

LES POMPES A CHALEUR DANS LE TERTIAIRE

SOMMAIRE

1. Présentation du système – Marché.....	2
a. Présentation du système	2
b. Marché.....	3
2. Recensement des guides et outils existants	4
a. Organismes	4
b. Documents utiles	4
c. Documents normatifs	6
d. Certification / garanties.....	6
3. Principaux types de matériels existants	7
a. Les différents systèmes.....	7
b. Les différentes techniques.....	8
4. Principaux ratios et coûts (investissement / coût fonctionnement)	9
5. Les principaux problèmes constatés	10
a. Problèmes de conception	10
b. Problèmes de réalisation	11
c. Problèmes de fonctionnement	11
6. Les bonnes pratiques (dans les grandes lignes).....	12
a. Conception	12
b. Réalisation.....	12
c. Entretien.....	13
7. Identification des besoins (guide méthodo, méthode de mesures, formation, information des MO, guide maintenance, etc...)	13
8. Exemples d'installations	13
a. Résidence pour étudiants d'une superficie de 2200 m ² à Toulouse	13
b. Bureaux d'une association loi 1901 d'assistance médico-technique à domicile à SISTERON	15

1. Présentation du système – Marché

a. Présentation du système

La pompe à chaleur est un **dispositif thermodynamique** constitué d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un **fluide frigorigène**. Ce dispositif permet de puiser une énergie et de la transférer à un système en vue de chauffer ou climatiser un bâtiment.

L'énergie transférée peut être captée dans l'air, l'eau ou le sol, et l'énergie utilisée par le système peut être l'électricité ou le gaz.

En mode chauffage, le dispositif permet :

- de capter de la « chaleur » dans une source appelée froide (air / eau / sol)
- d'augmenter son niveau de température
- de restituer cette « chaleur augmentée » dans le bâtiment devant être chauffé.

Son fonctionnement est d'autant plus efficace que la différence de température entre la température du milieu où est puisée la chaleur et celle des émetteurs de chaleur est réduite.

Schéma du principe de fonctionnement en mode chauffage :

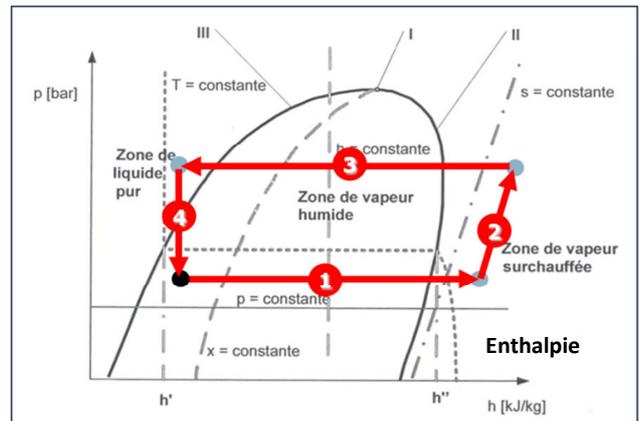
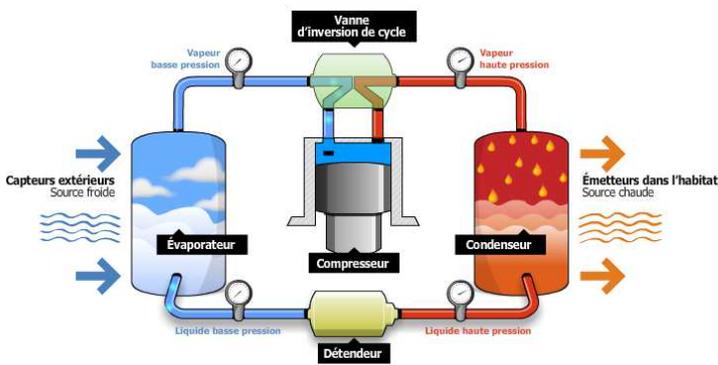


Figure 1 : <http://www.afpac.org/la-pompe-a-chaleur>

Figure 2 : Cycle thermodynamique d'une PAC

- 1- Evaporateur : la chaleur est prélevée à la source « froide » et transférée au fluide frigorigène qui se vaporise (basse température / basse pression → haute température / basse pression).
- 2- le compresseur électrique ou thermique aspire le fluide frigorigène vaporisé et le compresse. Cette compression élève la pression et la température du fluide frigorigène.
- 3- Le fluide frigorigène se condense dans le condenseur et transmet sa chaleur à l'émetteur de chauffage. En se condensant le fluide redevient liquide
- 4- Le détendeur permet l'abaissement de la pression du fluide frigorigène avant qu'il se re-vaporise dans l'évaporateur lors d'un prochain cycle.

Les pompes à chaleur peuvent être réversibles (chauffage et refroidissement) et produire l'eau chaude sanitaire du bâtiment. Dans le cas du refroidissement le cycle présenté ci-dessus est inversé et l'évaporateur se situe côté intérieur.

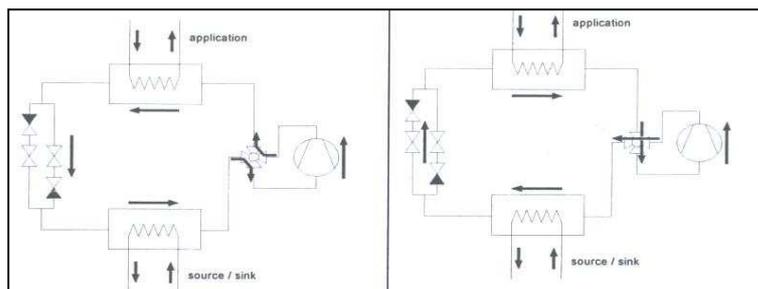


Figure 3 : Inversion de cycle dans une PAC

b. Marché

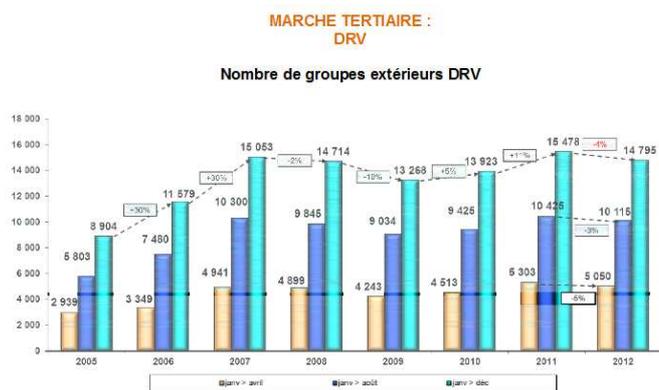
Le marché des pompes à chaleur en France représente en 2012 près de 410 000 installations. Ce marché est en recul de plus de 7 % par rapport à l'année 2011.

La répartition des installations entre les différentes techniques est la suivante :

Les PAC air/air	les PAC air/eau	les PAC géothermiques	PAC eau glycolée/eau.	DRV / VRV
81 %	13 %	2 %	1 %	3 %

D'un point de vue énergétique, les PAC géothermiques installées en France représentent une puissance de 1 671 MWth en 2010 pour 151 938 installations (source EUROBSERVER).

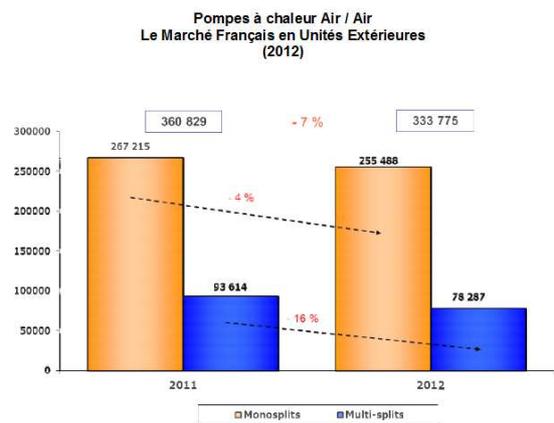
Figure 4 : Marché français des PAC



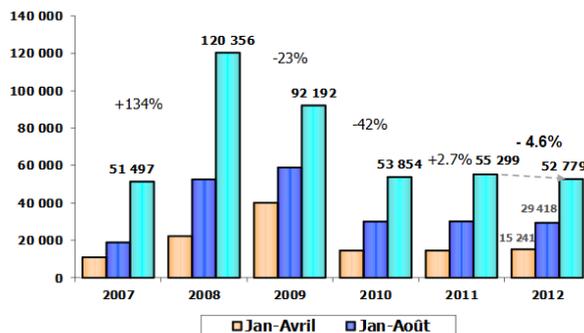
Source : PAC&Clim'Info

LA POMPE A CHALEUR AIR / EAU

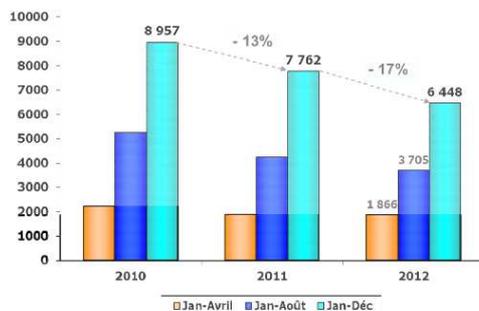
Une fin d'année plutôt morose, et une dernière période contrastée



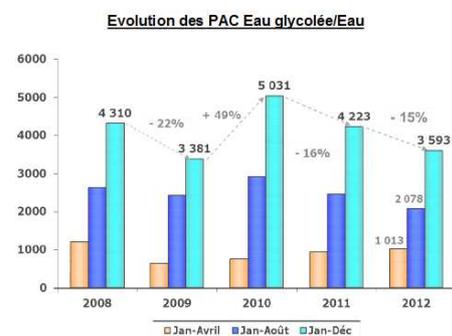
Source : PAC&Clim'Info



La pompe à chaleur Géothermique



Source : AFPAC, PAC&Clim'Info



Source : AFPAC, PAC&Clim'Info

2. Recensement des guides et outils existants

a. Organismes

Organismes dont l'un des domaines d'études, de recherche, de développement, ou de mise en œuvre concerne la pompe à chaleur.

- ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie
- AFF- Association Française du Froid
- AFPAC - l'Association Française pour les Pompes à Chaleur
- ATEE - Association Technique Énergie Environnement
- BRGM : Bureau De Recherches Géologiques et Minières
- CETIAT - centre technique des industries aérauliques et thermiques
- CoSTIC - Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques
- CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- EurObserv'ER - Observatoire des énergies renouvelables, soutenu par la Commission Européenne et l'Ademe
- Qualit-ENR – Quali-PAC

b. Documents utiles

- Guide de conception et de mise en œuvre des systèmes thermodynamiques PROMOTELEC Janvier 2000
Ce guide évoque les points de contrôle essentiels des installations, effectue une synthèse des règles techniques et donne des conseils de mise en œuvre
- La pompe à chaleur ; auteur : Jacques BERNIER aux éditions PYC Livres ; Septembre 2007
Technologie des pompes à chaleur, Approche du choix d'un système en fonction des sources, Les systèmes de PAC pour maisons individuelles, Etude d'une installation, Mise en œuvre d'une installation, Contrôle et maintenance.
- Guide technique : Pompe à chaleur géothermique sur aquifère Conception et mise en œuvre, Manuel co-édité par l'ADEME, l'ARENE, le BRGM et EDF ; Février 2008
Ce document s'adresse aux maîtres d'ouvrage publics ou privés et à leurs conseils, aux bureaux d'études sous-sol et thermiques, aux entreprises de forage et en général à tous les acteurs de la filière pompe à chaleur (PAC) géothermique. Il a pour ambition de présenter l'ensemble des éléments à connaître avant d'initier une démarche visant à développer ou réaliser une opération mettant en oeuvre des pompes à chaleur géothermiques sur aquifère.
- Géothermie : technologie et usage (coédition Ademe / BRGM) ; novembre 2008
Les différentes technologies mises en œuvre aujourd'hui pour utiliser la chaleur de la terre : les pompes à chaleur géothermiques pour les usages domestiques et tertiaires et le résidentiel collectif, les réseaux de chaleur géothermiques destinés au chauffage urbain et les centrales géothermiques pour la production d'électricité.

- Les pompes à chaleur géothermiques - Très basse énergie / COSTIC ; 2009

Ce document se propose de rappeler et de préciser à titre de conseils pratiques, les règles techniques minimales pour :

- *les études préliminaires,*
- *la conception et le dimensionnement,*
- *la mise en œuvre,*
- *la mise en service,*
- *la maintenance,*

des systèmes de pompes à chaleur géothermiques destinés au chauffage ou au chauffage-rafraîchissement des locaux résidentiels individuels.

- Documentation AFPAC 2009

5 Guides techniques coordonnés par l'AFPAC et rédigés par EDF R&D et le COSTIC :

- *Pompes à chaleur air/eau sur plancher chauffant ou plancher chauffant-rafraîchissant*
- *Les pompes à chaleur dans l'existant sur réseaux hydrauliques*
- *PAC eau glycolée/eau sur plancher chauffant ou plancher chauffant-rafraîchissant à capteurs horizontaux*
- *PAC eau glycolée/eau sur plancher chauffant ou plancher chauffant-rafraîchissant à capteurs verticaux*
- *Pompes à chaleur air/eau, eau glycolée/eau et sol/eau sur systèmes mixtes*

- Adresses utiles concernant les pompes à chaleur ; ENERVAL ; Enviroboîte ; Novembre 2009

Liste de sites internet ressources sur le thème des PAC.

- Fiche système énergie Pompe A Chaleur sur capteur vertical enterré ; VAD ; 2009

Principe de fonctionnement général, particulier aux capteurs verticaux, mise en œuvre, et retours d'expérience

- PAC eau/eau nappe, retour d'expérience, Club innovation Envirobat ; Avril 2011

- Les pompes à chaleur ; Eric Michel ; Enviroboîte ; Avril 2011

Principe, performances, différentes technologies, dimensionnement, critères environnementaux et mise en œuvre des PAC.

- Les Pompes à chaleur géothermiques à partir de forage sur aquifère ; ADEME ; 2012

Manuel pour la conception et la mise en œuvre. Présentation de l'ensemble des éléments à connaître avant d'initier une démarche visant à développer ou réaliser une opération mettant en œuvre des PAC sur aquifère

- Les pompes à chaleur ; Jean Lemale aux éditions du moniteur ; Avril 2012

Cet ouvrage présente l'ensemble des technologies et des applications associées aux pompes à chaleur et propose une multitude de solutions applicables dans l'ensemble des secteurs ayant des besoins énergétiques de chaleur et/ou de froid (habitat individuel, habitat collectif, bâtiments tertiaires...). Une large part est consacrée à la présentation de réalisations en France et à l'étranger actuellement en fonctionnement, avec pour certaines d'entre elles des résultats précis issus de campagnes de suivi.

- Les pompes à chaleur ; auteur : Bruno BERANGER ; Editeur : Eyrolles ; 3^{ème} édition 2013
Fonctionnement des PAC (source, émission...), Les différents types de pompes à chaleur, Chauffage et ECS

- EurObserv'ER : <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro193.pdf>
http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan12.pdf

Observatoire des énergies renouvelables

- <http://infoterre.brgm.fr> / Le visualiseur des données géo-scientifiques

c. Documents normatifs

- LOI n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques
- Code minier, Version consolidée au 1 mars 2011
- Décret du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires)
- Décret du 7 mai 2007, code de l'environnement, relatif aux fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques ou climatique.
- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation.
- NF X10-999 - Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages
- Norme NF X 10-980 - Forage d'eau et de géothermie – Démarches administratives
- Norme NF X 10-970 - Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale
- NF EN 12831 : Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base

d. Certification / garanties

- AQUAPAC : garantie sur la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques
- NF PAC : certification sur les performances énergétiques et la puissance acoustique des produits selon les normes européennes applicables des produits (PAC électriques ou à gaz, destinées au chauffage des locaux ou des piscines et éventuellement à la production d'eau chaude sanitaire).
- QualiPAC : certifications des entreprises
- Eurovent ; certifications de certains produits (ventilo-convecteurs, climatiseurs...)

Remarques sur les guides et outils existants :

De nombreux guides de conception et de mise en œuvre existent. Les ouvrages et normes abordent les PAC que ce soit dans l'habitat et le tertiaire sans distinction réelles entre les deux.

3. Principaux types de matériels existants

a. Les différents systèmes

- Détente directe :

Un seul circuit : le fluide frigorigène circule en circuit fermé dans la pompe, les capteurs et les émetteurs de chaleur (PAC air/air, PAC sol/sol).

- Mixte :

Deux circuits : celui du fluide frigorigène des capteurs et de la pompe à chaleur, et celui de l'eau chaude des émetteurs (PAC air/eau, PAC sol/eau).

- Fluides intermédiaires

Trois circuits : le circuit frigorifique de la pompe à chaleur, le circuit des capteurs où circule de l'eau additionnée d'antigel, le circuit qui alimente en eau chaude les émetteurs (PAC eau glycolée/eau, PAC eau/eau).

- Volume de Réfrigérant Variable ou Débit de Réfrigérant Variable

o VRV / DRV

Système à détente directe qui a partir d'une seule unité extérieure (groupe compresseur) alimente par des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieures

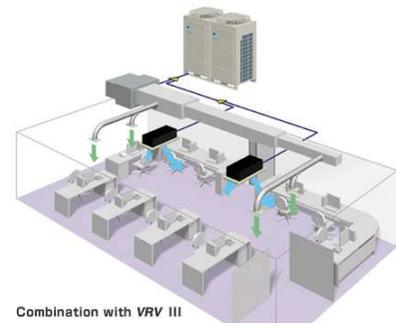


Figure 5 : VRV

- PAC Gaz :

o PAC moteur gaz naturel

Le cycle frigorifique est similaire au PAC électrique, mais le compresseur est entraîné par un moteur à combustion interne fonctionnant au gaz naturel. En mode chauffage la récupération d'énergie dégagée par le refroidissement du moteur (culasse et échappement) sert au maintien de la puissance de chauffage délivrée même à très basse température extérieure. Cela limite la nécessité d'appoint.

En mode climatisation, cette énergie sert le plus souvent à la production d'ECS.

o PAC à absorption gaz naturel

La pompe à chaleur à absorption gaz fonctionne sur le principe de l'absorption. Le chauffage direct au gaz permet le transfert de chaleur d'une source froide vers une source chaude via un fluide frigorigène, comme la pompe à chaleur électrique. La différence est que le cycle n'est pas à compression mécanique comme pour la pompe à chaleur électrique, mais de type thermochimique. Le fluide frigorigène est tout d'abord un fluide composé d'un mélange eau/ammoniac, sans impact sur l'effet de serre, et le compresseur est si l'on peut dire remplacé par un brûleur gaz identique à une chaudière

b. Les différentes techniques

Classement des PAC suivant les différentes sources froides et les différents systèmes d'émissions.

- PAC Aérothermiques :

o PAC AIR/AIR

La source « froide » est l'air extérieur, les émetteurs sont des diffuseurs d'air ou des ventilo-convecteurs.

Ces derniers peuvent être raccordés au circuit d'eau de chauffage d'une PAC mixte ou à détente directe.



o PAC AIR/EAU

La source « froide » est l'air extérieur, les émetteurs peuvent être un plancher chauffant ou un circuit de radiateurs.



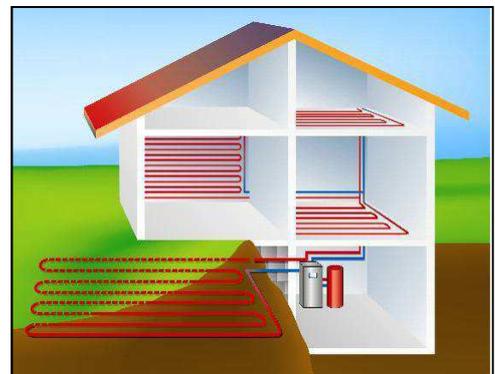
- PAC Géothermiques :

o PAC SOL/SOL

La source « froide » est le sol (capteurs horizontaux en circuit fermé), les émetteurs sont des planchers chauffants

o PAC SOL/EAU

La source « froide » est le sol (capteurs horizontaux en circuit fermé), les émetteurs peuvent être un circuit de radiateurs ou des ventilo-convecteurs ou un plancher chauffant



o PAC EAU GLYCOLEE/EAU

La source « froide » est le sol (sondes géothermiques ou capteurs horizontaux), les émetteurs peuvent être un plancher chauffant un circuit de radiateurs ou des ventilo-convecteurs

o PAC EAU/EAU

La source « froide » est l'eau de nappe, les émetteurs peuvent être un plancher chauffant, un circuit de radiateurs ou des ventilo-convecteurs
Cette installation comprend un forage de prise d'eau (ou captage) et un forage de rejet d'eau.

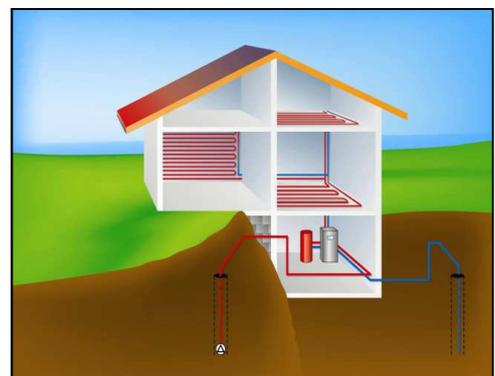


Figure 6 : Schémas des différentes techniques de PAC

4. Principaux ratios et coûts (investissement / coût fonctionnement)

	PAC sol / sol ou sol/eau	PAC eau glycolée / eau ou eau / eau	Pac Air / eau	PAC air / air
Coût Investissement (m² chauffé)	70 à 100 € TTC / m ²	Capteurs horizontaux : 85 à 135 € TTC / m ² Capteurs verticaux : 145 à 185 € TTC / m ² Système sur eau de nappe : 80 à 130 € TTC / m ²	65 à 90 € TTC / m ²	60 à 90 € TTC / m ²
Coût de fonctionnement	2,3 à 3,5 € TTC / m ²	2,3 à 3,5 € TTC / m ²	2,5 à 3,7 € TTC / m ²	2,5 à 3,7 € TTC / m ²
Appoint	Pas nécessaire	Pas nécessaire	Toujours intégré, et plus ou moins utilisé suivant la performance du système, la localisation du projet et le dimensionnement de l'installation.	Toujours nécessaire

Tableau issu du document de l'ADEME sur les pompes à chaleur habitat individuel

Ces valeurs peuvent varier fortement en fonction de la complexité de la source froide et du chantier.

5. Les principaux problèmes constatés

a. Problèmes de conception

Conception architecturale engendrant des nuisances sonores (PAC air).

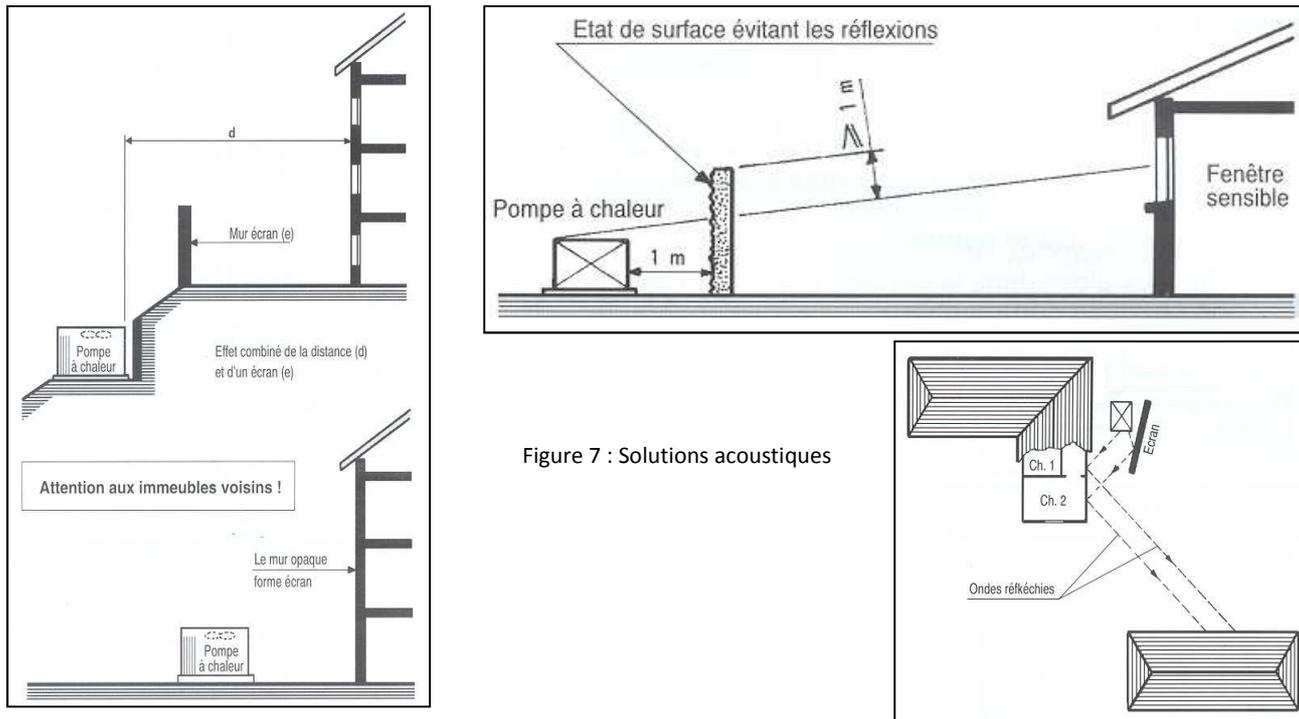


Figure 7 : Solutions acoustiques

Problème de dimensionnement de la PAC

Etude thermique erronée, prise en compte trop optimiste de la source « froide », non évaluation de l'épuisement de la source froide...

Problème des coefficients de performance des PAC

Les coefficients de performance de PAC sont souvent donnés en moyenne annuelle et pour des températures « favorables ». Cela peut engendrer des différences non négligeables entre les consommations réelles et prévisionnelles.

COP = E produite en sortie condenseur / E utilisée par le moteur compresseur

○ régime de température en mode chauffage pour la définition du COP

- Eau glycolée / eau 0 / 35
- Eau / eau 10 / 35
- Air / air 7 / 35

MODE CHAUFFAGE

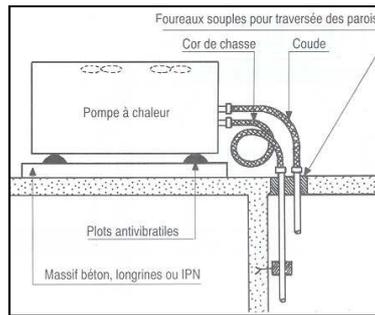
EER = E utile frigorifique ou chaleur absorbée à l'évaporateur / E fournie au compresseur

MODE REFROIDISSEMENT

b. Problèmes de réalisation

- Non utilisation de produits évitant la transmission des bruits

Figure 8 : Solution acoustique



- Régulation et loi d'eau mal paramétrées ne permettant pas une optimisation du système installé

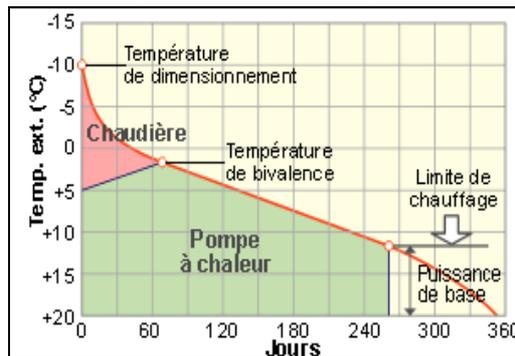


Figure 9 : Exemple d'un système bivalent parallèle

- Inversion du tuyau de raccordement entre la PAC et le ballon tampon
- Purge incorrecte des circuits hydrauliques
- Eau et glycol mal mélangés
- problème d'évacuations des condensats

c. Problèmes de fonctionnement

- Bulles dans le voyant de liquide indiquant un manque de fluide frigorigène, ou un gaz défectueux ou un filtre déshydrateur plein.
- Déclenchement de la sécurité basse pression provenant :
 - d'un manque d'énergie en provenance de la source froide
 - d'un pressostat défectueux
 - d'une fuite de fluide frigorigène
- Déclenchement de la sécurité haute pression provenant :
 - d'un manque d'énergie dissipée au condenseur (panne circulateur, fuite de fluide, air dans le circuit)
 - d'un pressostat défectueux
 - trop de fluide frigorigène
- Production de chaleur insuffisante :
 - mauvais réglages (loi d'eau, bivalence)
 - Sous-dimensionnement
 - T° source froide trop basse
 - T° source chaude trop haute
 - Dissipation de chaleur mal réglée / défectueuse
- Cycle de dégivrage qui en l'absence d'appoint arrête la production de chaleur.

Surchauffe du bâtiment = épuisement prématuré des réserves énergétiques de la source

6. Les bonnes pratiques (dans les grandes lignes)

a. Conception

- Identifier les contraintes liées au projet :
 - Localisation et météorologie du site pour estimer la ressource en énergie (source froide).
 - Surface du terrain pour le captage, identification et mesure de la ressource aquifère, éventuellement mise en place d'une garantie permettant de couvrir les risques géologiques (insuffisance de la nappe, détérioration de la ressource...)
 - Besoin en locaux techniques
 - Abonnement électrique et alimentation continue
 - Prise en compte des pollutions acoustiques éventuelles
 - Effectuer une étude thermique permettant de bien dimensionner la PAC, les appoints éventuels et les émetteurs de chaleur.
- En neuf préférer travailler avec des températures basses et des émetteurs de grandes tailles (planchers, murs...)
En réhabilitation il faut s'assurer que les émetteurs existants et la température de fonctionnement du système couvrent les besoins.
- définir la régulation, mettre en place un système de surveillance automatique du circuit réfrigérant.

b. Réalisation

- Inspecter le matériel dès sa livraison
- Suivre les préconisations fabricant
- Utiliser un fluide frigorigène autorisé

Anciens fluides frigo.	Fluides frigo. de remplacement en neuf	Fluide frigo. De remplacement en substitution
R12	R134A	
R502	R404A	
R22	R407C	R417A

Figure 10 : Liste non exhaustive de fluides frigo.

- Remplissage du fluide frigorigène avec essai d'étanchéité (à l'azote) par du personnel ayant une attestation de capacité.
(Le recours à un opérateur n'est pas obligatoire pour la mise en service des équipements à circuit hermétique, pré chargés en fluide frigorigène, contenant moins de deux kilogrammes de fluide dès lors que leur mise en service consiste exclusivement en un raccordement à des réseaux électrique, hydraulique ou aéraulique.)
- installation du capteur de température extérieur
- isolation des composants et protection anti-UV des éléments situés en extérieurs
- Notice de fonctionnement (D.O.E avec schémas, documentations techniques, instructions de commande et numéros de contact de la société responsable de l'entretien et du SAV).

c. Entretien

- Inventaire des éventuels problèmes de l'année
- Vérification des filtres (air, eau)
- Essai d'étanchéité du fluide frigorigène

Charge en fluides frigorigènes de l'équipement	Fréquence des contrôles	Fréquence des contrôles lorsque réalisés à l'aide d'un contrôleur d'ambiance
Supérieure à 2 kg	Tous les 12 mois	Tous les 12 mois
Supérieure à 30 kg	Tous les 6 mois	Tous les 12 mois
Supérieure à 300 kg	Tous les 3 mois	Tous les 6 mois

Arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques, JO du 8 mai 2007.

- Vérification des performances
- Vérification du captage
- Inspection visuelle et auditive
- Vérification rapide des organes

7. Identification des besoins (guide méthodo, méthode de mesures, formation, information des MO, guide maintenance, etc...)

De nombreux ouvrages existent sur le thème des pompes à chaleur. Aucun ne ressort particulièrement du lot. Si des documents ou ouvrages devaient être produits afin d'étayer encore les connaissances sur ces systèmes, les thèmes suivants pourraient être abordés :

- guide d'instrumentation des installations
- retours d'expériences avec mesures et suivi des installations
- outils d'évaluation économique et environnementale en coût global

8. Exemples d'installations

a. Résidence pour étudiants d'une superficie de 2200 m² à Toulouse

http://conseils.xpair.com/actualite_experts/pac-gaz-et-solaire.htm

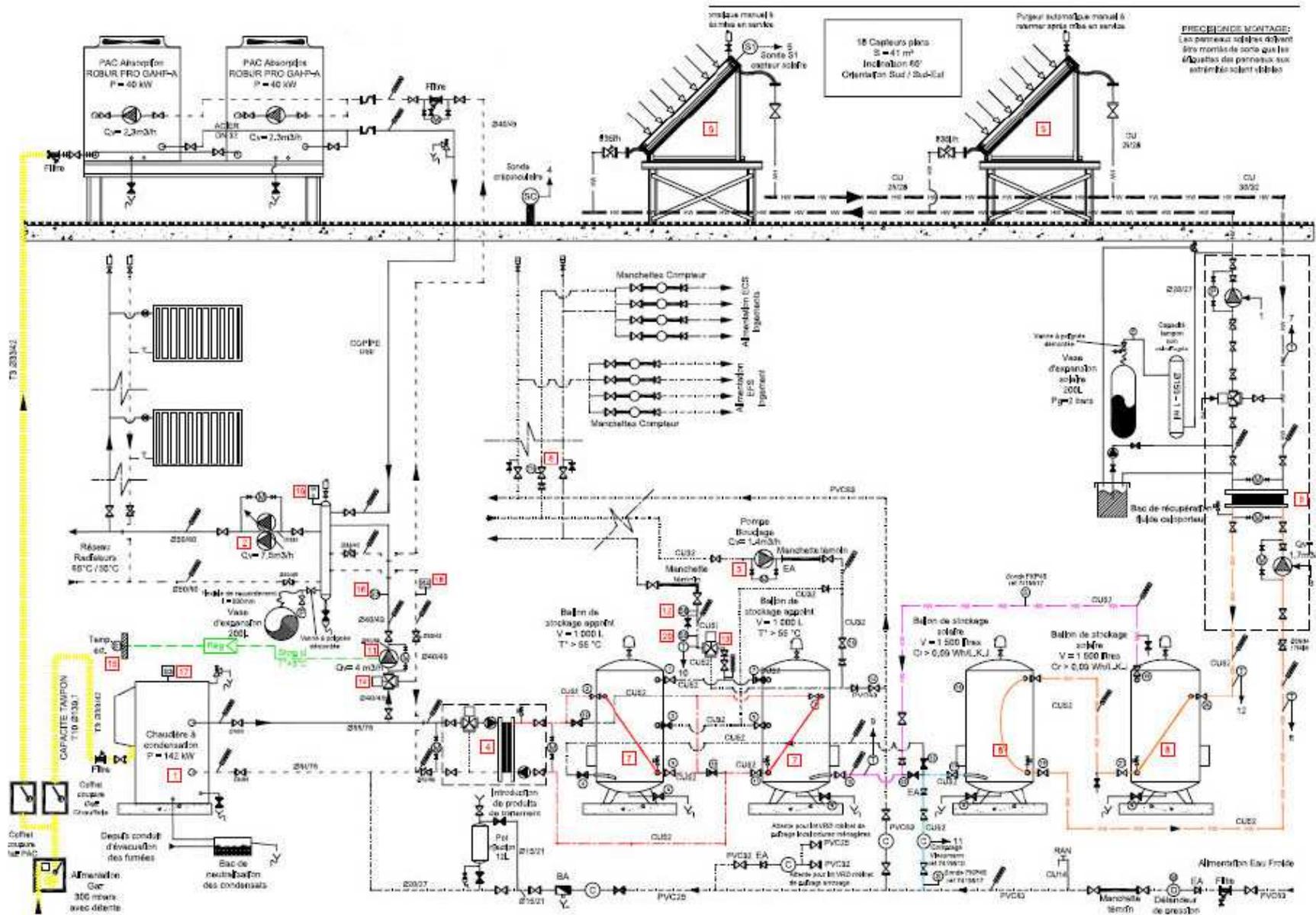
Le bâtiment est chauffé mais non climatisé.

Installation thermique :

- 2 PAC gaz à absorption de 35 kW
- chaudière gaz condensation 142 kW
- 40 m² solaire thermique (préparation d'ECS)

Retour d'expérience :

- COP gaz : de 1.42 en moyenne sur la saison de chauffe, équivalent à une efficacité de production de 142% sur PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)
- Un COP sur énergie primaire de 1.25 en moyenne sur la saison de chauffe, soit une consommation des auxiliaires électriques représentant 13% de la consommation totale d'énergie des PAC
- L'instrumentation a permis d'identifier un problème de régulation et de cascade des PAC avec l'appoint chaudière gaz.



b. Bureaux d'une association loi 1901 d'assistance médico-technique à domicile à SISTERON

Bâtiment de 490m² chauffé et climatisé avec une PAC air / eau.

Installation thermique :

- 1 PAC air-eau de 20 kW.
 - COP = 3,02, EER = 2,7 (données fabricants)
 - appareil certifié,
 - loi d'eau sur température de départ

- Emission par ventilo-convecteurs, régime d'eau de 35/40°C.

Retour d'expérience :

- Pas d'instrumentation des installations
- Problèmes lors du dégivrage de la PAC.

La PAC nécessite des cycles de dégivrages qui en l'absence d'appoint arrêtent la production de chaleur.