



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et
de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Énergies renouvelables

Rapport du 16 juin 2022

Recours à des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

Puissance allant de 50 à 120 kW

Installations de grandes dimensions

Weisskopf Partner GmbH

Date: 16.06.2022

Lieu: Zurich

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

Weisskopf Partner GmbH
Albisriederstrasse 184 b, CH-8047 Zurich
www.weisskopf-partner.ch

Auteurs:

Rita Hefti, Weisskopf Partner GmbH, rita.hefti@weisskopf-partner.ch
Benjamin Marti, Weisskopf Partner GmbH, benjamin.marti@weisskopf-partner.ch

Direction de projet à l'OFEN: Rita Kobler, Rita.Kobler@bfe.admin.ch

Numéro de contrat OFEN: SI/402921-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.

Recours à des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

Office fédéral de l'énergie OFEN

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; adresse postale: Office fédéral de l'énergie OFEN, CH-3003 Berne
Tél. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Table des matières

Table des matières.....	4
Liste des abréviations.....	6
1 Résumé.....	7
2 Introduction.....	9
2.1 Contexte.....	9
2.2 Question.....	9
3 Définitions.....	11
3.1 Installations en cascade au moyen d'appareils standards.....	11
3.2 Installations spéciales (confection individuelle).....	11
3.3 Produits issus de la technologie du froid (installations réversibles, groupes d'eau glacée).....	12
4 Entretiens spécialisés.....	13
4.1 Démarche.....	13
4.2 Entretiens avec des fabricants.....	13
4.3 Entretiens avec des exploitants d'installations.....	13
4.4 Synthèse des entretiens avec les fabricants et les exploitants d'installations.....	14
5 Comparatif et évaluation des pompes à chaleur air/eau.....	15
5.1 Efficacité des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne.....	15
5.1.1 Processus de dégivrage.....	15
5.1.2 Réglage de la puissance.....	16
5.2 Tendance des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne à présenter des erreurs.....	16
5.2.1 Tendance à présenter des erreurs de planification.....	16
5.2.2 Tendance à présenter des erreurs dans l'installation.....	17
5.2.3 Tendance à présenter des erreurs de réglage.....	17
5.3 Coûts des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne.....	18
5.3.1 Exemple typique d'installation comme base pour les coûts de référence.....	18
5.3.2 Comparaison des coûts de pompes à chaleur air/eau de taille moyenne.....	19
6 Conclusions.....	21
6.1 Efficacité.....	21
6.2 Tendance à présenter des erreurs.....	21
6.3 Coûts.....	22
6.4 Matrice comparative des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne.....	23

Bibliographie.....	26
Annexe	27
Déclarations issues des entretiens avec les fabricants et les exploitants d'installations.....	27

Liste des abréviations

OFEN	Office fédéral de l'énergie
COP	Coefficient de performance (<i>coefficient of performance</i>)
EHPA	European Heat Pump Association
GSP	Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur
OPB	Ordonnance sur la protection contre le bruit
SCOP	Coefficient de performance saisonnier (<i>seasonal coefficient of performance</i>)
PACSM	PAC Système-Module

1 Résumé

En raison de leurs coûts et de leur simplicité d'installation, les pompes à chaleur air/eau sont aujourd'hui les modes de production de chaleur les plus fréquemment utilisés pour des niveaux de performance bas. Elles se sont imposées principalement dans les maisons individuelles et les petits immeubles résidentiels. Elles sont nettement moins utilisées pour fournir des puissances de chauffage plus élevées, ceci entre autres en raison de solutions standards peu nombreuses sur le marché actuel à partir de 50 kW. Les types d'installations alternatifs suivants entrent donc en ligne de compte:

- Installation en cascade avec des appareils standards.
- Installations spéciales (confection individuelle)
- Produits issus de la technologie du froid (installations réversibles, groupes d'eau glacée).

La présente étude se penche sur les différences entre ces trois types d'installation et sur les avantages et les inconvénients de chacun. Elle examine en particulier les trois aspects que sont l'efficacité des installations, leur tendance à présenter des erreurs de planification, d'installation et de réglage, et leurs coûts d'investissement. Ce rapport se concentre sur des applications dans les logements.

Dans les installations en cascade, plusieurs pompes à chaleur air/eau sont connectées les unes aux autres afin de fournir une puissance plus importante. Pour des installations de taille moyenne dans le secteur du bâtiment, on utilise généralement des appareils standards pour cela. Un réglage individuel permet d'ajuster le temps de fonctionnement des différents appareils. Le grand avantage d'une installation en cascade et qu'il est souvent possible, aujourd'hui, de moduler des appareils standards et que le compresseur peut donc être réglé de manière progressive.

Seuls quelques fabricants proposent des installations spéciales en Suisse. La réalisation de telles installations peut être planifiée individuellement et en fonction du bâtiment et de l'espace concerné. Cela peut surtout s'avérer avantageux sur le marché de la rénovation, lorsque l'installation de l'appareil ou l'accès au bâtiment présentent des difficultés.

Les groupes d'eau glacée servant à la production de froid peuvent, si l'exploitation est réversible, également être utilisés en partie comme pompe à chaleur. Il n'y a pas de fabricants de refroidisseurs d'eau en Suisse, ces appareils sont produits à l'étranger. Souvent, les appareils ne sont pas conçus pour le marché suisse et sont principalement destinés à produire du froid; leur utilisation pour la chaleur est secondaire.

La comparaison des différents types d'installations et la consultation des fabricants ont fait ressortir les points suivants:

De manière générale, les appareils standards et les installations spéciales sont bien développés. Le potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique que pourrait apporter le perfectionnement des compresseurs et des ventilateurs est considéré comme faible. L'optimisation du processus de dégivrage, l'évolution des échangeurs de chaleur à ailettes et l'amélioration de la canalisation de l'air présentent cependant un potentiel supplémentaire d'augmentation de l'efficacité énergétique.

Alors que l'évolution de différents appareils standards est bien avancée, le réglage des installations en cascade peut encore être un défi. En fonction du fabricant, le réglage des installations en cascade n'est pas toujours au point. Un bon réglage des installations en cascade permet d'ajuster les temps de fonctionnement, de sorte que les appareils soient mis à contribution de manière équilibrée et que leur durée

de vie ne soit pas réduite. En fonction du fabricant, jusqu'à six appareils sont reliés en cascade de manière standard.

Les groupes d'eau glacée émettent le plus souvent plus de bruit que les pompes à chaleur standards, empêchant, dans de nombreuses situations, de se conformer aux exigences actuelles de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB). En conséquence, les groupes d'eau glacée sont utilisés principalement dans l'industrie et le commerce et ne sont adaptés aux logements que sous certaines conditions.

Dans de nombreux cas, les exigences liées au bruit, à l'écologie, à l'efficacité et à l'aspect visuel sont difficilement conciliables, ce qui entraîne des conflits d'objectifs. Cela rend parfois la réalisation de pompes à chaleur air/eau très difficile aujourd'hui. On peut s'attendre à des démarches visant à simplifier la situation, moyennant des modifications des exigences en matière de protection contre le bruit dans certains cantons. Ce thème restera toutefois un défi à l'avenir.

Des développements sont en cours pour des appareils standards nouveaux, plus grands, utilisant aussi des réfrigérants naturels. D'après les indications des fabricants, un usage généralisé est ainsi prévu à l'avenir pour des bâtiments plus grands. L'utilisation de réfrigérants naturels, du fait de leur inflammabilité et de leur toxicité, est plus difficile à planifier et à réaliser que pour des installations utilisant des réfrigérants HFC/HCFC. Pour les appareils standards, il est toutefois fréquent de n'impliquer aucun planificateur; il est alors nécessaire de prendre des dispositions afin de garantir une utilisation sûre des installations.

Une simple comparaison des prix pour une installation usuelle montre que les coûts d'investissement approximatifs sont les plus bas pour les groupes d'eau glacée. Il est cependant important de préciser que les appareils pris en considération ne sont pas conformes aux prescriptions en matière d'émissions sonores. Les installations en cascade affichent des coûts moyens et les installations spéciales ont, elles, les coûts les plus élevés. Les coûts d'investissement des installations en cascade évoluent dans l'ensemble de manière assez linéaire en fonction de la puissance de l'installation alors que les coûts des installations spéciales augmentent moins que proportionnellement lorsque la puissance augmente.

En principe, l'utilisation d'installations spéciales et celle d'installations en cascade ne sont quasiment pas en concurrence. Les installations en cascade se heurtent tôt ou tard aux limites que leur imposent le nombre maximal d'appareils qu'il est possible d'associer et l'espace que ceux-ci requièrent. Souvent, au-delà de ce niveau, seules des installations spéciales entrent en ligne de compte. En ce qui concerne les coûts, également, une puissance élevée sera obtenue plus avantageusement au moyen d'installations spéciales alors que pour des niveaux de puissance plus bas, la réalisation d'installations en cascade revient nettement moins cher.

2 Introduction

2.1 Contexte

Le développement des énergies renouvelables et la décarbonisation font partie de la Stratégie énergétique 2050, de la loi sur le CO₂ et des lois cantonales sur l'énergie.

Dans le secteur du bâtiment, les pompes à chaleur air/eau représentent aujourd'hui le mode de chauffage renouvelable le plus installé, en raison de leurs coûts et de leur simplicité d'installation. Elles ont fait leurs preuves, surtout dans des maisons individuelles mais également pour les immeubles résidentiels nouvellement construits. Elles sont aussi fréquemment la seule option réalisable pour installer un chauffage sans énergie fossile lorsqu'aucune autre source d'énergie renouvelable n'est accessible, c'est-à-dire lorsque le recours à des sondes géothermiques est impossible, qu'il n'y a ni eaux souterraines, ni eaux de ruissellement et qu'aucun réseau énergétique n'est prévu.

Pour des puissances de chauffage plus élevées, nécessaires par exemple dans des immeubles résidentiels préexistants/rénovés, les pompes à chaleur air/eau restent nettement moins utilisées. Dans ce domaine, les chauffages à énergie fossile sont encore souvent remplacés par de nouveaux chauffages à énergie fossile. Diverses raisons expliquent cet état de fait:

- Pas de solutions standards disponibles
- Contraintes d'espace, notamment en milieu urbain
- Émissions sonores des pompes à chaleur air/eau de grandes dimensions

Plusieurs études ont déjà été rédigées pour démontrer que de bonnes solutions sont malgré tout possibles, entre autres:

- Remplacement des systèmes de chauffage par des pompes à chaleur air/eau dans les immeubles résidentiels: présentation des projets, des études et des subventions des cantons (Energie Zukunft Schweiz, 2018)
- Luft/Wasser Wärmepumpen im städtischen Bestand (Ville de Zurich, Amt für Hochbauten, 2019)
- Rapport «PAC air-eau», Remplacement de chaudières classiques à mazout, à gaz ou électrique en milieu urbain: scénarii de remplacement, analyse des coûts et des contraintes (BG Ingénieurs Conseils SA, 2019)

Ces études se concentrent principalement sur la faisabilité technique et architectonique et sur la présentation de «bons exemples».

2.2 Question

Pour les chauffages nouvellement installés en vue d'une puissance basse (jusqu'à 13 kW), ce sont principalement des pompes à chaleur qui sont choisies. Pour une puissance moyenne à élevée, en revanche, le nombre de chauffages à combustion fossile vendus a encore été supérieur à celui des pompes à chaleur en 2018 (voir Illustration1 illustration 1, OFEN 2019a). Il se pourrait certes que le

nombre de pompes à chaleur effectivement vendues soit un peu plus élevé, seuls les fabricants affiliés au GSP étant recensés, mais cela n'influence pas ce constat général.

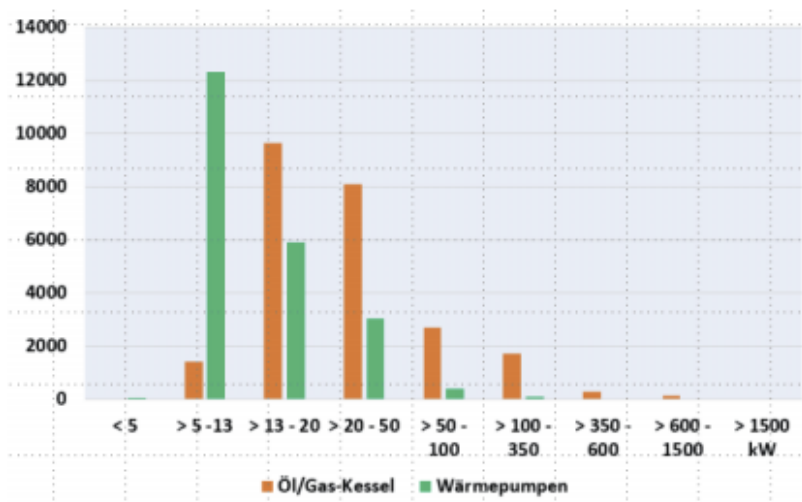


Illustration1: répartition des unités vendues en 2018 (OFEN 2019a)

Si l'on veut que des bâtiments, existants ou nouveaux, requérant une puissance de chauffage moyenne à élevée soient chauffés par pompe à chaleur à l'avenir, il faut que de bonnes alternatives au mazout et au gaz soient proposées. Les pompes à chaleur air/eau sont ici souvent la seule possibilité si aucune autre source d'énergie renouvelable n'est disponible. Pour des installations plus importantes, d'une puissance dépassant 50 kW, peu de solutions standards sont proposées sur le marché. Les types d'installations alternatifs suivants entrent donc en ligne de compte:

- Installation en cascade avec des appareils standards
- Installations spéciales (confection individuelle)
- Produits issus de la technologie du froid (installations réversibles, groupes d'eau glacée).

La présente étude examine et compare ces types d'installations principalement du point de vue des trois thèmes suivants:

- efficacité de l'installation
- tendance à présenter des erreurs de planification, d'installation et de réglage
- coûts d'investissement

L'étude aborde les émissions sonores et l'utilisation de réfrigérants mais ne se concentre pas spécifiquement sur ces thèmes. Toujours est-il que le bruit et les réfrigérants sont étroitement liés avec les thèmes de l'efficacité et des coûts et ne peuvent être complètement ignorés.

3 Définitions

28 000 pompes à chaleur ont été vendues en 2020¹, environ 80% d'entre elles sont des petites installations allant jusqu'à 20 kW. À peine un tiers de toutes les pompes à chaleur vendues sont des pompes à chaleur air/eau installées à l'extérieur pour des bâtiments dont la puissance de chauffage requise est inférieure à 20 kW. Pour les installations de plus de 20 kW, les pompes à chaleur saumure/eau représentent la plus grande part du marché (Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur 2021). On peut en conclure que les pompes à chaleur air/eau sont peu utilisées actuellement pour une puissance dépassant 20 kW.

Une étude de marché montre que les producteurs de pompes à chaleur proposent des appareils standards allant jusqu'à environ 30 kW. Pour des puissances plus élevées, ce sont des produits issus de la technologie du froid (installations réversibles) ou des installations spéciales qui sont utilisés. Une autre possibilité d'atteindre des puissances plus élevées consiste à installer en cascade plusieurs appareils standards. Selon la situation, il est possible de répondre avec ces trois types d'installations à un besoin allant jusqu'à plusieurs centaines de kilowatts. L'éventail des puissances fournies par des pompes à chaleur air/eau (aux points A-7/W35) se répartit donc, dans la présente étude, entre les domaines suivants:

- Petites installations (jusqu'à 50 kW)
- Installations moyennes (de 50 à 120 kW)
- Grandes installations (120 kW et plus)

Les trois types d'installations sont décrits plus en détail ci-après.

3.1 Installations en cascade au moyen d'appareils standards

Dans une installation en cascade, plusieurs pompes à chaleur air/eau sont connectées les unes aux autres pour atteindre une puissance plus élevée. Pour des installations de taille moyenne dans le secteur du bâtiment, on utilise généralement des appareils standards pour cela. Un réglage individuel permet d'ajuster le temps de fonctionnement des différents appareils. Le grand avantage d'une installation en cascade est qu'il est souvent possible, aujourd'hui, de moduler des appareils standards et que le compresseur peut donc être réglé en continu. Cela rend l'installation plus efficace. Une bonne sécurité d'approvisionnement est également assurée car les installations sont utilisées avec plusieurs modules. Les installations en cascade peuvent être réalisées à l'intérieur comme à l'extérieur. Pour une performance de 50 kW ou plus, une installation à l'intérieur est toutefois plus difficile à réaliser du fait des importants débits volumiques d'air et des grands canaux d'aération qui en découlent.

3.2 Installations spéciales (confection individuelle)

Seuls quelques fabricants proposent une confection individuelle de pompes à chaleur air/eau en Suisse. La réalisation de telles installations peut être planifiée individuellement et en fonction du bâtiment et de

¹ Seuls les fabricants affiliés au GSP sont pris en considération.

l'espace concernés. Cela peut surtout s'avérer avantageux sur le marché de la rénovation, lorsque l'installation de la pompe ou l'accès au bâtiment présentent des difficultés. Les installations peuvent de plus être conçues et dimensionnées pour correspondre optimalement aux conditions d'exploitation.

3.3 Produits issus de la technologie du froid (installations réversibles, groupes d'eau glacée).

Les groupes d'eau glacée sont des appareils venant de la technologie du froid et utilisant comme fluide de refroidissement non pas des réfrigérants mais de l'eau ou un mélange d'eau et de glycol. Le réfrigérant est utilisé uniquement pour produire du froid; le principe est ainsi comparable au fonctionnement d'une pompe à chaleur. De ce fait, les groupes d'eau glacée peuvent, en cas d'exploitation réversible, être en partie utilisés comme des pompes à chaleur. Les installations réversibles se distinguent par un échangeur de chaleur refroidi par air ou par eau, pouvant simultanément servir à chauffer et à refroidir. La présente étude prend en compte les installations refroidies par air pour des bâtiments. En général, ce sont des unités compactes en extérieur qui sont utilisées dans ce domaine. Toutefois, l'installation peut aussi être réalisée comme installation à éléments séparés avec une unité extérieure et une unité intérieure. Les groupes d'eau glacée sont actuellement surtout utilisés dans l'industrie et le commerce.

4 Entretien spécialisés

4.1 Démarche

Différents entretiens ont eu lieu pour obtenir une vue d'ensemble actuelle de la situation en ce qui concerne les pompes à chaleur air/eau utilisées pour fournir une puissance moyenne. D'une part, quatre fabricants ont été interrogés sur la situation actuelle du marché et son avenir; d'autre part, trois installations ont été visitées sur place en vérifiant si les critères examinés sont remplis. Durant ces entretiens, l'accent a été mis sur les points suivants:

- Efficacité des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne
- Tendance à présenter des erreurs de planification, d'installation et de réglage
- Coûts

Un procès-verbal des entretiens a été rédigé. Une sélection des principaux constats est présentée en annexe. Les entretiens ont principalement servi à élaborer une vue d'ensemble et à réunir divers avis d'experts. Les déclarations des différents fabricants ne sont pas neutres, elles ont fait l'objet d'une réflexion de leur part en vue du rapport et ont été vérifiées dans la mesure du possible.

4.2 Entretien avec des fabricants

Les entretiens avec des fabricants fournissent un bon aperçu de la situation actuelle du marché. Des fabricants d'appareils standards et d'installations spéciales ont été pris en compte pour ces entretiens afin de couvrir un éventail de produits aussi complet que possible. En principe, les fabricants retenus produisent eux-mêmes des installations; ce ne sont pas uniquement des distributeurs. Les fabricants d'installations issues de la technologie du froid n'ont en revanche pas été directement interrogés, mais l'un des fabricants consultés propose à la vente des groupes d'eau glacée réversibles. Les fabricants suivants ont été interrogés:

- Fabricant 1: installations spéciales
- Fabricant 2: appareils standards, entre autres dans le segment de marché des installations en cascade
- Fabricant 3: appareils standards, installations spéciales, distribution de groupes d'eau glacée
- Fabricant 4: appareils standards

4.3 Entretien avec des exploitants d'installations

Une sélection d'exploitants d'installations a été prise en compte pour les entretiens. Ils ont été choisis de manière purement aléatoire. Le nombre d'installations réalisées est limité, pour des raisons déjà mentionnées. C'est pourquoi la puissance de l'installation spéciale dépasse la taille d'installation prise en compte dans l'étude. Ceci n'a toutefois aucune influence sur les conclusions du rapport. Un exploitant ayant de l'expérience en *contracting* a été pris en compte, ce qui a permis de faire d'autres constats intéressants, également pour d'autres installations. Les conclusions tirées des entretiens ne peuvent

pas être comparées aux résultats tirés d'une étude de terrain. Il faudrait pour cela prendre en compte un plus grand nombre d'objets. Un aperçu de thèmes spécifiques aux objets examinés a cependant été possible et ces thèmes ont contribué à l'image d'ensemble obtenue grâce à cette étude. Les installations suivantes ont été visitées:

- Exploitant d'installation 1: installation spéciale 140 kW (A-7/W35), immeuble résidentiel, coopérative de construction
- Exploitant d'installation 2: installation en cascade (2 appareils), 44 kW (A-7/W35), immeuble résidentiel, exploitant de *contracting*
- Exploitant d'installation 3: installation en cascade (4 appareils), 54 kW (A-7/W35), immeuble résidentiel, exploitant privé

4.4 Synthèse des entretiens avec les fabricants et les exploitants d'installations

Les entretiens avec les fabricants de pompes à chaleur ont montré qu'il y a actuellement une forte demande de pompes à chaleur air/eau de manière générale, mais également dans le secteur des puissances moyennes. Un fabricant parle d'une croissance exponentielle au cours des dernières années. À l'avenir, les fabricants se concentreront d'une part sur le développement d'appareils standards plus grands afin de mieux occuper le secteur des puissances moyennes, mais aussi, d'autre part, sur le perfectionnement des installations en cascade et des installations spéciales. Concernant les installations en cascade, de grandes différences apparaissent entre les fabricants interrogés. Chez l'un des fabricants, les installations en cascade sont largement utilisées et, au cours des deux dernières années, plusieurs centaines d'installations ont été mises en œuvre pour des puissances moyennes. Pour un autre fabricant proposant également des installations en cascade, presque aucune de celles-ci n'a été réalisée. D'un côté parce que les installations en cascade ne sont pas proposées depuis longtemps et que leur réglage n'est pas encore parfaitement développé, d'un autre côté parce que leur utilisation n'est recommandée qu'avec une certaine réserve et que, parfois, ce sont plutôt des installations spéciales qui sont réalisées.

L'utilisation de réfrigérants naturels, du fait de leur inflammabilité et de leur toxicité, est plus difficile à planifier et à réaliser que pour des installations utilisant des réfrigérants HFC/HCFC. Pour les installations spéciales, les réfrigérants naturels sont utilisés depuis plus longtemps. Les réfrigérants naturels sont très peu utilisés jusqu'ici pour les appareils standards dépassant 15 kW. Mais d'après les entretiens avec les fabricants, une utilisation généralisée est prévisible à l'avenir pour les appareils standards. Il est toutefois fréquent de n'impliquer aucun planificateur pour les appareils standards; il est alors nécessaire de prendre des dispositions afin de garantir une utilisation sûre des installations.

5 Comparatif et évaluation des pompes à chaleur air/eau

5.1 Efficacité des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

L'efficacité d'une pompe à chaleur s'évalue au moyen du COP (*Coefficient of Performance*). L'examen de la performance consiste à déterminer la performance de chauffage et les coefficients de performance au niveau de la chaleur. Ce chiffre est mesuré en laboratoire. Le SCOP (*Seasonal COP*) se fonde sur les valeurs du COP mesurées en laboratoire en plusieurs points et pour plusieurs températures de l'eau et de l'air.

Lors de procédures d'examen reconnues, les exigences des normes internationales EN 14511, EN 14825 ou EN 16147 ainsi que les exigences élargies du règlement spécial de l'European Heat Pump Association (EHPA) ou de l'Ecolabel, sont prises en compte. Il est ainsi possible d'obtenir un label de qualité national ou international.

Il faut, en Suisse, présenter une étiquette-énergie pour pouvoir distribuer et vendre des pompes à chaleur fabriquées en série allant jusqu'à 70 kW (OFEN 2020). Des critères d'efficacité minimale sont définis sur la base de l'étiquette-énergie et doivent régulièrement être durcis. Le Certificat de qualité PAC est un autre moyen de démontrer la qualité de pompes à chaleur. Ce certificat sert de base pour l'encouragement de pompes à chaleur par les autorités. Les exigences requises pour l'obtenir sont décrites dans le règlement du certificat de qualité de l'EHPA.

Le règlement de l'EHPA sur le certificat de qualité (uniquement disponible en allemand) stipule que les pompes à chaleur doivent atteindre une efficacité minimale sur la base de tests reconnus. L'exigence minimale concernant le SCOP pour les pompes à chaleur air/eau pour le chauffage des habitations est de 3,5 (climat modéré, application de températures basses).

De manière générale, les entretiens avec les fabricants font ressortir que les appareils standards et les installations spéciales sont bien développés. Le potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique que pourrait apporter le perfectionnement des compresseurs et des ventilateurs est considéré comme faible. L'optimisation du processus de dégivrage, l'évolution des échangeurs de chaleur à ailettes et l'amélioration de la canalisation de l'air présentent cependant un potentiel supplémentaire d'augmentation de l'efficacité énergétique.

5.1.1 Processus de dégivrage

Une étude détaillée de la Haute École de Lucerne a démontré que, pour qu'une pompe à chaleur atteigne une efficacité optimale, il faut impérativement que la puissance du compresseur et du ventilateur soit régulée. Une autre mesure augmentant l'efficacité d'une pompe à chaleur air/eau est l'utilisation systématique du ventilateur pour le dégivrage (OFEN 2011). Cela permet de dégivrer l'évaporateur au moyen du ventilateur lorsque la température de l'air ambiant est suffisamment élevée. Pour cela, il faut simplement saisir la température de l'air entrant, celle de l'évaporation et intégrer les réglages. Si la température ambiante est trop basse, on peut utiliser les processus classiques: dégivrage par gaz chauds ou dégivrage par inversion de cycle. Seuls quelques fabricants d'appareils standards proposent le dégivrage au moyen du ventilateur (air ambiant pulsé), même si le réglage nécessaire à ce type de

dégivrage représente une charge minimale. Selon les indications recueillies lors des entretiens, les installations spéciales sont au contraire souvent équipées d'un système de dégivrage par ventilation.

De plus, dans les installations spéciales, le dégivrage est la plupart du temps réglé en fonction des besoins, avec des durées de dégivrage et des intervalles variables. Le processus de dégivrage est donc particulièrement efficace pour les installations spéciales. On trouve aussi parfois, dans les installations spéciales, d'autres processus de dégivrage que les processus classiques (saumure chaude/thermo-accumulateur), ce qui peut aussi contribuer à une meilleure efficacité. Cependant, selon les déclarations des fabricants, la question du rapport coût/utilité se pose fréquemment. Plus l'installation est grande, plus il vaut la peine d'opter pour des processus de dégivrage alternatifs.

Pour les installations en cascade, le dégivrage peut aussi se faire en utilisant efficacement l'énergie, puisque le processus de dégivrage peut débiter sur un appareil tout en gardant les autres appareils en marche. Avec les installations spéciales, on utilise souvent plusieurs refroidisseurs, ce qui permet un dégivrage efficace et à tour de rôle.

5.1.2 Réglage de la puissance

Les appareils standards de puissance réduite, jusqu'à env. 20 kW, sont aujourd'hui souvent disponibles avec régulation de la puissance. Cela donne des avantages certains aux installations en cascade, car celles-ci peuvent être exploitées de manière très efficace. Pour les installations de plus grande puissance, le réglage constant de la puissance des pompes à chaleur n'est utilisé que dans certains cas (ville de Zurich 2019). Toutefois, les pompes à chaleur air/eau ont en principe un grand potentiel d'augmentation de leur efficacité, car elles sont exposées à des températures sources variant considérablement, contrairement aux pompes à chaleur saumure/eau ou eau/eau. D'après les entretiens avec les fabricants, les appareils standards à faible puissance développés récemment sont presque tous construits avec un réglage continu. En fonction du fabricant, les installations spéciales fonctionnent soit avec une puissance réglable de manière continue (compresseur et ventilateur), soit sur différents niveaux de puissance, avec plusieurs compresseurs. Les groupes d'eau glacée peuvent être acquis comme appareils ON/OFF, comme appareils pouvant fonctionner à plusieurs niveaux de puissance, et désormais aussi en tant qu'appareils réversibles.

Les installations en cascade peuvent répondre en même temps à différentes exigences de température. Par exemple, une installation peut amener l'eau chaude à une température plus élevée dans le logement pendant que les autres modules installés en cascade fournissent le chauffage des pièces. Cela permet d'exploiter l'installation de manière très efficace.

5.2 Tendances des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne à présenter des erreurs

5.2.1 Tendances à présenter des erreurs de planification

La planification des installations en cascade est généralement simple puisque de nombreux fabricants proposent déjà des solutions en cascade préfabriquées, avec les réglages adaptés, pour leurs appareils standards. Les pompes à chaleur air/eau standardisées et les groupes d'eau glacée préfabriqués sont

ainsi considérablement moins difficiles à planifier que les installations spéciales. Selon les entretiens avec les fabricants, les installations en cascade sont donc souvent réalisées directement avec les installateurs, sans passer par un bureau de planification. De cette manière, on évite certes une partie des frais de planification, mais l'installation aura plus de risques de présenter des erreurs. Une bonne planification est importante pour utiliser une pompe à chaleur, car bien souvent, la pompe est surdimensionnée, ce qui entraîne une efficacité moindre dans le cas des pompes à chaleur air/eau.

Pour les installations spéciales, une planification détaillée, avec de nombreuses clarifications préliminaires, est nécessaire. Cela implique parfois des délais plus longs dans la planification. Cela peut constituer une pierre d'achoppement, en particulier sur le marché de la rénovation, car remplacer une installation fossile par une autre installation fossile était jusqu'ici possible plus rapidement, avec moins d'obstacles dans la réalisation. En outre, de longues attentes sont à prévoir du fait de délais de livraison très importants pour certaines pièces des installations. De manière générale, selon les indications des fabricants, sensibiliser aux délais les responsables de la planification et les maîtres d'ouvrage permettrait de réaliser des pompes à chaleur air/eau sur de meilleures bases.

5.2.2 Tendances à présenter des erreurs dans l'installation

Dans les bâtiments existants, installer de nouvelles pompes à chaleur air/eau représente souvent un défi. D'une part, les prescriptions en matière de protection contre le bruit peuvent être une limitation et d'autre part, la mise en place de l'unité extérieure ou de l'installation compacte externe est souvent difficile du fait de la configuration du bâtiment. Des mesures statiques en lien avec le poids important des installations peuvent rapidement faire augmenter les coûts et inciter à renoncer à une pompe à chaleur air/eau. De plus, amener d'imposants groupes d'eau glacée dans le bâtiment existant peut aussi compliquer les choses. En conséquence, avec une réalisation en cascade, amener et, souvent, installer la pompe à chaleur est plus simple, car il est possible de tenir compte des particularités du bâtiment. Cela vaut également pour les installations spéciales.

Il n'y a pas de fabricants de groupes d'eau glacée en Suisse, ces appareils sont produits à l'étranger. Souvent, les appareils ne sont pas conçus pour le marché suisse et sont principalement destinés à produire du froid; leur utilisation pour la chaleur est secondaire. On trouve donc souvent, sur le marché, des appareils qui ne répondent pas aux exigences techniques et qui sont traités de manière inadaptée. Ils peuvent certes être avantageux à l'achat, mais leur durée de vie est plus courte. Par ailleurs, en utilisant des groupes d'eau glacée, il faut explicitement tenir compte des limites d'utilisation. Ces refroidisseurs sont parfois limités et une installation (en Suisse) ne peut donc pas être exploitée en mode monovalent. Si les limites d'utilisation ne sont pas respectées et que l'installation est par exemple exploitée par le consommateur à des températures plus élevées, cela influencera la durée de vie des installations.

5.2.3 Tendances à présenter des erreurs de réglage

Alors que le développement des appareils individuels fabriqués en série est bien avancé, le réglage des installations en cascade peut encore être un défi. Chez certains fabricants, les réglages en cascade ne sont parfois pas encore au point, ou seules des cascades de deux appareils sont possibles. Un bon

réglage des installations en cascade permet d'ajuster les temps de fonctionnement, de sorte que les appareils soient mis à contribution de manière équilibrée et que leur durée de vie ne soit pas réduite.

Selon certains fabricants, les appareils standards sont parfois mis en service avec des réglages trop conservateurs afin d'éviter des dysfonctionnements ou des réclamations des clients. Pour cette raison, le potentiel d'optimisation du fonctionnement des appareils standards et des installations en cascade est généralement supérieur à celui des installations spéciales.

Selon les indications d'un exploitant d'installation ayant déjà pratiqué le *contracting*, l'intégration, chez certains fabricants, de la gestion des pompes à chaleur dans une gestion globale présente parfois encore quelques problèmes. Cela varie toutefois d'un fabricant à l'autre; il peut aussi arriver que le système, tel qu'installé, fonctionne déjà parfaitement. La gestion des pompes dans les installations spéciales est configurée de manière individuelle, en fonction des besoins du bâtiment. Cela représente un travail plus important mais engendre en principe moins de problèmes, y compris en ce qui concerne l'intégration de l'installation dans un système de gestion plus large.

5.3 Coûts des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

5.3.1 Exemple typique d'installation comme base pour les coûts de référence

Les coûts de référence d'une installation typique ont été recueillis pour différents types d'installation afin de pouvoir comparer facilement les coûts. Ce sont des prix indicatifs des fabricants pour les coûts d'investissement des pompes à chaleur, selon les spécifications suivantes:

- Objet: Immeuble résidentiel existant, rénové, Plateau suisse
- Surface de référence énergétique: 1 800 m²
- Puissance de chauffage / besoin en chaleur: 85 kW/180 800 kWh/a (besoin en chauffage, eau chaude sanitaire (ECS))
- Système de chauffage: Chauffage au sol, températures du système 40/32°C
- Réfrigérants: Réfrigérants stables dans l'air (mélanges), HFO ou réfrigérants naturels
- Puissance acoustique: Extérieur et intérieur max. 65dB(A) en exploitation de nuit
- Inclus dans les coûts: Livraison et montage de la pompe à chaleur, accumulateur, gestion de la pompe à chaleur
- Exclus des coûts: Appareils de terrain (uniquement livraison), accumulateur ECS, travaux au niveau du bâtiment et de l'électricité

5.3.2 Comparaison des coûts de pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

	Produits de la technologie du froid	Installations spéciales		Installations en cascade
Installation	Groupe d'eau glacée, installation extérieure (ne répond souvent pas aux exigences en matière de bruit)	Construction spéciale Installation extérieure	Construction spéciale Installations à éléments séparés	Installation en cascade (extérieure et intérieure)
Réfrigérant	R410A, R407C	Mélanges à partir de HCFC: R407C, R410A, R513A, HFO: R1234yf, naturel: R290 ²	Mélanges à base de HCFC: R407C, R410A, R513A, mélanges HCFC/HFO: R449A ²	R410A
Coûts totaux	CHF 80 à 110 000	CHF 130 à 170 000	CHF 160 à 180 000	CHF 120 000

Coûts de référence indiqués par les fabricants pour l'installation spécifique, hors TVA, prix final pour le client

Le comparatif des coûts dans le tableau ci-dessus montre que les produits issus de la technologie du froid (groupes d'eau glacée) affichent les coûts d'investissement les plus bas. Il est cependant important de signaler que les appareils pris en compte ne satisfont pas aux prescriptions en matière d'émissions sonores. Les installations en cascade affichent des coûts d'investissement moindres que les installations spéciales. Les installations spéciales compactes en extérieur sont en principe plus avantageuses que les installations spéciales construites avec des éléments intérieurs et extérieurs séparés. De plus, les coûts varient en fonction du réfrigérant utilisé. Les mélanges comprenant du HFO et des réfrigérants naturels se situent dans le segment de prix supérieur. Les réfrigérants pris en compte selon le tableau ci-dessus se fondent sur les offres existantes des fabricants, mais d'autres réfrigérants peuvent aussi être utilisés.

Les mesures de construction et statiques appliquées au bâtiment ne sont pas prises en compte dans les coûts. Ces mesures peuvent s'avérer importantes, spécialement pour les bâtiments existants. Les installations compactes sur le toit peuvent notamment requérir dans certains cas des mesures statiques coûteuses. Les coûts de mesures supplémentaires de protection contre le bruit peuvent eux aussi rapidement entrer en ligne de compte et ils varient selon le lieu. Parfois, les problèmes acoustiques ne surviennent qu'une fois l'installation mise en service, ce qui engendre des frais supplémentaires.

Les installations spéciales sont conçues spécifiquement pour un bâtiment et requièrent une planification détaillée. En règle générale, un bureau de planification est impliqué. En revanche, les installations en cascade sont souvent mises en place directement par l'installateur, en collaboration avec le fabricant. Il n'y a pas de coûts de planification dans ce cas.

² Les coûts varient en fonction du réfrigérant. Les mélanges comprenant du HFO et des réfrigérants naturels se situent dans le segment de prix supérieur.

Les contributions d'encouragement sont possibles avant tout en cas de remplacement d'un chauffage à énergie fossile. Le programme Bâtiments proposé par la Confédération et les cantons exige, pour un encouragement, un label de qualité pour pompes à chaleur national ou international, reconnu en Suisse ou une certification correspondant au PAC Système-Module. Pour les confections individuelles sans label de qualité, une évaluation au cas par cas était jusqu'ici possible, mais cela n'a pas fait l'objet de communication étendue. En règle générale, les cascades sont, pour les installations de taille moyenne, construites au moyen d'appareils standardisés construits en série et disposant le plus souvent d'un label de qualité. En principe, un encouragement via le programme Bâtiments est ainsi possible sans restriction. Pour les installations spéciales, les règles relatives à l'encouragement n'étaient pas uniformes jusqu'ici, ce qui était perçu comme un désavantage concurrentiel vis-à-vis des appareils certifiés, selon les entretiens avec les fabricants. Entre-temps, un label de qualité propre aux installations spéciales a été créé pour les solutions spécifiques appliquées.

6 Conclusions

Les conclusions sont résumées ci-après. Les principaux constats sont aussi indiqués dans la matrice au chapitre 6.4.

6.1 Efficacité

De manière générale, les installations spéciales et les installations en cascade sont bien développées et efficaces sur le plan énergétique. La possibilité de réguler la puissance de manière continue permet, surtout dans le cas des installations en cascade, d'obtenir une efficacité énergétique optimale car des appareils standards peuvent être utilisés avec la technologie Inverter. Réguler la puissance est optimal du point de vue de l'efficacité énergétique, mais cela présente aussi un avantage au niveau acoustique. Étant donné les exigences élevées sur le plan acoustique, il faut parfois construire de grands refroidisseurs d'air pour les installations spéciales. Cela réduit le besoin de dégivrage et augmente l'efficacité énergétique. Dans les installations spéciales, le processus de dégivrage est le plus souvent réglé en fonction des besoins et d'autres processus que les dégivrages classiques peuvent occasionnellement être utilisés (saumure chaude/thermo-accumulateur). Cela contribue aussi à une meilleure efficacité. Dans les installations en cascade, le dégivrage par ventilation n'est pas encore fréquemment utilisé. Il y a un potentiel d'augmentation de l'efficacité dans ce domaine.

6.2 Tendances à présenter des erreurs

Avec la standardisation des pompes à chaleur, le besoin de planification a parfois diminué. Les installations en cascade avec des appareils standards ainsi que les groupes d'eau glacée ne nécessitent souvent pas de grande planification, ce sont généralement directement les installateurs qui les réalisent. Cependant, cela augmente aussi le risque d'erreurs. Si un bureau de planification est impliqué dans la réalisation d'une pompe à chaleur, on aura en général plutôt tendance à envisager une installation spéciale. Si c'est directement l'installateur qui s'en charge, on optera le plus souvent pour une installation en cascade.

Souvent, les groupes d'eau glacée ne permettent pas de respecter les prescriptions exigées en matière de protection contre le bruit. D'après les entretiens avec les fabricants, il ressort clairement que les groupes d'eau glacée sont beaucoup plus souvent utilisés en Suisse romande qu'en Suisse alémanique, apparemment parce que les questions de bruit et d'optique y sont soumises à des exigences moindres. C'est une conséquence du principe de précaution voulu par l'ordonnance sur la protection contre le bruit. Selon ce principe, indépendamment de la charge existante pour l'environnement, les émissions doivent être limitées dans le cadre de mesures de précaution, dans la mesure où cela est réalisable sur le plan technique et de l'exploitation et économiquement supportable.

En règle générale, diverses exigences doivent être remplies lors de la réalisation d'une pompe à chaleur air/eau. Il faut notamment respecter les prescriptions légales. Dans de nombreux cas, les exigences liées au bruit, à l'écologie, à l'efficacité et à l'aspect visuel sont difficilement conciliables, ce qui entraîne des conflits d'objectifs. Voici quelques exemples conduisant à des conflits d'objectifs:

- Du point de vue écologique, il faudrait utiliser des réfrigérants naturels, mais cela nécessite souvent une installation externe (inflammabilité et toxicité). Le propane est actuellement

souvent utilisé comme réfrigérant, par exemple. Du fait de son inflammabilité, les installations sont généralement aménagées à l'extérieur, mais cela durcit les exigences sur le plan acoustique et, selon les régions, les prescriptions urbanistiques peuvent aussi représenter un défi.

- Pour une même puissance de chauffage, des composants de pompes à chaleur aménagés de manière large sont préférables du point de vue de la protection contre le bruit, puisque cela permet de réduire les émissions sonores. Les pompes à chaleur s'en trouvent cependant plus grandes, ce qui influence davantage le paysage urbain et n'est souvent pas accepté.
- Pour des raisons optiques (prescriptions concernant le revêtement/protection visuelle), des problèmes peuvent parfois survenir avec la canalisation de l'air (courts-circuits), ce qui peut nuire à l'efficacité de l'installation.

6.3 Coûts

Les coûts d'investissement des installations en cascade sont, globalement, proportionnels à la puissance de l'installation, car il faut acheter l'ensemble des appareils reliés en cascade (y compris pompes). Les coûts des installations spéciales, en revanche, évoluent moins que proportionnellement lorsque la puissance augmente.

Il ressort des entretiens avec les fabricants que les installations en cascade ont fait leurs preuves durant leur utilisation au cours des dernières années. Le recours à des installations en cascade varie toutefois beaucoup d'un fabricant à l'autre. Un fabricant connecte aujourd'hui de manière standard jusqu'à six appareils en cascade, alors que chez d'autres, les installations en cascade sont moins développées. En principe, l'utilisation d'installations spéciales et celle d'installations en cascade ne sont quasiment pas en concurrence. Les installations en cascade se heurtent tôt ou tard aux limites que leur imposent le nombre maximal d'appareils qu'il est possible d'associer et l'espace que ceux-ci requièrent. Souvent, au-delà de ce niveau, seules des installations spéciales entrent en ligne de compte. En ce qui concerne les coûts, également, une puissance élevée sera obtenue plus avantageusement au moyen d'installations spéciales alors que pour des niveaux de puissance plus bas, la réalisation d'installations en cascade revient nettement moins cher.

Recours à des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

6.4 Matrice comparative des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

		Produits de la technologie du froid	Installations spéciales	Installations en cascade
Efficacité	Réglage de la puissance	+/- Installations permettant en partie un réglage de la puissance	+ Le réglage de la puissance au moyen d'un convertisseur de fréquence est souvent appliqué	+ Les installations jusqu'à env. 15 kW sont souvent disponibles avec réglage de la puissance. + Meilleur réglage de la puissance possible avec technique Inverter et connexion en cascade
	Dégivrage		+ le dégivrage par ventilation est appliqué. + Dégivrage en fonction des besoins possible (avec durée des dégivrages et intervalles entre eux variables) + Processus alternatifs de dégivrage possibles (saumure chaude/thermo-accumulateur)	+ Dégivrage efficace (un appareil dégivre, les autres continuent de fonctionner) - Installations plutôt sans dégivrage par ventilation - Pour les appareils standards, dégivrage en partie selon un programme horaire fixe (gourmand en énergie)
Tendance à présenter des erreurs	Planification	+/- planification simple ou aucune planification nécessaire (mais plus grand risque d'erreur)	+/- Planification complexe et délais longs (mais risque d'erreur plus faible)	+/- planification simple ou aucune planification nécessaire (mais plus grand risque d'erreur)
	Réalisation	- Difficultés en ce qui concerne la statique et le transport dans le bâtiment existant (pour des installations compactes) - Installations non conçues pour le marché suisse (limites dans l'utilisation) - Les exigences en matière de protection contre le bruit ne sont souvent pas respectées	+ Possibilité de gérer l'intégration dans le bâtiment existant en cas de conception individuelle	+ Bonne intégration possible dans le bâtiment existant - Parfois besoin d'un espace important (surtout si des appareils ont une puissance réduite et qu'il en faut beaucoup pour l'installation en cascade)
	Réglage		+ Possibilité spécifique d'optimiser l'exploitation (généralement plus grand nombre de paramètres modifiables) + La gestion individuelle des pompes à chaleur implique moins de problèmes, y compris l'intégration dans un système de gestion plus large.	+ Sécurité d'approvisionnement élevée - Les appareils standards sont parfois mis en service avec des réglages (trop) conservateurs (pour éviter des réclamations) - L'intégration de la gestion des pompes à chaleur dans un système de gestion plus large peut entraîner des problèmes - Le réglage de la cascade n'est parfois pas encore au point ou seule une cascade de deux appareils est possible
Coûts		+ Bon marché - Ne respectent souvent pas les prescriptions acoustiques - Parfois durée de vie courte des installations en raison d'un traitement inadapté	- Coûts d'investissement élevés en raison d'une conception individuelle - Économies de coûts difficilement possibles	+ Bon marché car possibilité d'utiliser des appareils standards + Économies de coûts possibles en augmentant le nombre d'objets produits

Recours à des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

Matrice pompes à chaleur air/eau, évaluation + = point positif, - = point négatif, +/- = neutre

Bibliographie

Office fédéral de l'énergie (2011), Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung, 12.2011, Berne

Office fédéral de l'énergie (2019a), News aus der Wärmepumpen-Forschung, 26.06.2019, Berne

Office fédéral de l'énergie (2019b), Ausblick auf mögliche Entwicklungen von Wärmepumpen-Anlagen bis 2050, 30.11.2019, Berne

Office fédéral de l'énergie (2020), Révision de l'OEEE, 15.5.2020, Berne

Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur (2021), Statistik 2020, 08.04.2021, Berne

Ville de Zurich (2019), Luft/Wasser-Wärmepumpen im städtischen Bestand, 07.2019, Zurich

Annexe

Déclarations issues des entretiens avec les fabricants et les exploitants d'installations

Les entretiens se fondaient sur un catalogue de questions préparé à l'avance. Les dialogues avec les fabricants ont été menés par vidéoconférence, ceux avec les exploitants d'installations ont eu lieu sur place, auprès de l'installation. Le questionnaire se divise en trois parties: efficacité; tendance à présenter des erreurs de planification, d'installation et de réglage; et coûts. Une sélection de déclarations formulées dans ce cadre sont reprises ci-après.

Efficacité des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

- «L'efficacité d'une grande installation unique a tendance à être meilleure que celle de plusieurs petites installations (la mécanique peut en principe être conçue de manière plus efficace dans les grandes installations). Il se peut cependant aussi que l'exploitation d'installations en cascade soit plus efficace qu'une grande installation unique, en raison d'un mode de charge partielle plus efficace et d'un dégivrage coordonné. Pour les installations spéciales, on utilise souvent plusieurs refroidisseurs, ce qui permet un dégivrage efficace et à tour de rôle.»
- «Avec des appareils standards, le dégivrage se fait généralement plus souvent et selon un programme horaire fixe (grande consommation d'énergie). Pour les bâtiments spéciaux utilisant plutôt un dégivrage hydraulique (pompe supplémentaire), le besoin en énergie est supérieur au dégivrage par inversion de cycle, du fait de la transmission supplémentaire de chaleur et de la pompe supplémentaire. Cependant, ce sont souvent de grands refroidisseurs d'air qui sont utilisés (en raison des exigences acoustiques). Le besoin de dégivrage est donc moindre et l'ensemble est tendanciellement aussi efficace ou plus efficace qu'une installation standard.»
- «La sécurité de l'exploitation des installations spéciales est parfois compromise aujourd'hui car les échangeurs de chaleur sont construits de grande taille pour des raisons d'efficacité (avec des différences de température peu importantes), ce qui rend la mise en service des installations très difficile. Des appareils standards sont installés avec des échangeurs plus petits (donc avec des différences de température plus importantes). En conséquence, la sécurité d'exploitation des appareils standards est souvent supérieure (il faut bien examiner le rapport efficacité/sécurité d'exploitation).»
- «L'optimisation de l'exploitation spécifique des installations spéciales présente des atouts. Cela peut être un avantage vis-à-vis des appareils standards, car un nombre plus important de paramètres sont modifiables et plus de temps est habituellement prévu pour la mise en service.»
- «La question du rapport coûts/utilité se pose toujours pour les installations spéciales en ce qui concerne le dégivrage. Plus l'installation est grande, plus il peut valoir la peine d'opter pour des systèmes de dégivrage alternatifs (p. ex. dégivrage au moyen d'un thermo-accumulateur, stockage latent pour dégivrage au moyen de saumure chaude).»
- «Le potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique réside dans le développement des échangeurs de chaleur à ailettes, dans l'optimisation des canalisations d'air (comment construire et aménager l'évaporateur de manière efficace pour pouvoir utiliser l'énergie au

mieux?) et du processus de dégivrage. Il n'existe plus beaucoup de potentiel dans le développement des compresseurs et des ventilateurs.»

- «Les appareils standards sont souvent mis en fonctionnement avec des réglages trop conservateurs afin d'éviter des dysfonctionnements et des réclamations de clients. Le potentiel d'optimisation de l'exploitation des appareils standards est élevé.»

Tendance des pompes à chaleur air/eau à présenter des erreurs de planification, d'installation et de réglage

- «Les installations fonctionnant au propane ne sont recommandées en intérieur qu'avec un bon système de sécurité. Ce sera une difficulté à l'avenir pour les appareils standardisés fournissant une puissance élevée. Une bonne planification est nécessaire.»
- «Il faut sensibiliser les maîtres d'ouvrage et les bureaux de planification aux longs délais de livraison (prévoir de longs délais initiaux dans la planification; les chauffages à mazout et à gaz sont plus rapidement disponibles pour des rénovations).»
- «L'intégration de la gestion de pompes à chaleur (avec appareils standards) dans un système de gestion plus large n'est parfois pas prévue correctement. Il peut arriver que les exigences des responsables de la planification quant à la gestion des pompes à chaleur ne puissent pas être suivies (parce que cette gestion est standardisée).»
- «Pour les gestions en cascade, il faut clarifier comment la gestion des pompes à chaleur en cascade s'intègre dans un éventuel système de gestion général. Il faut définir quelles fonctions dépendent de la gestion des pompes à chaleur et quelles fonctions sont activées via la gestion générale. Le réglage des cascades n'est pas encore au point chez ce fabricant, également en raison d'un manque d'expérience dans le domaine des installations en cascade.»
- «La gestion des installations spéciales pose en général moins de problèmes car elle est élaborée sur mesure pour l'installation et peut être appliquée de manière plus flexible.»
- «Un exploitant d'installation ayant de l'expérience en *contracting* déclare que, pour les appareils standards de certains fabricants, l'interface entre la gestion des pompes à chaleur et le système de gestion général engendre régulièrement des problèmes. Mais il y a aussi des fabricants avec lesquels la mise en fonction ne pose aucun problème.»

Coûts des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

- «Faire des économies sur les coûts est quasiment impossible avec les bâtiments spéciaux.»
- «Avec les appareils standards, des réductions de coûts sont possibles si le nombre d'objets fabriqués augmente, mais du point de vue technique, les installations sont au point et les réaliser à un meilleur prix est pratiquement impossible.»
- «Les fabricants asiatiques sont, d'après l'estimation du fabricant, en avance et pourraient à long terme s'implanter sur le marché européen. Des produits bon marché sont possibles en Asie grâce, également, à des quantités élevées d'articles fabriqués. Les appareils actuels ne répondent cependant pas aux exigences suisses (par exemple au niveau du bruit).»
- «Généralement, économies de coûts et suppléments de coûts dépendent fortement des exigences sur le plan acoustique. Par exemple, les appareils standards italiens de la technologie du froid sont en principe disponibles à un prix avantageux, mais ils ne satisfont souvent pas aux exigences en matière de bruit imposées en Suisse.»

Recours à des pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

- «Des développements sont en cours pour créer de nouveaux appareils standards de plus grande taille. D'un côté des pompes à chaleur air/eau conventionnelles avec circulation du réfrigérant sur l'évaporateur, et de l'autre, des pompes à chaleur avec circuit intermédiaire de saumure et évaporateur extérieur. On tend généralement vers une standardisation afin de favoriser une utilisation massive à l'avenir.»

Déclarations d'ordre général sur les pompes à chaleur air/eau de taille moyenne

- «Les thématiques de l'espace, du bruit, de l'écologie et de l'aspect visuel s'opposent dans de nombreux cas et rendent la réalisation difficile. Les installations de grandes dimensions sont avantageuses du point de vue de la protection contre le bruit, mais pas de celui de l'urbanisme et du réglage. Du point de vue écologique, il faudrait utiliser des réfrigérants naturels, mais aussi, en conséquence, aménager l'installation à l'extérieur (mesures de sécurité difficiles à appliquer à l'intérieur). Au niveau visuel (prescriptions concernant le revêtement/protection visuelle), des problèmes peuvent survenir avec la canalisation de l'air/courts-circuits.»
- «Le principe de précaution relatif à l'exposition au bruit (il faut limiter les émissions sonores dans la mesure où cela est réalisable sur le plan technique et de l'exploitation et économiquement supportable) soumet la construction des installations à des exigences élevées.»