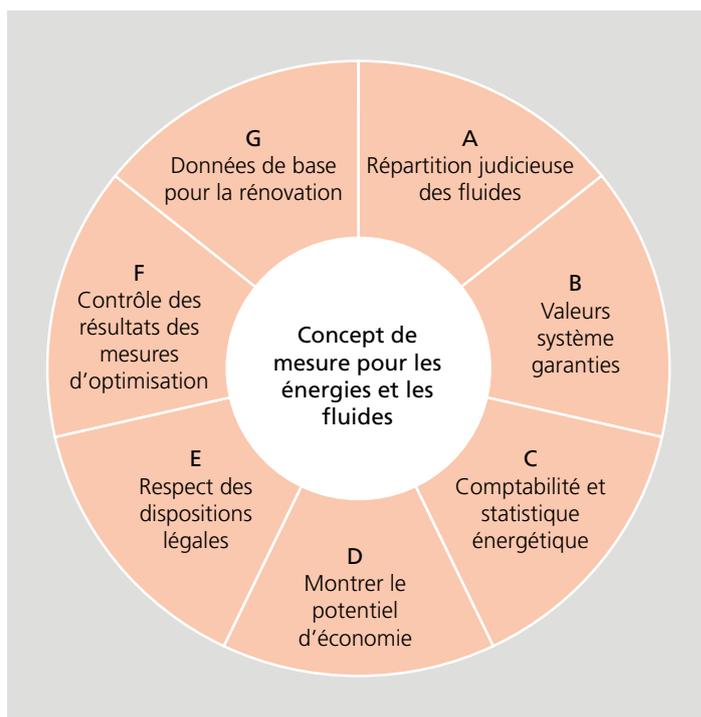
Indications

- Les installations énergétiques et leurs composants ont une longue durée de vie (10 à 40 ans). L'évolution des intérêts et de l'inflation, en particulier pour les prix de l'énergie, n'est pas prévisible sur une période aussi longue. Il est donc toujours intéressant de procéder à une analyse de la sensibilité (comparaison des résultats de différentes hypothèses).
- Pour les agents énergétiques raccordés par câble, outre les données basées sur la quantité, il convient éventuellement de tenir compte également des contributions du réseau, des prix de base et des prix de la puissance.

8.8. CONTRÔLE DES RÉSULTATS

Les pompes à chaleur sont particulièrement sensibles aux changements de conditions lors du fonctionnement. Le contrôle des résultats est un instrument important pour mettre en œuvre une production de chaleur et de froid sans dysfonctionnement et effi-

Illustration 8.1: Concept de mesure pour les énergies et les fluides selon SICC 98-1.



ciente sur le plan énergétique. Avec des installations fonctionnant bien en principe, une mise en œuvre cohérente permet, généralement, de réaliser des économies de 10 à 15 %. Pour réaliser un contrôle des résultats, il est impératif de définir un concept de mesure dès la planification de l'installation de pompe à chaleur. Le choix des limites du système représente un critère important à cet égard (chap. 1.2). Seule une connaissance préalable du processus et de l'instrumentation nécessaires permettra de réaliser plus tard un contrôle des résultats correct. Une planification prospective tient également compte de la possibilité d'une instrumentation ultérieure, par exemple par l'installation de raccords et de robinets d'arrêt.

CONCEPT DE MESURE

La gestion de l'énergie et les optimisations d'exploitation reposent sur la mise en œuvre d'un concept de mesure efficace et clairement défini. Celui-ci comprend les éléments indiqués sur l'illustr. 8.1, conformément à la directive SICC 98-1.

Les objectifs à atteindre sont les suivants:

A Le concept de mesure donne lieu à une structure judicieuse de la répartition des fluides. Des mesures peuvent être intégrées en permanence ou pour une courte période (mesure temporaire). Des mesures doivent également être ajoutées ultérieurement à un prix avantageux. Des mesures doivent être prises en conséquence. Exemple: installation d'un raccord pour compteur d'énergie.

B Le concept de mesure montre l'installation de dispositifs de mesure nécessaires pour la vérification de valeurs de système garanties. Exemples: COPA pour les pompes à chaleur, ESEER pour les machines frigorifiques

C Le concept de mesure prévoit l'intégration de dispositifs de mesure pour la réalisation de la comptabilité et de statistiques relatives à l'énergie.

D Le concept de mesure permet l'insertion de dispositifs de mesure pour identifier le potentiel d'économie d'énergie. Les mesures d'optimisation de l'exploitation en découlent ensuite.

E Le concept de mesure permet l'intégration de dispositifs de mesure pour le décompte des frais supplémentaires en fonction de la consommation. D'un côté, cela permet de respecter les dispositions légales, d'un autre côté les souhaits des maîtres d'ouvrage ou des locataires sont ainsi satisfaits.

F Le concept de mesure permet l'installation de dispositifs de mesure pour le contrôle des résultats par le biais des mesures d'optimisation de l'exploitation mises en œuvre.

G Le concept de mesure permet le montage de dispositifs de mesure dont les résultats de mesure servent de base pour la planification et la réalisation du renouvellement ou du remplacement des installations.

FONCTIONS

Un concept de mesure clairement défini et l'évaluation des mesures relatives aux énergies et aux fluides permet de satisfaire les principales fonctions suivantes:

- Identifier des indices énergétiques pertinents pour la vérification des données de planification et le contrôle des valeurs de garantie.
- Fournir des données pour l'optimisation énergétique de l'exploitation (OE). Des potentiels énergétiques sont ainsi localisés et les bases pour les mesures d'optimisation de l'exploitation sont définies.
- Permettre la reconnaissance (précoce) des dysfonctionnements.
- Fournir des bases pour réaliser des pronostics de consommation et établir un budget.
- Assurer le respect des prescriptions légales, comme p. ex. le décompte des frais de chauffage en fonction de la consommation.

DISPOSITIFS DE MESURE

Le concept de mesure devrait comprendre les dispositifs et points de mesure suivants:

- Compteur d'électricité pour le compresseur
- Heures d'exploitation et compteurs d'impulsions pour le compresseur
- Compteur de chaleur selon la source de chaleur

- Manchon de mesure (si possible un manchon Twinlock), pour la saisie des températures d'entrée et de sortie dans l'évaporateur et dans le circuit du condenseur

En supplément pour les installations complexes et de grande taille:

- Températures d'entrée et de sortie à chaque échangeur de chaleur
- Température ambiante
- Température extérieure
- Réglage de la puissance des compresseurs
- Compteur des heures de service pour les pompes, les ventilateurs, les chauffages d'appoint (p. ex. électriques) etc.
- Compteur de chaleur selon la source de chaleur
- Positions des soupapes

ENREGISTREMENT DES DONNÉES

L'enregistrement des données peut s'effectuer manuellement ou automatiquement.

Lors d'un enregistrement manuel des données (de préférence pour des installations simples et relativement petites), un protocole de mesure correspondant doit être établi. Pendant la période de mesure, les données doivent être enregistrées si possible toujours à la même heure. En fonction des phases d'exploitation et de charge, les données doivent être enregistrées de plusieurs fois par jour à une fois par mois.

Dans le cas des installations relativement grandes ou complexes, l'enregistrement des données n'est pertinent que s'il s'accompagne d'une mesure intensive avec des intervalles d'enregistrement très courts. Cela permet d'enregistrer les contextes dynamiques ainsi que les séquences de fonctionnement. Si un système de gestion électronique du bâtiment est disponible, l'enregistrement des données peut s'effectuer via ce système. Dans le cas contraire, les données doivent être enregistrées à l'aide d'un dispositif portable (p. ex. un enregistreur de données). Les possibilités techniques sont presque illimitées, mais l'utilisation et la convivialité doivent toujours

être pris en compte: en fin de compte, les données doivent être régulièrement enregistrées, traitées et interprétées. Toutes les personnes impliquées dans le processus doivent être prises en compte. Les données qui ne sont pas interprétées n'apportent aucun avantage (mais peuvent entraîner des coûts pour leur saisie).

9. MISE EN SERVICE

Une fois la phase de montage terminée suivent la préparation et la mise en service. La réception et l'exploitation interviendront par la suite (voir aussi SN EN 378). L'étape de réception consistera à vérifier la conformité de l'installation avec le contrat d'entreprise et les règles de l'art. Après la mise en service, il est recommandé de vérifier à nouveau les réglages sous charge après 2 à 3 mois d'exploitation et ainsi d'optimiser en conséquence l'exploitation (voir également chapitre 9.8).

DESCRIPTION SUCCINCTE SELON LA NORME SIA 113

La recommandation SIA 113 FM adapté à la planification et à la réalisation de construction (illustr. 9.1) décrit les tâches d'un Facility

Management (FM) adapté à la planification et accompagnant la construction. Les cinq phases du processus de construction selon le Modèle de prestations SIA 112 separent verticalement le graphique subdivisé en phases partielles définies. Les principaux thèmes de classification horizontaux sont les points de vue à prendre en compte, de l'assurance-qualité du point de vue du FM à la gestion des données et de l'information. Les points de vue des propriétaires, des usagers et des prestataires de service sont classés selon les thèmes Finances et ressources, Processus et tâches et Organisation. La gestion des données et de l'information comprend, en outre, les thèmes Désignation et structuration, Classement et Échange. Des prestations sont définies par phase partielle pour

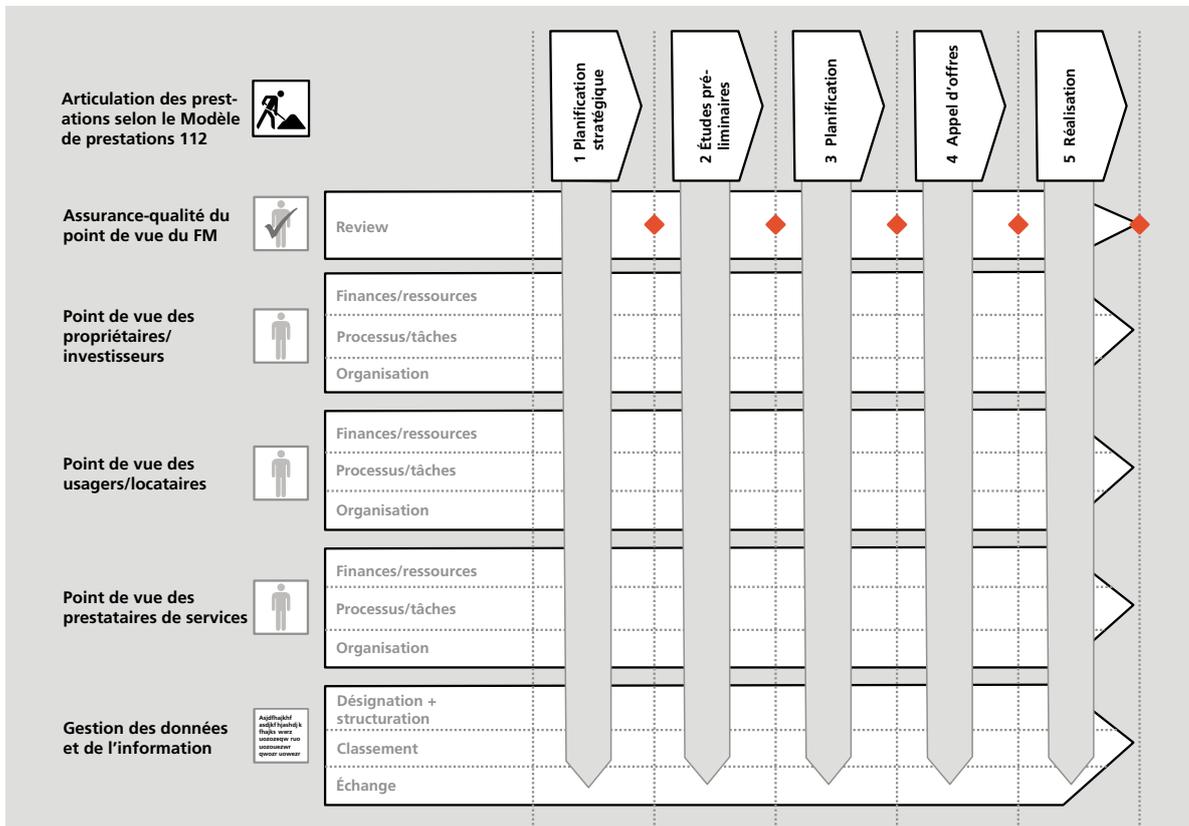


Illustration 9.1: Différents points de vue dans FM selon la norme SIA 113 (source: Facility Management pbFM adapté à la planification et à la réalisations de constructions, guide pratique pour la recommandation SIA 113, CRB).

chaque thème au niveau des interfaces. La classification selon les points de vue des propriétaires, des usagers et des prestataires de service vise à intégrer systématiquement et complètement les principales exigences de la phase d'exploitation dans la phase de planification et de réalisation.

9.1. PHASE AVANT LA MISE EN SERVICE

CONTRÔLE DU MONTAGE

A l'issue de la phase de montage, il est nécessaire de procéder à un contrôle approfondi du montage de l'équipement installé avant le remplissage du système hydraulique avec les fluides. Il s'agit donc de vérifier si l'installation est conforme aux spécifications et si les composants de l'équipement sont correctement montés. Il faut également s'assurer que tous les appareils et les pièces du système pourvus de plaquettes indicatrices sur lesquels figurent des numéros de référence sont montés conformément au schéma d'installation et aux autres documents.

CONTRÔLE DES DISPOSITIFS DE MESURE ET DE RÉGULATION

Il convient de définir dès l'étape de planification de l'installation les valeurs de mesure qui devront être enregistrées pour la mise en service, la réception, l'optimisation d'exploitation et l'exploitation de l'installation. L'installation ultérieure de douilles plongées et d'instruments de mesure est généralement coûteuse c'est pourquoi elle devrait être prévue dès la planification (chap. 8.8). Le contrôle du montage est la dernière occasion de pouvoir appliquer des mesures de correction correspondantes sans engager des dépenses supplémentaires trop importantes. Avant de procéder au remplissage de l'installation avec le fluide caloporteur, les dispositifs de mesure et les organes de réglage, qui sont montés dans le circuit hydraulique, doivent subir un contrôle particulier. Il est important pour obtenir un enregistrement fiable des mesures que les dispositifs soient bien placés (p. ex. dans des tronçons de stabilisation avant ou après les

compteurs volumétriques) et correctement montés (p. ex. position de montage) (Respecter les données du fabricant).

9.2. PRÉPARATION DE LA MISE EN SERVICE

Avant la mise en service, la phase d'installation, y compris les installations électriques et les équipements pour mesure, commande et réglage, doit être terminée (y c. rapport de sécurité selon l'Ordonnance sur les installations à basse tension OIBT). Afin que la mise en service se déroule avec efficacité, il convient avant toute chose de respecter les mesures préparatoires suivantes:

- Établir le programme de la mise en service, fixer les délais avec les personnes concernées; s'assurer de la disponibilité des fluides et des locaux.
- Les documents suivants doivent être mis à disposition sur l'installation:
 - Schéma de principe de l'installation
 - Fiche de données techniques avec paramètres de réglage, valeurs de consigne et courbes de régulation. Ces données doivent, dans la mesure où elles ont été fixées, être conformes aux valeurs du contrat.
 - Schéma de l'arrivée du courant, de la commande électrique et de la régulation (schéma de régulation)
 - Plan de montage de puissance pour moteurs électriques
 - Descriptifs de fonctionnement
 - Listes de données pour les débits massiques, les différences de pression, les températures dans le réseau etc.
 - Plans d'installation
 - Éventuellement plan des points de mesure
- Au moins un exemplaire du projet d'instructions de service de toutes les installations ou pièces d'installation doit être mis à disposition pour la mise en service afin que les éventuels compléments ou corrections puissent y être ajoutés lors de la mise en service.
- Éventuellement procès-verbal d'essai et de réception (chap. 9.3)

Il est avantageux que tous ces documents soient compilés dans un classeur relatif à

l'installation et qu'ils soient accessibles à toutes les personnes concernées, mais disponibles sur l'installation même (chap. 9.8).

9.3. SOURCE DE CHALEUR ET DÉGAGEMENT DE CHALEUR

Avant la mise en service effective de la pompe à chaleur, il convient de contrôler la source de chaleur et le système de dégagement de chaleur et de procéder aux préparatifs correspondants.

Vérifier que l'installation est complète:

- Pour les sondes géothermiques et les captages d'eau souterraine: documents relatifs à la qualité de l'installation (contrôle de réception norme SIA 384/6 resp. norme SIA 384/7).
- Vérifier que les systèmes d'eau sont rincés, remplis (observer la Directive SICC BT102-01) et soigneusement purgés (l'essai de pression est effectué pendant les travaux d'installation avant la pose de l'isolation)
- Vérifier les débits volumiques, procéder à l'équilibrage hydraulique
- Vérifier la concentration du remplissage d'antigel (le cas échéant)
- Procéder au contrôle du sens de rotation sur les moteurs de pompes et ventilateurs et autres mécanismes d'entraînement (à l'exception du moteur du compresseur).
- Vérifier le côté source de chaleur du système sur les pompes à chaleur air-eau.
- Ouvrir éventuellement des installations d'arrêt.
- Les douilles plongieuses doivent toujours correspondre exactement (c.-à-d. sans jeu) aux sondes de température utilisées (même qualité de matériau). N'utiliser un matériau de contact thermique («pâte thermique») que dans des cas exceptionnels.

9.4. MISE EN SERVICE DE LA POMPE À CHALEUR

Avant la mise en service, il est impératif de s'assurer que toutes les pièces liées à l'installation telles que le circuit des consommateurs, le refroidissement etc. sont prêtes à fonctionner, que l'alimentation électrique fonctionne et que la charge disponible est suffisante.

La mise en service se déroule en principe sous la direction du concepteur en technique du bâtiment, qui connaît le fonctionnement de l'installation sur le plan électrique, hydraulique et de la ventilation. Il est par conséquent assisté des spécialistes de la société de régulation, d'électriciens ainsi que des spécialistes de la mise en service des fournisseurs de composants. La procédure peut se dérouler comme suit:

- Contrôle visuel, contrôle de l'installation
- Contrôler les raccordements électriques de tous les appareils, vérifier les connexions électriques à l'aide du schéma électrique.
- Vérifier que les relais thermiques (paquets thermiques) sont correctement réglés conformément aux plaques signalétiques des moteurs, contrôler les réglages des dispositifs de protection électrique.
- Débrancher le compresseur du réseau électrique
- Enclencher l'interrupteur général
- Enclencher le cas échéant les chauffages à mazout (chauffage du carter et du séparateur d'huile).
- Contrôler et vérifier dans la mesure du possible les fonctions de sécurité.
- Contrôler le sens de rotation du compresseur. Vérification réalisée exclusivement par un spécialiste du fournisseur.
- Procéder au contrôle fonctionnel des systèmes de commande et de régulation, contrôler l'exactitude des valeurs enregistrées.
- Soumettre toutes les connexions de régulation et de commande à un test de fonctionnement.
- Régler les paramètres de réglage (zone P, temps de dosage d'intégration, constante de temps), courbes de chauffe, valeurs de consigne etc. suivant les valeurs calculées ou recommandées (par le concepteur).

9.5. PROTOCOLE DE MISE EN SERVICE

A l'issue de la mise en service les divers paramètres, tels que les valeurs de consigne, les courbes de régulation et les sécurités doivent être réglés conformément aux valeurs définies dans le contrat (le cas échéant). Les éventuels écarts et vices doivent être mentionnés.

Tous les paramètres de réglage importants doivent être consignés dans le procès-verbal de mise en service (→ Classeur relatif à l'installation, voir également chap. 9.2). Les écarts ou modifications doivent être consignés à la main dans les documents.

9.6. INSTRUCTIONS DE SERVICE

Les instructions de service décrivent le fonctionnement et le réglage de chacune des pièces de l'installation. Elle doit être rédigée de manière claire et compréhensible.

Ci-après quelques points à respecter lors de l'établissement des instructions de service:

- Adresses et numéros de téléphone des services correspondants
- Utiliser des désignations uniformes et les symboles conformément aux normes en vigueur
- Conformité avec les inscriptions mentionnées sur l'installation
- Ne pas utiliser de documents dans une langue étrangère
- Schéma électrique valable avec mention des modifications survenues lors de la phase de mise en service
- Joindre le procès-verbal de mise en service avec les données fondamentales telles que:

- Lecture des caractéristiques de l'installation pendant le fonctionnement
- L'ensemble des valeurs de réglage pouvant être modifiées par l'exploitant
- Valeurs limites éventuelles
- Mesures à prendre en cas de dérangement
- Répertoire des tâches devant être effectuées par le personnel d'exploitation
- Procès-verbal vierge avec la liste des données consultables
- Carnet de service (voir chap. 10.2)

Au cours de la mise en service, de petites modifications ou corrections quant à l'installation sont généralement apportées. Les adaptations concernant le schéma électrique doivent absolument être reportées dans la version définitive. Le projet d'instructions de service doit donc être adapté en conséquence (voir également chap. 9.2).

9.7. PROTOCOLE DE RÉCEPTION

A l'issue des opérations de mise en service, il est procédé à un contrôle de l'installation en présence des personnes concernées. L'objectif de ce contrôle est la rédaction d'un protocole signé par toutes les parties qui atteste

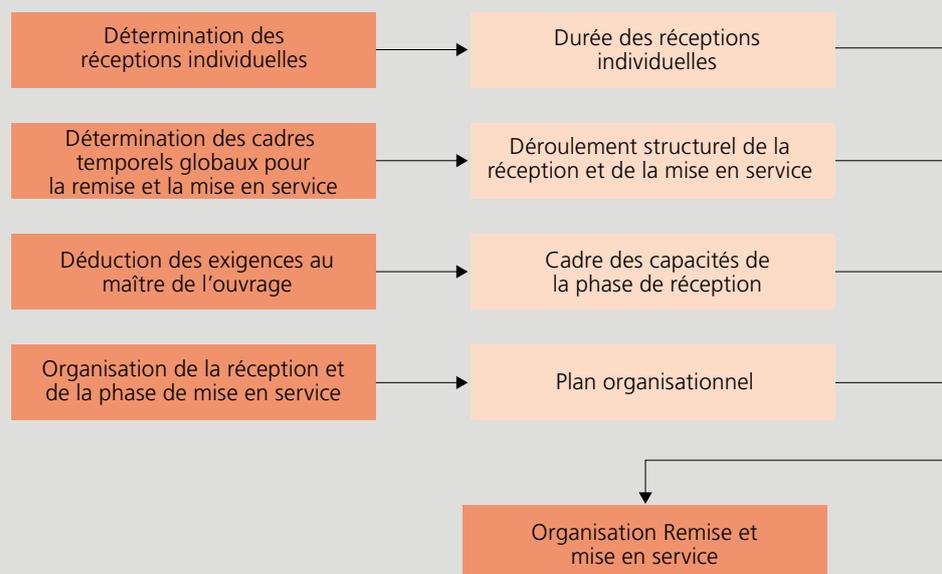


Illustration 9.2:
Organisation de la réception, de la remise et de la mise en service (source: Real Estate und Facility Management, Preuss, N. et Schöne L.B., 2010).

de la réception de l'installation et consigne par écrit les éventuelles réserves. Lors de la réception, un procès-verbal de réception doit être rempli par le concepteur et signé par les parties. Ce document contiendra:

- Les caractéristiques contractuelles
- La liste de contrôle du volume de livraison et de la qualité de l'exécution
- Les données effectives relatives à l'installation
- Les éventuels défauts

Avec la réception, le maître de l'ouvrage assume la responsabilité de l'installation et le délai de garantie prend effet.

Il arrive souvent que la période allant de l'achèvement de la construction au début de l'utilisation soit sous-estimée. Cela concerne en particulier les biens occupés par leur propriétaire, dans lesquels les usagers apportent encore des installations ou des équipements après l'achèvement par les entreprises exécutantes (aménagement final). Les principales activités sont réunies dans l'illustration 9.2.

PHASES INDIVIDUELLES

L'ensemble de la période allant de l'achèvement de la construction à l'utilisation s'articule en plusieurs phases individuelles. La période destinée à la réception est ainsi déterminée par la durée de la réception individuelle la plus longue. Les réceptions des installations techniques sont généralement réalisées en parallèle. Suivant la taille du projet, plusieurs personnes dotées de compétences en matière d'installations techniques doivent être disponibles.

Exemples: Électrique: chauffage, ventilation, climatisation, refroidissement (CVCR); sanitaire: mesure, commande, régulation, automatisation; technologie de l'information et de la communication (ICT) et systèmes d'alarme tels que: système d'alarme incendie (BMA), systèmes d'évacuation des fumées et de la chaleur (RWA), technologies d'extinction gaz, eau, eaux usées et incendie (GWA) etc. En fonction du métier, les procédures individuelles doivent tenir compte du fait que la mise en service (tests fonctionnels et essais de fonctionnement) est effectuée lors de la préparation des essais de réception. Sont éventuellement concernées les autorités de réception telles que l'ESTI (Inspection fédérale des installations à courant

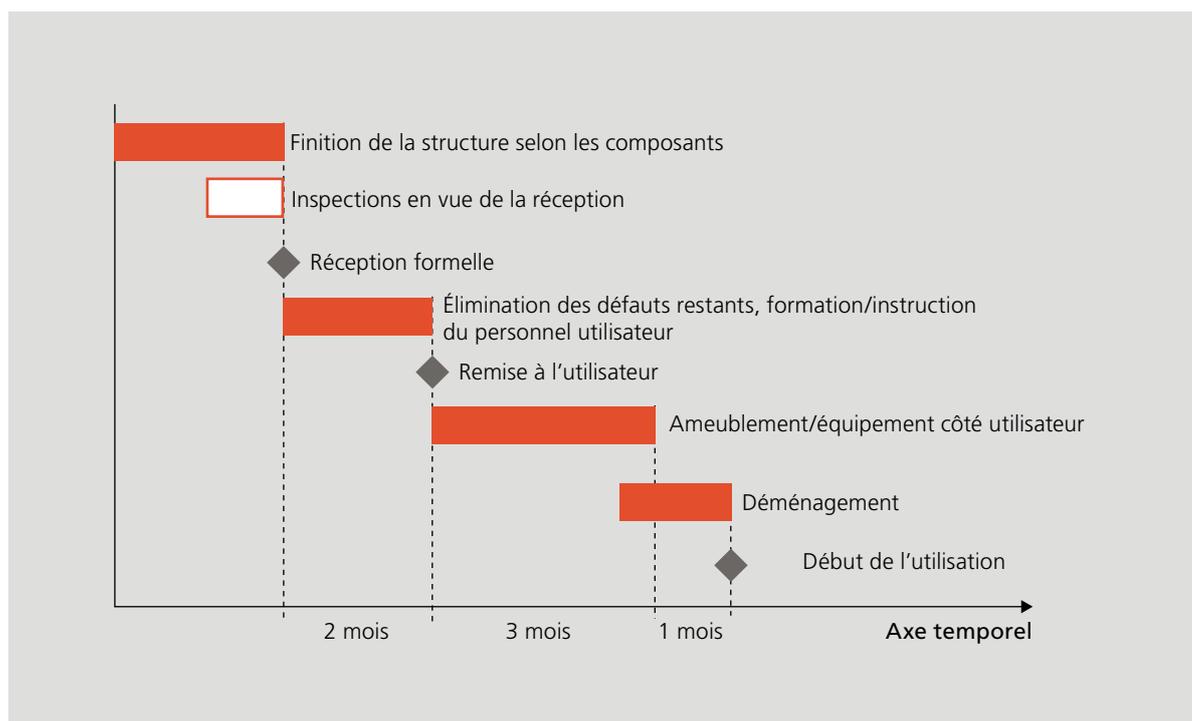


Illustration 9.3: Séquence structurelle de réception et de mise en service (source: Real Estate und Facility Management, Preuss, N. et Schöne L.B., 2010).

fort), ASIT (Association suisse d'inspection technique) etc. L'illustration 9.3 présente un exemple de calendrier.

Les étapes clés telles que la réception, la remise et le début de l'utilisation doivent être soigneusement planifiées avec tous les acteurs du projet et respectées.

Il est important de déterminer la date de prise d'effet légale des prestations de garantie en cas de prestations de construction fournies. Normalement, elle intervient après la réception formelle et doit être consignée par écrit dans le procès-verbal de réception.

Remarque: Il est possible de prolonger les délais de garantie par contrat. Il est également important de négocier le plus tôt possible les contrats de service avec les prestataires de service.

Des documents de révision corrects comprenant toutes les données de l'installation marquent le début d'un processus de Facility Management efficace et efficient. La directive SICCC 95-2 relative à la maintenance sert de base à la rédaction d'une notice d'utilisation.

Les entreprises spécialisées doivent intervenir auprès des clients sur la base de ces directives pour procéder à la maintenance régulière. Les points à respecter à ce propos sont les suivants:

- Le concept de maintenance devrait être défini dès l'étape de planification sous la forme d'un devis estimatif.

- Le concept devrait être mis en œuvre au plus tard après le montage des installations techniques.

- Intégrer les éventuelles installations techniques existantes à ce nouveau concept de maintenance.

Les opérations de maintenance ne peuvent être confiées par les propriétaires ou les usagers qu'à un personnel formé ou à des entreprises spécialisées.

9.8. DOCUMENTATION RELATIVE À L'INSTALLATION

Pour que les informations et données importantes de l'installation figurent sur celle-ci, il convient généralement d'élaborer pour chaque installation un classeur de l'installation regroupant les informations suivantes.

- Adresses des entreprises et du service après-vente, ainsi que pour la notification des dysfonctionnements.
- Bases de calcul de l'installation de pompe à chaleur, données de base et calcul de la puissance des générateurs de chaleur
- Caractéristiques techniques de la pompe à chaleur, des circulateurs etc.
- Dans le cas d'installations à sondes géothermiques: procès-verbal de dimensionnement des sondes géothermiques selon la norme SIA 384/6, profil de forage de l'entreprise de forage et plan de situation des sondes

Tableau 9.1: Définition du processus «Gestion de la garantie» selon le Modèle de prestations des processus du Facility Management (ProLeMo) de CRB.

Processus de gestion des garanties	
Objectif du processus	Les défauts tombant sous la prestation de garantie sont éliminés par le fabricant ou le fournisseur.
Grandeurs de mesure processus en amont	Nombre de réclamations de garantie manqués Réception
Processus suivants	aucun
Prestations	<ul style="list-style-type: none"> • Observer les délais de prescription • Contrôler et faire valoir les droits pour les défauts • Suivre les mesures correctives • Effectuer les mesures de garantie
Brève description	Dans le processus de «Gestion des garanties», saisir et surveiller les délais de garantie. Lorsqu'un défaut apparaît au cours du délai de garantie, il est réparé immédiatement dès sa survenance et un délai est fixé à cet égard. La réparation du défaut est surveillée et contrôlée. S'il n'est pas remédié au défaut malgré une mise en demeure, l'exploitant peut faire réparer le défaut lui-même et imputer les frais encourus au concepteur ou les faire valoir sur la garantie bancaire. Avant la fin de la période de garantie pour les corps de métier principaux, il est conseillé d'effectuer un contrôle de garantie.

- Dans le cas d'installations avec pompe à chaleur air-eau: disposition (présentation) et certificat de protection contre le bruit
- Procès-verbal de mise en service du fournisseur de la pompe à chaleur
- Procès-verbal de mise en service de l'installateur, y compris procès-verbal de réglage des débits massiques et calculs des pertes de pression
- Notices d'utilisation de tous les composants importants
- Schéma électrique et de principe
- Permis de construire, autorisations d'installer par le distributeur d'énergie électrique et/ou de forer la/les sonde(s) géothermique(s) par le service cantonal concerné
- Divers

10. EXPLOITATION

10.1. EXPLOITATION ET CONTRÔLE DES RÉSULTATS

Les appareils de mesure installés sur le système doivent permettre d'effectuer un contrôle des paramètres d'exploitation. La mise en service est effectuée dans un cas normal dans des conditions définies. C'est pourquoi, il est important de contrôler la fonctionnalité et l'efficacité énergétique de l'installation dans des conditions modifiées. Ceci ne s'applique pas seulement à la phase qui suit directement la mise en service. Les éventuelles modifications relatives à l'installation doivent être portées à la connaissance de tous.

10.2. SURVEILLANCE DE L'EXPLOITATION

Le personnel d'exploitation doit procéder régulièrement à des contrôles d'exploitation. À intervalles réguliers, il convient de consigner par écrit dans le rapport d'exploitation les données relevées sur l'installation. Il s'agit-là d'un instrument d'une grande utilité en vue de la vérification du coefficient de performance (COP) et qui peut servir de base pour les travaux de maintenance. Le principal critère d'appréciation pour le contrôle des résultats d'une pompe à chaleur est le coefficient de performance annuel (COPA) et le rendement annuel pour pompe à chaleur et chauffage d'appoint (WNG/SNG). L'examen de ces critères n'est possible que s'il existe des données de mesure correspondantes sur la consommation d'énergie de la pompe à chaleur et des appareils auxiliaires ainsi que l'énergie de chauffage fournie. Le nombre d'activations du compresseur peut également fournir des informations intéressantes sur le fonctionnement des pompes à chaleur. Dans le cas des pompes à chaleur fabriquées généralement en série, il peut être

détekté et consulté via le régulateur. Dans le cas des petites et grandes installations, il convient également de surveiller les temps de fonctionnement des éventuels composants électriques. Dans le cas des pompes à chaleur saumure-eau, il est recommandé de contrôler régulièrement la température minimale dans le circuit de saumure.

10.3. MAINTENANCE

GÉNÉRALITÉS

Pour qu'une pompe à chaleur fonctionne en toute sécurité et sans dysfonctionnement, il est nécessaire de procéder périodiquement à des opérations de maintenance. Celles-ci peuvent être réalisées dans le cadre:

- d'un contrat de maintenance ou
- du prolongement de la garantie (avec les prestations de service correspondantes)

Le personnel qui procédera à la maintenance des pièces de l'installation, au cours de laquelle ou peut entrer en contact avec le fluide frigorigène, doit être muni d'un «Permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes».

LIVRET D'ENTRETIEN

La déclaration et la tenue d'un livret d'entretien est obligatoire pour tous les appareils et installations contenant plus de 3 kg de fluide frigorigène, quel qu'en soit le type. La vignette (étiquette) permettant d'identifier l'installation doit être apposée sur l'appareil.

CONTRÔLE D'ÉTANCHÉITÉ

Un contrôle d'étanchéité régulier doit être effectué sur tous les appareils et installations contenant plus de 3 kg de fluide frigorigène stable dans l'air ou appauvrissant la couche d'ozone (voir également la directive «Instal-

lations et appareils stationnaires contenant des fluides frigorigènes, livret d'entretien, contrôle d'étanchéité, déclaration obligatoire»).

Des délais plus longs s'appliquent aux installations compactes scellées en permanence (définition conformément à SN EN 378, p. ex. liaisons soudées ou brasées dans le circuit de froid).

10.4. OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION

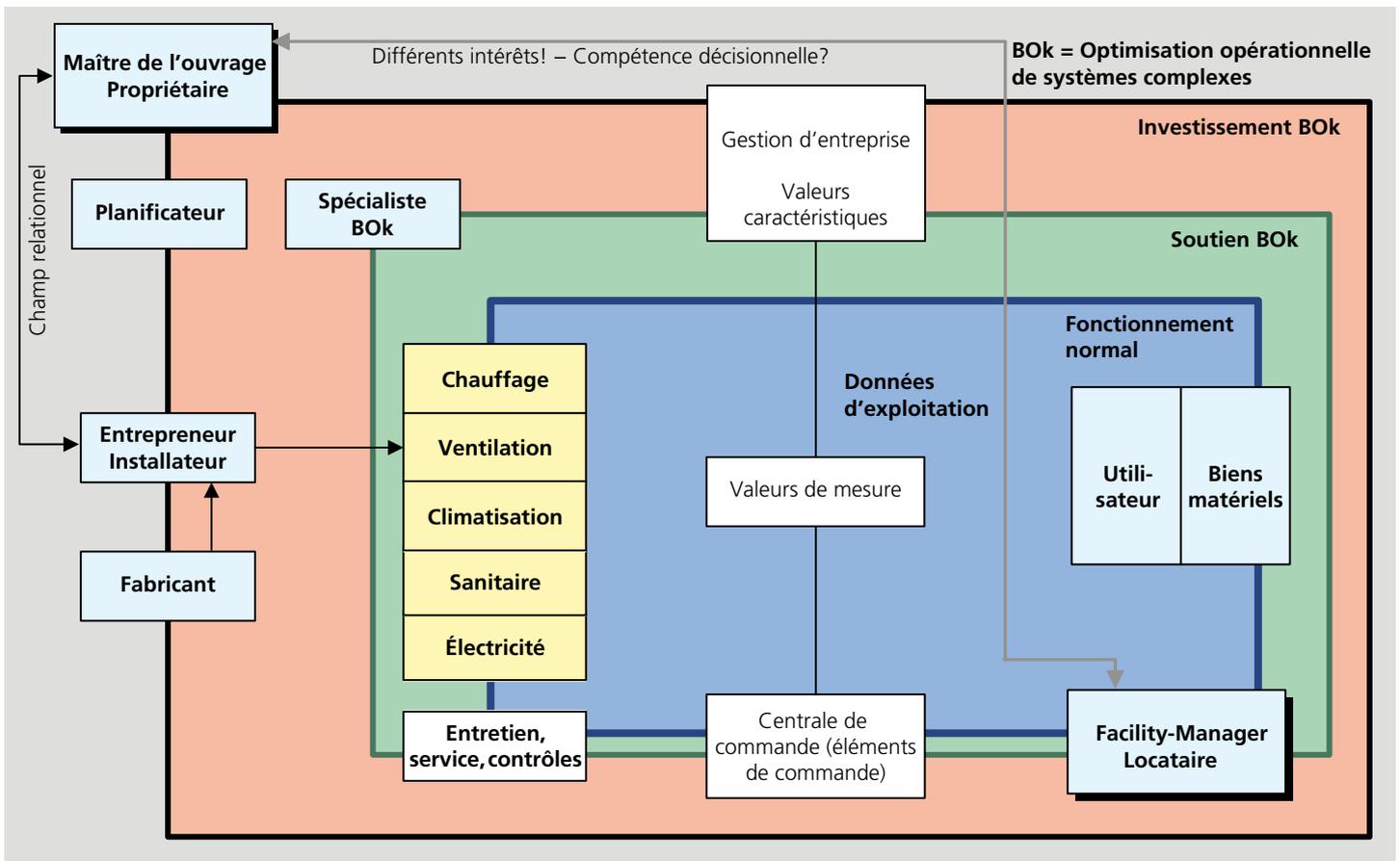
Une installation qui est exploitée de manière optimale ne connaît en principe pas de dysfonctionnements, consomme moins d'énergie, ce qui réduit les coûts d'exploitation et permet même une atmosphère plus agréable. Lors de la mise en service, l'installation est souvent réglée dans un état opérationnel et quelques réglages (p. ex., courbe de chauffe) sont effectués uniquement d'après les valeurs empiriques. L'optimisation des réglages de l'installation ne peut avoir lieu qu'au cours du fonctionne-

ment, c'est-à-dire en se basant sur les besoins réels. L'optimisation de l'exploitation demeure donc une tâche permanente (processus), car les conditions d'utilisation évoluent souvent au fil du temps.

Les objectifs des optimisations de l'exploitation sont en principe: un réglage optimal d'une installation technique, une offre d'énergie adaptée au niveau de température requis, la fourniture de l'énergie au moment requis, atteindre les rendements les plus hauts possibles lors de la production et de la distribution de chaleur. Pour les atteindre, il convient de respecter en permanence les exigences techniques de sécurité et les exigences relatives à l'hygiène.

Remarque: L'optimisation de l'exploitation est une prestation supplémentaire qui doit être commandée par le maître d'ouvrage, conformément au Modèle de prestations SIA 112.

Illustration 10.1: Le modèle BOK à 3 niveaux indique les cercles d'intérêt interconnectés ainsi que les cycles pertinents pour le processus BO (source: Grundlagen für die Betriebsoptimierung von komplexen Anlagen (BOK), BFE 2002).



CONCEPT D'OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION

On distingue trois niveaux d'intervention dans l'optimisation de l'exploitation (OE) (source: SuisseEnergie):

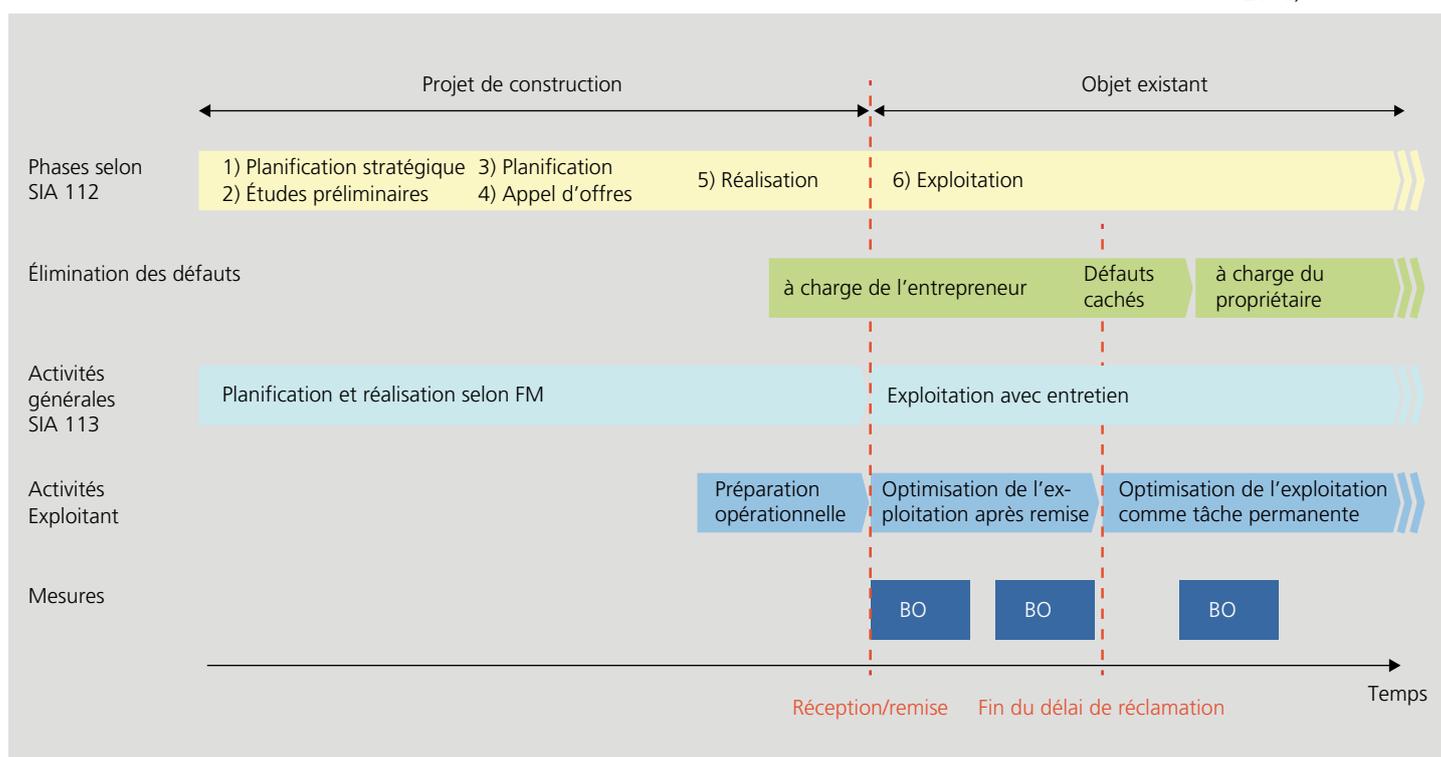
- **Exploitation normale:** optimisation de l'exploitation par des contrôles, des enregistrements et meilleur réglage des installations (réglage). Aucun investissement n'est nécessaire, excepté pour l'entretien courant. Aucun savoir-faire spécifique en matière d'optimisation de l'exploitation ni recours à des spécialistes externes n'est requis.
- **Soutien OE:** optimisation ciblée de l'exploitation sur la base d'évaluations et de mesures spécifiques; mesures immédiates avec un investissement minimum (env. 3000 CHF); faire appel à un professionnel de l'optimisation de l'exploitation.
- **Investissements OE:** optimisation de l'exploitation par le biais d'investissements sélectifs. L'analyse minutieuse des installations en choisissant les mesures offrant le potentiel d'économie le plus important et le meilleur rapport coûts/efficacité est la base pour la suite de la procédure (y c. l'établissement du budget). La programmation d'une rénovation ou du remplacement de diffé-

rents composants est la condition idéale pour réaliser des investissements OE. Il est alors important d'impliquer les différentes parties prenantes à chaque niveau d'intervention.

La norme SIA 2048:2015 fait la distinction entre l'optimisation énergétique de l'exploitation après remise et comme tâche permanente. La principale différence réside dans l'absence de données d'exploitation mesurées au début de l'optimisation de l'exploitation.

- L'optimisation énergétique de l'exploitation immédiatement après la remise met l'accent sur les domaines suivants: vérifier la stabilité des différents circuits de réglage en mode dynamique; vérifier les séquences de réglage (p. ex. chauffage, RC, refroidissement) en mode dynamique; analyser et vérifier les comportements à l'activation/désactivation et au réglage des installations commandées en fonction des besoins (p. ex. convertisseur de fréquence, mises en circuit progressives, connexions en cascade) en mode réel (p. ex. au moyen d'analyses de tendances); contrôler le fonctionnement et les coefficients d'efficacité énergétique d'in-

Illustration 10.2: Processus de l'optimisation énergétique de l'exploitation (source: Andreas Genkinger, basé sur le Cahier technique SIA 2048).



stallations pertinentes sur le plan énergétique (p. ex. machines frigorifiques, RC, pompes à chaleur, utilisations des rejets thermiques, installations solaires); optimiser les courbes de chauffe et de refroidissement; optimiser l'équilibrage hydraulique.

Remarque: Il convient également d'accorder une attention particulière à la mise en service et à la maintenance de l'enregistrement des valeurs de mesure. Il s'agit notamment de vérifier la pertinence des valeurs de mesure enregistrées. L'établissement et la vérification des bilans énergétiques ont fait leurs preuves à cet égard. Sont considérées comme tâches permanentes les tâches suivantes (entre autres):

- évaluation des données énergétiques pertinentes et comparaison avec les valeurs de consigne ou de référence; contrôles réguliers du fonctionnement et des coefficients d'efficacité énergétique des installations d'utilisation des rejets thermiques et de récupération de chaleur (p. ex. utilisation de

la chaleur de condensation dans les gaz de combustion) ainsi que des installations pour l'utilisation des énergies naturelles (p. ex. installations solaires, pompes à chaleur); mesures en vue de l'augmentation de l'efficacité énergétique et de son effet; identification de mesures en cas de changements d'affectation (avec contrôle des résultats); analyses des tendances et mesures temporaires.

- Le cahier technique SIA comprend également une liste de contrôle, dont les données doivent être relevées (le cas échéant). Les principaux points sont les suivants:
 - Année de construction de l'installation (et des éventuelles rénovations)
 - Données des compteurs des exploitants du réseau et sociétés d'approvisionnement (électricité – séparément si possible pour les pompes à chaleur –, gaz, mazout, chaleur à distance, eau): idéalement les trois dernières années sous forme de valeurs hebdomadaires (au moins sous forme de valeurs mensu-

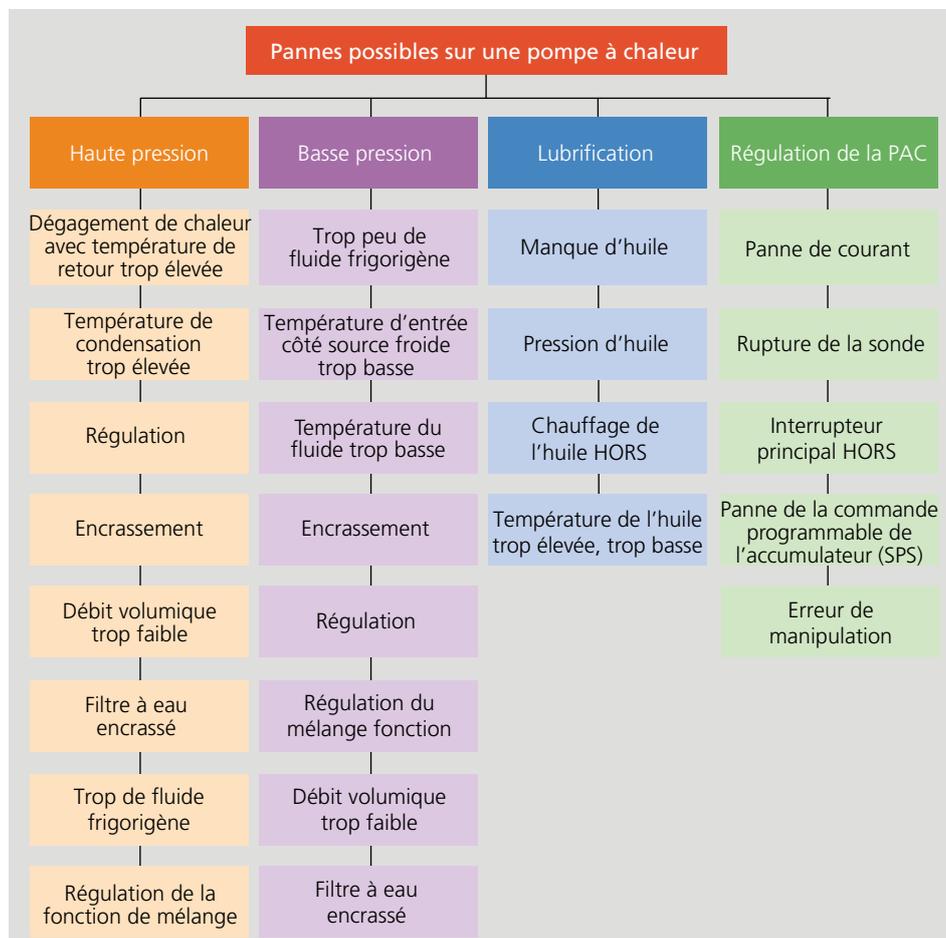


Illustration 10.3: Possibilités de pannes et origine sur les installations de pompes à chaleur.

elles ou annuelles). Dans les cas des gros consommateurs, l'exploitant de réseau (distributeur de gaz ou d'électricité) fournit des valeurs par ¼ d'heure sous forme de tableaux au format électronique.

- Données de (sous-)compteurs privées
- États actuels des compteurs
- Données d'exploitation (p. ex. heures de fonctionnement par niveau de brûleur, des installations de ventilation, de la pompe à chaleur etc.).
- Générateurs de chaleur (supplémentaires)

Les points à vérifier lors de l'évaluation et de l'analyse des pompes à chaleur et des machines frigorifiques sont les suivants:

- Fluide frigorigène utilisé
- Températures du fluide frigorigène ou de l'eau froide demandées, adaptation de ces températures en fonction des besoins
- Températures de l'accumulateur
- Simultanéité de la production, de la distribution et du stockage du froid (tenir compte des temps de démarrage)
- Concentration du produit antigel dans les conduites de refroidissement en retour
- Compresseur avec convertisseur de fréquence
- Démarreur progressif
- Systèmes de refroidissement en retour, utilisation des rejets thermiques
- Températures de condensation et d'évaporation
- Durées de fonctionnement (par niveau de compresseur)
- Réduction de fonctionnement ou arrêt de l'installation (la nuit, le week-end, les jours fériés, pendant les vacances), réglage prospectif
- Point de fonctionnement, rendement à charge partielle et à pleine charge
- Freecooling (dérivation de la machine frigorifique), exploitation mixte
- Réglage séquentiel en cas de plusieurs installations de refroidissement
- Propreté des composants

Catalogue de mesures: voir «Bases pour l'optimisation de l'exploitation d'installations techniques complexes». Mesures par domaine. Ce document présente les mesures d'optimisation possibles et leur potentiel d'économie.

10.5. DYSFONCTIONNEMENT ET RÉPARATION DES PANNES

Il convient d'éviter de manière appropriée le dysfonctionnement des pompes à chaleur.

Les principales causes de dysfonctionnement sont présentées dans l'illustration 10.3.

11. EXEMPLES CONCRETS

11.1. INSTALLATIONS DE PETITE TAILLE

Nous présentons ci-après les schémas de fonctionnement éprouvés sur le plan de la sécurité de fonctionnement et de l'efficacité énergétique pour les très petites installations (jusqu'à env. 15 kW) dans les bâtiments d'habitation. Il s'agit des schémas de connexion tels qu'exigés également par le PAC Système-Module. Les variantes hydrauliques suivantes sont représentées:

Exemple	Page
Sans accumulateur, sans production d'eau chaude	92
Sans accumulateur, avec production d'eau chaude	92
Accumulateur en série, sans production d'eau chaude	93
Accumulateur en série, avec production d'eau chaude	93
Accumulateur en parallèle, sans production d'eau chaude	94
Accumulateur en parallèle, avec production d'eau chaude	95
Accumulateur en parallèle, avec appoint solaire pour la production d'eau chaude	95

SANS ACCUMULATEUR, SANS PRODUCTION D'EAU CHAUDE

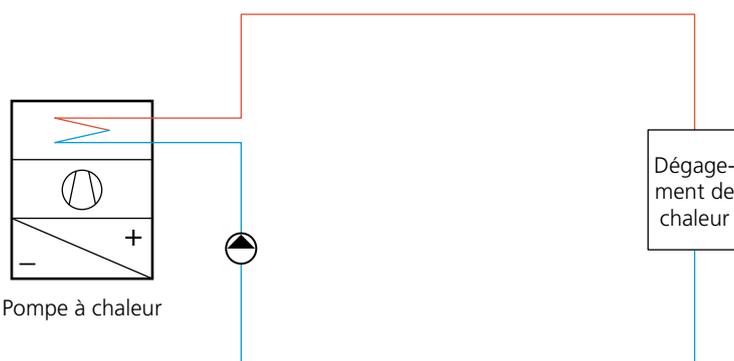


Illustration 11.1:
La commande la plus simple.

Dans le cas des chauffages au sol, la chape peut servir de masse d'accumulation thermique, un accumulateur technique pour assurer la transition entre les temps de délestage (éventuels) n'est pas (obligatoirement) nécessaire. Le système hydraulique est destiné aux installations présentant des températures de départ au point de calcul inférieures à 30 °C, qui fonctionnent sans

réglage par pièce (utilisation de l'effet d'autorégulation). En cas de températures de départ plus élevées, la loi prescrit un réglage par pièce. Dans ce cas, il convient de respecter le débit massique minimal requis de la pompe à chaleur, par exemple par le biais d'une soupape de décharge montée en parallèle pour le dégagement de chaleur.

SANS ACCUMULATEUR, AVEC PRODUCTION D'EAU CHAUDE

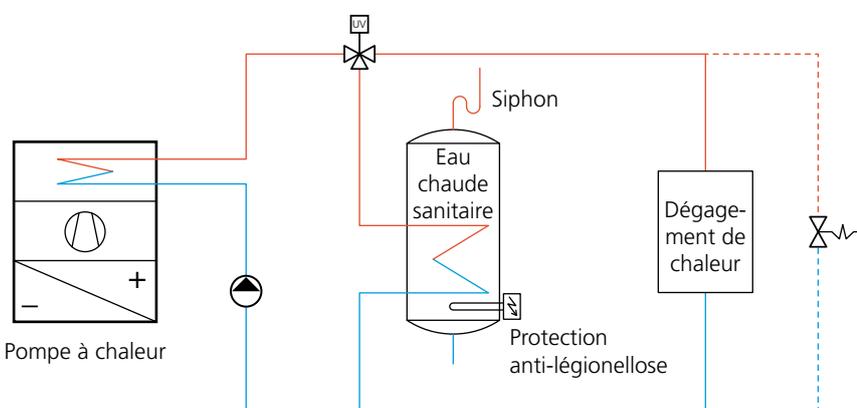


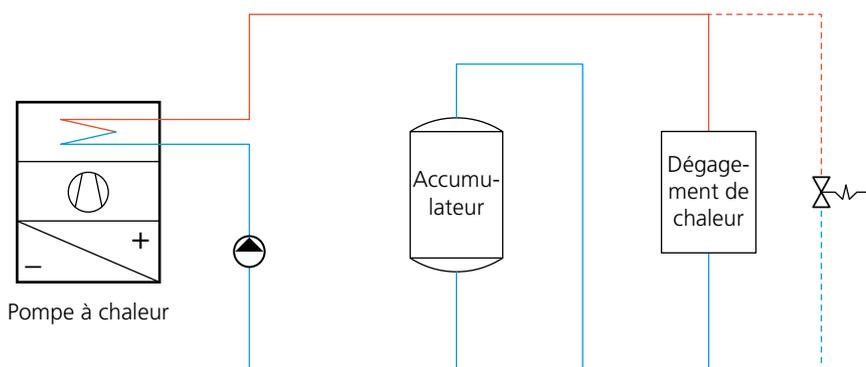
Illustration 11.2:
Une configuration fréquente (chauffe-eau parallèlement au chauffage des pièces).

Dans la mesure du possible, une pompe à chaleur devrait fournir le chauffage ainsi que la production d'eau chaude sanitaire. La commutation s'effectue sans problème grâce à une vanne à 3 voies. Il faut être attentif à la puissance de chauffage des pompes à chaleur sans régulation de la puissance en mode été (production d'eau chaude sanitaire), qui est quasiment doublée par rapport au mode hiver. Cela exige une surface suffisamment

grande de l'échangeur de chaleur dans l'accumulateur d'eau chaude. Elle devrait mesurer, dans l'idéal, 0,4 m²/kW, par rapport à la puissance maximale de la pompe à chaleur. Dans le cas des systèmes de dégagement de chaleur avec vannes thermostatiques (réglage par pièce), la soupape de décharge garantit également le respect d'un débit massique minimal de la pompe à chaleur.

ACCUMULATEUR EN SÉRIE, SANS PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Illustration 11.3:
Accumulateur de
chaleur en série
pour petits bâti-
ments.

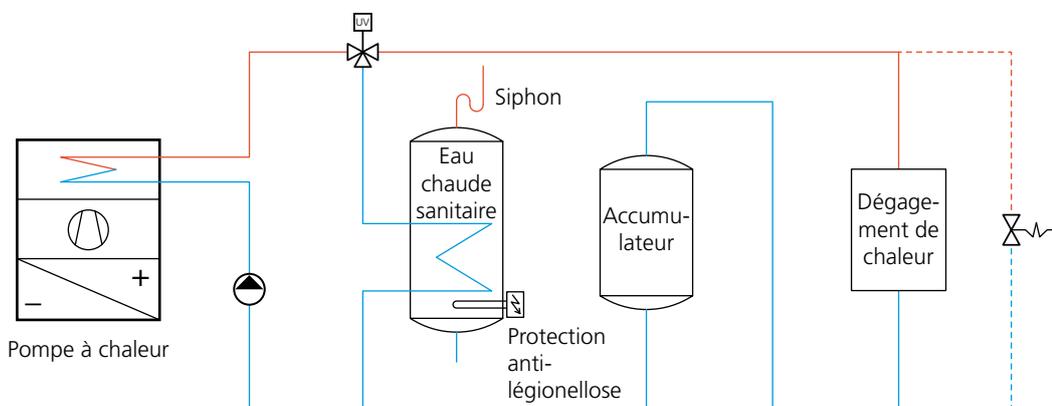


Le faible volume d'eau contenu dans l'installation de chauffage (chauffages par radiateurs, petits bâtiments à chauffage au sol) entraîne de fréquents cycles de commutation d'activation et de désactivation de la pompe à chaleur. Il est possible de contre-carrer cela avec un accumulateur en série. Il convient de choisir l'accumulateur conformément aux indications du fabricant et de

la taille la plus petite possible. Lorsqu'une pompe à chaleur air-eau est dégivrée en mode inversé, un volume supérieur est donc nécessaire, la chaleur étant prélevée du système de chauffage en mode dégivrage. En cas de faible volume d'eau dans l'installation de chauffage, le condenseur peut, dans le pire des cas, geler et par conséquent éclater.

ACCUMULATEUR EN SÉRIE, AVEC PRODUCTION D'EAU CHAUDE

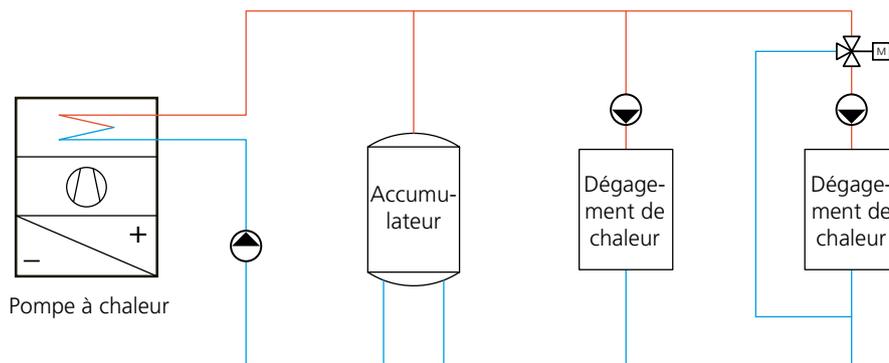
Illustration 11.4:
Accumulateur de
chaleur en série
avec chauffe-eau en
amont.



Le schéma correspond à l'installation «Accumulateur en série, sans production d'eau chaude», mais avec chauffage de l'eau chaude sanitaire supplémentaire. Son raccordement hydraulique – au niveau de la pompe à chaleur – devrait être effectué avant l'accumulateur en série. Sinon, celui-ci sera également chauffé en cas de charge d'eau chaude sanitaire (à un niveau de température trop élevé).

ACCUMULATEUR EN PARALLÈLE, SANS PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Illustration 11.5:
L'accumulateur de
chaleur permet un
découplage hydrau-
lique.

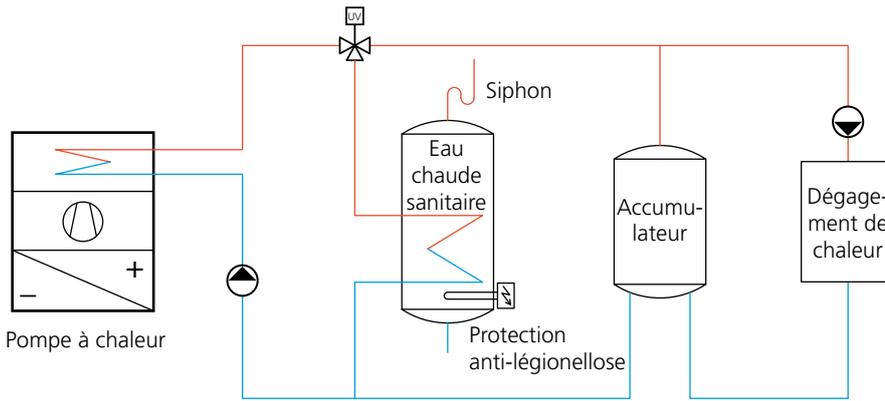


Le circuit hydraulique engendré par le biais de l'accumulateur d'eau chaude monté en parallèle – en plus du stockage d'énergie – un découplage hydraulique: entre le circuit de charge et de décharge (c.-à-d. la pompe à chaleur et le système de dégagement de chaleur). La pompe à chaleur peut, de ce fait, fonctionner indépendamment du système de dégagement de chaleur. Par rapport aux solutions avec accumulateur en série présentées à la page 93, plusieurs circulateurs seront nécessaires, un dans le circuit de charge et un dans les circuits de décharge (groupes de chauffage). L'accumulateur technique assure le respect du débit massique minimal de la pompe à chaleur, il joue ainsi le rôle des soupapes de décharge intégrées dans les solutions évoquées auparavant. Pour s'adapter aux besoins de chaleur (p. ex. réglage par pièce du système de dégagement de chaleur), il est conseillé de régler les pompes de décharge dans les groupes de chauffage selon la pression (circulateurs à vitesse de rotation variable). Si plusieurs groupes de chauffage avec différentes exigences de température (p. ex. radiateurs et chauffages au sol) sont raccordés côté consommateur – tel qu'illustré sur le schéma –, le groupe ayant les exigences de température les plus basses a besoin d'un réglage séparé (représentation sur le schéma: Branchement en mélange). Le groupe ayant les températures de départ les plus élevées est «activé» directement via le régulateur de la pompe à chaleur. Il est également impé-

ratif de veiller tout spécialement au raccordement hydraulique de l'accumulateur: le départ primaire (sortie de la pompe à chaleur) est conduit directement aux groupes de chauffage et est raccordé à l'accumulateur par le biais d'une conduite de dérivation, mais ne passe pas à travers l'accumulateur. À basse température de l'accumulateur, un abaissement par mélange de la sortie de la pompe à chaleur est ainsi rendu impossible. La perte de pression de la conduite de dérivation devrait être maintenue la plus faible possible. Le débit massique dans le circuit de charge doit être supérieur à celui des circuits de décharge.

ACCUMULATEUR EN PARALLÈLE, AVEC PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Illustration 11.6: Chauffe-eau, accumulateur d'eau chaude et dégagement de chaleur dans une séquence judicieuse.

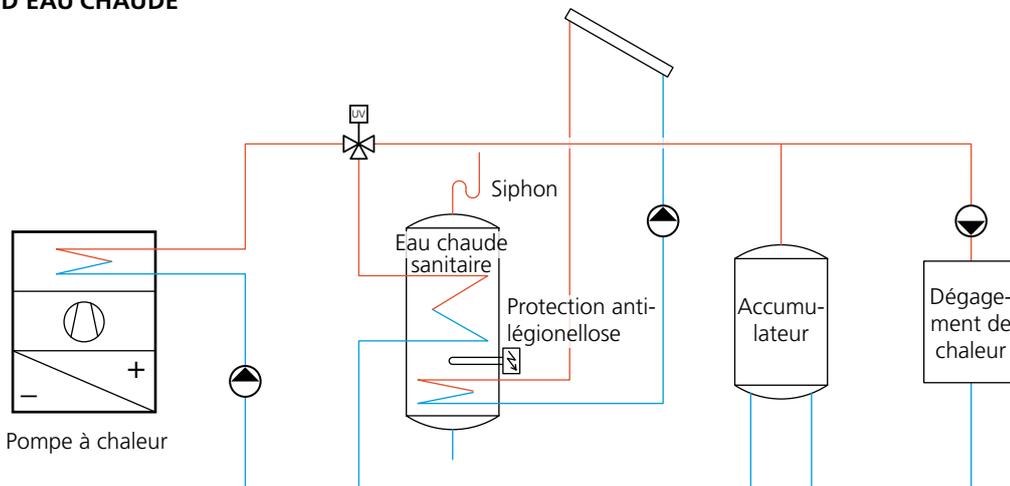


Comme pour la solution avec l'accumulateur en série, une production d'eau chaude sanitaire supplémentaire doit être intégrée avant l'accumulateur d'eau chaude. Dans le cas contraire, à chaque charge d'eau chaude sanitaire, l'accumulateur serait alors également chargé avec des températures inutilement élevées (à des fins de chauffage). Dans le cas

des pompes à chaleur à circulateurs intégrés, elles doivent s'adapter au reste du système hydraulique. Un faux débit massique peut accroître l'augmentation de la température dans la pompe à chaleur et ainsi réduire l'efficacité: par exemple, une hausse de la température de 2 K diminue l'efficacité de 3 %.

ACCUMULATEUR EN PARALLÈLE, AVEC APPOINT SOLAIRE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Illustration 11.7: Il faut être prudent lors de l'intégration de la chaleur solaire thermique.



Le fonctionnement avec une pompe à chaleur pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, y compris un appoint solaire thermique, est déjà une solution exigeante qui nécessite une planification appropriée. La production d'eau chaude sanitaire avec énergie solaire doit être garantie. Par conséquent, le registre de chauffage du circuit solaire dans l'accumulateur

d'eau chaude doit être inférieur au registre de chauffage de la pompe à chaleur. La surface de ce dernier doit s'adapter à la pompe à chaleur, c'est-à-dire qu'elle doit être suffisamment grande. De même, la régulation des deux sources de chaleur doit être coordonnée (priorité pour l'installation solaire).

11.2. INSTALLATIONS PLUS COMPLEXES

Cette section présente quelques exemples d'installations généralement plus grandes et plus complexes. Il faut veiller à ce que les installations complexes fassent l'objet d'une planification particulièrement soignée. Ces installations ne sont pas ordinaires sur le plan de la technique de régulation. De ce fait et outre les raisons financières, elles ne sont destinées qu'à des bâtiments ayant des besoins en chaleur et en froid très importants.

Exemple	Page
Installation de pompe à chaleur à sondes géothermiques	97
Installation de pompe à chaleur d'eau souterraine avec chaudière à mazout	98
Exploitation de la chaleur rejetée pour le chauffage de l'eau potable	99
Installation de pompe à chaleur air-eau combinée avec une chaudière à bûches	100
Combinaison d'une pompe à chaleur à sondes géothermiques, machine frigorifique et chaudière	101

Symboles

	Pompe, avec commande du régime		Moteur
	Pompe de refoulement		Sonde de température
	Ventilateur		Robinet de purge
	Soupape de sécurité à ressort		Combustibles liquide
	Échangeur de chaleur		Combustible gazeux
	Vase d'expansion fermé à membrane		Combustible solide
	Compteur de chaleur avec compteur électronique		Courant électrique
	Clapet de fermeture		
	Vanne mélangeuse à trois voies		
	Clapet de retenue		
	Filtre, piège à saleté		

INSTALLATION DE POMPE À CHALEUR À SONDES GÉOTHERMIQUES

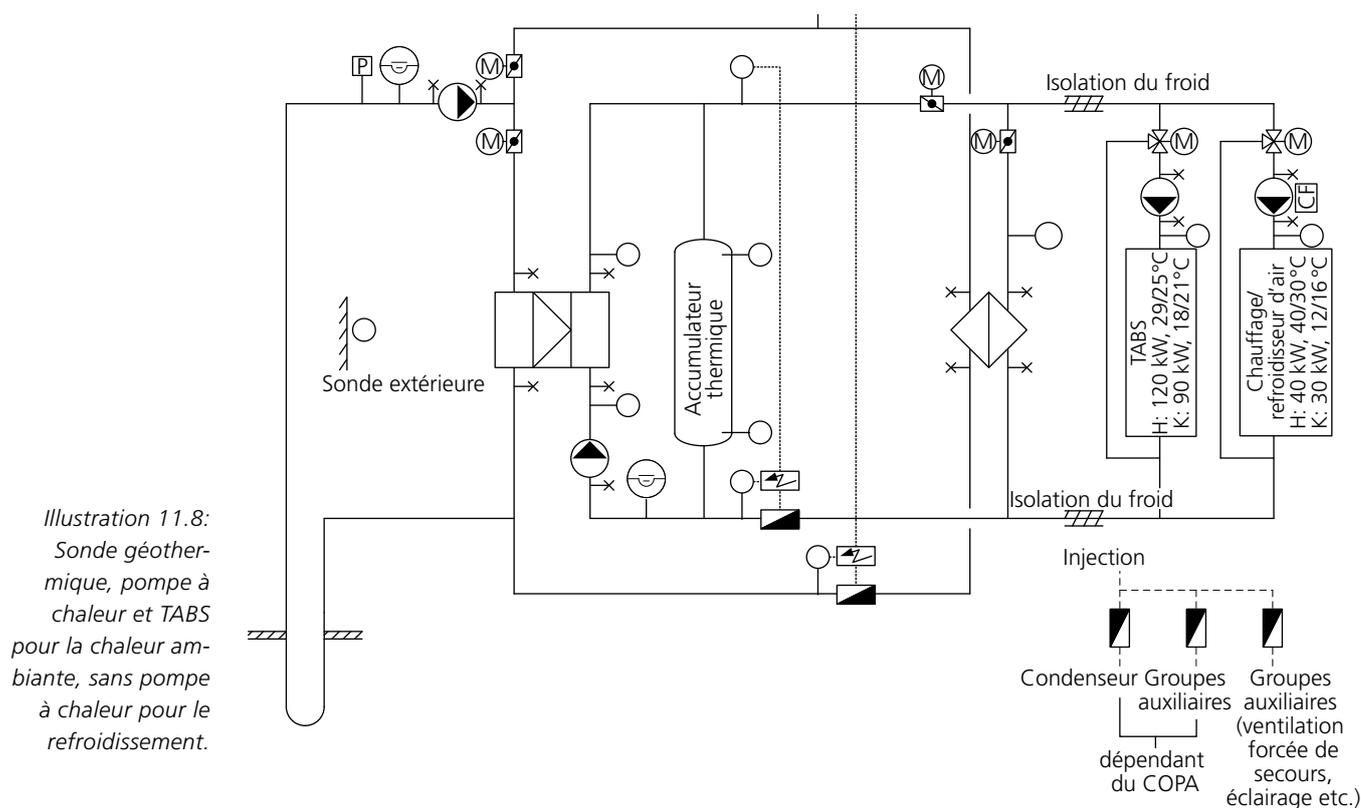


Illustration 11.8: Sonde géothermique, pompe à chaleur et TABS pour la chaleur ambiante, sans pompe à chaleur pour le refroidissement.

Objet: Bâtiment administratif

Choix du système: Les besoins en énergie thermique sont couverts par une installation de pompe à chaleur à sondes géothermiques. La chaleur est dégagée par un système à éléments thermoactifs. Le même système sert également à refroidir l'immeuble. Le refroidissement de l'immeuble se fait par les sondes géothermiques en mode «free cooling».

Il convient de veiller en particulier aux points suivants

- Enregistrement séparément de la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement
- Dimensionnement des refroidisseurs et réchauffeurs d'air
- Isolation du réseau de rafraîchissement afin d'éviter la condensation.
- Accès au site de forage et emplacement de celui-ci
- Dimensionnement des sondes géothermiques en fonction des besoins de refroidissement ou du chauffage
- Utilisation de vannes thermostatiques pour le chauffage et le refroidissement

INSTALLATION DE POMPE À CHALEUR D'EAU SOUTERRAINE AVEC CHAUDIÈRE À MAZOUT

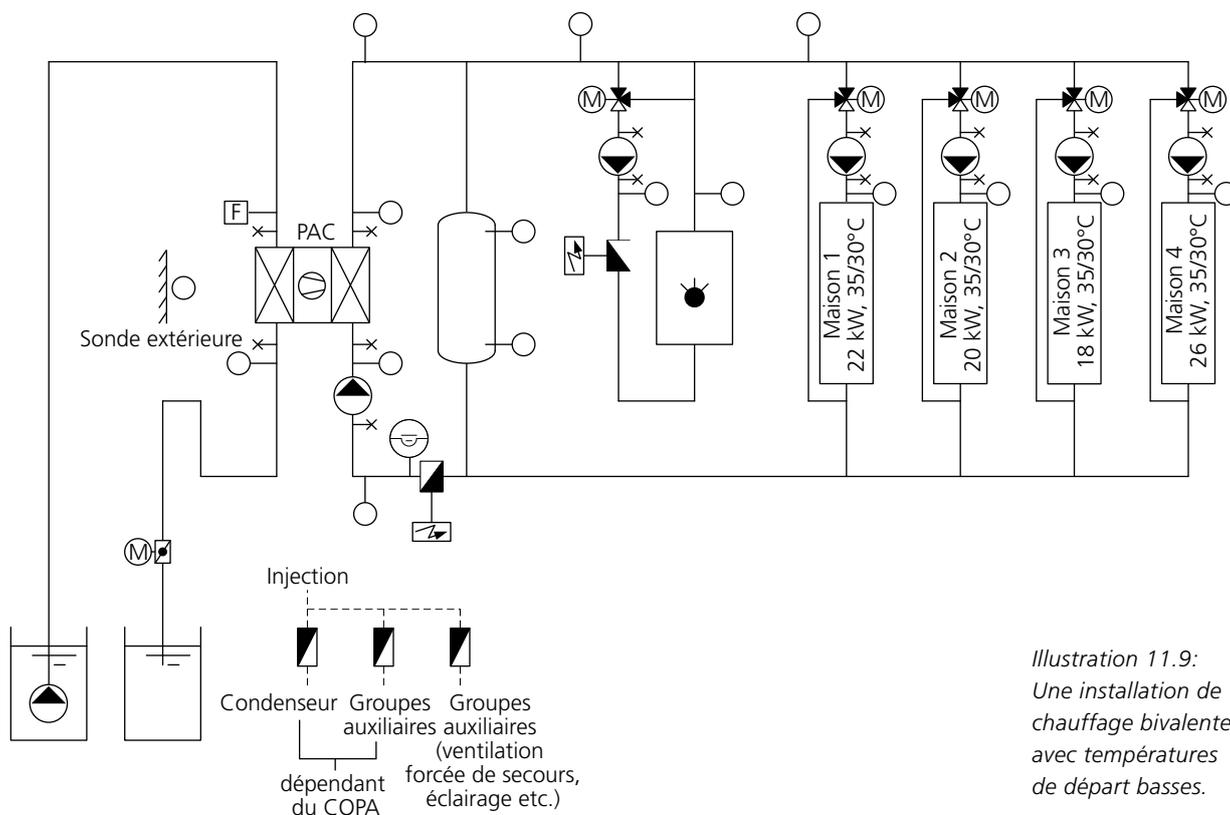


Illustration 11.9:
Une installation de chauffage bivalente avec températures de départ basses.

Objet: Lotissement

Choix du système: Le lotissement est composé de 4 immeubles locatifs de 6 appartements chacun. Le terrain se trouvant au-dessus d'une nappe phréatique, la production de chaleur doit idéalement se faire au moyen d'une pompe à chaleur eau-eau. Une chaudière à mazout est employée pour couvrir les besoins de pointe (mode bivalent parallèle). La chaleur est dégagée par des chauffages au sol.

Il convient de veiller en particulier aux points suivants

- Temps nécessaire pour la procédure d'autorisation
- Qualité de l'eau souterraine en ce qui concerne les paramètres physiques et chimiques ainsi que les matières solides etc.
- Dimensionnement du circulateur de l'eau souterraine

EXPLOITATION DE LA CHALEUR DES EAUX USÉES POUR LE CHAUFFAGE DE L'EAU POTABLE

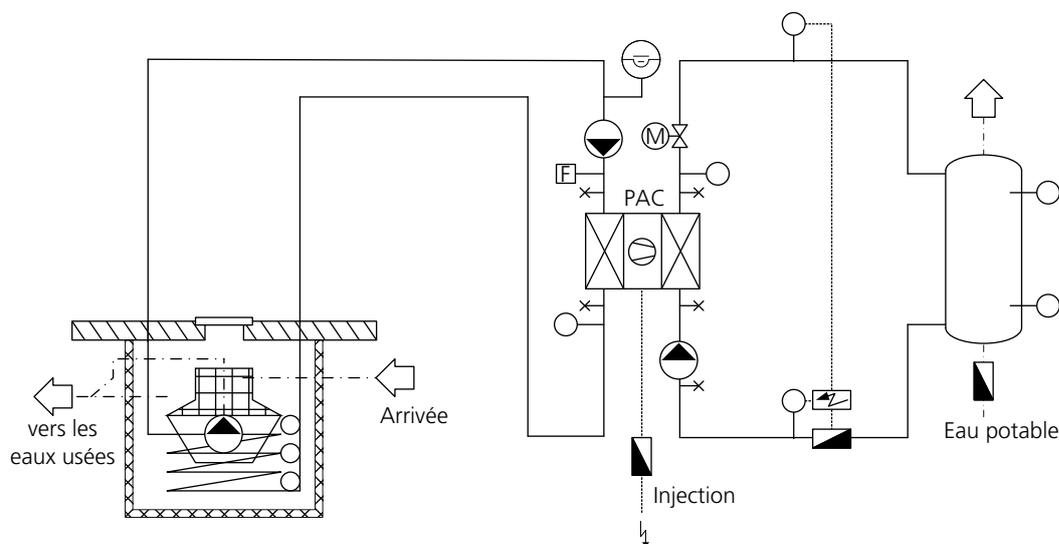


Illustration 11.10:
Chaleur provenant
des eaux usées
comme source pour
la pompe à chaleur.

Objet: Maison de repos

Choix du système: Le chauffage primaire de l'eau sanitaire se fait par une installation de pompes à chaleur et d'un système récupérant la chaleur des eaux usées. Le puits des eaux usées comprenant l'échangeur de chaleur et les pompes se trouve en sous-sol à l'extérieur du bâtiment.

Il convient de veiller en particulier aux points suivants

- Quantités d'eaux usées et qualité des eaux
- Répartition temporelle de l'accumulation d'eaux usées et besoins en eau chaude potable
- Sécurité antigel de tous les éléments de l'installation situés à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment
- Accessibilité pour les travaux de nettoyage et d'entretien
- L'installation doit disposer d'une protection anti-légionellose fiable, p. ex. un chauffage périodique à 60 °C de l'accumulateur d'eau potable. Recommandation SSIGE: chauffer au moins 1 fois par jour pendant 1 heure

INSTALLATION DE POMPE À CHALEUR AIR-EAU COMBINÉE AVEC UNE CHAUDIÈRE À BÛCHES

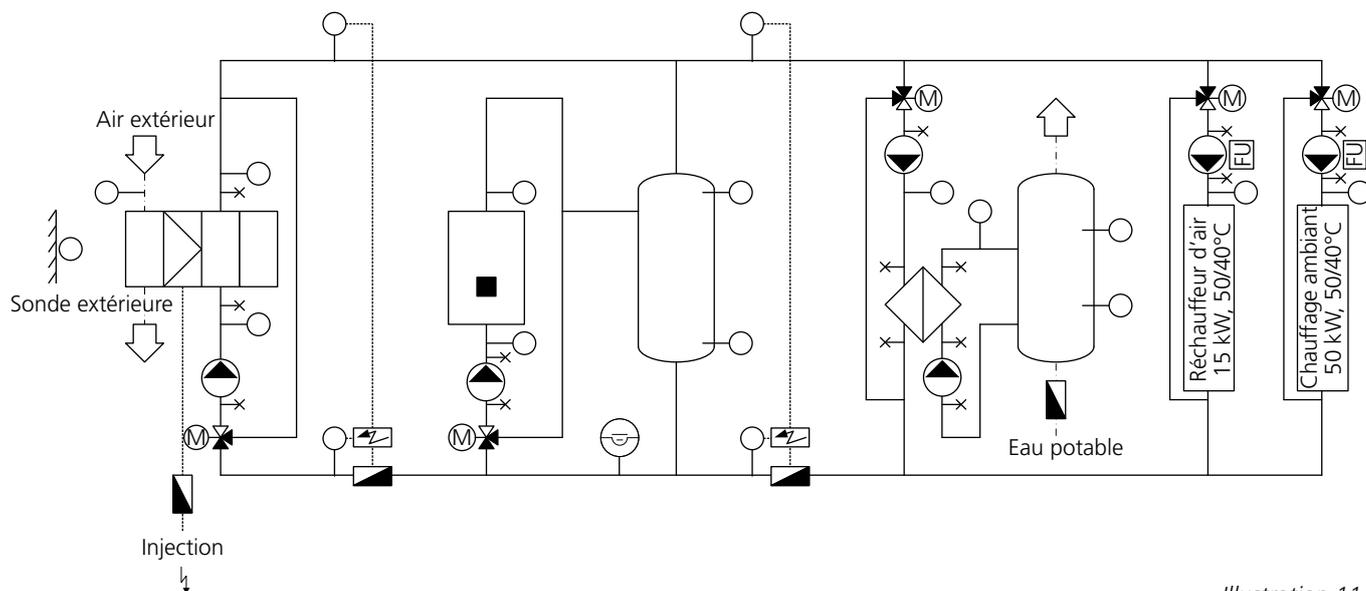


Illustration 11.11:
Chauffage bivalent
avec énergies re-
nouvelables.

Objet: École d'agriculture

Choix du système: L'école d'agriculture doit être chauffée par des énergies renouvelables. L'école possédant un terrain boisé, il était logique de couvrir ses besoins en énergie thermique par une chaudière à bûches. Pour l'entre-saison, une pompe à chaleur air-eau en mode bivalent alternatif est prévue.

Il convient de veiller en particulier aux points suivants

- Séparation hydraulique du générateur de chaleur et de l'accumulateur
- Émissions sonores et autres

COMBINAISON D'UNE POMPE À CHALEUR À SONDES GÉOTHERMIQUES, MACHINE FRIGORIFIQUE ET CHAUDIÈRE

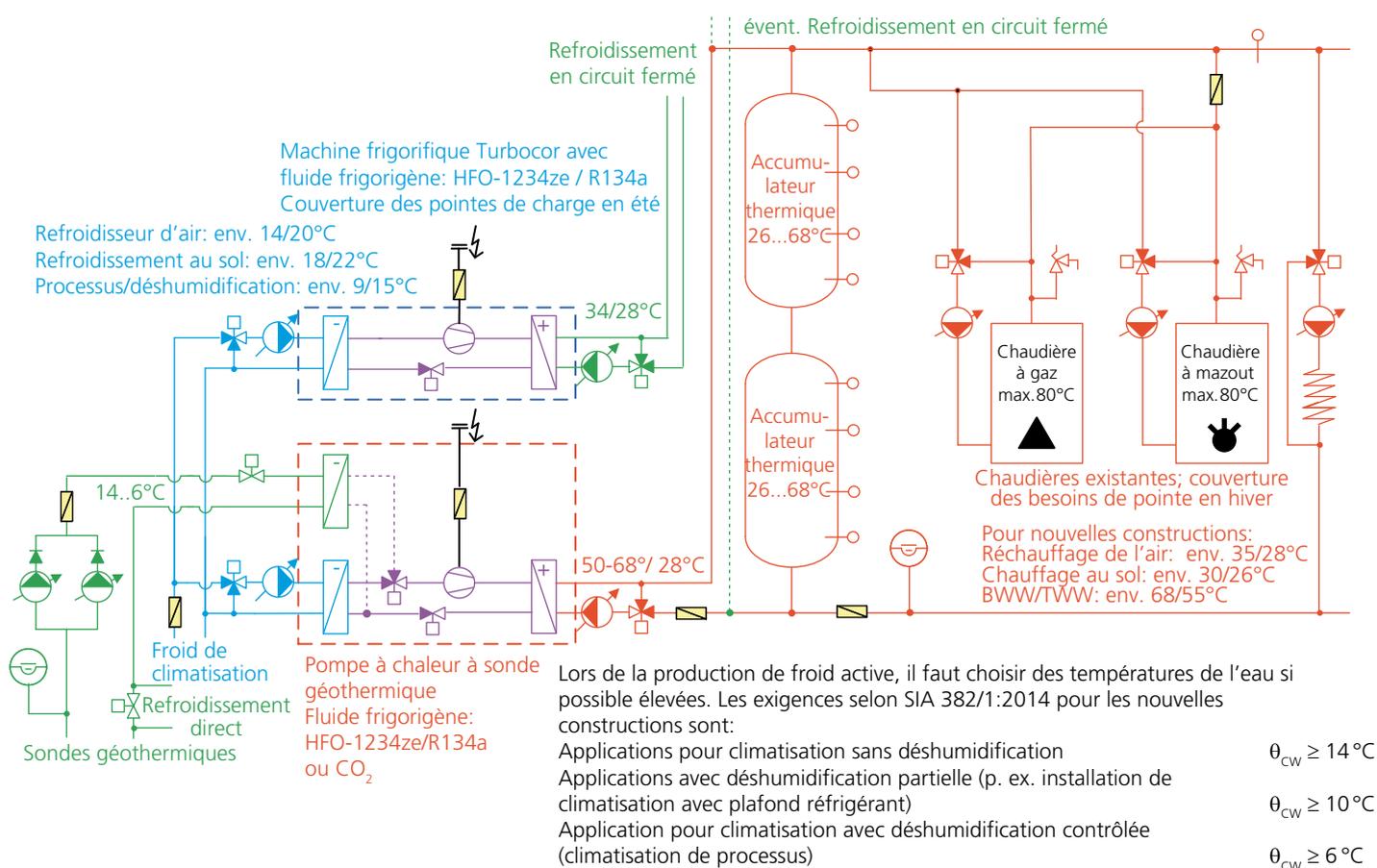


Illustration 11.12:
La pompe à chaleur couvre deux tiers des besoins de chaleur d'un grand bâtiment.

Objet: Hôpital, clinique, maison de repos ou hôtel

Chauffage au cours du semestre d'hiver: la nouvelle pompe à chaleur à sondes géothermiques (PAC) produit la charge de base de chaleur pour le bâtiment. 60 à 80 % env. des besoins annuels en énergie sont ainsi couverts par cette PAC. Les deux chaudières existantes ne se mettent en route que lorsque les températures extérieures sont très basses (inférieures à -2°C). Par ailleurs, les besoins de refroidissement sont directement couverts par les sondes géothermiques.

Refroidissement au cours du semestre d'été: la climatisation est également générée en permanence par la PAC à sondes géothermiques, dans le même temps tous

les groupes de chauffage sont alimentés en chaleur. La machine frigorifique pour pic de charge n'intervient que lorsque les températures extérieures sont très élevées (supérieures à 28°C). Elle permet de générer du froid le plus efficacement possible sur le plan énergétique.

Points clés

- Pompe à chaleur à sondes géothermiques pour la production simultanée de chaleur et de froid. 1^{ère} source de chaleur = réseau de froid; 2^e source de chaleur = sondes géothermiques (ou eaux souterraines). Utilisation de R744 (CO₂) recommandée en cas de différence de température élevée, comme une production d'eau chaude sanitaire de 10 à 65°C . Utilisation de R717 (NH₃) généralement recommandée, cependant l'investisse-

ment, les exigences de sécurité et les frais de service sont élevés. HFO-1234ze recommandé en remplacement du fluide frigorigène R134a, peut également être utilisé en tant que fluide frigorigène pour les compresseurs Turbocor à COP élevé, en particulier dans la plage de charge partielle.

- Refroidissement de base (et refroidissement direct) à l'aide des sondes géothermiques via le chauffage au sol (changeover), via le refroidisseur d'air circulant dans les salles de serveurs et d'informatique et refroidissement du froid commercial.

- Machine frigorifique Turbocor pour couvrir les demandes de pointe de froid pendant les mois d'été, à hauts rendements énergétiques partiels (COP supérieur à 10). On peut utiliser le fluide frigorigène R134a à des puissances de refroidissement jusqu'à 600 kW, le HFO-1234ze étant utilisable à des puissances supérieures. Le HFO-1234ze est classé depuis mi 2016 et est pris en compte dans la législation. Une «ventilation forcée de secours» doit être dimensionnée avec soin, avec aspiration directe au niveau du sol.

- Marche à suivre en cas d'installations de pompe à chaleur supérieures à 600 kW: détermination (1) du groupe de sécurité du fluide frigorigène; (2) de la zone d'installation; (3) de la catégorie de l'installation; (4) de la mise en place de l'installation. Variante d'une «solution encapsulée», avec boîtier à aération mécanique et par le biais de la diminution des dispositions de sécurité dans le local technique.

- Chaudières neuves ou existantes (mazout, gaz, bois) montées en série avec la pompe à chaleur. Le retour principal de tous les groupes de chauffage est toujours préchauffé dans un premier temps par la pompe à chaleur, puis réchauffé par les chaudières en cas de températures extérieures très basses.

- **Points importants:** intégration du froid commercial avec refroidissement direct à sondes géothermiques (et refroidissement en retour) des condenseurs; optimisation de l'efficacité énergétique grâce à une utilisation maximale des rejets thermiques; choix

rigoureux des fluides frigorigènes et des compresseurs; analyse et optimisation des fonctionnements à charge partielle tant en hiver qu'en été; prise en compte des températures maximales et minimales pour le chauffage et le refroidissement selon la norme SIA 382/1:2014 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises.

12. ANNEXE

12.1. AUTEURS

AUTEURS DE LA RÉVISION GLOBALE

2018

Ralf Dott, Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, Institut Énergie dans la construction, Muttenz (coordination globale)

Andreas Genkinger, Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, Institut Énergie dans la construction, Muttenz

Rita Kobler, Office fédéral de l'énergie, Section Énergies renouvelables

Prof. Dr Zoran Alimpic, Haute école de Lucerne – Technique et architecture, Horw

Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg

Prof. Dr Thomas Afjei, Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, Institut Énergie dans la construction, Muttenz

AUTEURS DE LA PREMIÈRE ÉDITION

2008

Peter Kunz, Kunz-Beratungen, Dietlikon (coordination globale)

Prof. Dr Thomas Afjei, Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, Institut Énergie dans la construction, Muttenz

Prof. Werner Betschart, Haute école de Lucerne – Technique et architecture, Horw

Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg

Rolf Löhner, Scheco AG, Winterthour

Andreas Müller, Andreas Müller GmbH, Seuzach

Vladimir Prochaska, Haute école de Lucerne – Technique et architecture, Horw

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

ISBN: 978-3-905711-54-7