

Chauffage et rafraîchissement par systèmes thermodynamiques

par **Bernard PLEYNET**
Ingénieur-chercheur EDF/DER

Claude VOTA
Ingénieur-chercheur EDF/DER

et **Olivier LUSSON**
Ingénieur-chercheur EDF/DER

1. Pompes à chaleur pour le chauffage des locaux	B 2 157 - 2
1.1 Typologie des machines	— 2
1.1.1 Sources froides	— 2
1.1.2 Source chaude : utilisation de la chaleur.....	— 4
1.2 Systèmes de chauffage courants	— 4
1.2.1 Pompe à chaleur air/air (<i>roof-top</i>).....	— 4
1.2.2 Groupes de production d'eau glacée avec récupération de chaleur (ou thermofrigopompe).....	— 5
1.2.3 Pompe à chaleur air extrait/eau : distribution de chaleur par plancher chauffant avec appoint par convecteurs électriques.....	— 5
1.2.4 Pompe à chaleur air extérieur/eau : distribution de chaleur par plancher chauffant avec appoint centralisé ou décentralisé....	— 7
1.2.5 Pompe à chaleur eau/eau	— 8
1.2.6 Pompe à chaleur air extérieur/eau en relève de chaudière existante (PERCHE).....	— 9
1.3 Précautions d'installation et limites d'emploi	— 12
1.3.1 Limites d'emploi	— 12
1.3.2 Bruit	— 12
1.3.3 Entartrage, ensablage et corrosion	— 13
2. Systèmes réversibles : climatisation individuelle	— 13
2.1 Principe technique.....	— 13
2.2 Typologie des climatiseurs	— 14
2.2.1 Climatiseurs mobiles.....	— 14
2.2.2 Climatiseurs fixes	— 14
2.3 Guide de choix.....	— 18
Pour en savoir plus.....	Doc. B 2 159

Dans cet article, nous traiterons des différents types de chauffage et rafraîchissement des bâtiments par des systèmes thermodynamiques.

1. Pompes à chaleur pour le chauffage des locaux

Quel que soit le type de pompe à chaleur (PAC), on retrouve toujours les mêmes composants principaux (figure 1) ; seuls changent les auxiliaires, ventilateur ou circulateur.

Pour de plus amples détails sur les composants et certaines applications pour le chauffage, le lecteur pourra se reporter utilement aux articles, dans ce traité :

- *Pompes à chaleur et systèmes apparentés* [B 2 440] ;
- *Production du froid. Technologie des machines industrielles* [B 2 365].

Rappelons également que l'on appelle **coefficient de performance théorique** COP_{th} d'une PAC le rapport :

$$COP_{th} = \frac{T_{sc}}{T_{sc} - T_{sf}}$$

avec T_{sc} (K) température de la source chaude,
 T_{sf} (K) température de la source froide.

En réalité, les appareils et les fluides de transfert ne sont pas parfaits et cette valeur est très supérieure à celle des machines réelles. Dans le cas de PAC de type air extérieur/eau, cette valeur décroît fortement avec la baisse de la température extérieure.

En pratique, le COP est égal au rapport suivant :

$$COP = \frac{\text{puissance thermique fournie}}{\text{puissance électrique absorbée}}$$

Cette technique permet de valoriser l'électricité *via* le coefficient de performance des systèmes thermodynamiques, qui est en pratique égal ou supérieur à 2.

1.1 Typologie des machines

Les PAC sont définies dans l'ordre par le nom de la *source froide* et en second lieu par la nature du fluide caloporteur. Ces indications sont données dans la configuration chauffage pour le cas des machines réversibles.

■ **Exemples** : air/air, air/eau, eau/air, eau/eau.

Examinons les différentes possibilités d'utilisation de sources froides et de fluides caloporteurs.

1.1.1 Sources froides

La source froide représente le milieu dans lequel on va puiser l'énergie. Elle n'est pas forcément plus froide que le bâtiment (par exemple, réfrigération d'été, rejets industriels). Deux fluides sont abondants dans la nature, l'air et l'eau, mais d'autres possibilités sont utilisables. Les critères suivants permettent de définir les qualités de la source utilisée :

- la disponibilité ;
- la température de la source et sa variation pendant la saison de chauffage ;
- l'énergie disponible ;
- le coût d'accès.

■ **Air extérieur** : c'est la source la plus abondante et la plus universelle. L'énergie disponible est théoriquement infinie. Les inconvénients de l'air extérieur sont dus, d'une part, à la variation de température et, d'autre part, à son humidité (givrage).

La baisse de la température de l'air entraîne une baisse du coefficient de performance (écart source froide/source chaude plus grand) en hiver alors que les besoins de chauffage sont plus élevés. La plage de cette variation est comprise entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La présence d'humidité nécessite l'installation d'un système de dégivrage de l'échangeur extérieur, d'où une machine plus compliquée avec un coefficient de performance qui chute lorsqu'on a besoin de dégivrer (pour $\theta_{ext} < +5\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ).

La figure 2 donne les sens de circulation pour le chauffage et pour la climatisation ou dégivrage. La vanne 4 voies sert à inverser le cycle sur les machines réversibles et à dégivrer les PAC.

L'écart de température entre l'air et le fluide frigorigène est de l'ordre de 7 K ; on ne peut augmenter considérablement cet écart dans le but de faciliter l'échange et diminuer le prix des échangeurs sous peine de pénaliser le coefficient de performance. Réciproquement, on ne peut pas le diminuer beaucoup, car le débit d'air sur l'échangeur devrait être accru, ce qui aurait une incidence néfaste sur le bruit et la puissance des ventilateurs.

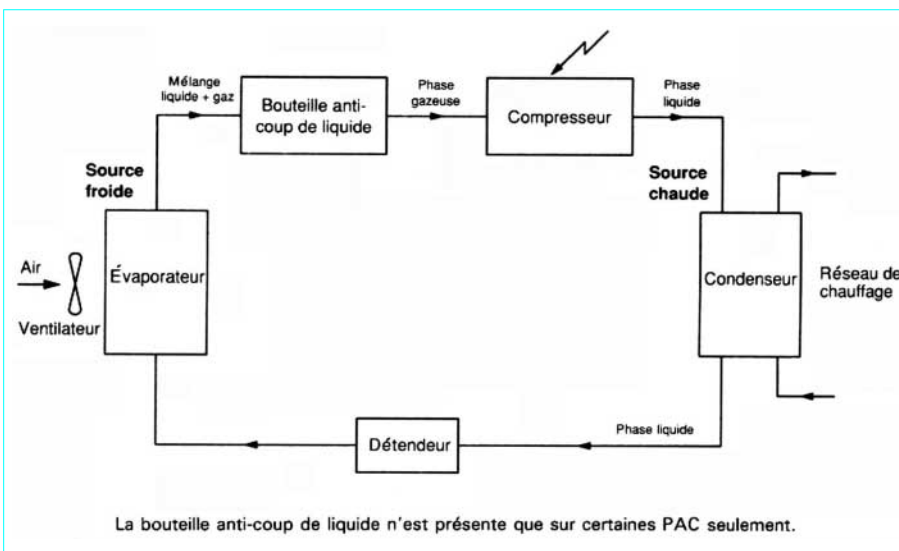


Figure 1 – PAC de type air/eau : schéma de principe

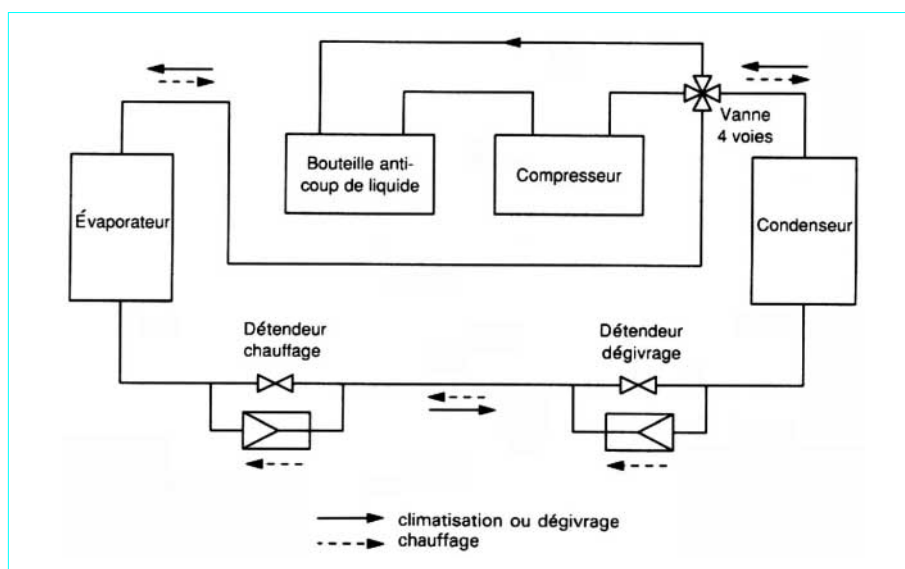


Figure 2 – Sens de circulation pour les PAC type air extérieur

■ **Air extrait des bâtiments** : il est nécessaire d'assurer le renouvellement d'air des bâtiments, donc d'extraire un volume d'air à une température voisine de 20 °C qui constitue ainsi une source de chaleur intéressante.

Les contraintes sont les suivantes :

- énergie limitée par le renouvellement d'air ;
- faible variation de température (18 à 25 °C) sauf dans le cas de locaux chauffés par intermittence ;
- nécessité de prendre en compte la qualité de l'air : filtration et agressivité (dans le cas d'air extrait de certains locaux industriels).

■ **Eau** : l'eau source de chaleur est présente sous de nombreuses formes : lac, rivière, mer, forages, rejets industriels, circuits de refroidissement de machines, etc. Suivant le lieu d'utilisation, l'eau est ou non disponible et à des coûts parfois élevés.

Les éléments à prendre en compte en fonction des précautions à prendre avant de décider d'utiliser une telle source sont : le débit, la température, la qualité (corrosion et filtrage), afin d'assurer la pérennité des équipements et les conditions de rejet ou de réinjection, et les différents coûts relatifs à ces critères.

— **Nappes d'eau souterraines** à faible profondeur, généralement moins de 100 m, captées par forage. Elles présentent l'intérêt d'une température d'eau pratiquement constante de l'ordre de 10 à 12 °C. Il faut toutefois examiner les conditions de rejet du fait de la réglementation (taxes, puits de réinjection, etc.) ainsi que la qualité de l'eau et surtout la filtration.

Il existe des assurances pour se prémunir contre les risques de recherche et de pérennité des eaux souterraines. Parmi elles, citons la garantie Aquapac (§ 1.2.6), proposée dans les structures régionales d'EDF, mise au point conjointement avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Les forages doivent être exécutés dans les règles de l'art pour se prémunir contre les problèmes de filtration et d'ensablement.

— Dans l'industrie, on rencontre soit des **eaux de refroidissement** de machines dont l'utilisation comme source de chaleur a des répercussions bénéfiques sur les coûts de production, soit des **eaux de rejet** pour lesquelles la qualité est à examiner (composition chimique et particules en suspension).

L'utilisation de l'eau comme source de chaleur n'a pas les mêmes inconvénients que l'air extérieur. En effet, la température est souvent constante et, lorsque le débit est suffisant, l'énergie récupérée peut couvrir la totalité des besoins de chauffage. Le coefficient de performance obtenu est meilleur, par contre, les consommations des auxiliaires (captage) peuvent réduire l'efficacité énergétique globale du système. Il faut réaliser les forages, notamment, avec toutes les précautions utiles afin que la source ne devienne pas une contrainte importante pour l'utilisation de la pompe à chaleur.

L'utilisation directe d'eau de lacs ou de rivières est souvent la cause de contre-références (variations de température et particules en suspension).

■ **Le sol** est un réservoir de chaleur dont la caractéristique principale est de lisser d'autant plus les variations climatiques de l'atmosphère que l'on s'intéresse à une profondeur élevée. Cette chaleur est récupérée grâce à un échangeur (canalisation PVC) enterré à faible profondeur (0,8 à 2 m) dans lequel circule de l'eau glycolée réfrigérée par la pompe à chaleur. L'utilisation du sol à des profondeurs plus importantes augmente sensiblement les surfaces d'échange, la recharge thermique à grande profondeur étant beaucoup plus lente.

Un dimensionnement de 20 W/m de tuyau est une limite au-delà de laquelle les phénomènes de gel se manifestent en cours de saison de chauffe.

Le surcoût engendré par un tel système (échangeur, eau glycolée, etc.) n'est pas négligeable pour des performances comparables aux autres sources.

■ **Bâtiment et son usage** : les constructions modernes sont de plus en plus isolées et les apports de chaleur par l'éclairage permanent et à haut niveau, par les machines et ordinateurs, etc. impliquent un besoin permanent de réfrigération : le bâtiment est devenu une source froide. Des systèmes de chauffage et climatisation permettent d'assurer le transfert des charges à l'intérieur du bâtiment (PAC sur boucle d'eau).

Des transferts d'énergie sont également réalisables lorsque des applications complémentaires sont voisines : les couples patinoire/piscine, entrepôts frigorifiques/bureaux, etc. sont des exemples intéressants.

1.1.2 Source chaude : utilisation de la chaleur

Le condenseur constitue la source chaude de la PAC. Cette chaleur est transmise aux locaux à chauffer soit directement, soit par un réseau utilisant l'eau ou l'air comme fluide caloporteur. La construction du condenseur sera adaptée au fluide et au réseau de chaleur.

1.2 Systèmes de chauffage courants

La grande variété des sources froides et des systèmes de distribution de chaleur fait qu'il existe de nombreux types de PAC permettant de traiter chaque cas d'installation. Nous nous contenterons dans cet article de décrire quelques types de PAC parmi les plus utilisés.

1.2.1 Pompe à chaleur air/air (roof-top)

Cet appareil monobloc de moyenne et forte puissance (20 à 150 kW) a été spécialement conçu pour le chauffage et la climatisation des locaux de grand volume (supermarchés, entrepôts, ateliers de fabrication, etc.). Il s'installe le plus souvent en toiture ou au niveau du sol (figure 3). Il peut ou non recevoir un réseau de gaines permettant une meilleure répartition d'air dans les locaux.

■ **Fonctionnement** : cet appareil a quatre régimes de fonctionnement :

- *ventilation*, avec renouvellement d'air minimal, quand il n'y a pas besoin de chaud ou de froid ;
- *régime économiseur ou free cooling* pour la demi-saison : le compresseur ne fonctionne pas et l'air extérieur est introduit à un débit supérieur au renouvellement minimal pour rafraîchir les locaux ;
- *régime hiver* : le compresseur fonctionne et l'air des locaux est réchauffé sur le condenseur et sur les batteries électriques d'appoint ;
- *régime été* : le compresseur fonctionne et l'air des locaux est rafraîchi sur l'évaporateur.

Suivant les constructeurs, le fonctionnement été/hiver est géré par deux techniques :

- *inversion sur le circuit frigorifique*, la plus courante (figure 4) : les flux d'air sont les mêmes et les batteries sont tour à tour condenseur et évaporateur ;
- *inversion sur le circuit d'air* : l'air des locaux est orienté par des volets d'air sur le condenseur ou l'évaporateur.

■ **Régulation** : une seule sonde mesure la température ambiante dans le local. Cette sonde est raccordée à un régulateur qui en fonction des consignes de température agit en cascade sur les organes concernés du roof-top (figure 5) :

- *en chauffage* ($\theta_{\text{consigne}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) : mise en route des étages de compresseurs, puis alimentation des résistances électriques lorsque le chauffage par condenseur n'est pas suffisant ;
- *en rafraîchissement* : ouverture des volets d'air neuf de 22 à 24 °C, puis inversion de cycle et mise en route des compresseurs à partir de 24 °C.

■ **Dimensionnement** : pour les appareils réversibles, la puissance est déterminée en fonction des besoins en froid. En chauffage, le domaine d'applications influe fortement sur les puissances installées.

Exemple des grands commerces :

- en chauffage : 75 W/m² en moyenne
- en froid : au nord de la Loire : 90 à 105 W/m²
au sud de la Loire : 115 à 130 W/m²
- tailles des machines :
10 000 m³/h (45 kW) - 400 m² de surface de vente
15 000 m³/h (65 kW) - 600 m² de surface de vente
20 000 m³/h (85 kW) - 900 m² de surface de vente

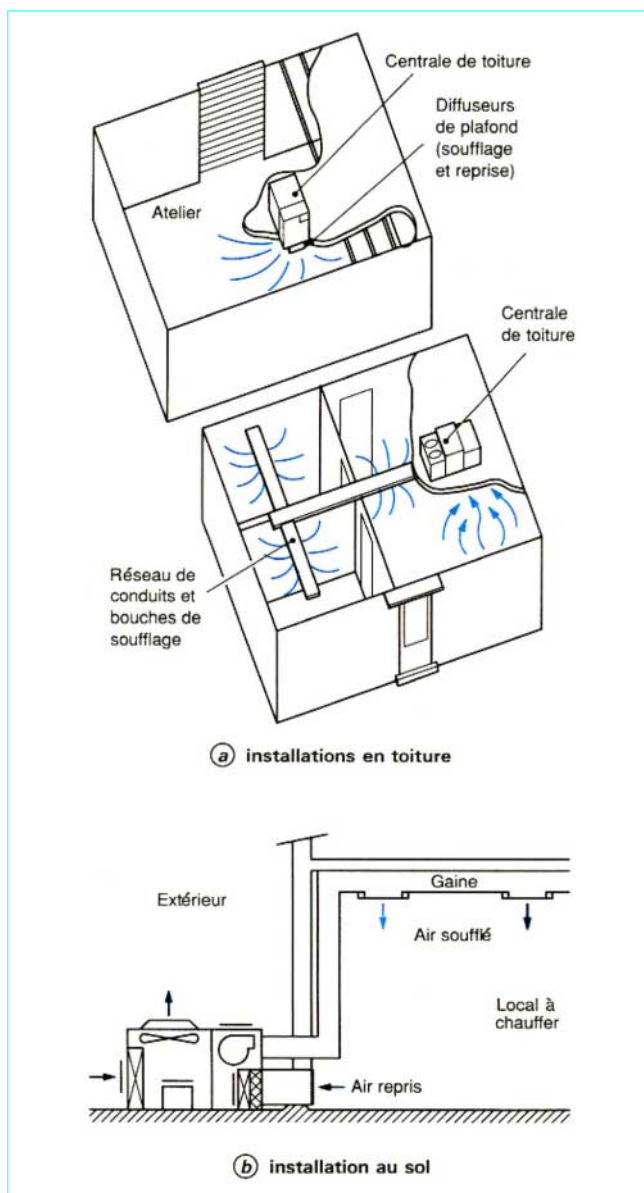


Figure 3 – PAC air/air roof-top : possibilités d'installations

1.2.2 Groupes de production d'eau glacée avec récupération de chaleur (ou thermofrigopompe)

Il s'agit de groupes de production d'eau glacée équipés de condenseurs à air ou à eau, composés généralement de plusieurs circuits frigorifiques pour un système de climatisation ou de chambres froides.

Par adjonction d'un condenseur supplémentaire (à eau), situé en amont du condenseur classique (figure 6), ces appareils permettent une récupération de chaleur variable suivant les besoins (nulle en été, partielle en mi-saison, totale en hiver). Cette chaleur est utilisée pour le chauffage des locaux et éventuellement pour le chauffage d'eau chaude sanitaire.

Cet ensemble est donc conçu partout où il y a besoin d'un groupe de production d'eau glacée et de chauffage ou eau chaude sanitaire simultanée : dans l'industrie, refroidissement de machines, etc. et chauffage des locaux et, dans le tertiaire, hôtellerie (climatisation + eau chaude sanitaire).

■ Fonctionnement

— **Récupération totale** : la demande de puissance du circuit de chauffage est maximale. Les gaz à la sortie du compresseur passent dans le condenseur à eau, la totalité des calories est transmise au circuit de chauffage. Les ventilateurs du condenseur à air sont arrêtés. Il faut noter que le rendement global du groupe est supérieur aux autres cas de fonctionnement (meilleur sous-refroidissement).

— **Récupération partielle** : la demande de puissance du circuit de chauffage diminue, une partie seulement des gaz à la sortie du compresseur se condense dans le condenseur à eau. La condensation se termine dans le condenseur à air. Un pressostat haute pression HPR contrôle la pression à la sortie du condenseur et agit pour cela en cascade sur les ventilateurs.

— **Sans récupération** : les besoins de chauffage sont nuls. Le fonctionnement est celui d'un groupe d'eau glacée classique. Le condenseur à air est dimensionné pour évacuer toute l'énergie et le condenseur à eau est sans effet.

■ **Régulation** : la mise en route des étages de compresseurs est réalisée par la demande d'eau glacée, objectif de l'installation. Côté chauffage et en fonction de la demande, une vanne 3 voies fait passer plus ou moins d'eau dans le condenseur à eau.

■ **Dimensionnement** : c'est la production d'eau glacée qui détermine la puissance du groupe.

■ **Avantages** par rapport à une installation classique de production d'eau glacée :

- faible investissement (le supplément pour adjonction d'un condenseur à eau est de 20 à 40 %) ;
- circuit frigorifique simple ;
- utilisation simple sur le circuit de chauffage traditionnel ;
- amélioration du rendement du groupe ;
- possibilité de production d'eau chaude sanitaire.

■ Inconvénient :

- nécessité d'une production d'eau glacée : production frigorifique nulle = récupération nulle.

1.2.3 Pompe à chaleur air extrait/eau : distribution de chaleur par plancher chauffant avec appoint par convecteurs électriques

Dans les logements, il est nécessaire d'assurer le renouvellement d'air en évacuant l'air vicié des locaux de service. Cet air, déjà chauffé, représente une source de chaleur, limitée en puissance par le débit extrait mais qui représente malgré tout une part de l'ordre de 35 % des besoins de chauffage. La maîtrise du réseau d'extraction (trajets

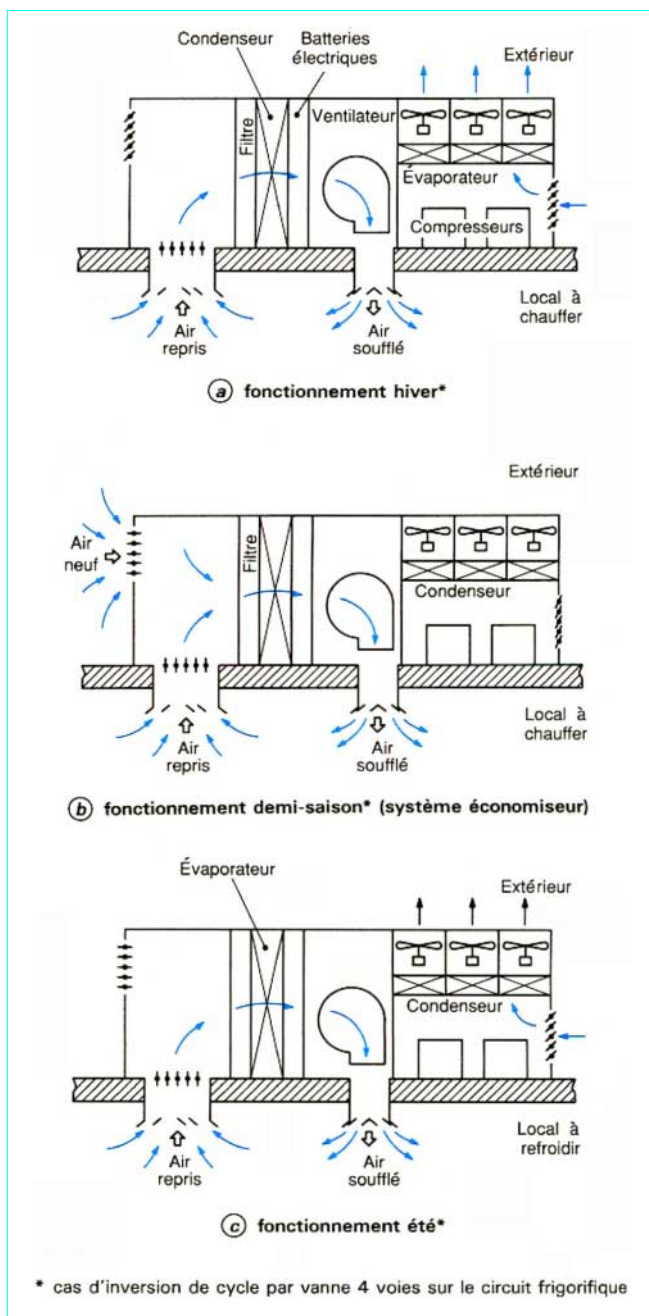


Figure 4 – Principes de fonctionnement d'une PAC air/air roof-top

■ Avantages :

- appareil autonome facile à installer ;
- pas de place perdue au sol (si installation en toiture) ;
- réversibilité/système économiseur pour le rafraîchissement de mi-saison ;
- investissement réduit (150 à 250 F/m² en 1991).

■ Inconvénient :

- prévoir l'emplacement en toiture et un accès pour l'entretien.

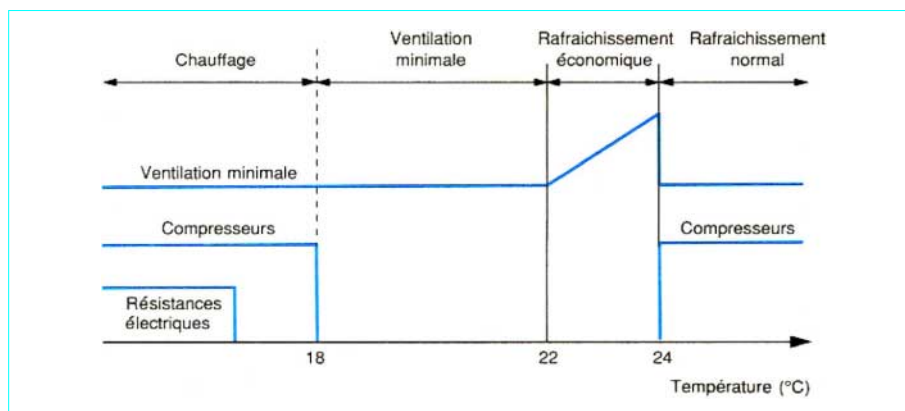


Figure 5 – Régulation en cascade sur les différents organes

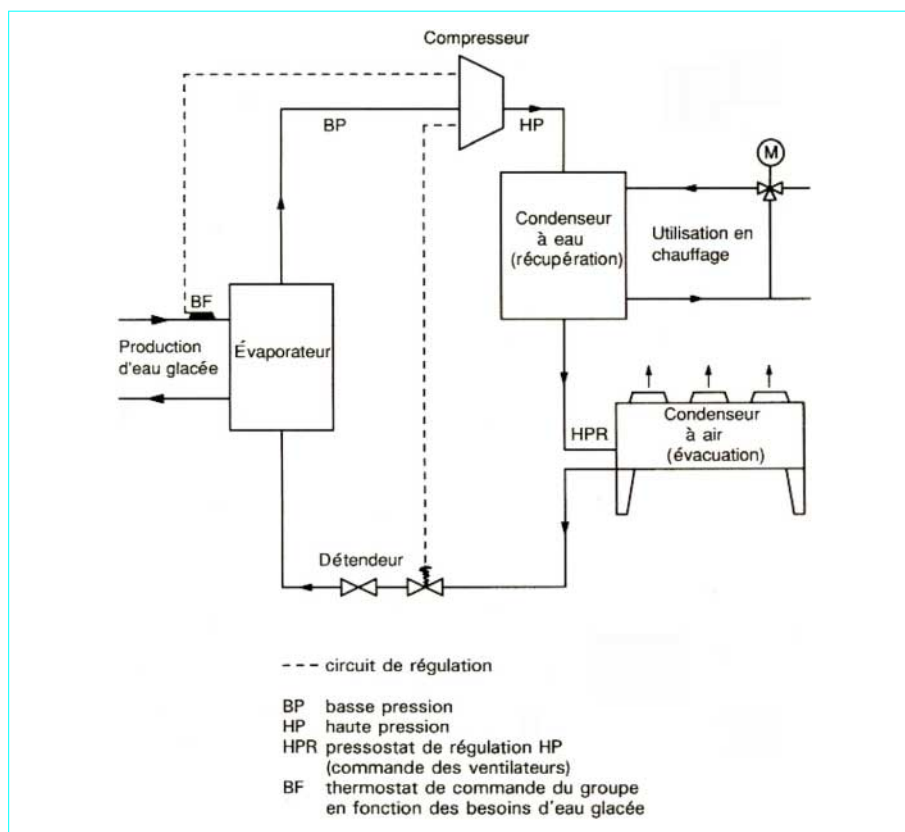


Figure 6 – Groupe de production d'eau glacée avec récupération de chaleur : schéma de principe

de l'air des pièces principales aux pièces de service – salle de bains, wc, etc. –, étanchéité du bâtiment) est une nécessité dans une telle installation (figure 7a). Cette condition est délicate à respecter dans le cas d'un pavillon. Il est conseillé de réserver cette application aux immeubles collectifs à occupation permanente. La plupart du temps, la production d'eau chaude sanitaire n'est pas utilisée avec ce système mais peut l'être.

■ **Fonctionnement/régulation** : l'extraction d'air fonctionne en permanence.

La PAC fonctionne sur demande d'un régulateur sur lequel on affiche une loi d'eau représentant la loi de correspondance entre la température de départ et la température extérieure.

L'appoint électrique est commandé pour les thermostats des convecteurs affichés à la température souhaitée par les occupants dans chaque pièce. Un limiteur d'énergie placé en tête de l'installation est nécessaire pour éviter les gaspillages (loi de puissance autorisée en fonction de la température extérieure) (article *Systèmes de conduite et de gestion* [B 2 158]).

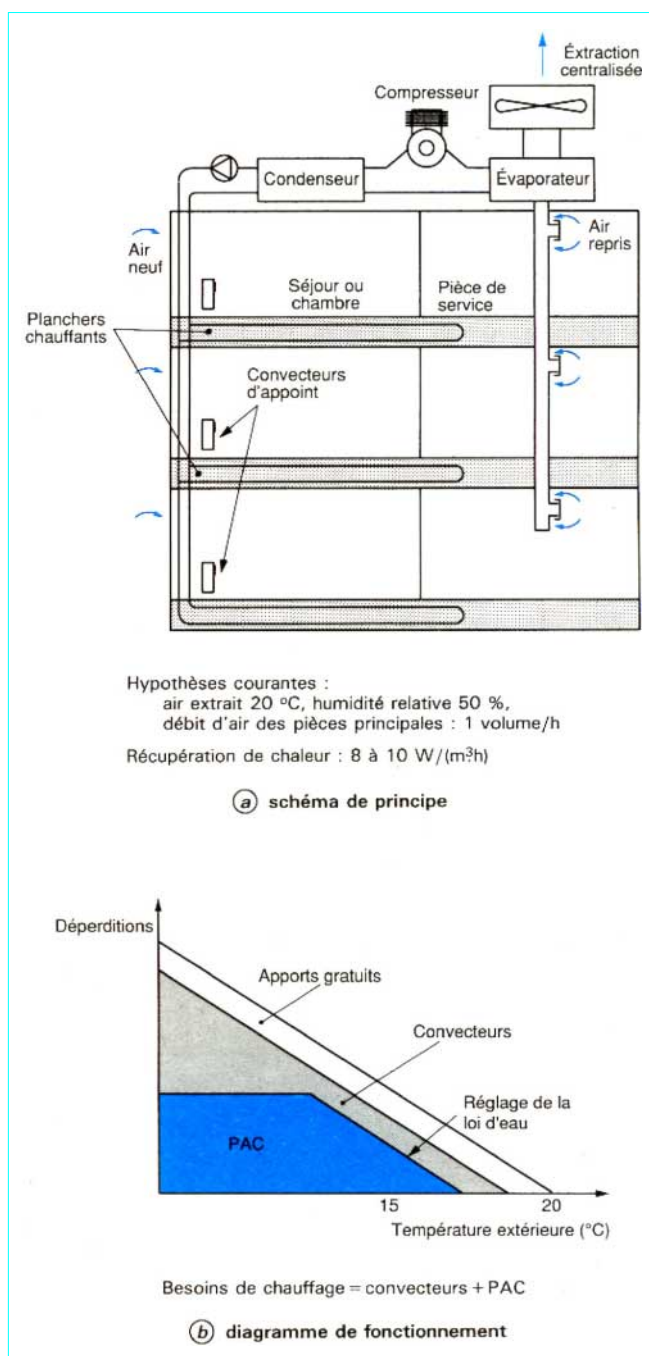


Figure 7 – PAC air extrait/eau : utilisation de la chaleur par plancher chauffant avec appoint par convecteurs

■ **Besoins de chauffage/dimensionnement** : la récupération de chaleur sur l'air extrait du bâtiment fournit une puissance de 8 à 10 W/(m³ · h) (l'air extrait est considéré à + 20 °C et 50 % d'humidité relative pour un rejet vers + 4 °C environ).

La puissance de la PAC est choisie en fonction du débit d'air extrait.

Le plancher chauffant basse température est dimensionné pour dissiper la puissance de la PAC avec de l'eau à 40 °C et un écart de 10 K maximum.

L'appoint par convecteurs électriques est souvent dimensionné pour couvrir la totalité des déperditions, ce qui constitue un secours éventuel sans créer de surinvestissement (figure 7b).

■ **Consommations** : le chauffage de base fournit près de 60 % de la chaleur avec un coefficient de performance voisin de 3. L'énergie électrique facturée (y compris les auxiliaires) se partage entre la PAC (30 %), les convecteurs d'appoint (60 %) et l'extraction d'air (10 %).

Par rapport à un chauffage électrique direct, on peut espérer avec ce système une économie d'énergie de 25 à 50 %. L'économie sur le coût d'exploitation peut varier en fonction du nombre de logements traités (maintenance) mais peut atteindre 50 %.

■ **Avantages** :

- utilisation du rejet thermique ;
- chauffage de base économique ;
- confort ;
- installation traditionnelle.

■ **Inconvénients** :

- nécessite un réseau d'extraction étanche et bien équilibré ;
- maintenance de la PAC et entretien des filtres sur les extractions ;
- veiller à ce que les occupants ne ferment pas les bouches d'aération ;
- ne pas surdimensionner l'extraction d'air sous peine de surconsommation de l'appoint ;
- en cas d'inoccupation, la température d'air extrait chute et le fonctionnement de la PAC est dégradé.

1.2.4 Pompe à chaleur air extérieur/eau : distribution de chaleur par plancher chauffant avec appoint centralisé ou décentralisé

Une distribution de chaleur par plancher chauffant basse température apporte un confort dans les locaux et favorise le rendement de la PAC. Pour des raisons d'investissement et pour pallier la dégradation des performances de la PAC pour les températures extérieures basses, un appoint de chaleur est prévu. Il est installé différemment suivant qu'il s'agit d'un pavillon ou d'un immeuble collectif. En général, la PAC couvre 80 % des besoins de chaleur en pavillon et 60 % en collectif. L'utilisation d'une PAC permet d'envisager cette technique dans des bâtiments moins bien isolés que pour le chauffage électrique, du fait de son coefficient de performance.

1.2.4.1 Pavillon et petit tertiaire de bon standing

■ **Fonctionnement** : la PAC peut être monobloc ou *split system* et l'appoint électrique centralisé par un réchauffer équipé de deux résistances (appoint et secours) (figure 8a).

Le choix d'un appoint par convecteurs pièce par pièce est plus onéreux en investissement en regard du faible nombre d'heures d'utilisation, l'appoint n'étant utilisé que pour les jours les plus froids de l'année.

■ **Régulation** : un thermostat à deux étages, placé dans une pièce de séjour, commande en cascade le compresseur de la PAC (1^{er} contact), puis le réchauffer électrique (2^e contact).

Sur le réchauffer, seule une résistance est en service. L'autre est utilisée en *secours*, sa mise en service est manuelle.

■ **Dimensionnement** : la distribution de chaleur par plancher chauffant permet à la PAC de fonctionner toute la saison. Pour limiter l'investissement, elle est dimensionnée pour couvrir un écart de température extérieure de 20 K environ, afin que la PAC fonctionne à un taux de charge voisin de 1 le plus souvent possible (figure 8a).

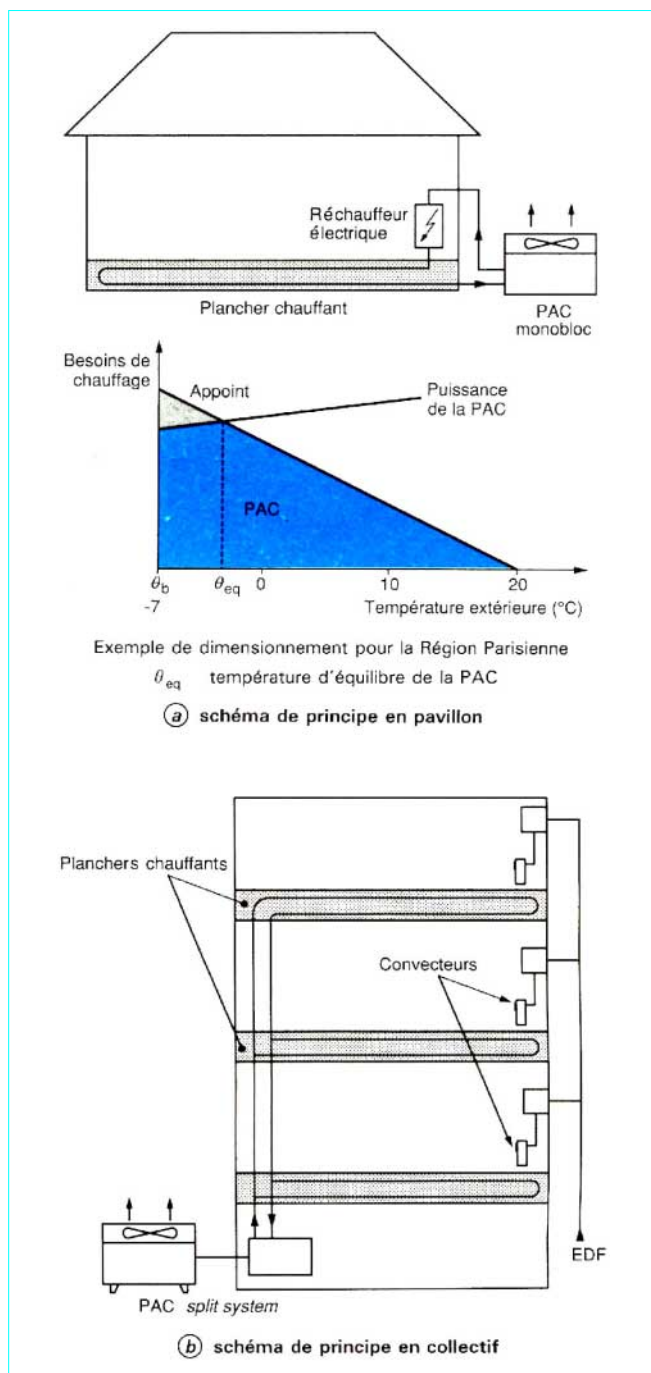


Figure 8 – PAC air extérieur/eau : distribution de chaleur par plancher chauffant avec appoint centralisé (pavillon) ou décentralisé par convecteurs (collectif et pavillon)

L'appoint comprend deux résistances :

— l'une pour l'appoint véritable dont la puissance peut être estimée ainsi :

$$1,2 D - P_{PAC}(\theta_b)$$

avec D déperditions,

θ_b température extérieure de base de la région ;

— l'une en secours pour permettre le chauffage du pavillon en cas de panne de la PAC. Le dimensionnement peut être influencé par la puissance souscrite du contrat EDF et la puissance des autres usages de l'installation.

1.2.4.2 Collectif (système base + appoint)

En fonction de l'immeuble et de l'emplacement disponible pour la PAC, plusieurs dispositions sont possibles : monobloc, *split system* (figure 8b). Il faut prendre en compte les éventuelles nuisances acoustiques. Les consommations électriques engendrées par la PAC sont généralement intégrées aux charges collectives et on évite ainsi le vol de chaleur lorsque les logements voisins sont inoccupés.

L'appoint est décentralisé par convecteurs alimentés par les compteurs EDF propres à chaque appartement.

■ Dimensionnement :

- PAC : mêmes règles qu'en pavillon ;
- *appoint* : la puissance des convecteurs est augmentée pour réaliser un *secours*.

Le plancher chauffant basse température est dimensionné pour dissiper la puissance de la PAC avec une température d'eau maximale de 40 °C et un écart de 10 K.

■ Régulation

— PAC : un régulateur sur lequel on affiche une loi d'eau fonction de la température extérieure commande en cascade les étages de compresseurs.

— *Convecteurs* : pièce par pièce par le thermostat intégré au convecteur. Un limiteur des consommations d'énergie est prévu en tête de l'installation ; il doit s'effacer en cas d'utilisation de la puissance maximale des convecteurs en *secours*.

Aussi bien en pavillon qu'en collectif.

■ Avantages :

- très bon confort ;
- techniques classiques ;
- coût d'exploitation intéressant ;
- système base + appoint en collectif.

■ Inconvénients :

- investissement élevé en pavillon ;
- le contrat de maintenance de la PAC grève les économies réalisées en pavillon ;
- nécessité d'une bonne insonorisation de la PAC.

1.2.5 Pompe à chaleur eau/eau

La nécessité de réaliser un forage et le fait que les performances des PAC eau/eau, y compris les auxiliaires (pompe, puisage), ne soient pas meilleures que pour les PAC air extérieur/eau réservent ce cas d'application à des ensembles de logements plutôt qu'à des lotissements de pavillons où, de plus, la source froide est délicate à distribuer.

En habitat individuel, il est possible de réaliser une installation du même type (puits) que les PAC air extérieur/eau à la différence près que la PAC peut couvrir la totalité des besoins. Le réchauffeur a seulement une fonction de secours.

La PAC eau/eau est utilisée dans les immeubles collectifs où l'on recherche un bon confort, les pavillons de standing, le tertiaire d'hébergement (hôtellerie, dortoirs, etc.) et le chauffage de locaux industriels.

Dans les immeubles collectifs, la PAC eau/eau alimente un réseau de planchers chauffants basse température ($\theta_{max} = 40$ °C et $\Delta\theta = 10$ K). Les consommations électriques sont affectées dans les charges de l'immeuble (système base + appoint). Des convecteurs électriques font l'appoint de chaleur nécessaire (figure 9a) et la

puissance installée permet en outre un *secours* en cas d'arrêt de la PAC. Les consommations électriques sont prises en compte par les compteurs EDF des abonnés dans chaque appartement.

La production d'eau chaude sanitaire est décentralisée par appartements avec des chauffe-eau électriques à accumulation.

■ Dimensionnement :

- le plancher permet de dissiper la puissance de la pompe à chaleur qui couvre environ 80 % des déperditions ;
- la puissance installée des convecteurs permet le chauffage de l'immeuble en cas d'arrêt de la PAC (0,8 à 1 fois les déperditions).

■ **Fonctionnement** : un régulateur fixe comme consigne une loi d'eau de départ du plancher chauffant en fonction de la température extérieure. Pour obtenir la consigne demandée, il enclenche successivement les étages des compresseurs de la PAC.

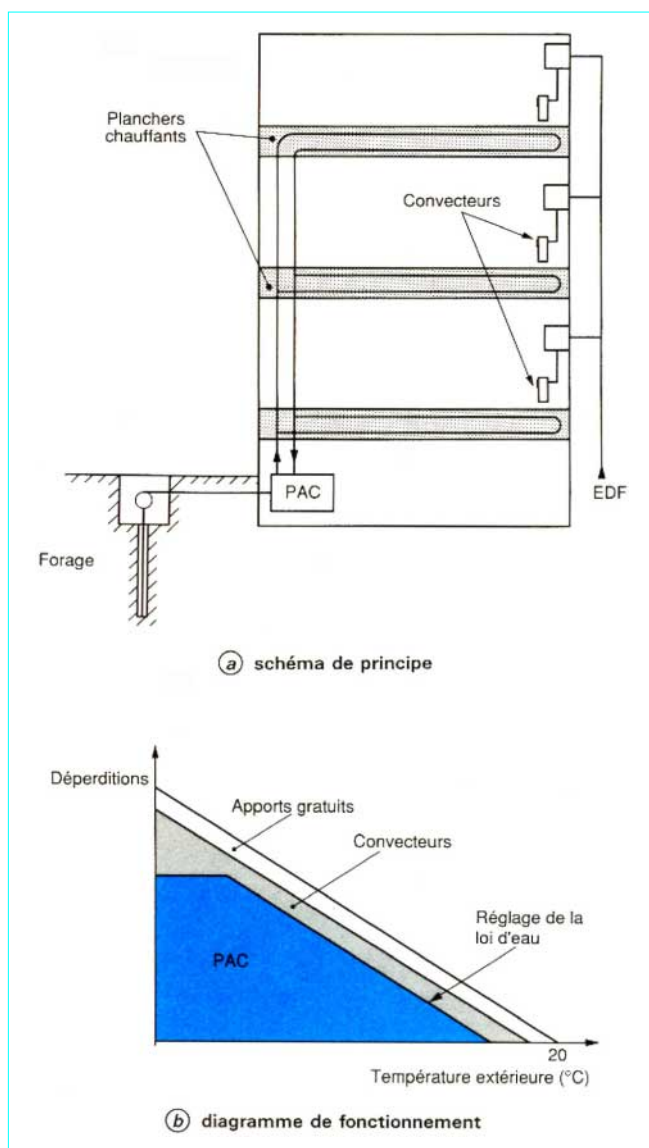


Figure 9 – PAC eau/eau : forage

La loi d'eau affichée permet de réaliser le diagramme de la figure 9b.

Les convecteurs obéissent à la consigne affichée local par local. Un limiteur d'énergie installé en tête de l'installation évite les gaspillages éventuels. Il doit être effacé en cas d'arrêt de la PAC.

■ **Consommations** : une installation de ce type permet une économie d'énergie d'environ 30 % par rapport à un chauffage électrique classique. La part du chauffage est de 60 % pour la PAC et de 40 % pour les convecteurs d'appoint. Le coefficient de performance saisonnier de la PAC est de l'ordre de 2,5 à 3.

■ Avantages :

- bonnes performances ;
- confort ;
- coût d'exploitation intéressant.

■ Inconvénients :

- maintenance PAC + forage ;
- coût d'installation plus élevé mais effet de taille important.

1.2.6 Pompe à chaleur air extérieur/eau en relèvement de chaudière existante (PERCHE)

De même que pour le système électrofioul (article *Chauffage électrique par effet Joule* [B 2 156]), le système PERCHE associe deux énergies différentes (fioul ou propane et électricité) et deux systèmes de chauffage complémentaires, à savoir la PAC pour des températures extérieures supérieures à 4-5 °C et la chaudière pour des températures inférieures, avec une plage intermédiaire présentant un fonctionnement simultané des deux générateurs. Un tel fonctionnement permet d'utiliser l'électricité dans de très bonnes conditions économiques (*COP* de 2,5 à 3). Cette association est très bien adaptée à l'option EJP (effacement jours de pointe) (article *Tarifs de l'électricité en France : barème des prix* [D 4 935] dans le traité Génie électrique).

Il existe trois applications possibles : l'habitat individuel (PERCHE I), collectif ou tertiaire (PERCHE C ou T).

■ Fonctionnement (figure 10)

— Au niveau hydraulique, les PAC sont raccordées en parallèle entre elles sur le retour du réseau de chauffage. Elles sont séparées des chaudières au fioul existantes par une vanne trois voies modulante.

— Au niveau de la régulation, un régulateur proportionnel et intégral (PI) pilote la température de départ d'eau du réseau de chauffage en fonction de la température extérieure. Sa commande va d'abord agir sur l'autorisation des PAC puis, si nécessaire, sur celle des chaudières dont l'appoint est contrôlé par l'ouverture progressive de la vanne trois voies.

Sur une saison de chauffage, la fourniture thermique peut être assurée soit par la PAC seule, soit par l'association PAC-chaudière, soit par la chaudière seule.

En règle générale, la production d'eau chaude sanitaire d'une installation PERCHE est assurée par des ballons électriques à accumulation.

■ **Avantages et inconvénients** : les domaines d'application les plus adaptés sont les locaux tertiaires existants surtout lorsque la température intérieure est élevée (maisons de retraite, par exemple) ; l'application sera d'autant plus intéressante que la consommation d'eau chaude sanitaire sera plus importante en été.

L'intérêt du système PERCHE est de quatre ordres :

- une diminution des consommations d'énergie grâce au coefficient de performance des PAC (de 2,5 à 3) ;
- une utilisation rationnelle de l'électricité permettant de concilier à la fois les exigences nationales de production (effacement de l'usage électrique) et de faire bénéficier l'utilisateur d'un prix concurrentiel de l'électricité (tarif EJP) ;

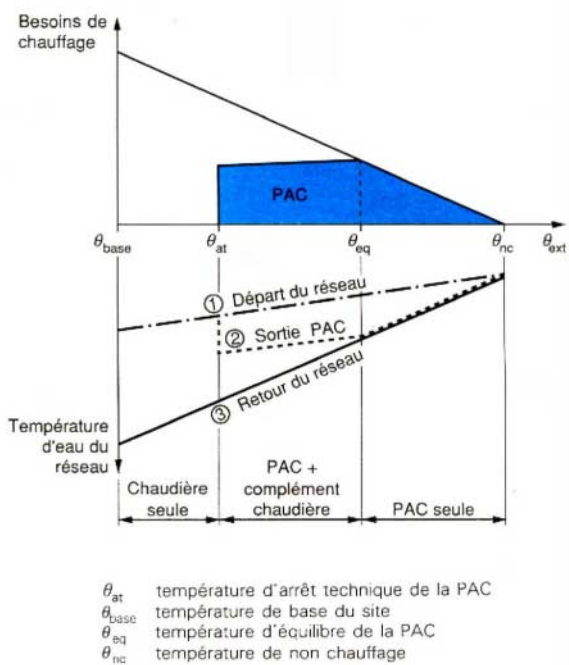
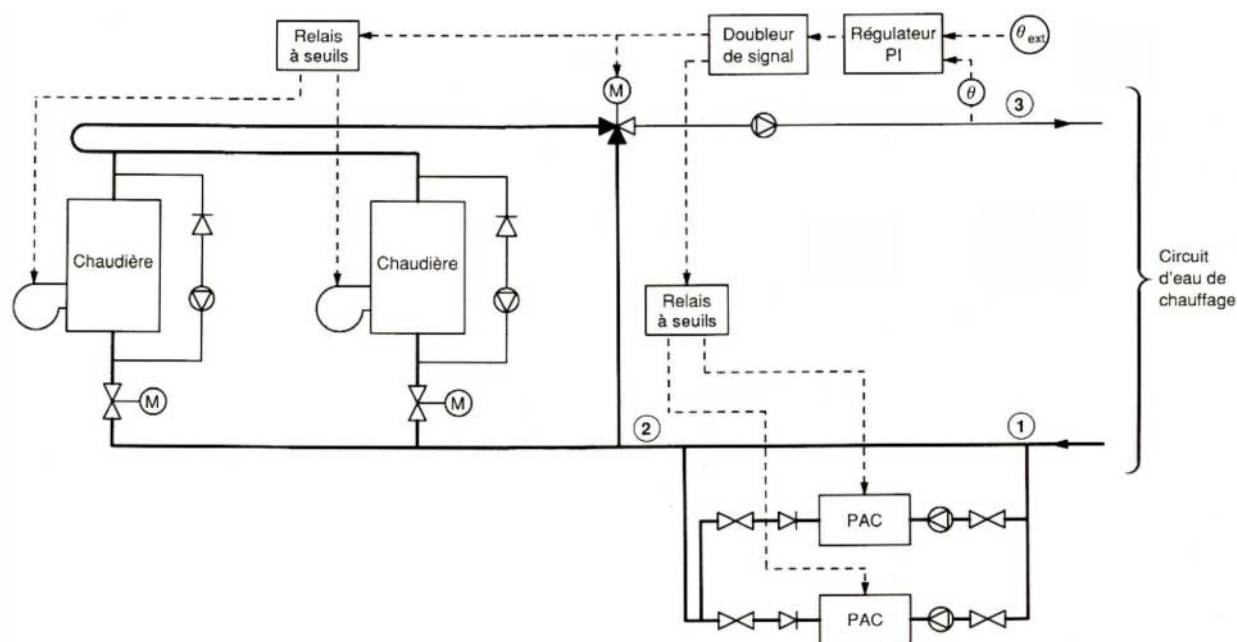


Figure 10 – PAC en relèvement de chaudière (système PERCHE)

— une sécurité et une souplesse de fonctionnement accrues du fait que le chauffage des locaux est assuré par deux sources d'énergie indépendantes ;

— des économies d'exploitation substantielles de chauffage, économies peu sensibles aux fluctuations du cours du pétrole.

Ses inconvénients sont dus à la nécessité d'une conception, d'une réalisation et d'une maintenance très soignées de l'installation, ainsi qu'à son coût actuel d'installation.

Les échecs rencontrés sur ce produit sont le fruit de négligences au niveau de l'une ou de plusieurs des quatre étapes fondamentales suivantes :

- faisabilité (caractéristiques de l'installation existante) ;
- réalisation : hydraulique (schémas spécifiques), commande (régulation), réglages (régulation et PAC).

■ **Faisabilité** : cette première phase est la base essentielle de toute conception d'une installation PERCHE. Cette étude doit permettre de connaître parfaitement l'installation existante, l'usage qui en est fait et les différents problèmes pouvant exister afin de déterminer la solution PERCHE optimale.

Un dossier de faisabilité correctement mené doit contenir des schémas, des valeurs numériques et une synthèse de l'enquête réalisée auprès des utilisateurs.

En outre, il doit traiter des paramètres-clés d'une installation existante :

- schéma hydraulique précis ;
- fonctionnement actuel de l'installation :
 - niveaux de températures d'eau et débits,
 - présence de robinets thermostatiques,
 - intermittence des locaux,
 - production de l'eau chaude sanitaire ;
- accès à la puissance électrique.

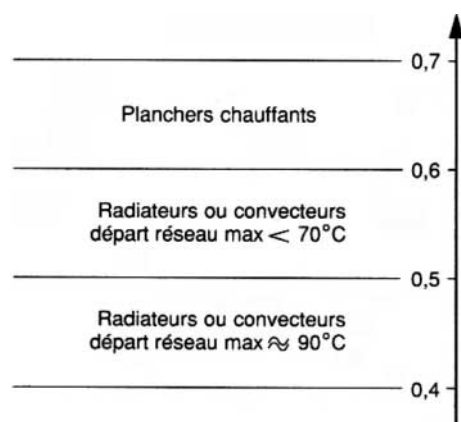
Enfin, il doit aborder deux caractéristiques spécifiques au projet d'implantation de PAC :

— **le choix de la source froide** : dans le cas où l'on envisage le choix d'une PAC eau /eau, une consultation du Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) est nécessaire pour déterminer la faisabilité d'une telle solution (présence de l'eau, profondeur, pérennité, caractéristiques physico-chimiques). L'utilisation de la procédure Aquapac est conseillée (assurance recherche/pérennité) ;

— **les lieux possibles sur le site** pour implanter la PAC.

■ **Dimensionnement** : à moins de se trouver dans des conditions extrêmes, il existe un ratio de dimensionnement de la PAC en fonction de la consommation initiale de fioul pour le **chauffage seul** et du type d'émetteurs sur l'installation :

$$\text{ratio} = \frac{\text{kW compresseur (pour } 50^\circ \text{ C en sortie condenseur)}}{\text{m}^3 \text{ fioul annuels chauffage seul}}$$



Ce ratio doit être affiné à partir des mesures réelles *in situ* des températures de départ et de retour d'eau ainsi que du débit de la boucle principale.

■ **Choix d'une PAC et installation** : dans tous les cas, le choix d'une PAC doit impérativement porter sur une machine disposant de la marque **NF PAC** ou, à défaut, respectant la totalité des spécifications de cette marque.

Marque de qualité « NF pompes à chaleur » : cette marque est facultative, mais fortement recommandée lorsque la puissance de la PAC permet de l'obtenir.

Pour obtenir la marque NF, une machine doit être conforme aux normes correspondantes, l'usine de production doit subir une visite de la part d'un laboratoire agréé. C'est le laboratoire qui effectue les essais préconisés par les normes lors de la demande de la marque NF, et qui, ultérieurement, a le droit de prélever des PAC sur les chaînes de fabrication pour les tester (en cas de problème, la marque peut être retirée au constructeur).

Pour une installation de PAC air extérieur/eau implantées en général à l'extérieur des locaux, on veillera aux points suivants :

- les vents dominants qui pourraient contrarier la ventilation des batteries ou rabattre la vapeur d'eau produite en séquence de dégivrage sur des fenêtres ;
- la protection de la machine, vis-à-vis de l'environnement (encrassement par les feuilles des arbres) ou des personnes (accessibilité trop grande des batteries) ;
- le calorifugeage des tuyauteries extérieures et le bon réglage des organes de sécurité de la machine.

Dans le cas de PAC utilisant l'eau comme source froide, celle-ci doit être issue d'un forage. En effet, l'eau de surface (rivière, étang, canal, etc.) présente de nombreux inconvénients rendant cette source impropre à un usage direct : température et débit variables, développement microbien, présence d'hydrocarbures et de sable, etc. (§ 1.1.1).

La réalisation d'un forage étant souvent onéreuse, l'Ademe, le BRGM et EDF ont créé une structure d'assurance Aquapac qui apporte au client une double garantie :

- la garantie de recherche qui couvre les risques liés à la découverte d'une ressource en eau suffisante ;
- la garantie de pérennité qui assure le maître d'ouvrage contre le risque de diminution de cette source pendant 5 ans.

Les nombreuses expertises menées sur des installations PERCHE ont permis d'identifier les **problèmes** rencontrés suivant cinq domaines.

- **Erreurs au niveau du projet de faisabilité** :
 - dimensionnement trop important des PAC (estimation des consommations de fioul en chauffage) ;
 - PAC ne présentant pas les caractéristiques requises et non conformes à la marque NF PAC ;
 - problèmes acoustiques mal traités.
- **Raccordements hydrauliques non conformes aux préconisations** :
 - mauvais emplacement des PAC ;
 - présence de bouteille de mélange ;
 - débits d'eau trop importants ;
 - protections antigel inexistantes ou mal réalisées.
- **Sources froides mal utilisées** :
 - PAC sur l'air extérieur mal ventilée ;
 - PAC sur l'eau avec des réseaux hydrauliques côté évaporateur mal conçus.
- **Systèmes de régulation mal adaptés ou mal réglés.**
- **Asservissements incorrects** au niveau des sécurités des PAC ou de la gestion tarifaire.

1.3 Précautions d'installation et limites d'emploi

1.3.1 Limites d'emploi

Les limites de fonctionnement des PAC découlent de leur conception technologique. Elles se traduisent par des limites de températures issues de plages admissibles de pression dans ses différents organes.

Un certain nombre d'autres dispositifs imposent des limites liées au site et doivent être réglés de façon très précise. Parmi ceux-ci figurent :

- le **contrôleur de débit d'eau au condenseur**, qui permet d'arrêter la PAC en cas de débit insuffisant au condenseur ;
- le **thermostat du condenseur à eau** ; intégré dans la chaîne de régulation, sa commande arrête le compresseur lorsqu'on atteint la température d'eau « limite haute » fixée par le constructeur, le circulateur de la PAC restant en service. Réglé légèrement en deçà du seuil de coupure du pressostat HP, il permet d'obtenir un redémarrage automatique du compresseur. Cet organe peut être installé soit en entrée, soit en sortie du condenseur à eau. Dans chaque cas, son réglage devra être réalisé très précisément (figures 11a et b). Ce dispositif est exigé par la norme E 38-102 ;
- le **thermostat d'isolement condenseur**.

• Le détecteur est installé et réglé sur l'installation dans le cas de PAC à condenseur à eau ne pouvant être traversée, compresseur à l'arrêt, par de l'eau trop chaude du réseau de chauffage (70 °C).

• Installé sur le retour du réseau de chauffage pour être toujours irrigué, il réalise l'arrêt du circulateur de la PAC ainsi que l'isolement hydraulique du condenseur (figure 11c).

Lorsque cet organe s'avère nécessaire, il est impératif de prévoir un dispositif antigel si la PAC est située à l'extérieur des locaux. Le dispositif antigel peut être réalisé soit par traçage des tuyauteries, soit par un petit débit permanent dans le condenseur.

1.3.2 Bruit

Les PAC peuvent générer d'importantes nuisances acoustiques. Il est donc nécessaire d'analyser dans chaque cas la source de nuisance possible, liée au ventilateur ou au compresseur, sachant que son traitement présentera un coût d'autant plus réduit qu'il sera envisagé tôt lors de la conception de l'installation.

La propagation des bruits se réalise par transmissions vibratoires ainsi que par transmissions aériennes, quelquefois amplifiées par l'environnement.

Bien qu'il n'existe pas de réglementation spécifique pour l'implantation des PAC, on se réfère par analogie à des textes (arrêtés et circulaires) plus généraux en distinguant :

- le bruit occasionné au voisinage [limité entre 35 et 45 dB(A)] ;
- le bruit intérieur [limité entre 30 et 35 dB(A)].

1.3.2.1 Transmissions vibratoires

Les voies de propagation concernent les pieds de la machine et les raccordements aux tuyauteries :

- les pieds de la machine doivent donc reposer sur des plots antivibratiles correctement dimensionnés ;
- les raccordements des tuyauteries doivent être réalisés par des flexibles de grandes longueurs.

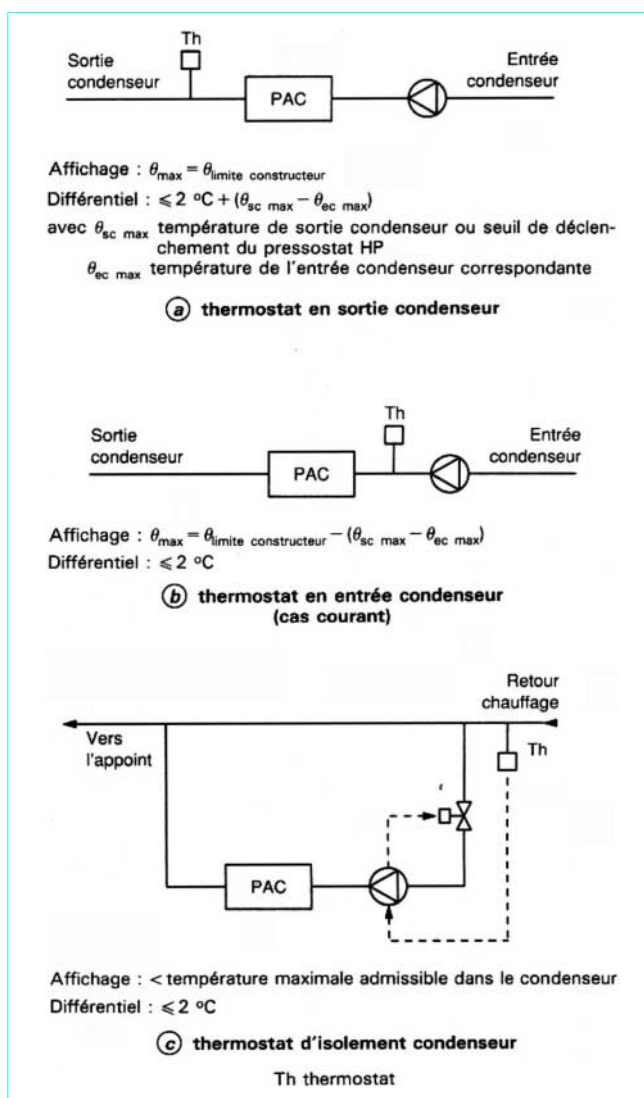


Figure 11 – Réglage et emplacement des organes fixant les limites d'emploi liées au site

1.3.2.2 Transmissions aériennes

■ PAC à l'intérieur des locaux

De par leur puissance acoustique, généralement comprise entre 70 et 90 dB(A), les PAC installées à l'intérieur des locaux nécessitent souvent un traitement phonique au niveau des parois, des portes et des gaines techniques :

- le traitement des parois consiste en la pose de matériaux fibreux antiréverbérants au niveau du plafond et de deux murs verticaux perpendiculaires bloquant ainsi les phénomènes de réverbération ;
- le traitement des portes se réalise soit par doublage, soit par création d'un sas équipé de deux portes.

■ PAC à l'extérieur des locaux

Dans le cas où les distances conseillées entre PAC et voisinage ne sont pas respectées, la réalisation d'un écran anti-bruit est nécessaire (figure 12). Sa constitution doit être peu réverbérante, au plan acoustique, du côté de la source sonore et présenter une faible *transparence* au bruit (les ondes sonores ne doivent que très peu le traverser). Il est donc recommandé de le construire avec des matériaux denses, de préférence en maçonnerie (parpaings creux orientés vers la PAC, par exemple).

1.3.3 Entartrage, ensablage et corrosion

La pérennité des PAC destinées au chauffage des locaux dépend des caractéristiques des fluides irriguant leurs échangeurs. Trois risques potentiels sont à traiter :

- l'entartrage du condenseur correspondant à un liquide de chauffage de mauvaise qualité (eaux chargées) et trop souvent renouvelé ;
- l'ensablage de l'évaporateur dû à l'absence de filtration sur une source froide chargée en sable ou en particules en suspension ;
- la corrosion des tuyauteries due soit à des débits mal adaptés, soit à des caractéristiques chimiques de liquides non compatibles avec celles des matériaux utilisés dans la PAC.

Dans ce domaine, la prévention s'avère toujours bien moins onéreuse que toute intervention *a posteriori* ; elle nécessite, dans le cas de PAC eau/eau ou eau/air :

- une analyse de l'eau utilisée comme source froide lors de l'étude du projet ;
- un forage et un système d'exhaure correctement conçus (crépine, débit, filtrage, décantation, facilités de maintenance, etc.).

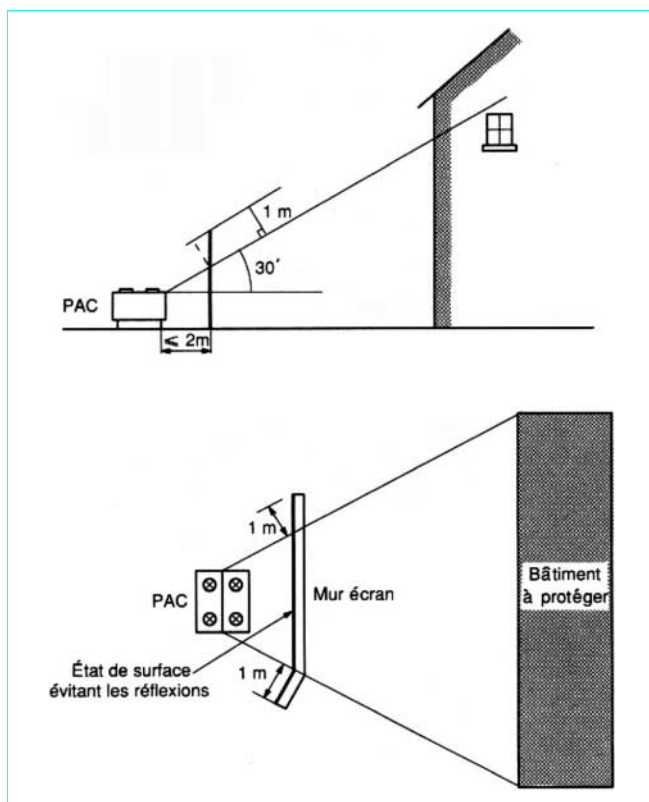


Figure 12 – Disposition des écrans anti-bruit

2. Systèmes réversibles : climatisation individuelle

La climatisation individuelle porte mal son nom puisqu'elle ne s'adresse pas spécifiquement à un usage résidentiel. En fait, ce terme désigne l'**ensemble des appareils autonomes de climatisation non raccordés à un système centralisé**. Le matériel est totalement monté en usine et autorise des puissances frigorifiques inférieures à environ 15 kW pour les plus puissants. Il s'adresse aussi bien aux locaux du **petit tertiaire** (boutiques, restaurants, bureaux divisés, cabinets de professions libérales, etc.) qu'à l'**habitat individuel**. Sauf cas particulier, il est réversible thermodynamiquement et peut disposer en sus d'un appoint électrique. En aucun cas, il ne régule le degré hygrométrique. De même, sauf adaptation ultérieure, il travaille en recyclage d'air total et l'arrivée d'air neuf par son intermédiaire n'est pas prévue.

Les prestations de base réalisées par un climatiseur réversible sont donc :

- le rafraîchissement de l'air en été ;
- le chauffage thermodynamique en hiver complété par une éventuelle résistance électrique (effet Joule) ;
- la ventilation (brassage de l'air du local) ;
- la filtration sommaire de l'air qui transite dans l'appareil ;
- la régulation de la température ambiante autour d'une valeur de consigne.

2.1 Principe technique

C'est celui de la PAC, à savoir un circuit frigorifique comprenant un compresseur, un détendeur et deux échangeurs ventilés.

Sur cette base, les particularités techniques d'un climatiseur réversible sont les suivantes :

- le groupe motocompresseur est de type hermétique : il peut être alternatif à piston(s) (classique) ou rotatif (application plus récente). En rotatif, on trouve des compresseurs à piston(s) roulant(s) ou *scroll* (article *Production du froid. Technologie des machines industrielles* [B 2 365] dans ce traité).

Ces compresseurs rotatifs peuvent être utilisés à vitesse variable, permettant une variation de puissance au climatiseur, d'où un confort thermique et acoustique accru. Ce dispositif sophistiqué équipe essentiellement des appareils *split system* :

- le fluide frigorigène employé est du HCFC-22 (R22) ;
- la présence d'une vanne 4 voies permet le passage du mode chauffage au mode refroidissement (figure 2) ;
- le dégivrage s'effectue par inversion de cycle. Le déclenchement du cycle est généralement fonction d'une mesure de température sur le fluide frigorigène à l'évaporateur. La fin de la séquence peut être pilotée soit par une information du même type, soit par un dispositif chronologique (durée totale de l'ordre de 3 à 5 min toutes les 45 min environ) ;
- les échangeurs réfrigérant/air sont de type tubes cuivre/ailettes aluminium. Ces ailettes sont constituées d'une à deux nappes ; elles peuvent être planes, gaufrées ou persiennées pour offrir un meilleur coefficient d'échange. Par contre, les pertes de charge sur l'air et l'encrassement sont augmentés. Elles peuvent aussi bénéficier d'un revêtement de surface pour améliorer l'écoulement des condensats. Les tubes cuivre sont parfois rainurés intérieurement ;
- la détente est réalisée par un organe capillaire sur les climatiseurs les plus simples. Souvent, il laisse la place à un détendeur thermostatique. Les détendeurs plus sophistiqués possèdent parfois une vanne à commande électronique permettant d'optimiser la surchauffe à l'évaporateur quelles que soient les conditions de fonctionnement. Ce composant permet d'adapter le débit de fluide frigorigène en parfaite adéquation avec les variations de régime du compresseur à puissance variable ;

— la régulation est confiée à un thermostat. L'utilisateur règle la température de consigne souhaitée et l'appareil régule par des cycles marche/arrêt. Plusieurs vitesses de ventilation sont possibles (de 2 à 4). Elles sont commandées par l'utilisateur. Pour les appareils équipés d'un dispositif de variation de puissance, le régime du climatiseur est fonction de l'écart (consigne-mesure) sur la température ambiante ou température résultante et de l'occupation.

2.2 Typologie des climatiseurs

La classification peut se faire sur deux critères principaux :

— **suivant la technologie employée** : elle est déterminée par la nature du fluide irriguant les échangeurs. Ce fluide peut être de l'air ou de l'eau. Seul le couple eau/eau est hors domaine, un climatiseur autonome étant destiné à réchauffer ou refroidir l'air du local à traiter ;

— **suivant la présentation de l'appareil**, monobloc ou *split system* (climatiseur à éléments séparés, *split* = divisé).

Les quatre combinaisons suivantes existent :

- air/air monobloc ;
- air/air *split* ;
- eau/air monobloc ;
- eau/air *split*.

À ces deux critères s'en ajoutent d'autres, notamment la **réversibilité** et la **puissance** des climatiseurs (tableau 1).

On distingue aussi les appareils *mobiles*, déplaçables à volonté, et les appareils *fixés à demeure*.

2.2.1 Climatiseurs mobiles

■ **Description** : ce sont des climatiseurs air/air destinés à traiter localement l'air d'une pièce, pour assurer le confort d'un poste de travail par exemple. Leur caractéristique principale est leur légèreté et la présence de roulettes sous leur caisse, rendant aisé leur déplacement. Leur puissance thermique faible (puissance frigorifique maximale de 2,5 kW) limite leur emploi à la climatisation de proximité. Pour ces raisons, ils ne sont pas vraiment intégrés dans la gamme conventionnelle des appareils de climatisation, dont l'objectif est de traiter une pièce ou un local entier.

■ **Principe** : il en existe deux types monobloc et *split system*.

● Les **mobiles monoblocs** sont constitués d'une seule unité renfermant tous les composants et d'un tuyau évacuant l'air chaud ayant refroidi le condenseur vers l'extérieur. Ce tuyau souple d'environ 1,5 m (diamètre 100 mm) est passé dans l'entrebâillement d'une porte ou d'une fenêtre, ou dans un orifice adéquat. Deux technologies existent pour refroidir le condenseur mais toutes deux extraient de l'air du local traité (l'air évacué par le tuyau) :

- les *premiers* utilisent uniquement de l'air pour irriguer le condenseur ; la quantité extraite est d'environ 50 à 80 m³/h ;
- les *seconds* (figure 13a) sont équipés d'un bidon d'eau d'une quinzaine de litres à remplir périodiquement (environ 2 fois par jour en utilisation maximale) et d'un condenseur évaporatif utilisant de l'air chargé en eau ; ce dispositif limite le débit d'air extrait du local à moins de 30 m³/h.

Dans les deux cas, de l'air extérieur pénètre par infiltration en quantité égale à la quantité extraite et diminue donc d'autant la puissance utile de l'appareil.

Les condensats peuvent être soit dirigés vers la réserve d'eau utile à la condensation, soit, pour les monoblocs tout air, être stockés dans un bidon annexe, à vider régulièrement.

Notons que les climatiseurs mobiles monoblocs peuvent être réversibles thermodynamiquement (double gaine), mais ils ne seront pas traités dans cet article, ou équipés d'un appoint électrique.

● Les **mobiles *split system*** se présentent sous la forme de deux unités reliées par des liaisons souples assemblées en usine (longueur d'environ 1,5 m, diamètre d'environ 50 mm). La plus grosse unité, semblable à celle d'un monobloc, reste dans le local à traiter (figure 13b). L'autre, de dimension réduite (une dizaine de kilogrammes), se pose sur un rebord de fenêtre ou sur un balcon. Pour des raisons de légèreté et d'encombrement minimal, cette unité ne comporte que le condenseur et son ventilateur. Ce système est thermodynamiquement le meilleur puisqu'il n'extrait pas d'air du local. De plus, les condensats sont évacués vers l'extérieur par l'intermédiaire des liaisons souples. Ces appareils peuvent être réversibles.

■ **Avantages** :

- caractère mobile, souplesse d'emploi ;
- appareil d'entrée de gamme ne nécessitant aucune installation ;
- disponibilité immédiate (achat en grandes surfaces) ;
- simplicité.

■ **Inconvénients** :

- usage ponctuel uniquement ;
- niveau acoustique (tous les composants bruyants à proximité de l'utilisateur) ;
- puissance réellement utile faible (monobloc) ;
- contrainte de remplissage ou de vidange d'un réservoir d'eau (monobloc).

■ **Domaine d'application** : les climatiseurs mobiles suffisent pour régler des problèmes ponctuels de confort thermique, dans des locaux où la mise en place d'un système plus puissant installé à demeure n'est pas souhaitée.

■ **Précautions d'emploi** : les ouvrants (portes, fenêtres) devant être fermés, on veillera à réaliser des ouvertures étanches pour permettre le passage du tuyau d'évacuation d'air (monobloc) ou des liaisons souples (*split*). En aucun cas, le climatiseur monobloc ne doit être utilisé sans son tuyau d'évacuation (l'appareil fournit plus de puissance calorifique que frigorifique). Le nettoyage des filtres à air doit être régulier.

2.2.2 Climatiseurs fixes

2.2.2.1 Climatiseurs air/air monoblocs

■ **Description** : ce sont des appareils monoblocs de forme parallélépipédique qui peuvent s'installer dans les vantaux de fenêtres (à guillotine), d'où leur nom de *window*. Toutefois, on peut aussi les placer dans un trou réalisé dans une paroi donnant sur l'extérieur. On les trouve souvent implantés au-dessus de la porte d'entrée de boutiques. La gamme de puissance frigorifique est limitée de 2 à 6 kW. Ces appareils existent en version réversible et peuvent être équipés d'un appoint électrique.

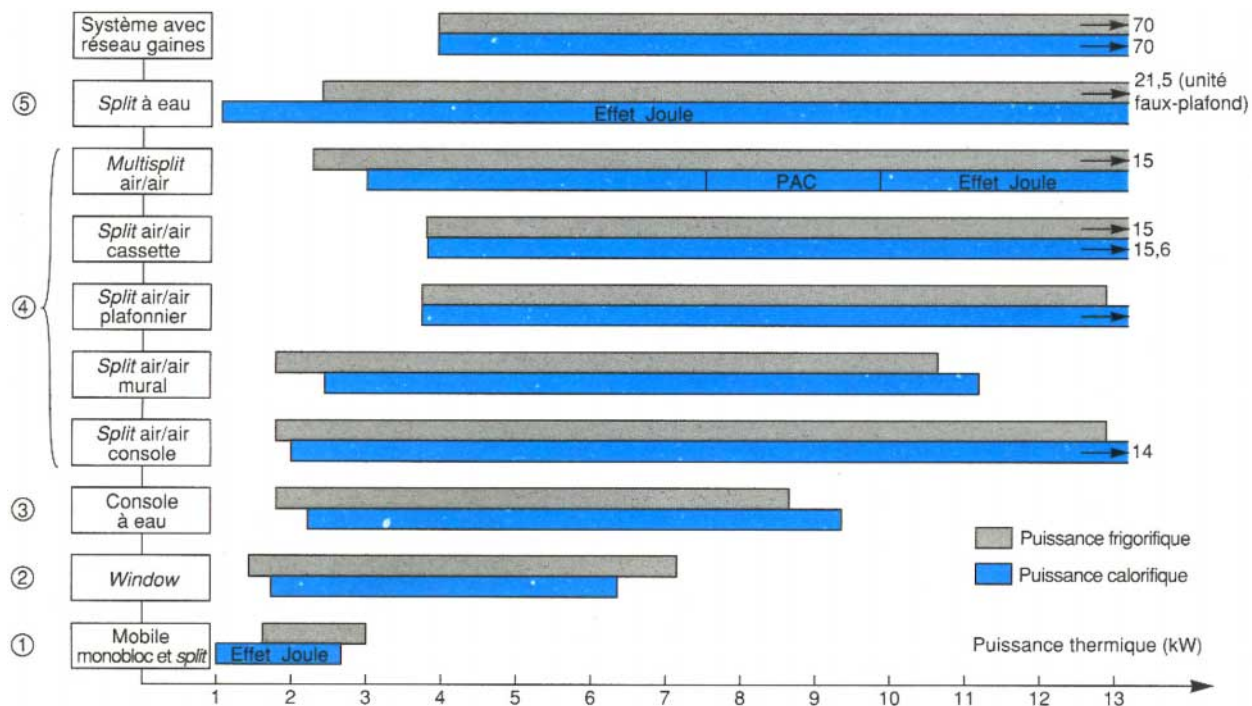
■ **Principe** : tous les composants sont dans la même carrosserie (figure 14).

— La reprise d'air à l'intérieur s'effectue par la face avant de l'appareil, le soufflage pouvant avoir lieu sur la même face ou par le dessus. Les deux ventilateurs sont généralement entraînés par le même moteur. Si celui situé à l'extérieur est toujours une hélicoïde, l'autre peut être soit du même type, soit une turbine centrifuge.

La reprise d'air extérieur est réalisée par des ouïes d'aspiration sur les côtés (usuel) ou sur le dessus (rare). Le soufflage est en face arrière.

— Un bac de récupération des condensats se trouve sous l'évaporateur (sous les deux échangeurs si l'appareil est réversible). Ces condensats, conduits vers la partie extérieure par gravité, sont évacués par un petit tuyau vers une sortie ou pulvérisés par le passage des pales du ventilateur extérieur dans le bac de recueil.

Tableau 1 – Gamme de puissances frigorifique et calorifique par type d'appareil (tous fabricants confondus)



doc. Toshiba

①



doc. Delchi

②
doc. CIAT③
doc. CIAT④
doc. Airwell⑤
doc. Trane



Figure 13 – Climatiseurs mobiles : écorchés

— Les climatiseurs air/air monoblocs sont les seuls à permettre naturellement une arrivée d'air neuf et une évacuation d'air vicié. L'air neuf n'est injecté dans la pièce qu'après traitement et l'air vicié est évacué par aspiration en amont du ventilateur extérieur. Des volets mobiles autorisent l'obstruction de ces passages d'air. La présence de tels dispositifs n'est pas systématique.

■ Avantages :

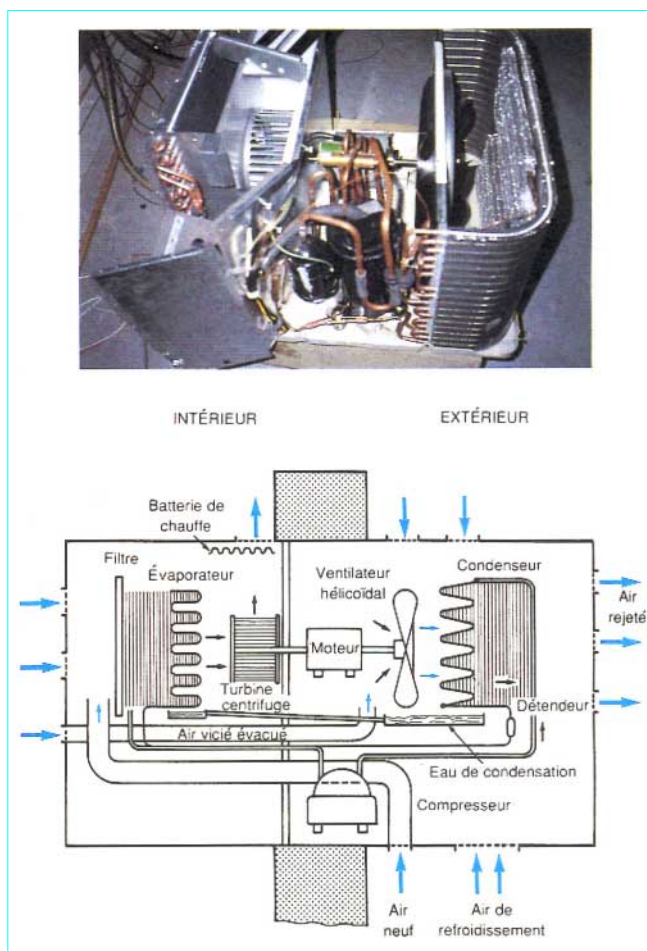
- appareil d'entrée de gamme à la climatisation, d'un coût d'investissement réduit ;
- installation aisée dès lors qu'un emplacement est libre ;
- simplicité et fiabilité ;
- possibilité d'entrée d'air neuf.

■ Inconvénients :

- nécessite une paroi donnant sur l'extérieur dans laquelle un trou est réalisable ;
- transmission acoustique de tous les composants dans la pièce traitée et éventuellement passage des bruits extérieurs ;
- faible niveau de sophistication.

■ **Domaine d'application** : ses caractéristiques en font un appareil de base destiné à équiper des locaux pour lesquels le rafraîchissement est indispensable, mais ne nécessitant pas un produit très évolué. On le trouve essentiellement dans des locaux tertiaires de faible taille.

■ **Précautions d'installation et d'emploi** : dans tous les cas, le montage de l'appareil doit permettre une pente de l'intérieur vers l'extérieur : cela favorise l'écoulement des condensats que l'on prendra soin de raccorder à une évacuation par une liaison calorifugée si l'appareil est utilisé en hiver. Une plaque antivibratile

Figure 14 – Climatiseur air/air monobloc ou *window* (doc. EDF)

peut être placée sous l'appareil pour éviter la transmission des vibrations du climatiseur à la structure. L'étanchéité du montage doit être soignée. La pente évite l'infiltration des eaux de pluie mais un joint étanche entre la caisse de l'appareil et la structure le supportant est nécessaire. À l'usage, on vérifiera la libre rotation du ventilateur extérieur (accumulation de feuilles par exemple), la bonne évacuation des condensats et le nettoyage régulier des filtres à la reprise d'air intérieur.

2.2.2.2 Climatiseurs air/air *split system*

■ **Description** : composés de deux éléments reliés par des liaisons frigorifiques, leur installation nécessite l'intervention d'un professionnel.

Plusieurs formes d'unités intérieures existent (figure 15), les plus puissantes étant celles positionnées en plafond.

La gamme de puissance frigorifique s'étend jusqu'à environ 15 kW. Tous les modèles existent en version réversible avec appoint éventuel.

La combinaison de plusieurs unités intérieures connectées à une même unité extérieure, *multisplit*, est possible. L'unité extérieure peut selon les cas avoir une puissance égale à la plus puissante des unités intérieures (une seule en fonction à la fois) ou à la somme des puissances de ces dernières (plusieurs pouvant fonctionner en même temps). Le mode (chaud ou froid) doit cependant être le même pour l'ensemble des appareils en marche.

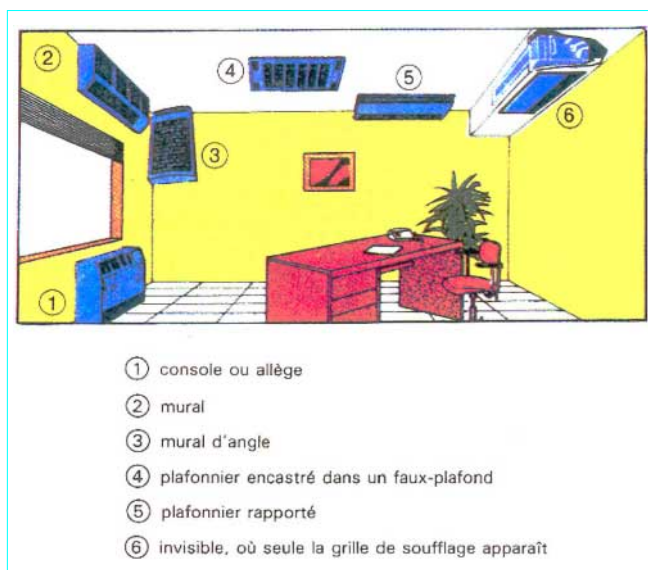


Figure 15 – Climatiseurs air/air *split system* : différentes unités intérieures

■ Principe

— La répartition des composants dans les deux unités (figure 16) est la suivante :

- dans l'unité intérieure : un échangeur ventilé, des filtres mobiles à la reprise d'air et le dispositif de commande ;
- dans l'unité extérieure : le second échangeur ventilé (par une hélicoïde), le compresseur, le détendeur ainsi que la vanne d'inversion de cycle pour un appareil réversible. De par leur conception, les *splits* sont des appareils silencieux, les composants bruyants se trouvant dans l'unité extérieure. L'alimentation électrique se fait généralement sur l'unité intérieure, l'autre étant alimentée par son intermédiaire via les liaisons existantes entre les deux blocs.

— Les modèles plafonniers sont parfois équipés d'une pompe de relevage des condensats permettant une évacuation plus facile.

— Certains modèles (les plus puissants) permettent de disposer un petit réseau de gaines au soufflage de l'appareil. La pression disponible au ventilateur est dans ce cas une donnée importante. Par un jeu de gaines, il est aussi possible d'avoir une arrivée d'air neuf, qui est soufflé dans le local après traitement par le climatiseur.

■ Avantages :

- large éventail d'unités intérieures garantissant une bonne intégration au local ;
- facilité d'implantation de l'unité intérieure (faible encombrement, esthétique) ;
- emplacement totalement libre de l'unité intérieure par rapport à l'unité extérieure ;
- performances thermiques (*COP* d'environ 2,5 et efficacité frigorifique d'environ 2) et acoustique ;
- produit moteur en matière d'innovations techniques ;
- sophistication (pour certains : télécommande, programmation, volets motorisés, etc.).

■ Inconvénients :

- nécessite une installation soignée (condensats, colorifugeage, accrochage, diffusion d'air) ;
- emplacement, acoustique et esthétique, pour l'unité extérieure.

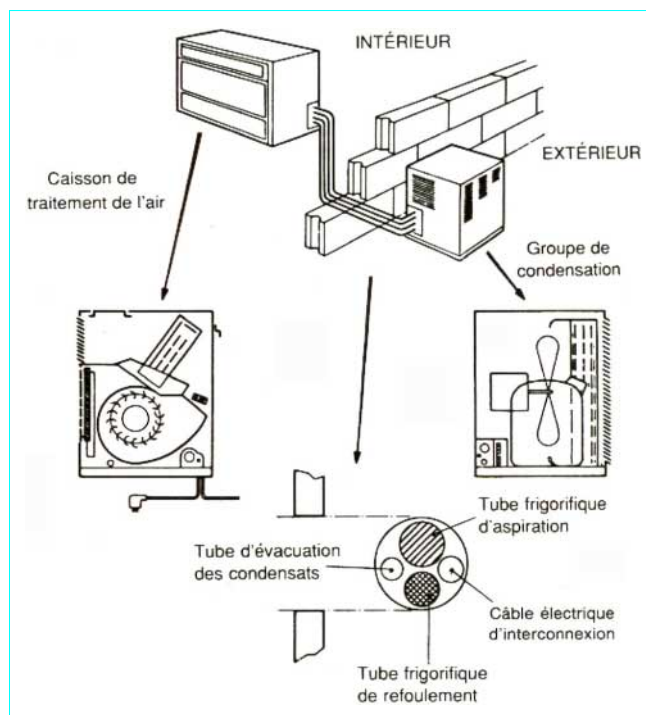


Figure 16 – Climatiseur air/air *split system* : principe de répartition des composants

■ **Domaine d'application** : le petit tertiaire est l'application préférentielle des climatiseurs *split system* air/air. Les plus puissants prennent place dans les boutiques, les restaurants où la position plafonnrière est discrète. Les autres (mural, console) équipent les locaux de professions libérales, les petits bureaux. Ces derniers conviennent aussi parfaitement à l'habitat individuel.

■ **Précautions d'installation et d'emploi** : la distance entre les deux unités peut atteindre sans problème une douzaine de mètres, horizontalement comme verticalement. L'implantation de l'unité extérieure doit tenir compte de critères aérauliques (jamais positionnée dans un local fermé non ventilé, éloignement d'une vingtaine de centimètres de toute paroi sur ses faces de soufflage et de reprise d'air) de manière à bien irriguer l'échangeur. L'évacuation des condensats doit faire l'objet de précautions. Prévue dès l'installation, elle concerne les deux unités si l'appareil est réversible. Les canalisations sont calorifugées. De plus, les liaisons frigorifiques peuvent être le siège de condensation. L'accrochage des unités (intérieure : jusqu'à 40 kg pour l'encastree, extérieure : jusqu'à 100 kg pour les plus puissantes) et leur positionnement doivent faciliter l'entretien ultérieur qui consiste pour l'essentiel à nettoyer les filtres, vérifier l'écoulement des condensats et vérifier la libre rotation du ventilateur extérieur.

2.2.2.3 Climatiseurs eau/air monoblocs

■ **Description** : ce sont des appareils monoblocs à condensation par eau, appelés **consoles à eau**. Ils peuvent être installés en allège ou en plafond, éventuellement intégrés dans un faux-plafond. La gamme de puissance frigorifique usuelle va de 2 à 9 kW. Mais certains, destinés à rafraîchir des locaux informatiques sont bien plus puissants. Tout le reste du fonctionnement est similaire aux climatiseurs monoblocs air/air (§ 2.2.2.1).

Techniquement, ces appareils peuvent être réversibles. En réalité, ils ne le sont jamais sauf dans le cas d'utilisation sur une boucle d'eau (température régulée), mais l'appoint électrique est possible.

■ **Principe** : le circuit frigorifique est classique. Le condenseur, de type coaxial, est alimenté par de l'eau de ville qui devra être rejetée après usage. Tous les composants (un échangeur à air et sa ventilation, un échangeur à eau, le compresseur, le détendeur) sont regroupés dans une même carrosserie (figure 17). Une vanne à eau pressostatique équipe souvent cet appareil, permettant ainsi de minimiser la consommation d'eau (environ 50 L par heure et par kilowatt frigorifique, si l'appareil marche en permanence).

Comme pour les *splits* air/air, un petit réseau de gaines au soufflage est possible sous réserve que la pression au ventilateur soit suffisante.

■ **Avantages** :

- monobloc n'ayant pas besoin d'une unité extérieure ;
- implantation plafonnière possible ;
- large gamme de puissance disponible ;
- utilisation sur boucle possible (voir PAC sur boucle d'eau).

■ **Inconvénients** :

- consommation d'eau ;
- performance acoustique moyenne.

■ **Domaine d'application** : ces appareils sont souvent installés lorsque des *splits* air/air sont difficiles à implanter en raison de l'unité extérieure à placer. Ils sont donc fortement représentés en environnement urbain, dans des locaux tertiaires de faible à moyenne surface.

■ **Précautions d'installation et d'emploi** : les précautions particulières à ce type de matériel concernant son alimentation en eau. Elle doit être :

- non chargée (sable, etc.) sous peine de détérioration du condenseur ;
- non calcaire (entartrage) ;
- à une température *normale* (10 à 20 °C) ;
- en quantité suffisante.

De même, l'évacuation doit être correctement dimensionnée, en fonction de la puissance de l'appareil.

2.2.2.4 Climatiseurs eau/air *split system*

■ **Description** : ce sont des climatiseurs *split system* dont l'unité intérieure est strictement identique à celle des appareils air/air (§ 2.2.2.2) ; la gamme de puissance est similaire (≈ 15 kW). Ces appareils sont non réversibles mais peuvent bénéficier d'un appoint électrique. L'unité extérieure doit être alimentée par de l'eau dans les mêmes conditions qu'un monobloc eau/air.

■ **Principe** : il est similaire au *split system* air/air hormis l'unité extérieure munie d'un condenseur coaxial (figure 18). On retrouve les composants de la partie condensation du monobloc eau/air (figure 17).

■ **Avantages** par rapport au *split system* air/air :

- unité extérieure pouvant s'installer dans un local non ventilé (cave par exemple), donc pas d'unité à placer en extérieur ;
- avantages liés au *split* (acoustique faible, éventail d'unités intérieures, etc.).

■ **Inconvénients** :

- consommation d'eau ;
- nécessité d'une alimentation et d'une évacuation d'eau.

■ **Domaine d'application** : produit intéressant en tertiaire, pour le choix d'unités intérieures et la souplesse du *split* sans contrainte d'unité extérieure à placer (milieu urbain).

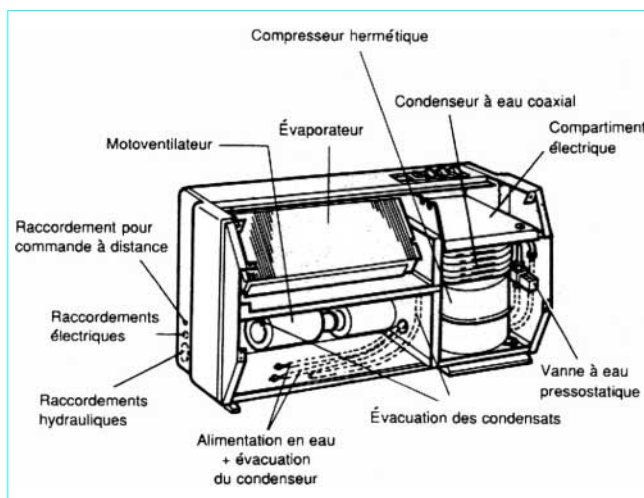


Figure 17 – Climatiseur eau/air monobloc, ou console à eau (vue arrière)



Figure 18 – Climatiseur eau/air *split system* : écorché de l'unité extérieure (doc. Technibel)

■ **Précautions d'installation et d'emploi** : ce sont les mêmes que celles liées à l'unité intérieure des *splits* air/air et que celles liées à l'emploi de l'eau (§ 2.2.2.3).

2.3 Guide de choix

Les figures 19 et 20 permettent d'effectuer un premier choix pour des puissances respectivement inférieure ou égale à 4,5 kW et supérieure à 4,5 kW.

Figure 19 – Guide de choix d'un climatiseur pour $P \leq 4,5$ kW

Figure 20 – Guide de choix d'un climatiseur pour $P > 4,5$ kW

Chauffage et rafraîchissement

par **Michel JOLION**

Bernard PLEYNET et collaborateurs

Électricité de France, Direction des Études et Recherches

Bibliographie

Guide technique de la climatisation individuelle. Costic, EDF, GIE Climatisation et Développement, éd. SETI (1991).

Guide de choix et d'installation des climatiseurs autonomes individuels, éd. Climatisation et Développement, EDF et CSTB.

3616 « LA CLIM ».

ACR. – *Manuel de la régulation et de la gestion de l'énergie.* 320 p., PYC Éd. (1990).

ALLARY. – *La régulation en génie climatique.* 92 p., Les Éditions Parisiennes (1987).

La gestion de l'énergie dans l'habitat. 90 p. + annexes, CATED (1985).

Guide pour la pratique de l'intermittence dans les bâtiments. 72 p., ADEME-CSTB (1988).

Fiche d'information consommateurs : Chauffage individuel. Régulation. ADEME (1989).

Fiche d'information consommateurs : Chauffage collectif. Régulation. ADEME (1989).

Fiche conseil chauffage : Bien utiliser le thermostat d'un convecteur électrique. 4 p., EDF (1990).

Fiche conseil chauffage : Programmer le chauffage électrique. 4 p., EDF (1990).

Les planchers chauffants par câbles électriques. Éd. Qualité Construction (1990).

Électrofioul 2 usages :

— Guide d'installation (janv. 1988) EDF-TA 187

— Guide de régulation :

matériel Landis et Gyr (déc. 1988) EDF-DD - QAE 197

matériel Satchwell (juin 1989) EDF-DD - QAE 198

matériel Stafa Control System (juin 1989) EDF-DD - QAE 199

Fonctionnement et ratios de consommations de 9 installations électrofioul en habitat collectif et tertiaire (nov. 1989). EDF-DER (HE 13 W 2882).

Retour d'expérience sur les chaufferies électrofioul mises en service par la GGF/BIP. EDF-DER (HE 11 W 2917).

PERCHE I

Des fiches pour PERCHE I - Sodel Conseil 126010 éd. (1982).

PERCHE C et T

Références SATEL :

— *Les raccordements hydrauliques* TA 122
 — *La régulation* TA 130
 — *Guide de faisabilité* TA 121
 — *Guide d'installation* TA 138
 — *Guide de maintenance* QAE
 — *Les problèmes de corrosion.* EDF - Direction
 Études et Recherche HE 11 W 2755
 — *Exemples pratiques de régulation avec du matériel modulaire :*

• Landis & Gyr (un seul départ
 régulé) TA 097
 • Landis & Gyr (plusieurs
 départs régulés) TA 098
 • Stafa Control System (un seul départ
 régulé) TA 099
 • Delta Dore (boîtier INCA) TA 100
 • Satchwell (un seul départ régulé
 ou plusieurs départs) TA 123
 — *Cahier des charges
 d'une GTC PERCHE* QAE 500
 — *Exemples pratiques de GTC PERCHE :*
 • Landis & Gyr (matériel VISOGYR) QAE 501
 • Satchwell (exemple d'une solution
 avec le BAS 700) QAE 502

Normalisation

NF C 14-100	2-84	Installations de branchement de première catégorie comprises entre le réseau de distribution et l'origine des installations intérieures. Règles.
NF C 15-100	5-91	Installations électriques à basse tension. Règles.
UTE C 15-131U	2-82	Conditions particulières d'installation des appareils d'utilisation alimentés par des circuits appartenant à des installations différentes. Prescriptions provisoires.
UTE C 15-720U	2-75	Équipements de chauffage électrique des locaux. Équipements de chauffage électrique incorporés à la construction des bâtiments. Règles de sécurité électrique. Prescriptions provisoires.
NF C 32-330	3-85	Équipements de chauffage par câbles chauffants avec revêtement métallique, destinés à être incorporés dans les parois des bâtiments.
NF C 47-110	6-81	Thermostats d'ambiance (+ additif 6/89).
NF C 47-120	6-81	Règles particulières spécifiques aux thermostats à incorporer dans les appareils de chauffage des locaux installés à poste fixe ; prescriptions provisoires.
NF C 47-121	10-87	Dispositif de commande électrique automatique pour applications domestiques. Thermostats

NF C 61-750 8-88

NF C 73-251 7-89

NF C 73-255 12-81

NF C 73-256 10-80

NF C 73-257 6-81

électroniques chronoproportionnels. Thermostats électroniques tout ou rien, à incorporer dans les appareils de chauffage des locaux installés à poste fixe. Règles d'aptitude à la fonction.

Dispositifs électroniques de délestage.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux. Règles d'aptitude à la fonction.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux à accumulation. Règles de sécurité.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils de chauffage des locaux de type à accumulation à décharge réglable conçus exclusivement pour un temps nominal de charge de 8 h. Règles d'aptitude à la fonction.

Appareils électrodomestiques chauffants. Appareils d'accumulation à décharge réglable à recharge éventuelle diurne dite dynamique 24 h. Règles d'aptitude à la fonction.

CHAUFFAGE ET RAFFRAÎCHISSEMENT

NF C 73-600	10-85	Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Première partie : règles générales.	NF E 38-105	3-85	Pompes à chaleur air extrait/air neuf. Règles d'aptitude à l'emploi.
NF C 73-630	9-88	Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Règles de sécurité. Deuxième partie : Appareils de chauffage des locaux.	NF E 38-106	3-85	Pompes à chaleur extérieur/air recyclé. Règles d'aptitude à l'emploi.
NF C 73-671	8-88	Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues. Pompes à chaleur eau/eau. Règles de sécurité.	E 38-107	11-83	Pompes à chaleur air extérieur/eau entraînées par moteur électrique de puissance thermique comprise entre 20 kW et 60 kW. Règles d'aptitude à l'emploi.
NF E 35-201	1-73	Essai des machines frigorifiques.	NF E 38-110	3-84	Pompes à chaleur. Modèle de fiche technique.
NF E 36-101	5-81	Climatiseurs (conditionneurs d'air de pièce) à condenseur refroidi par air. Généralités. Caractéristiques de construction. Méthodes d'essais. Marquage.	E 38-151	7-83	Chauffe-eau thermodynamique à accumulation (pompes à chaleur). Aptitude à l'emploi.
NF E 38-101	11-83	Pompes à chaleur entraînées par moteur électrique. Méthodes d'essai.	E 38-152	7-83	Chauffe-eau thermodynamique à accumulation (pompes à chaleur). Modèle de fiche technique.
NF E 38-102	3-85	Pompes à chaleur air extérieur/eau de puissance thermique jusqu'à 20 kW. Règles d'aptitude à l'emploi.	NF T 56-201	7-88	Plastiques. Matériaux alvéolaires rigides présentés sous forme de plaques de polystyrène expansé obtenues par moulage. Spécifications.
NF E 38-103	3-85	Pompes à chaleur eau/eau de puissance thermique jusqu'à 50 kW. Règles d'aptitude à l'emploi.	CEI 675	1980	Méthodes de mesure de l'aptitude à la fonction des appareils électrodomestiques de chauffage des locaux autres que ceux à accumulation de chaleur.
NF E 38-104	3-85	Pompes à chaleur air extrait/eau. Règles d'aptitude à l'emploi.	DTU 65-71-2-86	Exécution	de planchers chauffants par conducteurs et câbles électriques enrobés dans le béton.

Fabricants. Fournisseurs

(liste non exhaustive)

Fabricants	Chauffage direct						Chauffage à accumulation			Fabricants	Chauffage direct						Chauffage à accumulation		
	Convecteurs	Panneaux radiants	Planchers chauffants	Plafonds rayonnants	Cassettes rayonnantes	Aérothermes	Radiateurs	Planchers	Accumulation centralisée		Convecteurs	Panneaux radiants	Planchers chauffants	Plafonds rayonnants	Cassettes rayonnantes	Aérothermes	Radiateurs	Planchers	Accumulation centralisée
Acome		●	●							Finimétal	●								
Acova		●								Noirot	●	●		●	●	●	●	●	
Airélec-Dytec	●	●	●	●	●	●	●	●		Normalu			●	●	●			●	
Applimo	●				●	●	●			Porcher (ACEC)	●						●		●
Atlantic-SFDT	●	●								Rockwool Isolation				●					
Câbles Pirelli SA			●							SCER				●	●				
Calder							●			Sérif	●								
Calroc		●					●			Sertim (Teval)			●	●	●				
Calwatt			●	●	●			●		Star Unity SA	●	●	●	●	●		●	●	●
Campa	●	●								Stiebel Eltron	●						●		●
CEET (Sauter-Thermor)	●	●								Thermaflex Ltd			●	●	●				
Deleage		●	●	●	●			●		Thermalu Transglass		●	●	●	●			●	
Elztrip-Energikonfort		●			●					Tresco (Frico)	●	●	●	●	●	●	●	●	
Eswa			●	●	●			●		Zaegel Held Thermique	●								

Fabricants	Climatiseurs individuels					Pompes à chaleur				
	Mobiles (mono-blocs et split)	fixes				air/air roof-top	thermo- frigo- pompe	air extrait /eau	air intérieur /eau	eau/eau
		air/air monoblocs	air/air split system	eau/air monoblocs	eau/air split system					
Airelec	•	•	•		•	•				
Airwell (1)	•	•	•	•	•	•	•			
Atlantic		•	•	•	•					
Carrier (1)	•	•	•	•	•	•			•	•
CIAT (1)	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Delchi	•	•	•	•	•	•		•	•	•
Électrolux	•	•	•			•				
Frigicoll (Hitachi)		•	•	•		•	•		•	•
Mégatherm Daikin		•	•							
Mitsubishi Electric		•	•							
Moulinex	• (2)									
SCAC			•	•	•	•			•	
Technibel (1)	•	•	•	•	•	•			•	•
Toshiba	•	•	•			•				
Trane (1)		•	•	•	•	•		•	•	•

(1) Ces constructeurs se sont regroupés dans un Groupement d'Intérêt Économique : Climatisation et Développement.

(2) Modèles existant en version réversible de pompe à chaleur.

Chaudières électriques (électrofioul)	Systèmes de conduite et de gestion			
Cetal Charot Charon Collard Trolard Gianola Innovations thermiques Lacaze Le Calopulseur Sodiet Industrie	AEG AETA Alfa Colombes AGT Clemessy Climel CRT Deléage Delta Dore (1) Éberlé	ECM EMA Flash (1) Grasslin Hager Honeywell (1) Jaeger Johnson Controls JPC	Landis et Gyr (1) Legrand Merlin Gerin Napac Propec Ranco Samson Satchwell Sauter	Semeru Sofrel Sonofor Stafa Control System (1) Sulzer TA Control Technocen Theben Théobald Wit Télégestion

(1) Ces constructeurs se sont regroupés dans l'association ACR : Association Confort Régulation.

Organismes

ACR	Association Confort Régulation.
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.
CETIAT	Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques.
CMC	Groupement des Constructeurs de Matériels de Chauffage central par l'Eau chaude et de Préparation de l'Eau chaude sanitaire.
COSTIC	Comité Scientifique et Technique des Industries du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement de l'Air.
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
DOMERGIE	Groupement des Industries de l'Appareillage d'Installation et de ses Applications Domotiques.
EDF	Électricité de France.

FG 3E	Fédération Nationale de la Gestion des Équipements, de l'Énergie et de l'Environnement.
GIE	Climatisation et Développement.
GIFAM	Groupement des Industries Françaises des Appareils d'Équipement Ménager.
GIMELEC	Groupement des Industries de Matériels d'Équipement Électrique et de l'Électronique Industrielle Associée.
SED	Site d'Essai pour la Domotique.
SYMECORA	Syndicat de la Mesure, du Contrôle et de la Régulation Automatique.
UCF	Union Climatique de France.
UNICLIMA	Union Syndicale des Constructeurs de Matériel Aéronautique, Thermique, Thermodynamique et Frigorifique.