Vademecum

«PAC air-eau en toiture»

Guide pratique pour l'implémentation de pompes à chaleur air-eau en toiture dans les immeubles résidentiels de petite et moyenne taille.

Avec le soutien de

CSD INGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

PROGRAMME éco21

SIG

suisse énergie
Notre engagement : notre futur.

Lexique

COP	Coefficient of performance (coefficient de performance)
COPa	Coefficient de performance annuel
CVSE	Chauffage, ventilation, sanitaire, électricité
GC	Génie civil
ECS	Eau chaude sanitaire
GSP	Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur
IDC	Indice de dépense de chaleur [MJ/m^2]
MCR	Mesure / contrôle - commande / régulation
MO	Maitre d'ouvrage
OFEN	Office fédéral de l'énergie
PAC	Pompe à chaleur
PCC	Plan climat cantonal
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SIG	Services industriels de Genève
SRE	Surface de référence énergétique [m^2]

Table des matières

1. Introduction 5
2. Données de base nécessaires 6
3. Faisabilité 6
   3.1 Électricité 6
   3.2 Chauffage et eau chaude sanitaire 7
      3.2.1 Mode d'intégration 7
      3.2.2 Place en chaufferie 7
      3.2.3 Implantation 7
   3.3 Structure 13
   3.4 Acoustique, vibrations 13
      3.4.1 Bruits aériens 13
      3.4.2 Vibrations 15
   3.5 Autres 16
      3.5.1 Amiante 16
      3.5.2 Protection incendie 16
      3.5.3 Bâtiments classés ou dans un ensemble 17
4. Conception détaillée 17
   4.1 Électricité 17
      4.1.1 Introduction 17
      4.1.2 Régulation et tableaux en chaufferie 17
      4.1.3 Mesure / Comptage 17
   4.2 Chauffage et eau chaude sanitaire 18
      4.2.1 Puissance et mode d'intégration 18
      4.2.2 Schéma et intégration hydraulique 21
      4.2.3 Condensats 24
      4.2.4 Accumulateurs 24
      4.2.5 Pompes 24
      4.2.6 Qualité des conduites 24
      4.2.7 Réfrigérants 24
   4.3 Statique 25
      4.3.1 Appui 25
   4.4 Acoustique, vibrations 26
5. Réalisation des travaux 26
   5.1 Général 26
      5.1.1 Feu vert 26
      5.1.2 Annonce des travaux 26
      5.1.3 Coordination 26
      5.1.4 Sécurité 26
      5.1.5 Grutage 27

5.1.6 Dégâts sur le bâtiment 27
5.2 Électricité 27
5.3 Chauffage 27
5.3.1 Qualité de l'eau de chauffage 27
5.3.2 Contrôle des fuites 27
5.4 Statique, génie civil 27
5.5 Acoustique 28
5.6 Autres 28
5.6.1 Rhabillage, peinture et ferblanterie 28
6. Mise en service et réception 28
6.1 Mise en service 28
6.2 Réception 28
Annexe 1 : pense-bête récapitulatif 29

1. Introduction

En Suisse, environ 75% des énergies servant aux systèmes de chauffage sont importées sous forme d'énergies fossiles. La Confédération a pour objectif d'abaisser de 20% des émissions totales de carbone à l'horizon 2020 (par rapport au niveau de 1990), en visant notamment une diminution de 40% des émissions de CO_2 issu du secteur du bâtiment. Afin de promouvoir les énergies renouvelables dans les systèmes de chauffage, les instruments ont été mis en place au niveau fédéral, notamment le Programme Bâtiments. Cependant, ces mesures ne seront pas suffisantes pour atteindre les taux d'émissions escomptés. En 2014, on observait une réduction des émissions totales de CO_2 de 9% par rapport à 1990 et les émissions liées au secteur des bâtiments avaient diminué de 30%.

En complémentarité avec les mesures fédérales, les cantons ont entrepris des actions afin de faciliter le déploiement des énergies renouvelables et promouvoir l'efficience énergétique. A Genève, le Canton s'est doté d'un Plan climat cantonal (PCC) et s'est associé aux Services Industriels de Genève (SIG) afin d'amorcer et accélérer la transition énergétique, notamment dans le domaine du bâtiment.

Dans le cadre du programme éco21, SIG cherche à promouvoir la mise en œuvre de solutions renouvelables dans la thermique des bâtiments existants, tant à l'échelle de la villa individuelle qu'à celle de l'immeuble résidentiel. Les propriétaires de villa reçoivent un accompagnement, des conseils ainsi qu'une aide financière. Au final, le surcoût lié à une installation de chauffage renouvelable est amorti en quelques années. En revanche, dans le domaine de l'immobilier, les locataires paient l'énergie et les frais d'entretien, alors que les coûts liés à l'investissement sont exclusivement à charge du propriétaire. Au-delà des nombreuses contraintes techniques, les conditions actuelles n'incitent pas les propriétaires d'immeubles à investir dans des installations renouvelables. En effet, les solutions de chauffage valorisant les énergies renouvelables sont environ cinq fois plus chères que les systèmes dits conventionnels. Dans ces conditions, les propriétaires se contentent de remplacer les anciennes installations par des nouvelles chaudières fossiles.

Afin de palier à cet obstacle, le programme Chaleur renouvelable de SIG-éco21 a mis en place un système de *« contracting »*. L'ensemble des coûts liés à la nouvelle installation sont pris en charge par SIG-éco21, qui facture ensuite directement aux locataires la fourniture de chaleur. Le propriétaire quant à lui ne paie que le montant qu'il aurait dû investir pour une nouvelle chaudière fossile.

SIG-éco21 a réalisé ainsi plusieurs installations « pilotes » de pompe à chaleur air-eau dans des immeubles à Genève. Les premiers résultats étant très encourageants, ce système est voué à se déployer à Genève et dans le reste de la Suisse afin d'accélérer la transition énergétique. En partenariat avec l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN), SIG-éco21 souhaite valoriser ces travaux et inspirer de nouveaux projets.

Le présent document, destiné principalement aux bureaux d'ingénieurs, est un guide pratique s'appuyant sur les retours d'expériences de SIG-éco21. Il est organisé selon deux axes (voir tableau ci-dessous) : les phases SIA et les principaux domaines d'étude – électricité, chauffage, génie civil, acoustique – d'un projet de rénovation substituant les énergies fossiles par des PAC air-eau dans les immeubles résidentiels.

Phases d'étude	Électricité	Chauffage	Statique / GC	Acoustique / vibrations	Autres
Faisabilité	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Conception détaillée	4.1	4.2	4.3	4.4	
Réalisation	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
Mise en service et réception			6.1 / 6.2		

Liens vers les différentes sections du document

2. Données de base nécessaires

Les données suivantes devraient être mises à disposition par le propriétaire du bâtiment :

- Plans du bâtiment et coupes, gabarits
- Plan de ferraillage de la dalle de toiture *
- Schémas chauffage, ventilation, sanitaire, électricité (CVSE) du bâtiment *
- Puissance de l'installation de chauffage existante et température de départ chauffage
- Consommation énergétique actuelle pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Consommation d'eau chaude sanitaire *
- Surface de référence énergétique (SRE), affectations, nombre d'habitants
- Indice de dépense de chaleur (IDC) moyen sur 3 ans

Le Maître de l'Ouvrage devra fixer son objectif de production :

- Taux de couverture par pompe à chaleur (PAC)
- Coefficient de performance annuel moyen (COPa) minimal souhaité

* Pour des bâtiments anciens, ces informations ne sont probablement pas disponibles

Subventions

La confédération et les cantons offrent des subventions pour l'installation de pompes à chaleur en remplacement de chaudières à énergie fossile (mazout, gaz) ou d'installations électriques. Les critères prescrits par le ModEnHa (Modèle d'encouragement harmonisé des cantons) doivent être respectés. Ainsi, en termes de qualité, les pompes à chaleur d'une puissance égale ou inférieure à 15kW doivent être certifiées par le label PAC-système-module. Pour les machines de puissance supérieure, un label de qualité reconnu (exemple : EHPA) ainsi que la garantie de performance de SuisseEnergie doivent être fournis. D'autres critères et recommandations émanant du ModEnHa ou plus spécifiques à chaque canton doivent être pris en considération.

Par ailleurs, les demandes de subvention doivent impérativement être déposées avant le début des travaux.

3. Faisabilité

3.1 Électricité

Les paramètres de dimensionnement électrique (puissance électrique, intensité maximale, intensité au démarrage) sont déterminés par les conditions de fonctionnement souhaitées par le MO (puissance thermique à une température extérieure donnée, pour une température de chauffe donnée),

Vérifier l'état et la capacité de l'introduction électrique du bâtiment.

Le raccordement électrique existant peut-il satisfaire aux besoins des PAC ?

Exemple : Calcul de la puissance thermique pouvant être installée en fonction du raccordement disponible, à la température de dimensionnement

$$P_{PAC\ à\ T\ dimensionnement}[kW] = P_{électrique\ disponible}\ [kW] * COP_{T\ dimensionnement}$$

Soit environ (pour installation monovalente, T dimensionnement à -7 °C) :

$$P_{PAC\ à\ T\ dimensionnement}\ [kW] \cong\ P_{électrique\ disponible}\ [kW] * 2$$

Si non, le raccordement peut-il être augmenté ou une nouvelle introduction peut-elle être faite ?

Sinon, redimensionner la puissance des PAC en fonction de la capacité du raccordement électrique. Dans ce cas, est-ce que la part renouvelable du système est encore acceptable pour le MO ?

L'état des installations existantes doit être relevé. Tous les éléments touchés par les travaux (tableaux, distribution) doivent être mis aux normes.

3.2 Chauffage et eau chaude sanitaire

3.2.1 Mode d'intégration

Deux modes d'intégration principaux sont possibles :

- Monovalent : les PAC produisent 100% de la puissance chauffage à la température de dimensionnement ;
- Bivalent : les PAC produisent 40 à 60% de la puissance chauffage à la température de dimensionnement, l'appoint étant fait par une chaudière à gaz ou éventuellement mazout.

La puissance des PAC détermine leur emprise et leur masse, qui sont des points cruciaux pour déterminer la faisabilité des différents modes d'implantation.

Exemple : Ordre de grandeur de la puissance requise en mode monovalent et bivalent sur la base de l'indice de dépense de chaleur IDC (chauffage + eau chaude sanitaire, rendement chaudière estimé 90%) au point extrême de dimensionnement :

$$Puissance\ thermique\ totale\ [kW] \cong \frac{IDC\ \left[\frac{MJ}{m^2 a}\right] * SRE\ [m^2] * 1'000\ \left[\frac{kJ}{MJ}\right] *\ 0.90}{3'600\ \left[\frac{s}{h}\right] * 2'400\ \left[\frac{h}{a}\right]}$$

$$Puissance\ PAC\ monovalent\ [kW] = Puissance\ thermique\ totale\ [kW]$$

$$Puissance\ PAC\ bivalent\ [kW] \cong 0.5 * Puissance\ thermique\ totale\ [kW]$$

3.2.2 Place en chaufferie

La place disponible dans la chaufferie est un critère important. En effet, l'installation de PAC nécessite des accumulateurs de chaleur et d'eau chaude sanitaire conséquents afin de limiter les enclenchements des machines et maximiser leur durée de vie.

Si la chaufferie ou des locaux annexes ne permettent pas d'installer des accumulateurs, le projet peut être compromis.

L'accès à la chaufferie pour l'introduction des accumulateurs est aussi important puisqu'il est plus coûteux et complexe de les souder sur place.

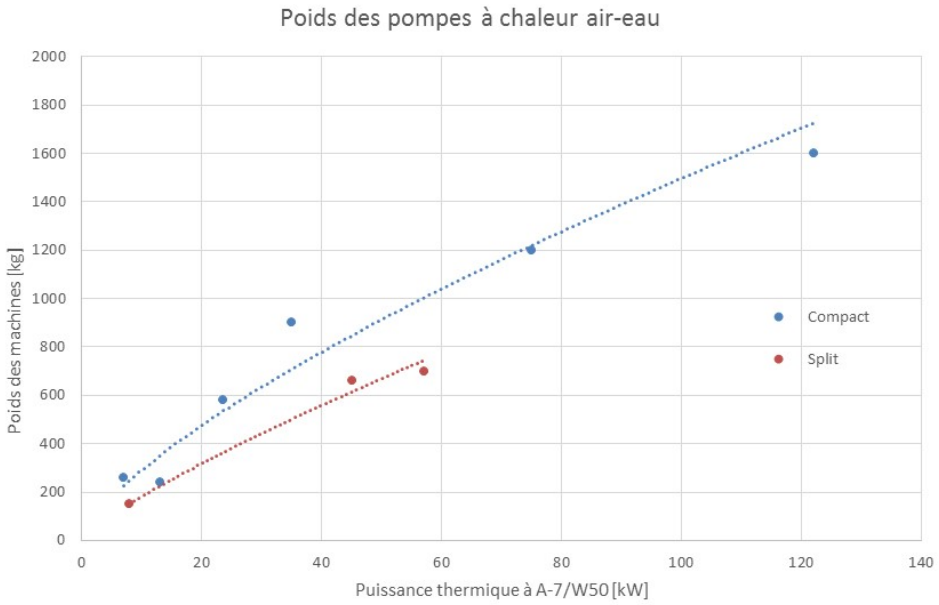
3.2.3 Implantation

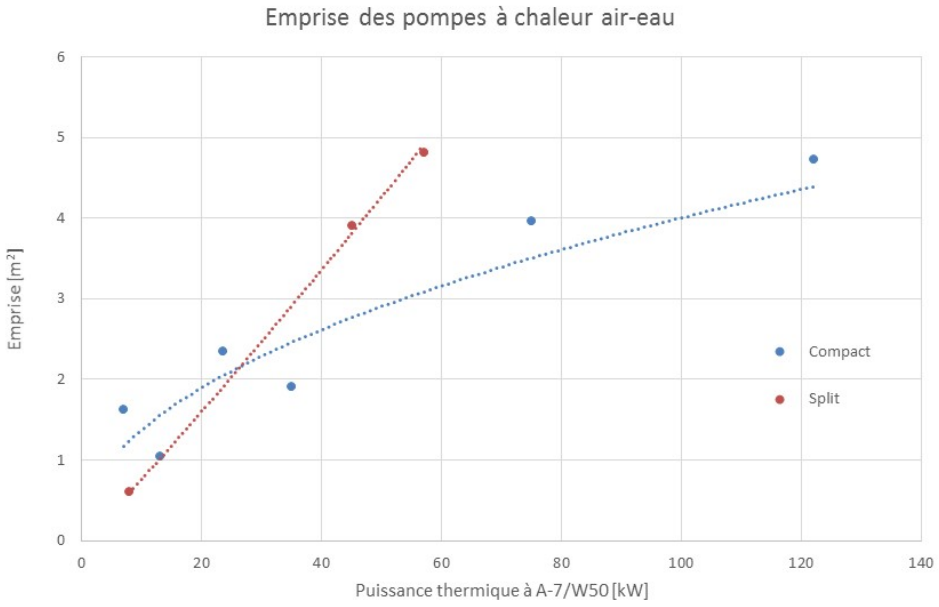
<u>Emprise et poids</u>

Selon la puissance thermique requise, il faut déterminer les dimensions types des PAC en termes d'emprise et de poids. Les gabarits du bâtiment doivent aussi être pris en compte dans l'évaluation des dimensions des PAC. L'esthétisme des installations peut avoir un rôle important lors d'implantations visibles (toiture par exemple).

Généralement, les PAC compactes (monobloc) sont plus lourdes que les PAC avec split. Cependant, elles ont une emprise plus limitée à puissance thermique égale.

Exemple : Poids et emprise propre en fonction de la puissance thermique (à -7/50) pour quelques PAC air-eau du marché (source CSD)





Une visite doit permettre d'évaluer les possibilités d'implantation des PAC, par exemple :

- PAC extérieures en toiture
- PAC intérieures (combles ou local), split en toiture
- PAC intérieures, prises d'air par sauts-de-loup ou en façade
- PAC en sous-sol ou au rez-de-chaussée, split extérieur

L'implantation prévue doit permettre une réalisation des travaux et de la maintenance dans des conditions sûres. Pour une installation en toiture par exemple, l'ajout d'un garde-corps permanent ou d'une ligne de vie doit être évalué.

Exemple : Implantation avec PAC compacte sur un immeuble résidentiel (source : CSD)



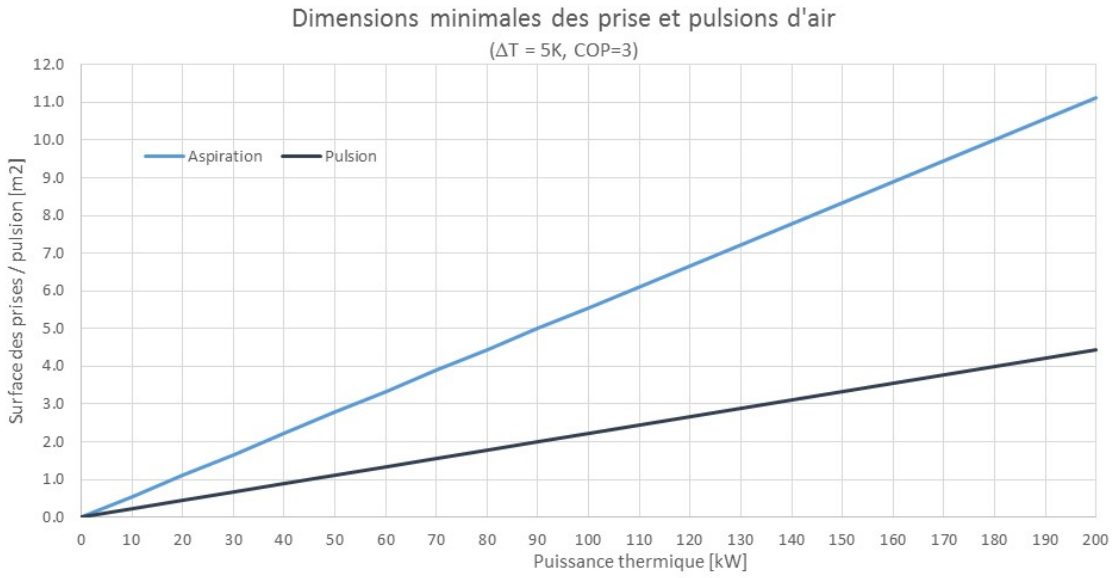
Exemple : implantation en sous-sol avec gaines d'air (source : www.fws.ch, Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur)



Aspiration et pulsion

En plus de leur emprise propre, les PAC ont besoin d'une certaine place libre pour l'aspiration et la pulsion d'air. L'emplacement de la pulsion doit être évalué par rapport aux nuisances que cela peut impliquer. Voir SIA 382/1 par rapport aux prises d'air et section 3.4 pour les aspects acoustiques/vibrations.

Exemple : Surface minimale de prise et de sortie d'air en fonction de la puissance thermique pour des installations en façade ou saut-de-loup (aspiration 2 m/s, pulsion 5 m/s selon SIA382/1, ΔT=5K, COP=3, source CSD)

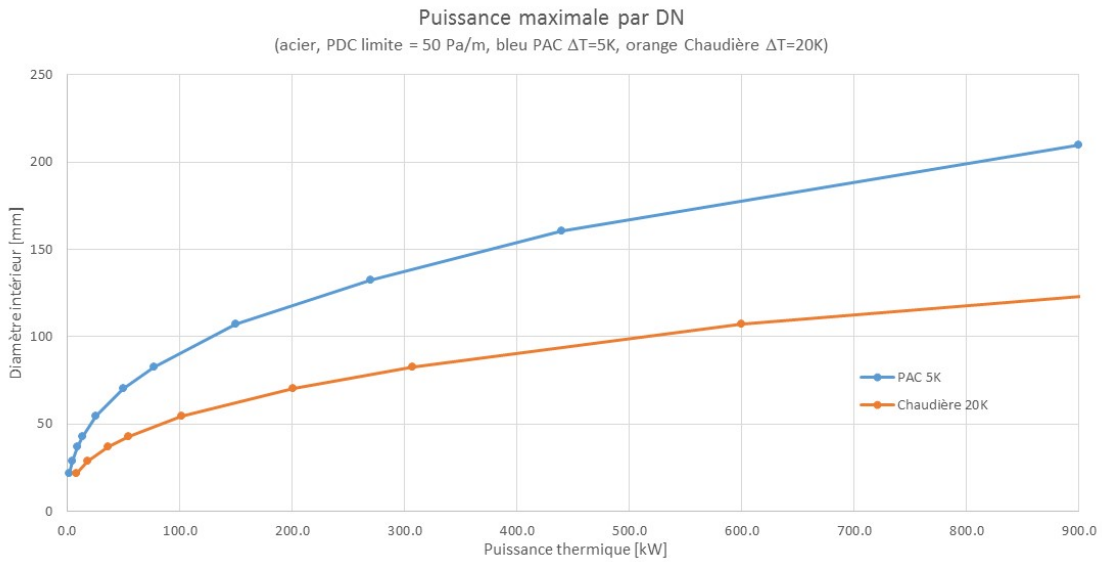


Attention, lorsque la température extérieure est négative, les projections de gouttelettes d'eau produites par les cycles de dégivrage de l'évaporateur peuvent former des dépôts de glace sur une surface qui serait disposée devant la pulsion d'air. Cet élément est à prendre en considération lors de l'implantation.

Conduites reliant la production des PAC à la chaufferie

Lors du dimensionnement des conduites, il faut être attentif au fait que les PAC travaillent généralement avec un ΔT de 5K, ce qui implique des débits nettement supérieurs à ceux des chaudières pour une même puissance.

Exemple : Diamètre minimale de conduite en fonction de la puissance. Conduite en acier noir avec perte de charge linéaire = 50 Pa/m, ΔT PAC = 5K, ΔT Chaudière = 20K (source CSD)



Une visite doit permettre d'identifier les possibilités de liaison entre les PAC et la chaufferie, par exemple :

- Gaine technique
- Ancien dévaloir
- Ancienne conduite de cheminée
- Cage d'escaliers
- Façade

Exemple : liaisons en façade (source SIG-eco21, conduites avant isolation, vue depuis le toit vers le bas)



Exemple : liaison en façade (source SIG-eco21, conduites isolées)





Exemple : liaison en façade (source SIG-eco21, vue d'ensemble)

3.3 Structure

L'évaluation statique doit absolument être réalisée par un ingénieur civil expérimenté.

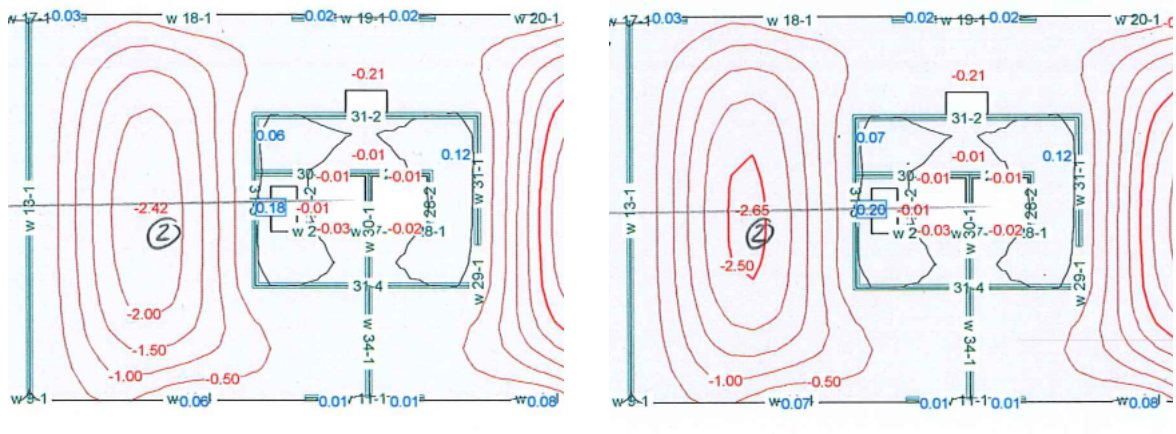
Il est nécessaire de vérifier que les solutions d'implantations proposées sont compatibles avec la structure du bâtiment, notamment lors de l'implantation sur une toiture plate. La problématique principale n'est pas la résistance de la toiture mais les déformations induites par le système PAC. Elles doivent rester dans les limites acceptables par rapport à la déformation due au poids propre de la toiture.

L'évaluation statique doit prendre en compte l'ensemble du système en toiture :

- les PAC (poids à vide)
- le remplissage d'eau
- les supports (pieds, châssis ou socles en béton)
- les équipements (pompes, robinetterie, conduites)

L'évaluation statique en toiture nécessite de connaitre la composition de la toiture, l'épaisseur de la dalle et le détail de ferraillage. Si ces données ne sont pas disponibles, des hypothèses conservatrices doivent être faites.

Exemple : Modèles Cedrus (déformations en mm sous le poids propre et avec PAC), ferraillage de la toiture non connue (source CSD)



Dans le cas d'implantation en toiture, attention à la résistance de l'isolation et de l'étanchéité par rapport à la compression et au cisaillement.

La composition du support (façade, dévaloir, plafond) où seront fixées les conduites devra être déterminée afin d'évaluer si la résistance mécanique est suffisante.

3.4 Acoustique, vibrations

Les bruits des PAC sont principalement de 3 types et origines :

- Bruit aérien du compresseur
- Bruit aérien lié aux flux d'air
- Bruit solidien / vibrations dues au compresseur

3.4.1 Bruits aériens

L'évaluation de faisabilité du point de vue des bruits aériens doit répondre aux questions suivantes :

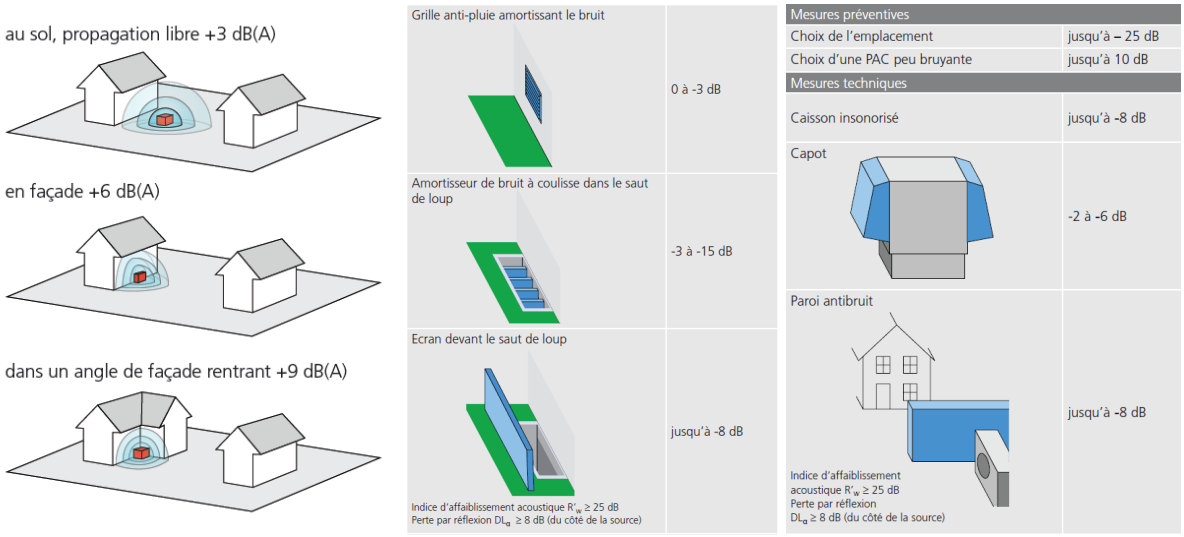
- Quels sont les récepteurs les plus sensibles et à quelle distance se trouvent-ils ?
- Quel est le degré de sensibilité de la zone ?[1]
- Quel est la puissance acoustique ou la pression acoustique à 1m des PAC ?

L'association Cercle Bruit Suisse met à disposition une feuille de calcul pour faire une première évaluation des projets de pompe à chaleur air-eau.[2] Une application web sera prochainement disponible sur le site du groupement professionnel suisse de la pompe à chaleur GSP (www.fws.ch).

La limitation du bruit aérien se fait par trois étapes principales, dans l'ordre de priorité suivant :

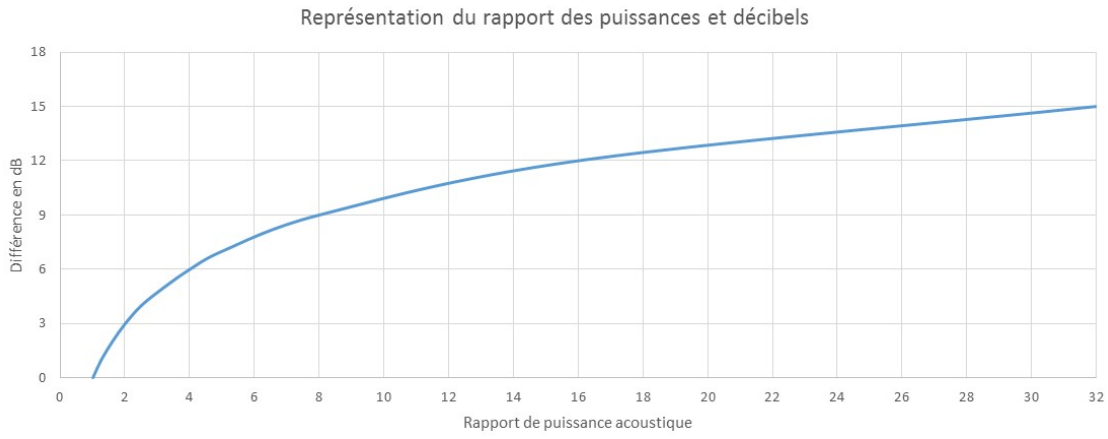
1. Le choix d'une pompe à chaleur silencieuse parmi la gamme de machines disponibles
2. Le choix d'une implantation limitant la propagation du bruit vers les récepteurs sensibles
3. La mise en place de mesures de réduction du bruit (grilles anti-bruit, écrans)

Exemple : Extraits de Cercle Bruit, Aide à l'exécution 6.21: Évaluation acoustique des pompes à chaleur air-eau (2015)



Le décibel dB est une représentation logarithmique d'un rapport de puissances et donc non linéaire.

Attention : +3 dB représente un doublement de la puissance acoustique comme on peut le voir sur la figure ci-dessous (source CSD).



[1] Voir le degré de sensibilité sur https://www.etat.ge.ch/geoportail/pro/ couche « Bruit – Rayonnement – Degré de sensibilité au bruit OPB »
[2] Voir http://www.cerclebruit.ch, aide à l'exécution, 6.21 Pompes à chaleur

3.4.2 Vibrations

La protection contre les vibrations se décline sous trois mesures :

1. Choix d'une machine avec compresseur(s) de technologie à faibles vibrations
2. Le choix d'une pompe à chaleur avec compresseur sur silent-bloc
3. La mise en place d'un montage amortissant les vibrations

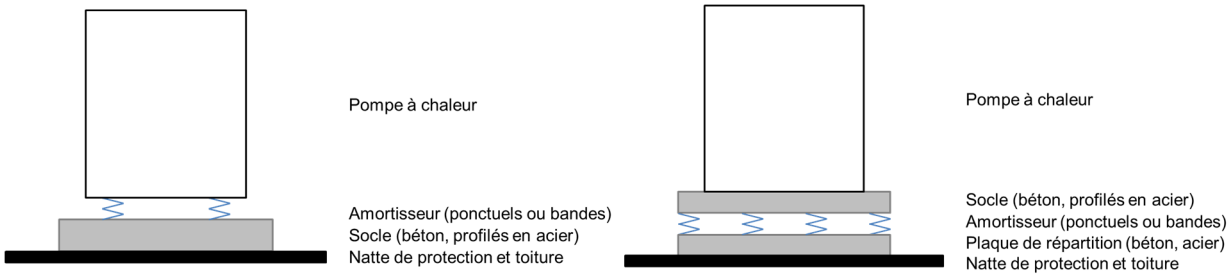
Les amortisseurs sont principalement de deux types :

- Les plaques ou bandes élastomères
- Les appuis ponctuels (ressorts, gommes, coussins d'air, etc.)

Chaque amortisseur est dimensionné pour un certain poids (écrasement) et une certaine gamme de fréquence. Les PAC émettent généralement des vibrations à basse fréquence (< 25 Hz) en raison des moteurs utilisés pour les compresseurs. L'amortisseur devrait avoir une fréquence de résonnance égale à moins de la moitié de la fréquence du compresseur pour assurer une bonne diminution des vibrations.

L'amortisseur est généralement posé entre la pompe à chaleur et son support (châssis ou socle en béton). Toutefois, un meilleur amortissement peut être obtenu en fixant de manière rigide la pompe à chaleur à son support et en plaçant l'amortisseur entre le support et une plaque de répartition (béton ou acier). Le désavantage de cette seconde solution est qu'elle nécessite deux supports et donc d'augmenter la masse et le prix du système.

Lors d'une utilisation extérieure, il est essentiel d'utiliser un système prévu pour l'extérieur, résistant à l'eau et aux rayons UV.



Exemple : Bandes absorbantes sous une pompe à chaleur (source : CSD)



3.5 Autres

3.5.1 Amiante

Le bâtiment date-il d'avant 1991 ? Si oui, un diagnostic amiante est nécessaire afin de déterminer si des travaux de désamiantage sont à envisager avant la réalisation du projet.

Dans le canton de Genève, le propriétaire a l'obligation de transmettre un rapport de diagnostic amiante pour les parties touchées par les travaux.

Le désamiantage doit être réalisé par une entreprise spécialisée se trouvant sur les listes du STEB et de la SUVA. Le désamiantage doit en outre être suivi par un expert lui aussi reconnu par le STEB et la SUVA.

Étant donné les délais et les coûts d'un désamiantage, il est recommandé de réaliser le diagnostic amiante au début du projet.

Exemple : Prélèvement dans un calorifugeage amianté (par expert certifié, source CSD)



3.5.2 Protection incendie

Lorsque le projet implique une mise à l'enquête (par exemple si l'enveloppe du bâtiment est modifiée), la police du feu peut exiger la mise en conformité du concept de protection incendie du bâtiment.

Le concept de protection incendie porte sur la réalisation de mesures de type constructives, techniques et organisationnelles, afin de garantir la sécurité des occupants en cas de feu. Ces mesures portent notamment sur les points techniques suivants :

- Sécurisation des voies de fuite
- Compartimentage coupe-feu du bâtiment

La mise à jour du concept incendie ne porte pas uniquement sur les zones touchées par les travaux mais sur l'ensemble du bâtiment. Si le bâtiment est ancien et qu'il ne respecte pas les normes actuelles de protection incendie, les mesures de mise en conformité peuvent être très lourdes financièrement et compromettre le projet d'implémentation de PAC.

Quelques exemples de cas non conformes :

- aération des salles de bain sur la cage d'escalier
- porte non coupe-feu sur la cage d'escalier
- cage d'escalier sans désenfumage
- porte de chaufferie en bois

3.5.3 Bâtiments classés ou dans un ensemble

Attention aux contraintes de patrimoine qui pourraient bloquer le projet.

Dans les bâtiments anciens, il est recommandé de faire appel à un architecte spécialisé pour orienter le projet et réaliser la mise à l'enquête.

4. Conception détaillée

4.1 Électricité

4.1.1 Introduction

Selon l'Ordonnance sur les installations à basse tension (OIBT), les PAC doivent se trouver dans ou sur le bâtiment par lequel elles sont alimentées (introduction). Cela peut être contraignant pour les bâtiments disposant d'une introduction par allée si les PAC sont alimentées par une introduction commune. Des exceptions sont possibles mais doivent être prévues avec le service compétent.

La compétence du contrôle OIBT est fixée au niveau cantonal.

4.1.2 Régulation et tableaux en chaufferie

Lorsque la chaufferie est ancienne, la régulation existante est probablement obsolète. Il est recommandé de séparer la régulation des réseaux de production de chaleur des secteurs secondaires par un système de régulation autonome (MCR).

La production d'eau chaude sanitaire et de chauffage doit être réglée afin de limiter les pics de puissance et d'optimiser les températures de fonctionnement. Il est recommandé de ne pas produire en même temps chauffage et eau chaude sanitaire.

En mode chauffage, la température de consigne PAC doit suivre la consigne des groupes de chauffe afin d'optimiser les performances. Les pompes de circulation des groupes doivent aussi être réglées afin d'avoir un retour si possible 15-20K sous la température de départ à la température de dimensionnement (si fonctionnement sur un accumulateur de chaleur).

Dans les systèmes bivalents ou avec chaudière de secours, il faut veiller au réglage du déclenchement de l'installation fossile. L'enclenchement de la chaudière ne doit pas bloquer le fonctionnement des PAC sans quoi, seule l'installation fossile va fonctionner.

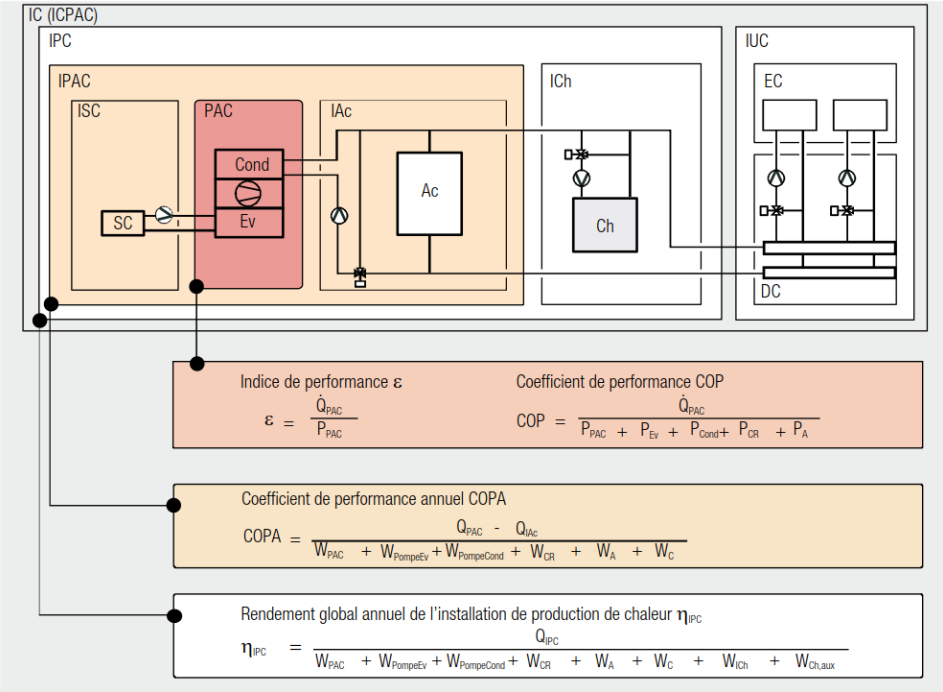
En fonction du type de câble, la liaison entre régulateur et pompe à chaleur ne doit pas dépasser une certaine longueur, sans quoi l'installation d'un répétiteur est nécessaire.

4.1.3 Mesure / Comptage

L'évaluation du fonctionnement de l'installation, notamment du COPa, passe par les mesures minimales suivantes :

- Comptage de la chaleur produite par PAC (circuit d'eau chaude)
- Comptage de la chaleur produite par l'installation d'appoint / secours
- Comptage de la consommation électrique des PAC et des équipements compris dans les limites du COPa

Exemple : Limites des différents indices et coefficients de fonctionnement. Extrait de la publication « Pompes à chaleur : Planification, Optimisation, Fonctionnement, Entretien » de l'Office fédéral de l'Énergie, Janvier 2008



4.2 Chauffage et eau chaude sanitaire

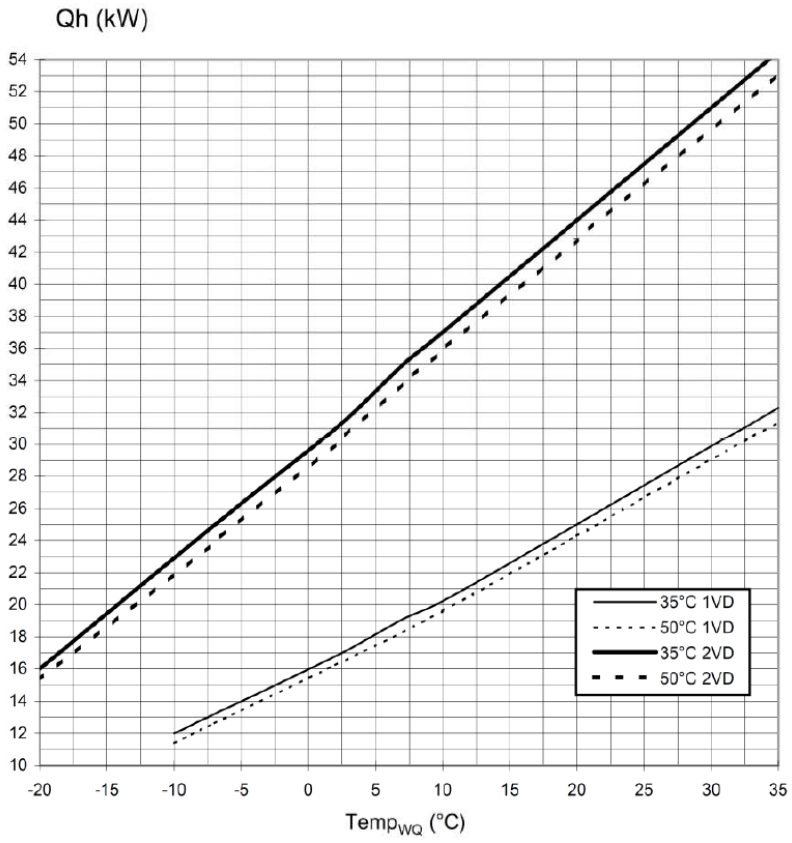
4.2.1 Puissance et mode d'intégration

Les PAC peuvent être intégrées dans le bâtiment de manière monovalente ou bivalente. Certains points clés doivent être pris en considération dans chaque mode :

- Monovalent (sans appoint) : les PAC doivent avoir une limite de fonctionnement plus basse que les températures extérieures les plus froides attendues. Elles doivent en outre pouvoir chauffer à une température supérieure à 60°C (température maximale du chauffage ou de l'eau chaude sanitaire en mode anti-légionnelles).

  Le dimensionnement en puissance doit être fait au point de fonctionnement le plus bas, les PAC sont donc ainsi largement surdimensionnées en été.

Exemple : Puissance thermique d'une AIT LW 310 en fonction de la température extérieure (pour une température de chauffe de 35 et 50°C, machine à 1 ou 2 compresseur(s)) (source AIT)



Il est recommandé d'installer plusieurs PAC en cascade afin de moduler la puissance et d'assurer un fonctionnement partiel en cas de panne.

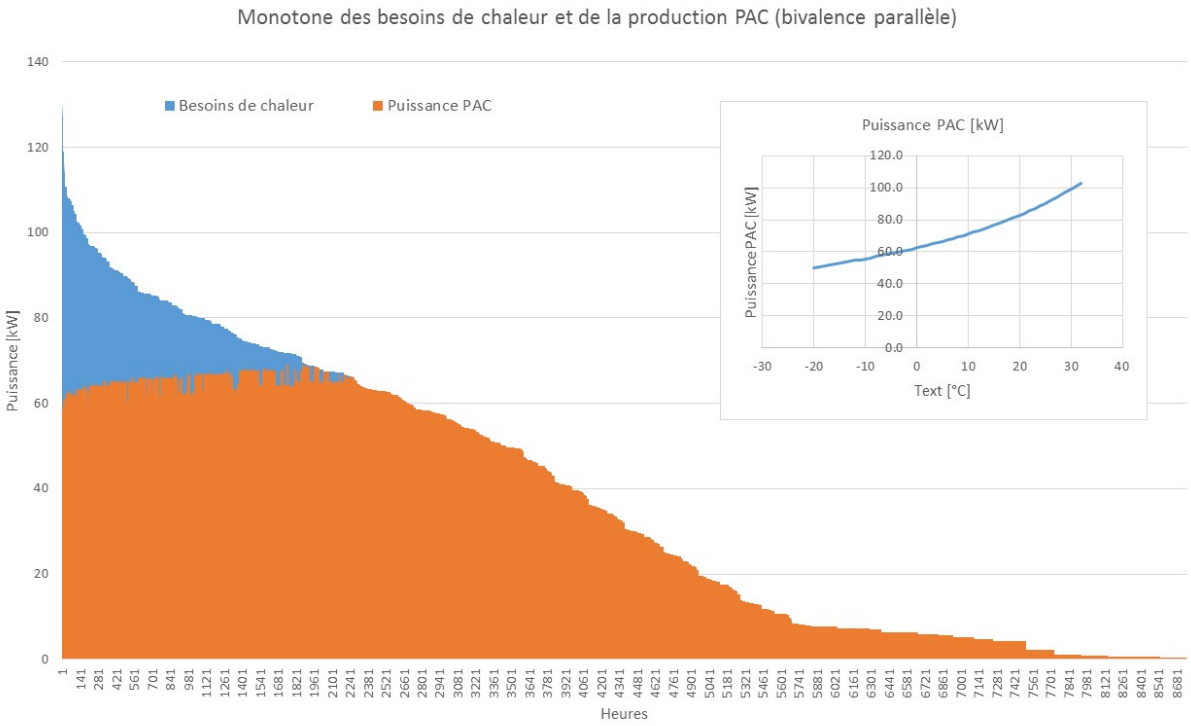
- Bivalent parallèle : les deux producteurs doivent fonctionner avec la même température de consigne. Afin de maximiser la production par les PAC et les performances de l'installation, la température de production doit suivre la courbe de chauffe, ainsi la vanne 3 voies des groupes de chauffage va rester pleinement ouverte. Cela implique de réguler la température de la chaudière pour qu'elle ne dépasse pas la température des groupes de chauffage.

  Il faut aussi être attentif à limiter la température du retour PAC lorsque la chaudière est en fonction afin de ne pas bloquer les PAC. Cela peut se faire par les mesures suivantes :

  - Une séparation hydraulique entre la production PAC et la production chaudière, par exemple par l'utilisation de deux accumulateurs en série ;
  - Le réglage des circulateurs chauffage afin d'avoir des retours bas en température (ΔT aller-retour de 15-20 K) ;
  - Régulation de la température de la chaudière afin de ne pas monter le départ chauffage au-dessus de la courbe de chauffe. Attention toutefois à la température minimale de fonctionnement pour les chaudières sans condensation afin de limiter la corrosion.

  La puissance PAC du système bivalent peut être estimée sur la base d'une simulation horaire afin d'atteindre l'objectif fixé par le MO.

Exemple : Monotone des besoins de chaleur (chauffage + ECS) avec la part PAC. Dans cet exemple, la PAC fournit 90% des besoins de chaleur (énergie) alors que seule 45% de la puissance est installée à une température extérieure de -5°C. (source CSD)



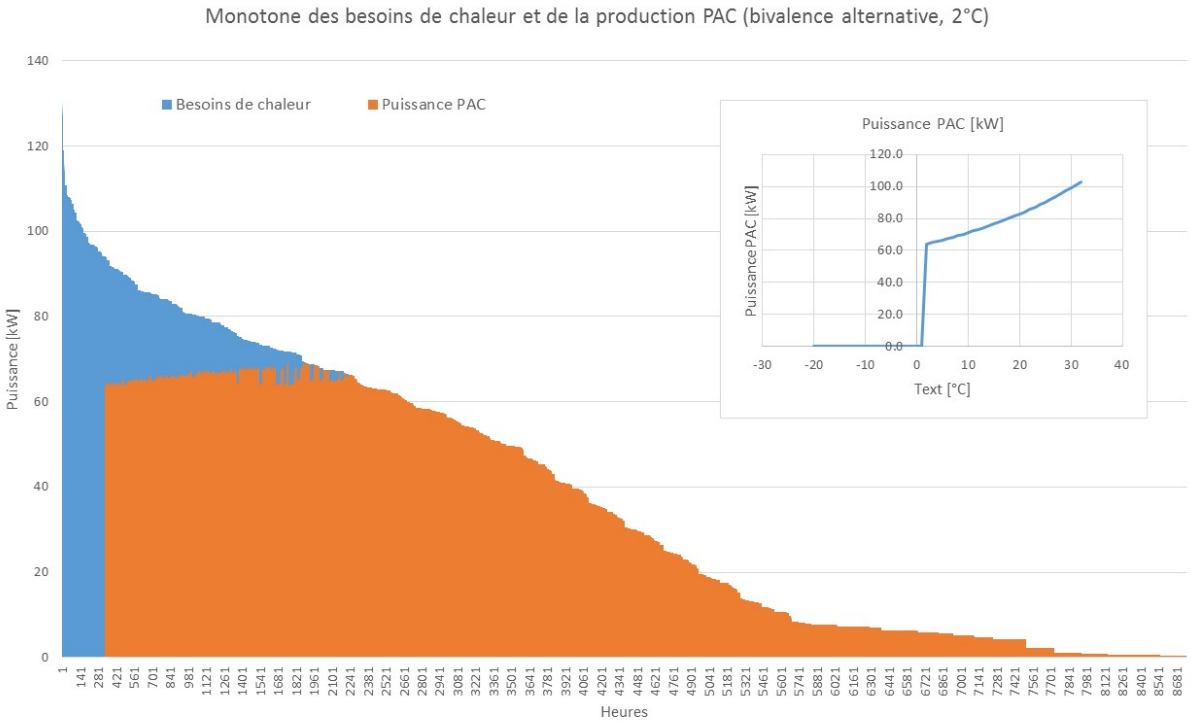
- La bivalence alternative n'est pas recommandée si les PAC ou les conduites sont en extérieur en raison du risque de gel ; en effet, l'utilisation de glycol dans le circuit PAC n'est pas recommandée (prix, entretien, énergie de pompage).

  Lorsque les PAC et conduites sont à l'intérieur (implantation avec split extérieur, saut-de-loup ou gaines d'air), la bivalence alternative permet de :

  - Maintenir un COP annuel élevé au détriment de la quantité d'énergie produite, en limitant le fonctionnement à température extérieure faible (lorsque le COP est faible) ;
  - Travailler avec des modèles de PAC limitées dans la température de l'air extérieur.

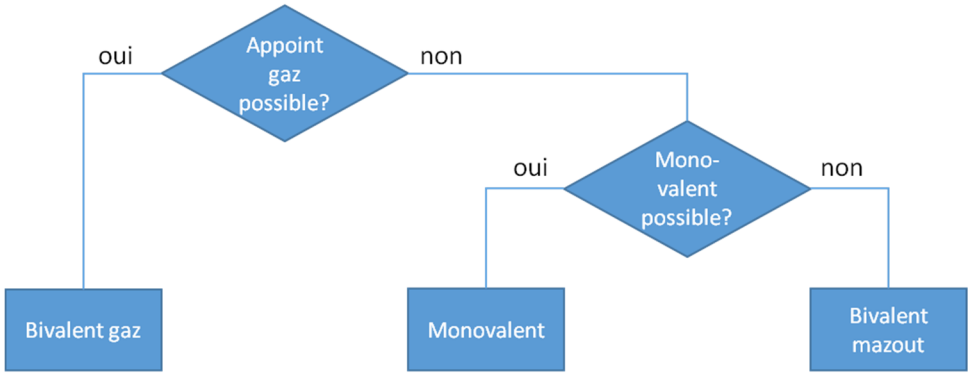
  Il est aussi possible d'avoir un fonctionnement alternatif sur l'ECS mais parallèle sur le chauffage.

Exemple : Monotone des besoins de chaleur (chauffage + ECS) d'un système bivalent alternatif avec une température de bivalence de 2°C (source CSD)



Recommandation du mode d'intégration

Le choix du mode d'intégration est issu d'une pesée d'intérêt complexe. Étant donné le surdimensionnement nécessaire pour une installation monovalente, il est recommandé de procéder ainsi :



Entre le bivalent alternatif et parallèle, le bivalent alternatif n'est recommandé que si :

- Le COPa en mode parallèle est inférieur aux objectifs, ET
- L'installation ne présente pas de risque de gel

4.2.2 Schéma et intégration hydraulique

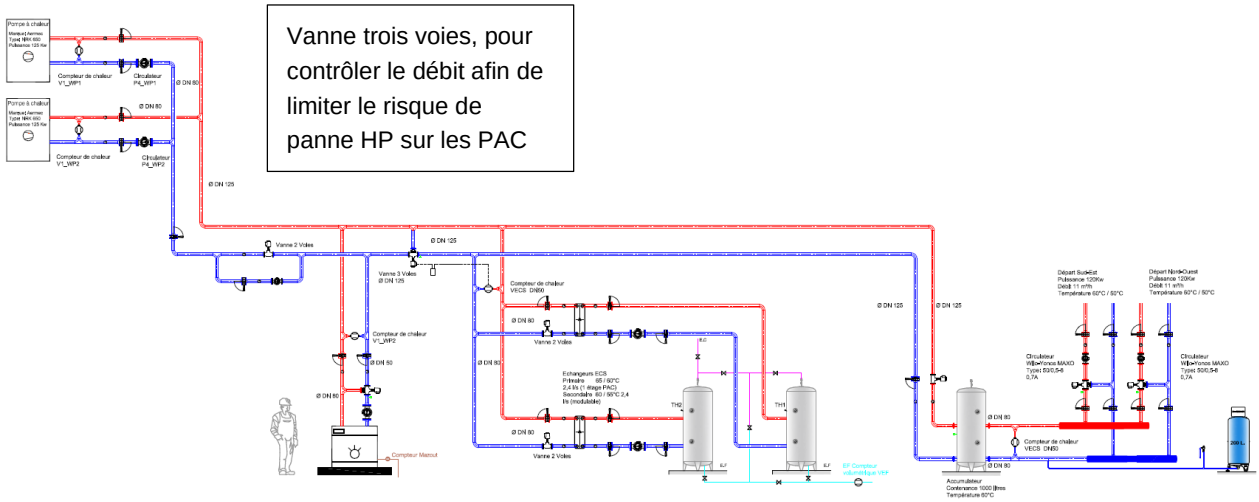
Les éléments particuliers suivants doivent être pris en compte lors de la réalisation du concept d'intégration et du schéma de principe :

- Afin de travailler à la température la plus basse possible avec les PAC, la production d'ECS devrait être séparée du chauffage ;

- Comme indiqué au chapitre précédent, dans un système bivalent, la température du retour PAC doit être maintenue aussi basse que possible.

Les exemples suivants présentent un cas d'intégration monovalente à 2 PAC et un cas d'intégration bivalente à 6 PAC.

Exemple : Intégration monovalente avec secours.

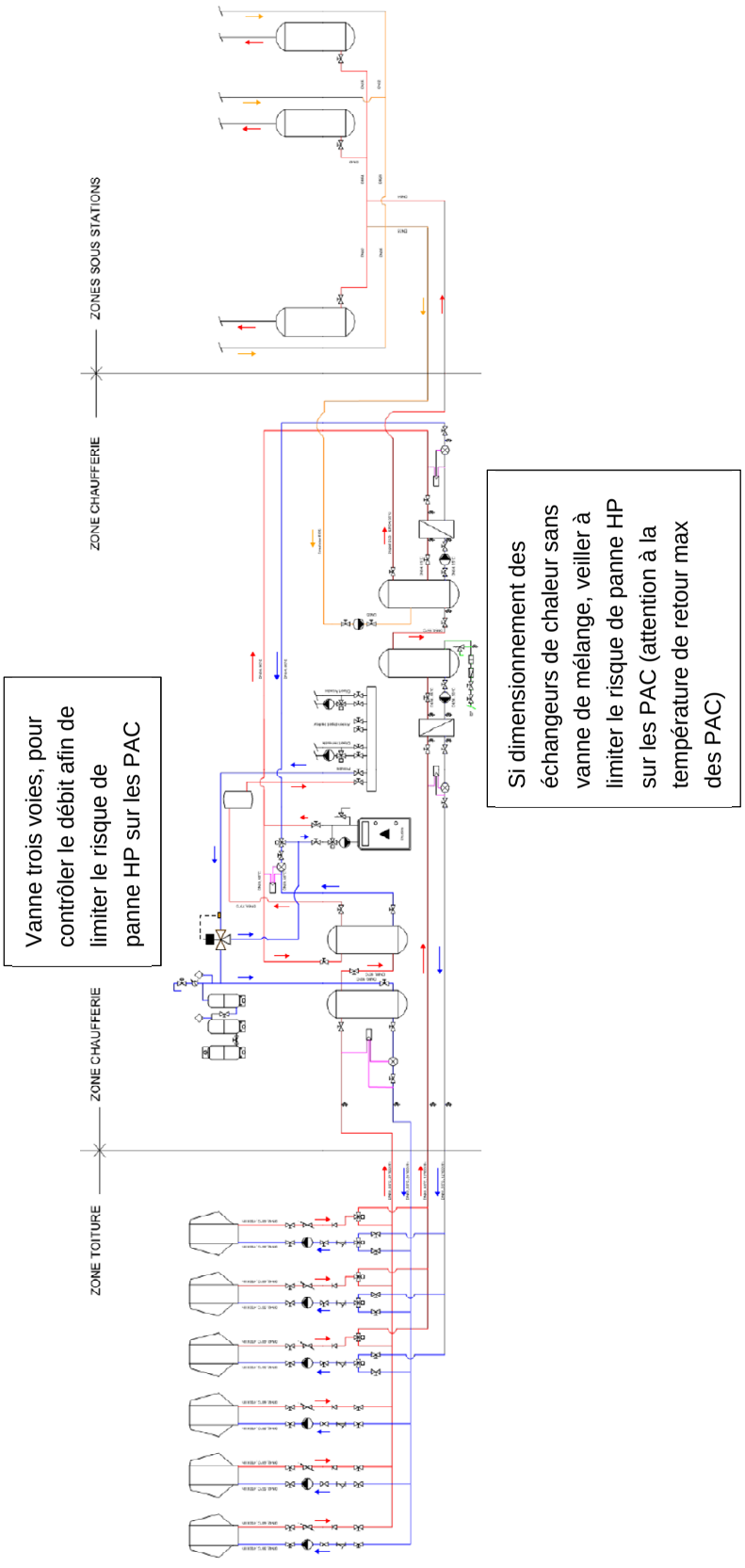


Vanne trois voies, pour contrôler le débit afin de limiter le risque de panne HP sur les PAC

Chaudière de secours existante, en cas de risque de gel et de panne des deux PAC. Sera démonté après optimisation du système.

Échangeurs de chaleur, dimensionnés pour produire de l'ECS à 60/55°C avec un circuit PAC à 65/60°C afin de limiter le risque de panne HP sur les PAC

Exemple : Intégration bivalente parallèle avec un groupe de 3 PAC exclusivement pour le chauffage et un groupe de 3 PAC produisant alternativement chauffage ou ECS.



4.2.3 Condensats

L'écoulement des condensats doit être géré de manière à ce que la conduite d'évacuation ne puisse pas geler.

4.2.4 Accumulateurs

Les accumulateurs de chaleur et d'eau chaude sanitaire devraient permettre à PAC de travailler sur une période de 20 à 30 minutes à son niveau de puissance le plus faible. Il n'est en effet pas recommandé de dépasser 3 enclenchements par heure pour les PAC.

4.2.5 Pompes

Lorsqu'une seule PAC est installée, il est préférable de poser son circulateur en chaufferie, ainsi la pompe est à l'abri des intempéries, la liaison de commande et de force est plus courte et la maintenance est simplifiée.

Dans le cas où plusieurs PAC sont installées, chacune doit avoir son propre circulateur. Dans ce cas, il est préférable de les installer à proximité des PAC voire dans les PAC elles-mêmes, ainsi les conduites peuvent être regroupées.

Les circulateurs des PAC doivent être réglés selon la demande en puissance de chaque PAC.

Si les circulateurs des groupes de chauffage sont anciens et doivent être changés, ils peuvent être redimensionnés à l'aide de l'outil de SIG-éco21.[3] Vérifier si le bâtiment fonctionne à débit fixe ou variable.

4.2.6 Qualité des conduites

Les matériaux des conduites existantes doivent être pris en compte afin de s'assurer que l'installation ne risque pas de subir de la corrosion galvanique résultant du contact de métaux non compatibles (ayant un potentiel électrochimique différent).

4.2.7 Réfrigérants

Les réfrigérants sont réglementés par l'annexe 2.10 de l'ORRChim. Les règles principales sont les suivantes :

- Les réfrigérants appauvrissant la couche d'ozone (type CFC) sont interdits ;
- Les réfrigérants stables dans l'air (type HFC) sont limités dans la mesure suivante :
    - Non autorisés si l'installation dépasse 600 kW de puissance frigorifique (la loi ne dit pas à quel point de fonctionnement considérer la puissance) ;
    - Autorisés si l'installation a une puissance frigorifique entre 100 et 600 kW et si :
        - Le système à moins de 0.22 kg/kW de fluide frigorifique avec un GWP > 1'900 ;
        - Le système à moins de 0.48 kg/kW de fluide frigorifique avec un GWP < 1'900.
    - Autorisé pour les installations ≤ 100 kW ;
- Les réfrigérants naturels ou non stables dans l'air (type HFO) sont autorisés.

[3] https://equilibragehydraulique.eco21.ch/

Résumé de l'ORRChim pour les réfrigérants stables dans l'air (source OFEV, en cas de doute le texte de l'ORRChim s'applique) :[4]

Fridorigène stable dans l'air :

Climatisation (confort [max. 8 mois/an] et pompes à chaleur)

				Exemples de frigorigènes
PRG < 1900	autorisé	refroidissement à l'air non autorisé si la masse de frigorigène > 0,4 kg/kW ou 0,48 kg/kW avec URT	non autorisé*	R134a, R407C
PRG > 1900	autorisé	refroidissement à l'air non autorisé si la masse de frigorigène > 0,18 kg/kW ou 0,22 kg/kW avec URT	non autorisé*	R410A, R427A
	$Q_0 \leq 100$ kW	100 kW < $Q_0 \leq$ 600 kW	$Q_0 >$ 600 kW	

Les réfrigérants sont classés en fonction de leur toxicité (groupes A et B) et de leur inflammabilité (groupes 1, 2 et 3). Des mesures de sécurité particulières sont nécessaires en fonction de l'implantation et du type de fluide.

Lorsque les PAC se trouvent à l'intérieur, une aération devra permettre d'évacuer le réfrigérant en cas de fuite afin de limiter le risque d'asphyxie par manque d'oxygène. Ce risque existe pour tous les réfrigérants, même les non toxiques, s'ils sont présents en quantité suffisante pour remplacer l'air hors du local.

Exemple : Classification de quelques fluides naturels (ASHRAE)

R717 (ammoniac) classé B2 : hautement toxique, moyennement inflammable

R290 (propane) classé A3, faiblement toxique, hautement inflammable

R744 (dioxyde de carbone) classé A1, faiblement toxique, non inflammable

4.3 Statique

4.3.1 Appui

Les machines peuvent avoir trois types d'appui :

- Ponctuel (pieds) ;
- Linéaire (châssis) ;
- Surfacique (plaque).

En fonction des caractéristiques du lieu d'implantation, l'appui direct de la machine n'est pas possible (écrasement de l'isolation, poinçonnement de l'étanchéité, résistance de la dalle). Dans ce cas, un moyen de répartition de la charge est nécessaire, par exemple :

- Plots en béton
  - Permet un appui ponctuel avec meilleure répartition ;
- Châssis en acier
  - Permet de répartir un appui ponctuel sur un appui linéaire ;
- Socle en béton
  - Permet de répartir un appui (ponctuel, linéaire ou surfacique) sur un appui de plus grande taille.

[4] Règlementation des fluides frigorigènes stables dans l'air dans les installations stationnaires productrices de froid et les pompes à chaleur, selon l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim RS 814.81), annexe 2.10 chiffres 2.1, 2.2 et 2.3. Résumé graphique. État février 2018.

Lors des calculs, il est important de prendre en considération le poids total des machines et le poids du moyen de répartition qui peut être important.

Si l'appui est encore trop important malgré les mesures de répartition, les options suivantes doivent être évaluées :

- Redimensionner les PAC pour diminuer leur poids ;
- Dans le cas d'une toiture, refaire l'isolation / étanchéité ;
- Abandonner l'implantation prévue.

4.4 Acoustique, vibrations

Dans les cas où l'évaluation préliminaire montre un potentiel problème de bruit, il est recommandé d'effectuer une modélisation de propagation du bruit. Cette modélisation permet de simuler l'effet de la géométrie du bâtiment, du placement des PAC et de l'effet cumulé de plusieurs PAC.

5. Réalisation des travaux

5.1 Général

5.1.1 Feu vert

Il est nécessaire de valider la réalisation des travaux avec le propriétaire et avec le MO.

5.1.2 Annonce des travaux

Différentes annonces doivent être effectuées avant l'ouverture du chantier, notamment :

L'entreprise doit effectuer l'annonce d'ouverture de chantier à la commune, dans le cas où le chantier n'a pas fait l'objet d'une demande de permis de construire. Si un permis de construire a été délivré, l'annonce est effectuée par le requérant (propriétaire).

Le propriétaire ou son représentant (gérance) doivent annoncer la réalisation des travaux aux locataires. Les entreprises effectueront ensuite les annonces de coupures.

Si un échafaudage doit être installé, un rendez-vous de police devra être effectué (Service de l'inspection des chantiers). Il sera organisé et suivi par l'entreprise montant l'échafaudage.

Si les travaux empiètent sur le domaine public, un avis d'utilisation du domaine public doit être demandé et une visite de police doit être faite.

5.1.3 Coordination

La DT organisera des séances de coordination régulières avec les différentes entreprises. Elle veillera à :

- Limiter les coupures (électricité, chauffage) ;
- Vérifier que les équipements posés sont effectivement ceux commandés ;
- Assurer le suivi du planning et des coûts ;
- Gérer les imprévus ;
- De manière générale, les tâches prévues dans la SIA 108.

5.1.4 Sécurité

Les règles de la SUVA doivent être suivies. De nombreuses aides et documentations sont disponibles sur le site www.suva.ch.

Toutes les entreprises actives sur le chantier devront fournir un plan d'hygiène et sécurité au MO, dans lequel les risques et les mesures de protection seront détaillés.

Les points suivants mettent en lumière certains risques spécifiques, mais ne constituent en aucun cas une liste exhaustive des risques :

- Lors d'intervention en toiture, la protection contre le risque de chute devra être prévue, soit par l'installation de garde-corps, soit par l'utilisation de lignes de vie.
- Lors des travaux électriques ou gaz, seules les personnes habilitées seront présentes et des zones à risques seront clairement signalées.
- Avant les travaux touchant les installations à mazout, les équipements touchés (citerne, pompe, conduites) devront être purgés, curés et dégazés par une entreprise spécialisée. Un certificat de dégazage doit être remis par l'entreprise.
- Les travaux touchant des éléments amiantés devront être faits par une entreprise spécialisée. Dans les bâtiments datant d'avant 1991, si, lors des travaux, un matériau qui n'est pas mentionné dans le rapport de diagnostic amiante est découvert, il est nécessaire de faire appel à un expert en diagnostic amiante avant de poursuivre les travaux.

Les risques et mesures de sécurité à entreprendre doivent être évalués spécifiquement pour chaque chantier.

5.1.5 Grutage

Les travaux de grutage doivent être réalisés par un professionnel au bénéfice du permis de grutier délivré par la Suva.

La zone de grutage doit être sécurisée et libre de tout objet pouvant entrer en collision (câbles électriques, autres grues, etc).

5.1.6 Dégâts sur le bâtiment

Les entreprises qui interviennent dans le cadre du chantier doivent signaler tout dommage causé au bâtiment afin que des mesures correctives puissent rapidement être entreprises. En particulier lors des travaux en toiture, porter une attention particulière à l'étanchéité de toiture.

5.2 Électricité

L'électricien doit fournir les plans et schémas d'exécution complets ainsi qu'un descriptif de l'installation.

5.3 Chauffage

Le chauffagiste doit fournir les plans et schémas d'exécution complets ainsi qu'un descriptif de l'installation.

5.3.1 Qualité de l'eau de chauffage

Il est recommandé de vérifier la qualité de l'eau du circuit de chauffage. Pour cela, une analyse de laboratoire doit être effectuée sur un échantillon d'eau.

Les normes en vigueur sont la BT 102-01 de l'association suisse des ingénieurs en technique du bâtiment (SSIT) ainsi que le cahier technique T12 du groupement des PAC (AWP).

5.3.2 Contrôle des fuites

Les raccords seront contrôlés avant la pose de l'isolation pour détecter les éventuelles fuites.

5.4 Statique, génie civil

Lors de l'installation des machines, il est primordial de vérifier que l'implantation correspond bien à ce qui a été calculé par l'ingénieur civil et inscrit sur les plans.

Si les PAC doivent être stockées temporairement avant leur installation, il faut veiller à ce que le lieu de dépôt supporte le poids des machines.

Lors de la réalisation des socles, il est recommandé de bien vérifier que les nattes de protection utilisées résistent aux UV, les protéger le cas échéant.

5.5 Acoustique

Lors de l'installation des PAC, l'entreprise doit vérifier que les silent-blocs des compresseurs sont déverrouillés (cales de transport retirées).

Lors des essais des PAC, l'entreprise doit vérifier attentivement qu'aucune vibration ou bruit anormal n'est produit par les machines.

Dans le cas où le bruit semble anormal, des mesures à l'aide d'un sonomètre permettent de vérifier que les niveaux de bruit respectent les normes en vigueur et les caractéristiques annoncées par le fournisseur.

Si des vibrations anormales se produisent, des mesures à l'aide d'un vibromètre permettent d'en identifier la source et de vérifier le fonctionnement du système amortisseur.

5.6 Autres

5.6.1 Rhabillage, peinture et ferblanterie

Des travaux de finition ou de rhabillage peuvent être nécessaires dans la chaufferie ou dans les espaces touchés par les travaux.

6. Mise en service et réception

La mise en service et la réception seront faites selon les normes SIA.

6.1 Mise en service

Le fonctionnement de la régulation doit être vérifié, notamment en régime transitoire et en mode secours.

Le fonctionnement des équipements (PAC, pompes, chaudières) doit être contrôlé (température, puissance, débits).

6.2 Réception

Les éléments suivants doivent notamment être respectés lors de la réception des travaux :

- Les entreprises doivent remettre leurs dossiers de révision
- Une journée à des fins de formation des exploitants doit être organisée
- Les défauts doivent être signalés avec leurs délais respectifs pour leur réparation dans le document de réception
- Un plan de suivi et d'optimisation des installations doit être mis en place

A titre d'exemple, des protocoles de réception d'installations de chauffage peuvent être téléchargés à l'adresse suivante : https://www.suissetec.ch/fr/notices-techniques.html.

Annexe 1 : pense-bête récapitulatif

Faisabilité du projet

Electricité

・ Le raccordement électrique existant peut-il satisfaire aux besoins des PAC?

・ Le raccordement peut-il être augmenté ou une nouvelle introduction peut-elle être faite?

・ Sinon, redimensionner la puissance des PAC en fonction de la capacité du raccordement électrique. Dans ce cas, est-ce que la part renouvelable du système est encore acceptable pour le MO ?

・ Les installations existantes doivent-elles être modifiées ? Tous les éléments touchés par les travaux (tableaux, distribution) devront être mis aux normes.

Chaufferie

・ La chaufferie est-elle suffisamment grande pour permettre l'installation d'accumulateurs de chaleur et d'eau chaude sanitaire?

・ Si non, existe-il d'autres locaux disponibles où ces accumulateurs pourraient être installés ?

・ L'accès à la chaufferie est-il suffisamment grand pour permettre l'introduction des accumulateurs ? Il peut être coûteux et complexe de les souder sur place.

Implantation

・ Les dimensions, l'emprise ainsi que l'esthétisme de la PAC sont-elles prises en compte par rapport au gabarit de l'immeuble ?

・ L'implantation prévue permet-elle une réalisation des travaux et de la maintenance dans des conditions sûres ? Pour une installation en toiture par exemple, l'ajout d'un garde-corps permanent ou d'une ligne de vie doit être évalué.

Aspiration et pulsion

・ L'emplacement de la pulsion est-il évalué par rapport aux différentes nuisances que cela peut impliquer ? Par exemple, des gouttelettes d'eau produites par les cycles de dégivrage de l'évaporateur peuvent former des dépôts de glace sur une surface disposée devant la pulsion d'air.

Conduites

・ Quelles sont les possibilités de liaison entre les PAC en toiture et la chaufferie ? Par exemple : Gaine technique, ancien dévaloir, ancienne conduite, cheminée, cage d'escaliers, façade, etc.

Structure

・ Les solutions d'implantations proposées sont-elles compatibles avec la structure du bâtiment, notamment lors de l'implantation sur une toiture plate ? L'évaluation statique doit absolument être réalisée par un ingénieur civil expérimenté

Acoustique et vibrations

・ Quel est la puissance acoustique ou la pression acoustique à 1m des PAC ? Le choix d'une pompe à chaleur silencieuse parmi la gamme de machines disponibles doit être privilégier.

・ Quels sont les récepteurs les plus sensibles et à quelle distance se trouvent-ils ?

・ Quel est le degré de sensibilité de la zone ?

・ Des mesures techniques sont-elles prises afin d'évite toute propagation d'éventuelles vibrations ?

Autres

・ Le bâtiment date-il d'avant 1991 ? Si oui, un diagnostic amiante est nécessaire afin de déterminer si des travaux de désamiantage sont à envisager avant la réalisation du projet.

・ Le bâtiment respecte-il les normes actuelles de protection incendie ? Dans certains cas, la police du feu peut exiger la mise en conformité de l'ensemble du concept de protection incendie du bâtiment ; engendrant des surcoûts très lourds !

・ Le bâtiment est-il classé par le Service des monuments et sites ? Dans les bâtiments anciens, il est recommandé de faire appel à un architecte spécialisé pour orienter le projet et réaliser la mise à l'enquête.

Mise en service et réception d'ouvrage

・ Les données de puissance ont-elles été contrôlées ?

・ Les réglages ont-ils été effectués selon les calculs de dimensionnement (temps, températures, allures ?)

・ Les réglages de la courbe de chauffe sont-ils effectués ?

・ L'équilibrage hydraulique des systèmes de distribution et de diffusion de chaleur ont-ils été effectués ?

・ Les purges ont-elles été effectuées ?

・ Les réglages ont-ils été consignés dans le procès-verbal de mise en service ?

・ Le cahier de maintenance a-t-il été déposé sur l'installation ? Il est indispensable pour les installations de plus de 3 kg de fluide frigorigène.

<u>Le client a-t-il reçu une information relative :</u>

・ au fonctionnement de la pompe à chaleur, de la pompe de circulation, de la régulation, du chauffe-eau et du système de diffusion de chaleur ?

・ aux dispositifs de sécurité (soupape de sécurité, capacité de charge/manomètre, vase d'expansion) ?

・ à l'optimisation du fonctionnement, aux durées de fonctionnement, au niveau de température, aux allures et à la comptabilité énergétique ?

・ à la conduite à tenir et aux mesures à entreprendre en cas de panne ?