

La Pompe à Chaleur Air-Air

Rénover son chauffage
et s'assurer un confort d'été



La pompe à chaleur au cœur de votre confort

A propos de l'AFPAC - www.afpac.org

Créée en février 2002, l'Association Française pour les Pompes A Chaleur, association de filière exclusivement dédiée à la PAC, est l'interlocuteur privilégié des pouvoirs publics et de tous les acteurs du domaine des pompes à chaleur en France et en Europe, afin de faire valoir l'intérêt énergétique et environnemental des systèmes de production de chaleur par pompe à chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire), et la contribution actuelle et future qu'ils apportent au développement des énergies renouvelables.

En coordination avec ses membres – Energéticiens, Bureaux d'Etudes, Centres d'Essais, Centres Techniques, de contrôle et certification, Industriels-fabricants, Distributeurs, Installateurs, Associations, Organisations syndicales -, l'AFPAC suit et contribue aux travaux réglementaires, de normalisation, de qualification et de certification, françaises et européennes, sur les pompes à chaleur et les systèmes les utilisant. L'AFPAC s'assure à l'échelle européenne de la présence et de la cohérence de la représentativité des acteurs de la filière PAC en France. A ce titre l'AFPAC est l'interlocuteur privilégié de l'EHPA.

Par son expertise et sa représentativité, l'AFPAC crée, met en place et active les conditions nécessaires à la promotion des PAC, à la qualité de leur mise en œuvre et à la satisfaction de leurs utilisateurs.

Préface du Président



Nous le constatons régulièrement à travers les évènements météorologiques, la lutte contre le changement climatique est l'un des enjeux cruciaux du 21^{ème} siècle. A part quelques exceptions, au niveau mondial, la prise de conscience est générale. Beaucoup d'états ont adhéré à l'accord de Paris. Les textes européens et nationaux déclinent des objectifs chiffrés auxquels les filières professionnelles doivent répondre et l'économie s'adapter.

Est-il nécessaire de rappeler la loi de transition énergétique, pour laquelle la pompe à chaleur répond aux critères d'économie d'énergie, d'énergie renouvelable et d'économie circulaire.

Face à ces enjeux de société, la pompe à chaleur air/air est une solution intéressante pour rénover son système de chauffage. Elle apporte le confort à toutes saisons, des économies d'énergie qui se traduisent par des économies financières, tout en répondant aux défis environnementaux.

Depuis sa création, l'AFPAC a toujours œuvré pour la qualité des installations. La pompe à chaleur exige l'excellence, c'est pourquoi son installation doit être correctement réfléchi. Pour conserver ses performances et assurer sa pérennité dans le temps, elle doit également faire l'objet d'un contrat de maintenance annuel.

Ce document dresse le panorama des éléments à connaître pour effectuer une première approche dans le cas d'un projet de rénovation d'une maison individuelle qui comprend l'installation d'une pompe à chaleur air/air.

Thierry NILLE

Président de l'AFPAC

Sommaire

1.	Pourquoi rénover son chauffage en installant une PAC air/air	9
2.	Les technologies disponibles	11
2.1.	Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec réseau aéraulique	11
2.2.	Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec unités intérieures à émission directe ..	13
2.3.	Pompe à chaleur air/air monobloc avec réseau aéraulique	14
2.4.	Pompe à chaleur air/air à débit de réfrigérant variable (DRV)	15
2.5.	Rénovation de chauffage électrique par traitement partiel du logement avec une pompe à chaleur air/air	16
2.6.	Traitement du confort d'été par pompe à chaleur air/air en complément d'une installation de chauffage traditionnelle	17
2.7.	Interaction entre système de chauffage air/air et système de ventilation	18
3.	Dimensionnement de la pompe à chaleur.....	19
3.1.	Calcul des déperditions.....	19
3.1.1.	Principe du calcul des déperditions	19
3.1.2.	Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois	19
3.1.3.	Déperditions linéiques aux liaisons des différentes parois.....	20
3.1.4.	Déperditions par renouvellement d'air et infiltrations.....	20
3.1.5.	La température extérieure de base du lieu	20
3.2.	Pompe à chaleur air/air avec réseau aéraulique et son appoint	22
3.2.1.	La puissance calorifique.....	23
3.2.2.	Le débit d'air	23
3.3.	Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec unités intérieures à émission directe ..	24
3.3.1.	La puissance calorifique.....	24
3.3.2.	Le débit d'air	24
3.4.	Pompe à chaleur air/air à débit de réfrigérant variable (DRV)	25
3.4.1.	La puissance calorifique.....	25
3.4.2.	Le débit d'air	26
3.5.	Pompe à chaleur air/air en solution composite.....	26
3.6.	Caractéristiques de la pompe à chaleur	26
3.7.	Performances thermiques des pompes à chaleur	27
3.7.1.	Mode chauffage.....	27
3.7.2.	Mode rafraîchissement.....	27
3.8.	Spécifications acoustiques règlementaires.....	28
3.8.1.	Règlementation sur le bruit intérieur	28

3.8.2.	Règlementation sur le bruit de voisinage	29
4.	Implantation de la pompe à chaleur.....	31
4.1.	Implantation de l'unité extérieure.....	31
4.1.1.	Intégration technique de la pompe à chaleur	31
4.1.2.	Intégration acoustique de la pompe à chaleur	33
4.1.3.	Installation	38
4.1.4.	Evacuation des condensats.....	40
4.2.	Implantation de la pompe à chaleur monobloc intérieure.....	40
4.2.1.	Implantation en faux-plafond ou en combles.....	41
4.2.2.	Implantation en local spécifique.....	42
4.3.	Implantation des unités intérieures.....	42
4.3.1.	Implantation de l'unité intérieure associée à un réseau aéraulique	43
5.	Ce qu'il faut savoir sur les fluides frigorigènes	49
5.1.	La réglementation F-GAZ	49
5.2.	Les fluides disponibles	51
6.	Economies d'énergie escomptées	55
6.1.	Domaine de l'étude	56
6.2.	Améliorations thermiques du bâti.....	59
6.3.	Amélioration des équipements	59
6.4.	Consommations annuelles en fonction des lots de travaux réalisés	63
6.4.1.	Maison Mozart zone H1a.....	63
6.4.2.	Maison Mozart zone H3.....	67
6.4.3.	Maison Gershwin zone H1a	71
6.4.4.	Maison Gershwin zone H3	75
6.5.	Ce qu'il faut retenir.....	79
7.	Retour d'expérience en région PACA	81
	Bibliographie.....	88

1. Pourquoi rénover son chauffage en installant une PAC air/air

La pompe à chaleur air/air utilise les calories de l'air, une énergie gratuite, pour chauffer efficacement et à moindre coût une maison individuelle. Elle permet, en effet, de diminuer d'une manière importante la facture de chauffage. Ces économies font de la pompe à chaleur air/air un système rentable en seulement quelques années.

Les calories de l'air extérieur pour chauffer un logement

Le principe de fonctionnement de la **pompe à chaleur air/air** est relativement simple. Celle-ci capte les **calories de l'air extérieur pour chauffer la maison**. Pour fonctionner, la pompe à chaleur a besoin au minimum de deux unités. L'une, située à l'extérieur, récupère les calories de l'air et l'autre, à l'intérieur, la diffuse au sein du logement.



1 Pompe à Chaleur Air/Air

Prélèvement des calories dans l'air.

Diminuer d'une manière importante la facture de chauffage

En utilisant l'énergie gratuite de l'air, on ne paie que l'électricité nécessaire à la circulation du fluide caloporteur pour faire fonctionner la pompe à chaleur. On peut ainsi **diminuer d'une manière importante la facture de chauffage**. Ces économies permettent d'amortir en seulement quelques années le prix de la pompe à chaleur air/air.

La pompe à chaleur air/air s'installe simplement

L'installation d'une pompe à chaleur air/air est **facile et aisée**. En effet, il suffit de disposer :

- d'un **jardin ou d'une cour** pour y installer l'unité extérieure. Choisissez un emplacement qui occasionne le moins de bruit pour le voisinage (distance minimale, éviter les angles et recoins qui renvoient le son) ;
- d'un **emplacement pour installer les unités intérieures**. Les ventilo-convecteurs s'installent simplement au-dessus des portes des pièces à chauffer. La jonction entre les deux est assurée par un circuit de **fluide frigorigène**.

Rafrâichir un logement grâce à la pompe à chaleur air/air

La pompe à chaleur air/air est un **système de chauffage performant et économique**. De plus, en inversant son mode de fonctionnement, elle peut aussi **produire de la fraîcheur**. C'est en raison de son système 2-en-1 que cet appareil est souvent appelé **pompe à chaleur réversible**. Cette double fonctionnalité et le faible coût de la pompe à chaleur air/air font de cet appareil une **solution très intéressante**.

Puissance et COP de la pompe à chaleur air/air

Les principales caractéristiques à connaître pour juger de la performance d'une pompe à chaleur air/air sont :

- Le **coefficient de performance (COP)** qui représente le nombre de kWh de chaleur produits, pour 1 kWh d'électricité consommée. Le COP de la pompe à chaleur air/air se situe généralement autour de 3. La consommation électrique de la pompe à chaleur est donc minime ;
- La **puissance calorifique** (en kW) qui représente la capacité de production de chaleur de la PAC. Les pompes à chaleur air/air actuelles ont une puissance comprise entre 2 et 20 kW.

2. Les technologies disponibles

Les pompes à chaleur air extérieur/air intérieur regroupent les technologies suivantes :

- En éléments séparés avec une ou plusieurs unités intérieures alimentant un réseau aéraulique ;
- En éléments séparés avec une ou plusieurs unités intérieures à émission directe (une unité intérieure dans la ou dans chaque pièce principale), en fonction du résultat recherché : traitement partiel ou traitement global ;
- Monobloc intérieure ;
- Système à débit de réfrigérant variable (DRV).

La plupart des machines en éléments séparés nécessitent une intervention sur le circuit frigorifique et la manipulation de fluides frigorigènes lors de l'installation. Ceci implique de se conformer à la réglementation concernant les fluides frigorigènes, notamment les articles R543-75 à R543-123 du Code de l'environnement.

Les pompes à chaleur air/air à variation de puissance sont équipées généralement d'un compresseur avec variation électronique de vitesse. Dans ce système, il est associé deux composants :

- Un variateur de fréquence (ou convertisseur) qui fait varier la fréquence d'alimentation du moteur électrique du compresseur ;
- Un compresseur Inverter qui est spécifiquement conçu pour fonctionner à des vitesses de rotation variables.

La variation électronique de vitesse est intégrée dès la conception de compresseur. La vitesse évolue de la limite basse fixée pour des raisons de lubrification du compresseur, à la limite haute fixée par la vitesse de rotation maximale du moteur électrique.

Le système Inverter module la vitesse de rotation du compresseur voire du ventilateur au niveau de chaque unité intérieure afin d'adapter la puissance thermique au besoin.

2.1.Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec réseau aéraulique

Dans ce type d'installation, la pompe à chaleur est composée des éléments suivants :

- Une unité extérieure comprenant le compresseur, le détendeur, la vanne d'inversion de cycle et un échangeur ventilé sur l'air extérieur ;
- Une ou plusieurs unités intérieures (de type gainable) comprenant un filtre mobile à la reprise d'air, un échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande.

L'unité intérieure est raccordée à un réseau aéraulique, en placard ou en faux-plafond par exemple. Ce réseau permet la distribution de l'air chaud.

L'air de la pièce est ensuite repris, traité par l'unité intérieure puis réinjecté dans le local ou les locaux.

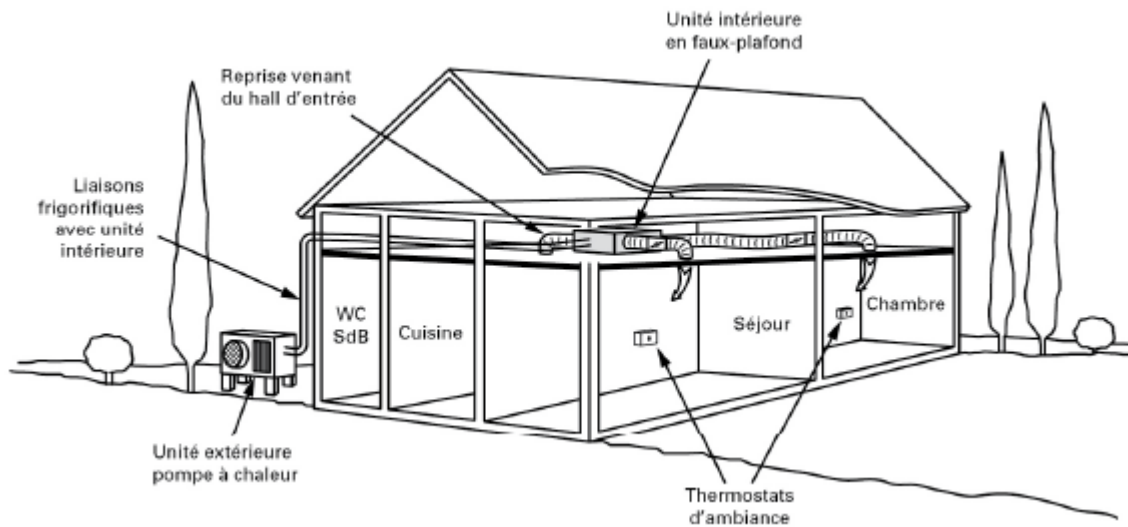
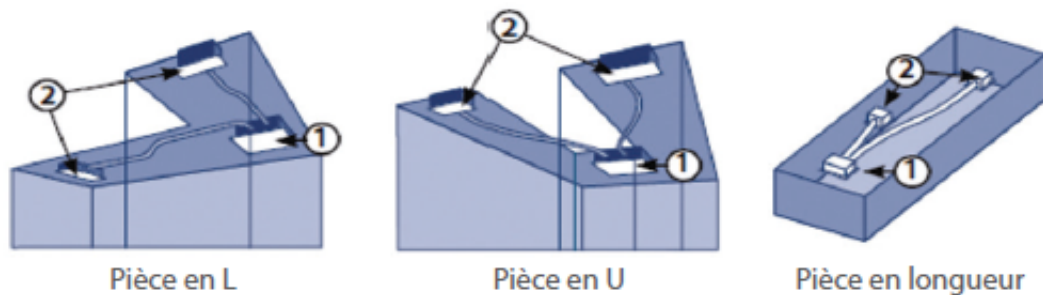


Figure 1 : Exemple d'utilisation d'une pompe à chaleur air extérieur/air intérieur en éléments séparés avec réseau aéraulique de distribution d'air

Le nombre de diffuseurs d'air à mettre en place dépend de l'importance du logement et des dispositions architecturales (pavillon sur deux niveaux, présence de mezzanine, pièces en L, etc).

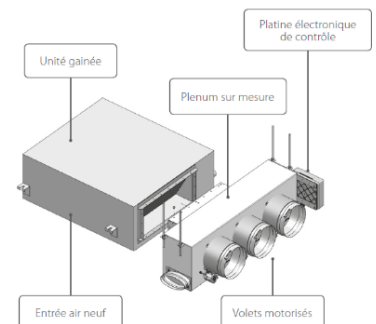


1. reprise d'air
2. grilles de diffusion d'air

Figure 2 : Exemple d'implantation des diffuseurs d'air

Une unité intérieure peut traiter une pièce ou une zone, c'est-à-dire un ensemble de pièces ayant des besoins thermiques similaires au même moment (par exemple rez-de-chaussée et étage, partie jour et partie nuit).

Si plusieurs pièces sont à traiter, il est possible d'installer une unité gainable plus puissante, plus importante, et assurer la diffusion de l'air chauffé dans chacune des pièces tout en conservant un contrôle individuel de la température. Il s'agit alors d'un système multizones dont chaque pièce conserve un fonctionnement indépendant.



Commentaire

Dans le cas d'une unité intérieure par zone, chaque zone totalise une surface au plus égale à 100 m².

Cette solution est un système dit « multizoning ». Les unités gainables sont associées à un kit multi-zones qui dispose d'un dispositif de régulation pièce par pièce.

Ce système permet de piloter jusqu'à 8 zones, via un thermostat centralisé situé dans la pièce principale et des thermostats individuels pour chacune des zones à contrôler.



Figure 3 : Exemple d'utilisation d'une pompe à chaleur air extérieur/air intérieur en éléments séparés avec réseau aéraulique de distribution d'air multi-zones

2.2. Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec unités intérieures à émission directe

Dans ce type d'installation, la pompe à chaleur est composée des éléments suivants :

- Une unité extérieure comprenant le compresseur, le détendeur, la vanne d'inversion de cycle et un échangeur ventilé sur l'air extérieur ;
- Plusieurs unités intérieures disposées dans chaque pièce principale comprenant un filtre mobile à la reprise d'air, un échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande.

L'unité intérieure peut être de type mural, console, plafonnier, ou pouvant être raccordée à un réseau aéraulique selon les modèles proposés par les constructeurs.

Le nombre d'unités à mettre en place dépend de l'importance du logement et des dispositions architecturales (pavillon sur deux niveaux, présence d'une mezzanine...). Selon les constructeurs et les gammes de puissances calorifiques, entre 2 et 8 unités intérieures peuvent être raccordées à une même unité extérieure.

Chaque unité intérieure doit conserver un fonctionnement indépendant.

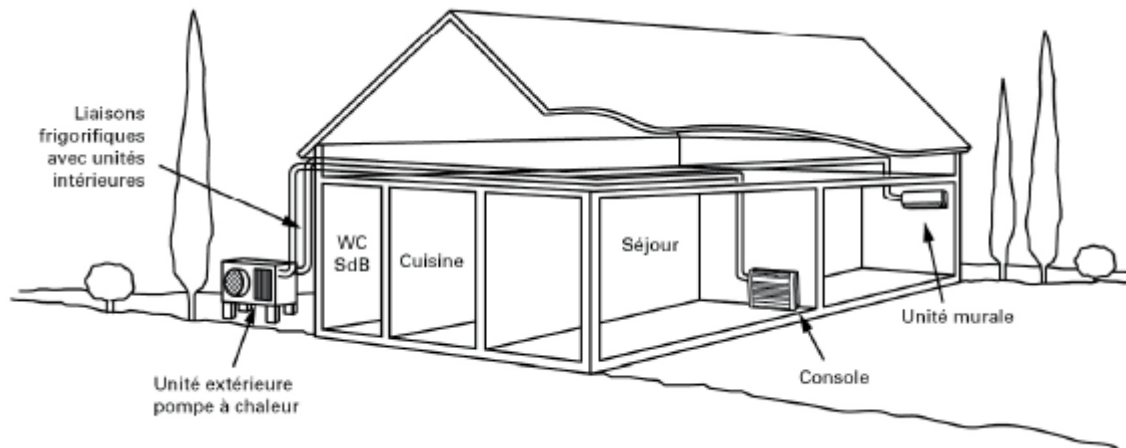


Figure 4 : Exemple d'utilisation d'une pompe à chaleur air extérieur/air intérieur en éléments séparés avec unités intérieures à émission directe

2.3. Pompe à chaleur air/air monobloc avec réseau aéraulique

Dans ce type d'installation, la pompe à chaleur regroupe tous les éléments entrant dans sa composition : le compresseur, le détendeur, la vanne d'inversion de cycle, l'échangeur ventilé sur l'air extérieur, l'échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande.

La pompe à chaleur est installée soit dans un local technique spécifique, soit en placard ou en faux-plafond par exemple. Elle est raccordée à un réseau aéraulique permettant la distribution de l'air chauffé.

L'air de la pièce est ensuite repris par un autre réseau aéraulique permettant son traitement par la pompe à chaleur puis est réinjecté dans les locaux.

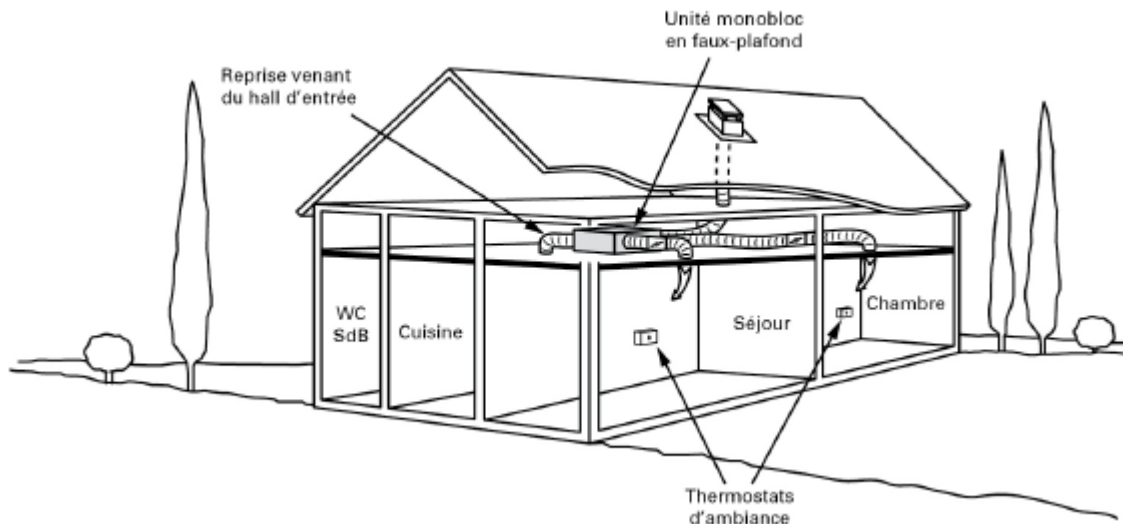


Figure 5 : Exemple d'utilisation d'une pompe à chaleur air extérieur/air intérieur monobloc avec un réseau aéraulique de distribution d'air

2.4. Pompe à chaleur air/air à débit de réfrigérant variable (DRV)

Dans ce type d'installation, la pompe à chaleur est composée des éléments suivants :

- Une unité extérieure comprenant le compresseur, un détendeur électronique, la vanne d'inversion de cycle et un échangeur ventilé sur l'air extérieur ;
- Plusieurs unités intérieures disposées dans chaque pièce principale comprenant un filtre mobile à la reprise d'air, un détendeur électronique, un échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande ;
- Un bus de liaison entre chaque unité intérieure et l'unité extérieure.

L'unité intérieure peut être de type mural, console, plafonnier, ou pouvant être raccordée à un réseau hydraulique selon les modèles proposés par les constructeurs.

Le nombre d'unités à mettre en place dépend de l'importance du logement et des dispositions architecturales (pavillon sur deux niveaux, présence d'une mezzanine...). Selon les constructeurs et les gammes de puissances calorifiques, entre 6 et 9 unités intérieures peuvent être raccordées à une même unité extérieure.

Chaque unité intérieure doit conserver un fonctionnement indépendant.

Commentaire

Il existe des systèmes à débit de réfrigérant variable à récupération d'énergie permettant de faire du chaud et du froid simultanément.

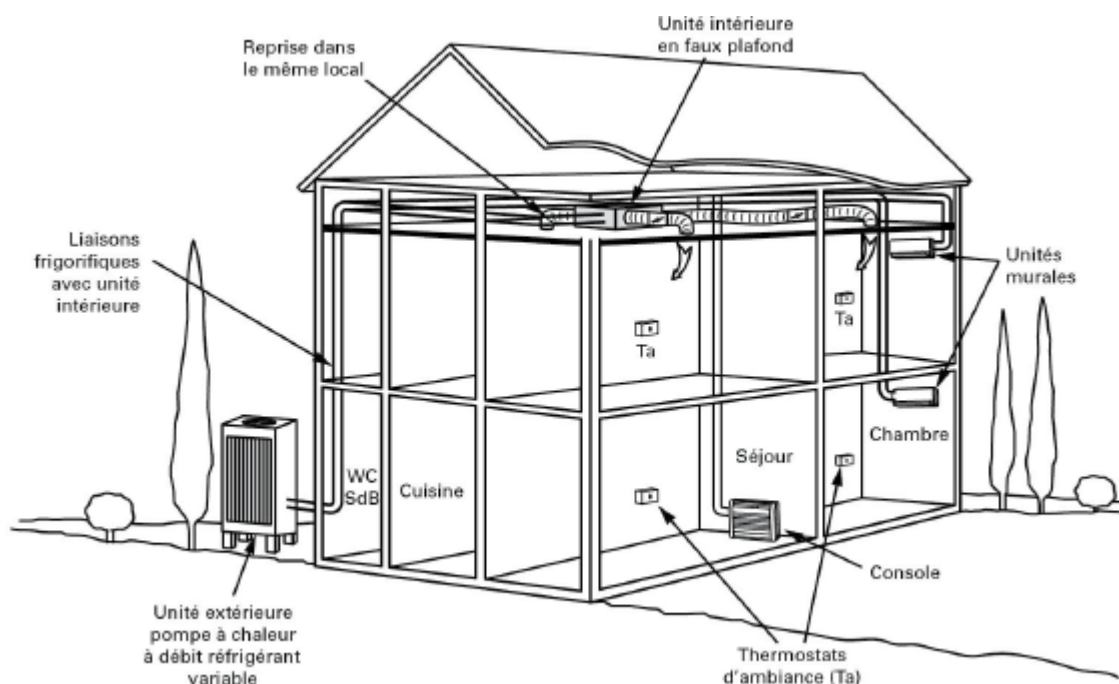


Figure 6 : Exemple d'utilisation d'une pompe à chaleur ai/air à débit de réfrigérant variable (DRV)

2.5.Rénovation de chauffage électrique par traitement partiel du logement avec une pompe à chaleur air/air

Dans ce type d'installation, pour des raisons d'investissement, la pompe à chaleur vient en chauffage de base. Le complément étant assuré par des radiateurs électriques. Bien souvent, seule la pièce principale est traitée par pompe à chaleur air/air. Dans d'autres cas, une, voire deux autres pièces le sont également

L'installation est composée des éléments suivants :

- Une unité extérieure comprenant le compresseur, le détendeur, la vanne d'inversion de cycle et un échangeur ventilé sur l'air extérieur ;
- Une ou plusieurs unités intérieures disposées dans chaque pièce principale comprenant un filtre mobile à la reprise d'air, un échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande.

L'unité intérieure peut être de type mural, console, plafonnier. Le nombre d'unités à mettre en place est à l'initiative du maître d'ouvrage.

Chaque unité intérieure doit conserver un fonctionnement indépendant.

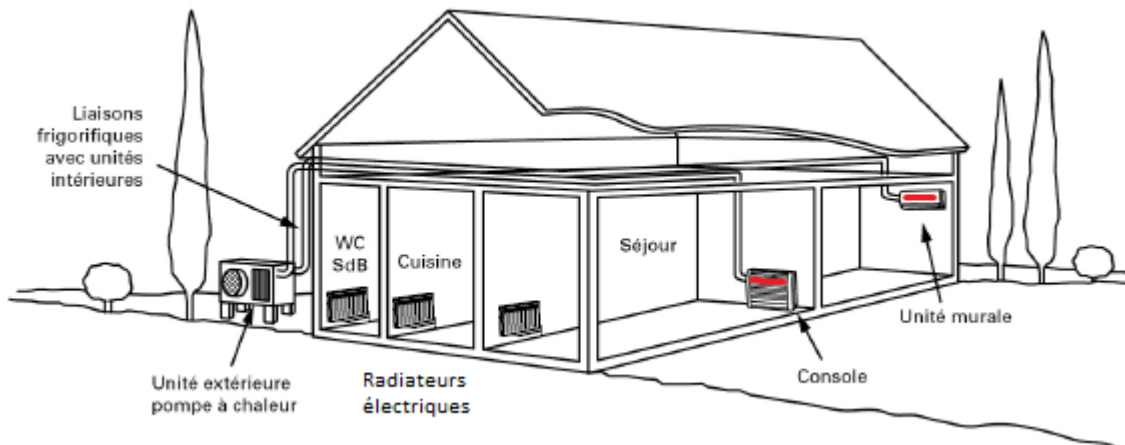


Figure 7 : Exemple de Rénovation de chauffage électrique par traitement partiel du logement avec une pompe à chaleur air/air

2.6. Traitement du confort d'été par pompe à chaleur air/air en complément d'une installation de chauffage traditionnelle

Dans ce type d'installation, la pompe à chaleur air – air réversible est installée avec l'objectif de climatiser partiellement le logement l'été. Elle peut également être utilisée en mi-saison pour des besoins de chauffage afin d'éviter de remettre en service pour quelques heures par jour le système de chauffage traditionnel.

L'installation est composée des éléments suivants :

- Une unité extérieure comprenant le compresseur, le détendeur, la vanne d'inversion de cycle et un échangeur ventilé sur l'air extérieur ;
- Une ou plusieurs unités intérieures disposées dans chaque pièce principale comprenant un filtre mobile à la reprise d'air, un échangeur ventilé sur l'air intérieur et le dispositif de commande.

L'unité intérieure peut être de type mural, console, plafonnier. Le nombre d'unités à mettre en place est à l'initiative du maître d'ouvrage.

Chaque unité intérieure doit conserver un fonctionnement indépendant.

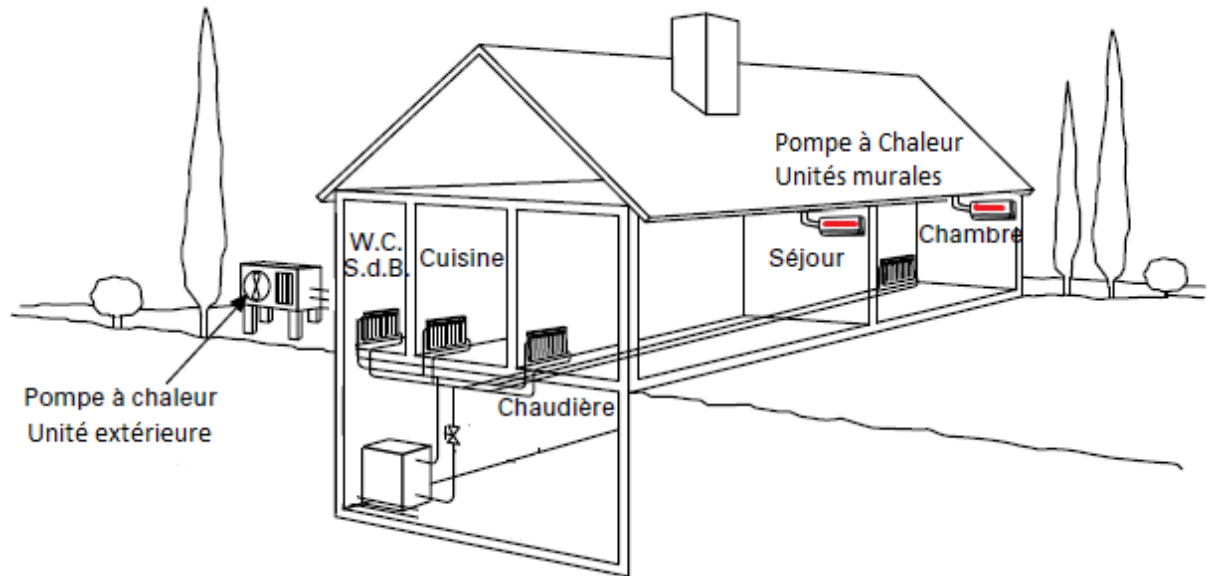


Figure 8 : Exemple de traitement du confort d'été par pompe à chaleur air – air en complément d'une installation de chauffage traditionnelle

2.7. Interaction entre système de chauffage air/ air et système de ventilation

Les systèmes air/air fonctionnent en recyclage et sont indépendants de la ventilation mécanique contrôlée. Pour éviter toute interférence avec le réseau d'extraction de la ventilation mécanique contrôlée, il n'est pas prévu de soufflage dans les pièces humides (cuisine, salle de bains). Ces dernières sont chauffées avec un émetteur électrique si besoin.

3. Dimensionnement de la pompe à chaleur

La sélection de la pompe à chaleur s'effectue en fonction du dimensionnement par rapport au calcul des déperditions et des caractéristiques des pompes à chaleur disponibles dans les gammes de matériels des constructeurs.

3.1. Calcul des déperditions

Les déperditions thermiques sont calculées selon la norme NF EN 12831 et le complément national NF P 52-612/CN.

3.1.1. Principe du calcul des déperditions

Les déperditions se décomposent en :

- Déperditions surfaciques à travers les parois (murs, fenêtres, portes, toit, plancher) ;
- Déperditions linéiques au niveau des liaisons des différentes parois, comme par exemple le mur et le plancher ;
- Déperditions par renouvellement d'air par les bouches d'entrée d'air par ventilation naturelle ou mécanique ;
- Déperditions par les infiltrations : jointures des huisseries des fenêtres, des portes, par les trous en façade...

Les déperditions sont calculées pour les pièces dont le chauffage est assuré par la pompe à chaleur.

3.1.2. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

Les déperditions surfaciques sont calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions surfaciques} = \text{Somme de } U \times A \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- U : coefficient de transmission surfacique en $W/m^2.K$
- A : surface intérieure de la paroi en m^2
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: écart de température entre l'intérieur et l'extérieur en K

3.1.3. Déperditions linéiques aux liaisons des différentes parois

Les déperditions linéiques sont calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions linéiques} = \Psi \times l \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- Ψ : coefficient de transmission linéique (psi) en W/m.K
- l : longueur des liaisons en m
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: écart de température entre l'intérieur et l'extérieur en K

Commentaire

La norme NF EN 12831 propose une méthode simplifiée consistant à majorer les coefficients de transmission surfacique des parois en fonction de leurs liaisons.

3.1.4. Déperditions par renouvellement d'air et infiltrations

Le calcul des déperditions s'effectue à partir de la formule suivante :

$$\text{Déperditions par renouvellement d'air} = 0,34 \times q_v \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

Avec :

- 0,34 : chaleur volumique de l'air en Wh/m³.K
- q_v : débit de renouvellement d'air par ventilation et infiltration en m³/h
- $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$: écart de température entre l'intérieur et l'extérieur en K

Commentaire

Les entrées d'air induites par l'utilisation de hottes en tout air neuf, de cheminées à foyer ouvert ou de tout autre système ne sont pas prises en compte dans la formule.

3.1.5. La température extérieure de base du lieu

Les déperditions sont calculées pour la température extérieure de base du lieu définie dans le complément national à la norme NF EN 12831, référencé NF P 52-612/CN.

La figure 21 présente la carte de France des températures extérieures de base.

Des corrections sont à apporter en fonction de l'altitude du lieu considéré, selon le tableau de la figure 22.

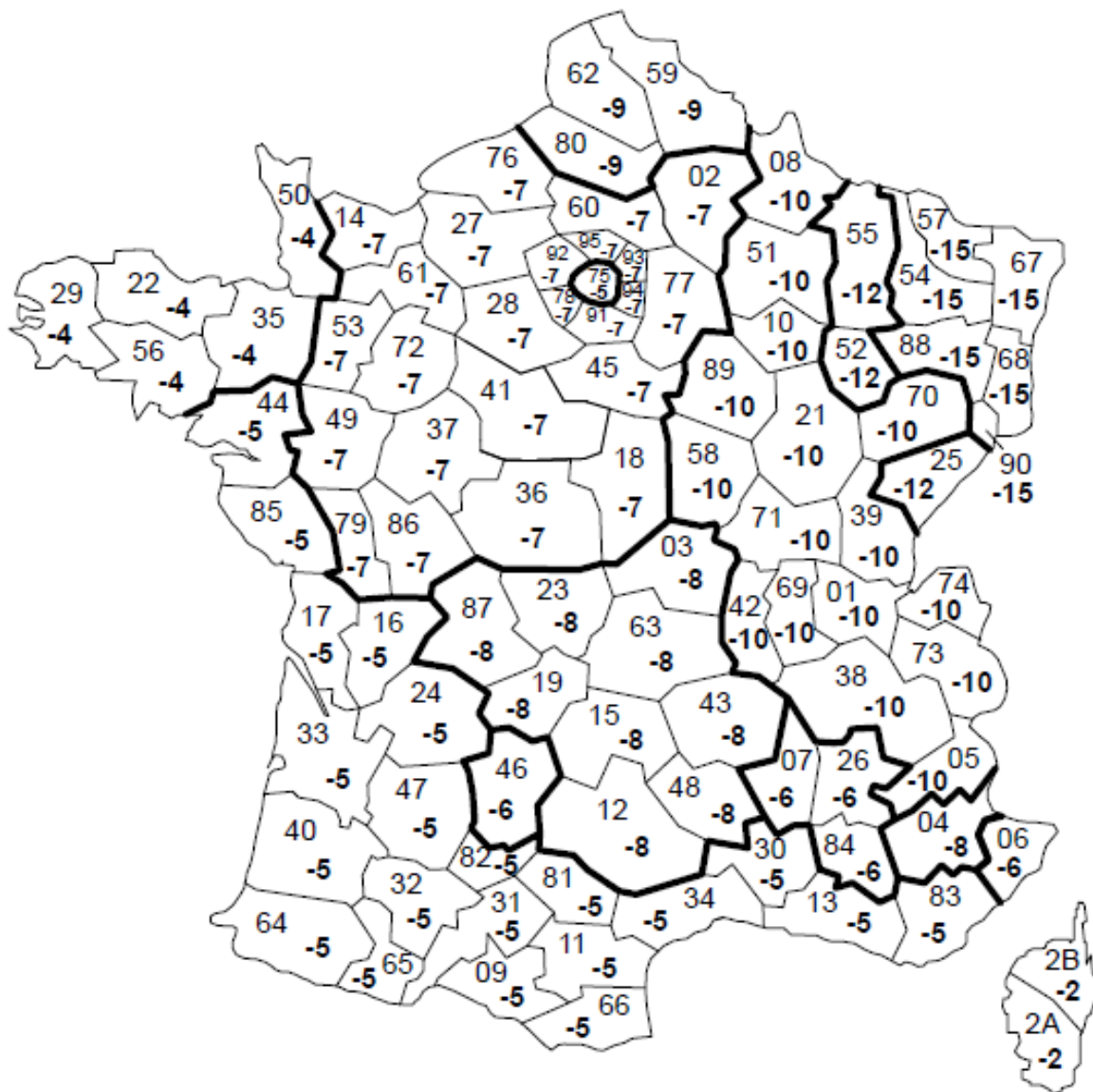


Figure 9 : Températures extérieures de base non corrigées par l'altitude

Température extérieure du site °C	Température extérieure de base au niveau de la mer du site °C									Température extérieure du site °C	
	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-10	-12	-15		
-2	0 à 200		↓								-2
-3	201 à 400										
-4	401 à 600	0 à 200	↓								-4
-5	601 à 700	201 à 400		0 à 200							
-6	701 à 800	401 à 500	201 à 400	0 à 200							-6
-7			401 à 600	201 à 400	0 à 200	←	Prise en compte de l'altitude du lieu en mètre				-7
-8			601 à 800	401 à 500	201 à 400		0 à 200				
-9			801 à 1000	501 à 600	401 à 500	201 à 400					-9
-10			1001 à 1200	601 à 700		401 à 500	0 à 200				-10
-11			1201 à 1400	701 à 800		501 à 600	201 à 400				-11
-12			1401 à 1700	801 à 900		601 à 700	401 à 500	0 à 200	→		-12
-13			1701 à 1800	901 à 1000		701 à 800	501 à 600	201 à 400			
-14	←		1801 à 2000	1001 à 1100		800 à 901	601 à 700	401 à 500			-14
-15						901 à 1000	701 à 800	501 à 600	0 à 400		-15
-16						1001 à 1100	800 à 901	601 à 700	401 à 500		-16
-17						1101 à 1200	901 à 1000	701 à 800	501 à 600		-17
-18						1201 à 1300	1001 à 1100	800 à 901	601 à 700		-18
-19						1301 à 1400	1101 à 1200	901 à 1000	701 à 800		-19
-20							1201 à 1300	1001 à 1100	800 à 901		-20
-21							1301 à 1400	1101 à 1200	901 à 1000		-21
-22							1401 à 1500	1201 à 1300	1001 à 1100		-22
-23							1501 à 1600	1301 à 1400	1101 à 1200		-23
-24							1601 à 1700	1401 à 1500	1201 à 1300		-24
-25							1701 à 1800		1301 à 1500		-25
-26							1801 à 1900				-26
-27							1901 à 2000				-27

Figure 10 : Corrections en fonction de l'altitude

3.2. Pompe à chaleur air/air avec réseau aéraulique et son appoint

Cela concerne la pompe à chaleur air/air monobloc ou en éléments séparés

L'appareil ou l'unité intérieure pouvant être raccordée à un conduit aéraulique peut être équipée d'un appoint électrique après le ventilateur de soufflage. Certains produits selon les constructeurs ne comprennent pas d'appoint électrique car la performance de la pompe à chaleur permet, même par -15°C ext, de couvrir les besoins de chauffage. Seules les pièces humides (cuisine, salle de bains) sont chauffées avec un émetteur électrique si besoin.

La pompe à chaleur et son appoint doivent permettre d'obtenir la température ambiante demandée pour les conditions extérieures de base du lieu.

Le dimensionnement est effectué en mode chauffage.

L'appoint est constitué d'un réchauffeur électrique placé en aval de la pompe à chaleur afin d'assurer le complément de puissance calorifique.

Au-delà d'une puissance calorifique de 3 kW, l'appoint doit être prévu avec à minima deux niveaux de puissance. Le dernier niveau est mis en fonctionnement en cas d'arrêt du compresseur.

Il convient de mettre en œuvre un dispositif de délestage de l'appoint électrique. Si l'appoint est composé de plusieurs étages, un gestionnaire d'énergie est généralement utilisé.

Commentaire

Le délestage de l'appoint doit pouvoir être effectué manuellement.

3.2.1. La puissance calorifique

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 80 % et 100 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La puissance totale délivrée par la pompe à chaleur et l'appoint est égale à 120 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La température limite de fonctionnement garanti d'arrêt de la pompe à chaleur est inférieure de 5 K à la température extérieure de base.

Une minoration de l'écart de 5 K est prévue lorsque la température extérieure de base est inférieure à -10°C.

Commentaire

La température limite de fonctionnement garanti est la température en-dessous de laquelle le constructeur ne garantit pas le fonctionnement satisfaisant de la pompe à chaleur ni l'obtention des performances attendues.

3.2.2. Le débit d'air

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce est déterminé en fonction de la puissance calorifique du local à combattre et de l'écart entre la température de l'air soufflé et celle de l'air ambiant.

Le débit de soufflage de l'appareil est mis en adéquation avec la somme des débits à souffler dans les locaux pour combattre les déperditions.

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce desservie par une ou plusieurs unités intérieures ou bouches de soufflage doit correspondre à un taux de brassage de 5 à 10 volumes par heure.

Dans le bâtiment neuf, le débit d'air soufflé doit correspondre à un taux de brassage de 3 à 10 volumes par heure.

Les unités intérieures et gainables sont choisies en conséquence.

3.3.Pompe à chaleur air/air en éléments séparés avec unités intérieures à émission directe

Une unité intérieure à émission directe ne peut être équipée d'un appoint électrique. Seules les pièces humides (cuisine, salle de bains) sont chauffées avec un émetteur électrique si besoin.

La pompe à chaleur et les émetteurs doivent permettre d'obtenir la température ambiante demandée pour les conditions extérieures de base du lieu.

Le dimensionnement est effectué en mode chauffage.

3.3.1. La puissance calorifique

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 80 % et 100 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est de 120 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La température limite de fonctionnement garanti d'arrêt de la pompe à chaleur est inférieure de 5 K à la température extérieure de base.

Une minoration de l'écart de 5 K est prévue lorsque la température extérieure de base est inférieure à -10°C.

Commentaire

La température limite de fonctionnement garanti est la température en-dessous de laquelle le constructeur ne garantit pas le fonctionnement satisfaisant de la pompe à chaleur ni l'obtention des performances attendues.

3.3.2. Le débit d'air

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce est déterminé en fonction de l'unité intérieure installée.

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce desservie par une ou plusieurs unités intérieures ou bouches de soufflage doit correspondre à un taux de brassage de 5 à 10 volumes par heure.

Dans le bâtiment neuf, le débit d'air soufflé doit correspondre à un taux de brassage de 3 à 10 volumes par heure.

Les unités intérieures et gainables sont choisies en conséquence.

3.4.Pompe à chaleur air – air à débit de réfrigérant variable (DRV)

Les unités intérieures ne disposent pas d'un appoint électrique. Seules les pièces humides (cuisine, salle de bains) sont chauffées avec un émetteur électrique si besoin.

La pompe à chaleur et les émetteurs doivent permettre d'obtenir la température ambiante demandée pour les conditions extérieures de base du lieu.

Chaque constructeur de pompe à chaleur ou système à débit de réfrigérant variable dispose d'une procédure de dimensionnement.

Cette procédure se décompose en deux étapes :

- Calcul de la puissance que doit délivrer chaque unité intérieure en mode chaud, aux conditions nominales du constructeur et choix des unités intérieures ;
- Calcul de la puissance que doit délivrer l'unité extérieure en mode chaud, aux conditions nominales du constructeur et choix de l'unité extérieure.

Le dimensionnement d'un système à débit de réfrigérant variable s'effectue conformément aux préconisations du constructeur. A défaut, il doit répondre aux exigences spécifiées ci-dessous.

3.4.1. La puissance calorifique

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 80 % et 100 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est de 120 % des déperditions du volume traité, calculées pour la température extérieure de base du lieu.

La température limite de fonctionnement garanti d'arrêt de la pompe à chaleur est inférieure de 5 K à la température extérieure de base.

Une minoration de l'écart de 5 K est prévue lorsque la température extérieure de base est inférieure à -10°C.

Commentaire

La température limite de fonctionnement garanti est la température en-dessous de laquelle le constructeur ne garantit pas le fonctionnement satisfaisant de la pompe à chaleur ni l'obtention des performances attendues.

3.4.2. Le débit d'air

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce est déterminé en fonction de l'unité intérieure installée.

Le débit d'air soufflé dans chaque pièce desservie par une ou plusieurs unités intérieures ou bouches de soufflage doit correspondre à un taux de brassage de 5 à 10 volumes par heure.

Dans le bâtiment neuf, le débit d'air soufflé doit correspondre à un taux de brassage de 3 à 10 volumes par heure.

Les unités intérieures et gainables sont choisies en conséquence.

3.5. Pompe à chaleur air – air en solution composite

Cette solution concerne uniquement les constructions neuves RT2012. On parle d'émission composite quand cohabitent pour des mêmes locaux deux systèmes d'émission de caractéristiques différentes pouvant être ou non regroupés dans un même appareil.

La régulation des systèmes d'émission est liée.

Se référer au site RT Bâtiment et à la fiche d'application - Systèmes d'émission composites de chauffage (version 1.1 ; applicable jusqu'au 31/12/2018) et sa mise à jour prévue au 1^{er} janvier 2019.

<https://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2012/documents-dapplication.html#c481>

3.6. Caractéristiques de la pompe à chaleur

Les éléments suivants doivent être connus pour sélectionner la pompe à chaleur :

- Les températures limites réelles de fonctionnement (température d'entrée et de sortie d'air) ;
- Un bilan thermique pièce par pièce (calculs des déperditions)
- Les débits minimal et maximal d'air ;
- Les pertes de charges sur l'air pour les unités pouvant être raccordées sur un réseau aéraulique (gainables) ;
- Les sécurités thermiques, électriques et frigorifiques ;
- Les performances de la machine aux points de fonctionnement définis dans le tableau ci-après, à partir du référentiel NF PAC ;
- Les niveaux acoustiques ;
- Le poids, les dimensions et les moyens de levage ;
- Les possibilités locales du constructeur pour la mise au point éventuelle et l'assistance après-vente.

Fluide caloporteur	Point de fonctionnement				
		Nominal		Optionnel	
		Temp. sèche	Temp. humide	Temp. sèche	Temp. humide
Air extérieur	Température entrée évaporateur	7 °C	6 °C	-7 °C	- 8 °C
Air intérieur	Température entrée condenseur	20 °C	15 °C maxi	20 °C	15 °C maxi

Points de fonctionnement en mode chaud, selon la certification NF PAC

Commentaire

La sélection de la puissance calorifique de la pompe à chaleur s'effectue pour la température extérieure de base considérée et non pas pour celle considérée pour le point de fonctionnement nominal (+7 °C) donnée dans la documentation du constructeur.

3.7. Performances thermiques des pompes à chaleur

Les performances calorifiques d'une pompe à chaleur annoncées par le constructeur font l'objet d'une certification (NF PAC, Eurovent, ...). La pompe à chaleur doit répondre aux exigences définies dans la norme NF EN 14511.

3.7.1. Mode chauffage

En mode chauffage, la pompe à chaleur est définie par les caractéristiques suivantes :

- La puissance thermique dissipée au condenseur ;
- La puissance électrique totale absorbée.

Le coefficient de performance (COP) est le rapport puissance thermique dissipée au condenseur/puissance électrique totale absorbée.

La mise en œuvre du règlement communautaire Eco-Conception défini par la norme NF EN 14825 exige désormais d'autres paramètres permettant de comparer les performances à charges partielles : SCOP/SCOPon/SCOPnet.

3.7.2. Mode rafraîchissement

En mode rafraîchissement, la pompe à chaleur est- définie par les caractéristiques suivantes :

- La puissance thermique absorbée à l'évaporateur ;
- La puissance totale absorbée.

Commentaire

Les performances frigorifiques de la pompe à chaleur annoncées par le constructeur doivent correspondre à celles certifiées par EUROVENT.

En mode rafraîchissement, la pompe à chaleur est caractérisée par le coefficient d'efficacité énergétique (EER). C'est le rapport puissance thermique absorbée par l'évaporateur/puissance électrique totale absorbée.

La mise en œuvre du règlement communautaire Eco-Conception défini par la norme NF EN 14825 exige désormais d'autres paramètres permettant de comparer les performances à charges partielles : SEER/SEERon.

Commentaire

L'étiquetage énergétique du SCOP/SEER des pompes à chaleur air/air réversibles d'une puissance frigorifique inférieure à 12 kW est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 2013, en application des règlements ErP 206/2012 et Energy Labeling 626/2011. Il s'appuie sur la norme NF EN 14825.

3.8. Spécifications acoustiques réglementaires

La pompe à chaleur et ses équipements doivent respecter les réglementations en vigueur sur le bruit intérieur et sur le bruit au voisinage.

Elles reposent sur la connaissance des puissances acoustiques des pompes à chaleur monobloc ou des unités extérieures et intérieures pour une pompe à chaleur en éléments séparés. Ces données sont fournies par le fabricant ou disponibles dans les bases de données NF PAC ou EUROVENT.

Le chapitre 4 présente des informations complémentaires sur l'implantation et les niveaux acoustiques à proximité d'une pompe à chaleur.

Pour faciliter le respect de ces réglementations, le niveau de puissance acoustique de la pompe à chaleur exprimé en dB(A) doit être choisi en fonction des conditions d'installation.

Commentaire

Les référentiels NF PAC et HP Keymark fixent des niveaux de puissance acoustique en fonction des puissances calorifiques de pompes à chaleur.

3.8.1. Réglementation sur le bruit intérieur

L'installation ne doit pas engendrer de nuisances sonores à l'intérieur du logement.

La réglementation sur le bruit intérieur stipulée par l'arrêté du 30 juin 1999 concerne les bâtiments nouveaux.

3.8.2. Règlements sur le bruit de voisinage

L'article R1334-33 du code de la santé publique fixe les valeurs limites d'émergence sonores admises :

- 5 dB(A) en période diurne (de 7h à 22h)
- 3 dB(A) en période nocturne (de 22h à 7h)

L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondants à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements en l'absence du bruit particulier en cause.

Le bruit résiduel est le bruit moyen que l'on mesure sur une période de référence lorsque l'équipement incriminé ne fonctionne pas. Il s'agit du bruit de fond.

Le bruit ambiant est le bruit mesuré pendant une période équivalente lorsque l'équipement fonctionne : le bruit ambiant est donc la somme du bruit de l'équipement seul et du bruit résiduel.

Comme le temps cumulé de fonctionnement d'une pompe à chaleur dépasse généralement huit heures, aucune valeur corrective ne peut être prise en compte.

4. Implantation de la pompe à chaleur

Dès la conception, il est nécessaire d'étudier l'implantation de l'unité extérieure.

Un accès aisé est nécessaire pour l'entretien et la maintenance ultérieure de la pompe à chaleur.

4.1. Implantation de l'unité extérieure

4.1.1. Intégration technique de la pompe à chaleur

Dès la phase de conception, il est nécessaire de prévoir les dégagements nécessaires autour de l'unité extérieure ainsi que les vents dominants qui peuvent entraîner :

- Des contraintes mécaniques sur le ventilateur de l'unité extérieure pouvant aller jusqu'à la destruction du moteur.

Afin d'éviter cet aléa, il convient d'adapter l'orientation de la PAC par rapport aux vents dominants comme indiqué à la figure ci-dessous.

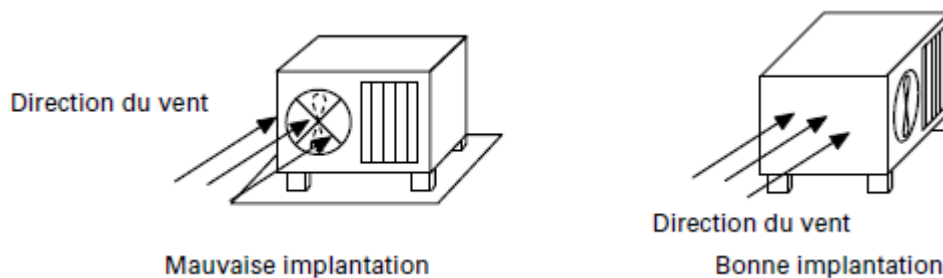


Figure 11 : Action des vents sur le ventilateur de la pompe à chaleur

- Un recyclage d'air extérieur rejeté par la pompe à chaleur vers son aspiration. Lorsque la PAC est exposée au vent, le refoulement d'air peut être forcé contre le bâtiment et rabattu vers l'aspiration. Lorsque la PAC est sous le vent, il se crée une zone de pression négative qui peut forcer l'air de refoulement vers l'aspiration.

Pour éviter tout risque de dysfonctionnement, la PAC est soit surélevée, soit équipée d'un « plénum » de refoulement afin d'évacuer l'air au-dessus du mur. Dans ce dernier cas, il convient de vérifier le dimensionnement du ventilateur (pression statique).

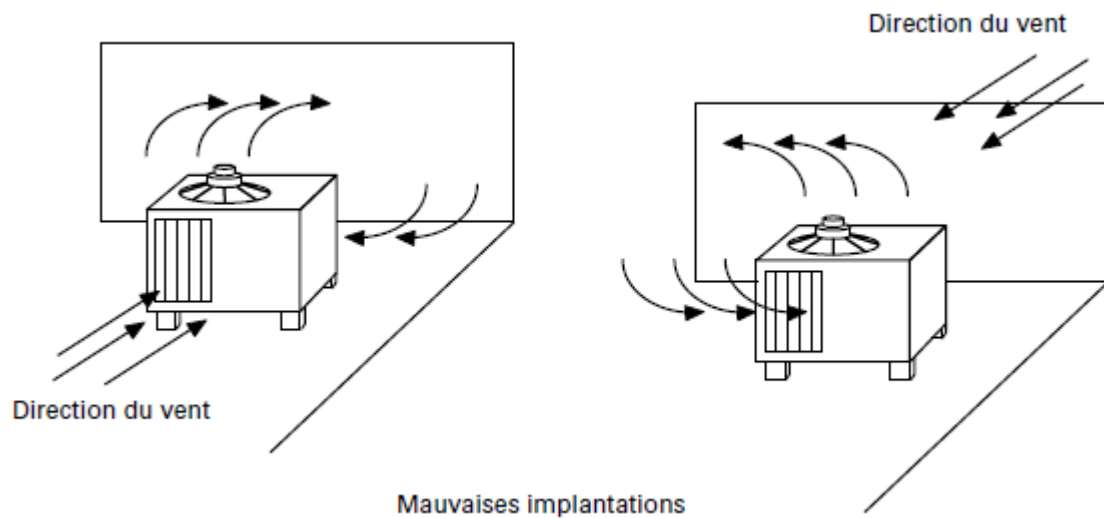


Figure 12 : Recyclage parasite d'air extérieur sur la pompe à chaleur

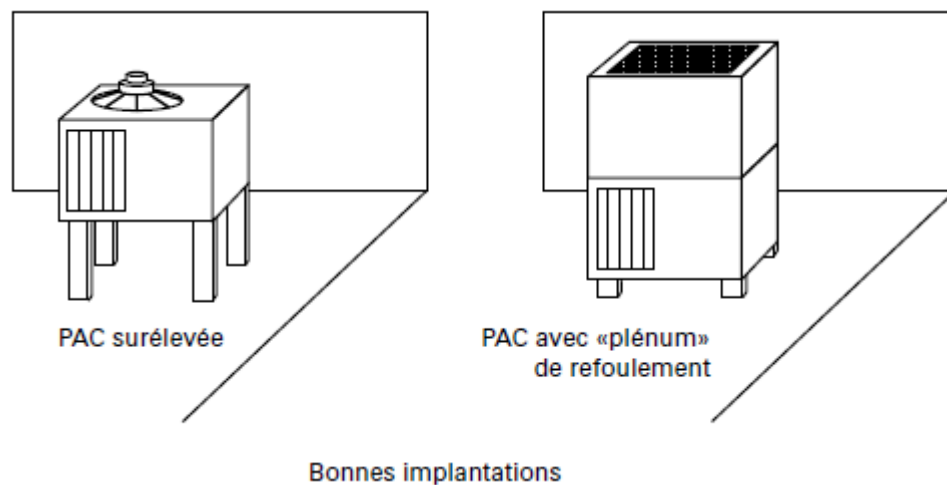


Figure 13 : Améliorations de l'évacuation de l'air rejeté par une pompe à chaleur

- Une influence sur les performances des équipements. Lorsque la production comprend deux pompes à chaleur, leur implantation doit permettre d'éviter que le refoulement de la première ne soit pas aspiré par la seconde.

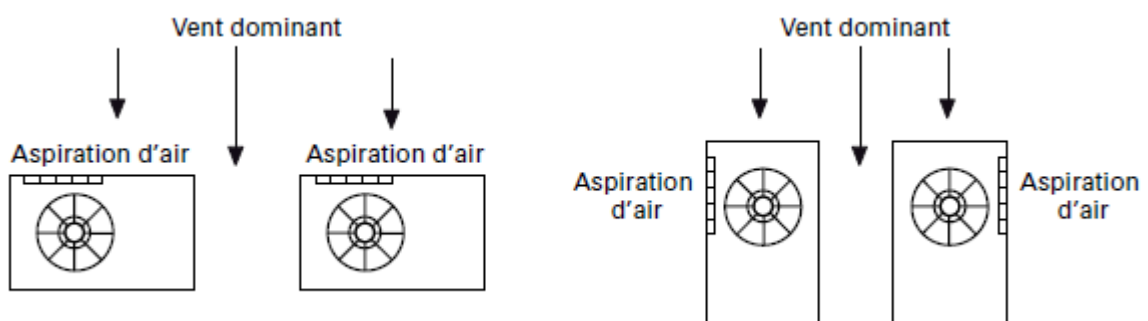


Figure 14 : Implantation de deux pompes à chaleur

En particulier lorsque la pompe à chaleur est implantée au sud (ce qui facilite le dégivrage), il convient que la sonde de température extérieure de régulation soit placée dans un endroit exempt de toute perturbation, à l'abri du soleil, éloignée des sources chaudes ou froides du bâtiment (bouches d'aération, fenêtres ...). L'installation de la sonde sur une paroi nord est conseillée.

Il convient de s'assurer que l'implantation de la pompe à chaleur n'est pas contraire aux règles d'urbanisme ou de copropriété.

4.1.2. Intégration acoustique de la pompe à chaleur

Les performances acoustiques des appareils sont définies par les grandeurs suivantes :

- **Le niveau de puissance acoustique (L_w)**
La puissance acoustique exprimée en dB(A) caractérise la source sonore, indépendamment de son environnement. Elle permet ainsi de comparer les pompes à chaleur entre elles. Cette valeur est fournie par le procès-verbal de certification et les laboratoires de mesures.
- **Le niveau de pression acoustique (L_p)**
La pression acoustique exprimée en dB(A) caractérise le niveau de bruit que l'oreille perçoit et dépend de paramètres indépendants de la source sonore tels que la distance par rapport à la source, la taille et la nature des parois du local,... les réglementations se basent sur cette valeur.

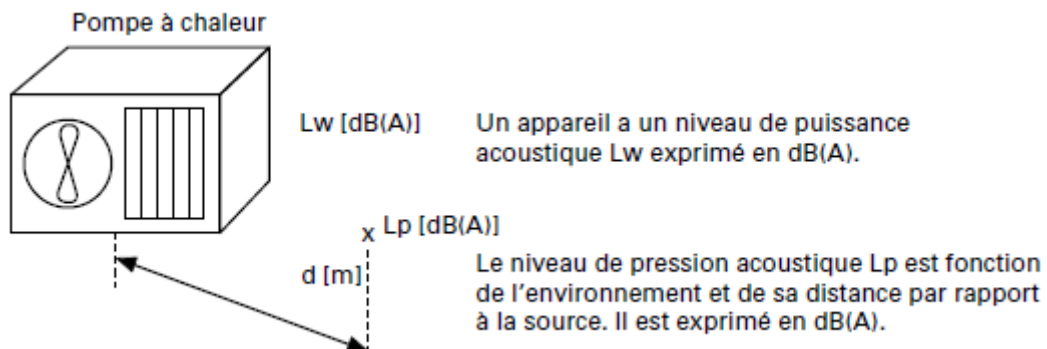


Figure 15 : Grandeurs principales utilisées en acoustique

Le tableau suivant permet d'obtenir une approche du niveau de pression acoustique (niveau sonore) obtenu en champ libre en fonction du niveau de puissance acoustique (source sonore) et de la distance à laquelle se trouve l'élément de réception par rapport à la source. Il concerne les pompes à chaleur en contact avec une paroi réverbérante, par exemple posées sur un socle béton.

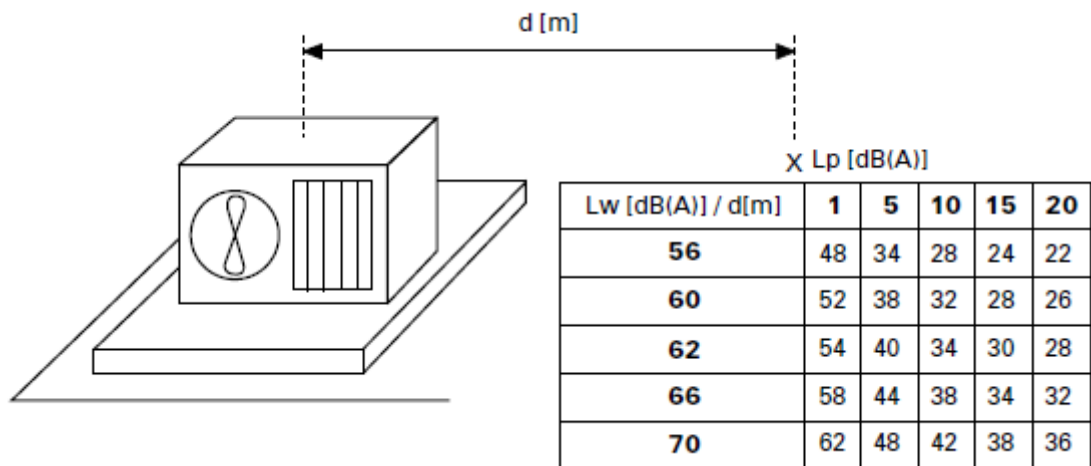


Figure 16 : Approche du niveau sonore obtenu pour une pompe à chaleur posée sur un socle en béton : niveau de pression Lp en dB(A) selon la distance d en m

Le cas suivant reprend le cas d'une pompe à chaleur ou d'une unité extérieure de pompe à chaleur en éléments séparés installée sur des supports muraux.

Le tableau permet d'obtenir une approche du niveau de pression acoustique (niveau sonore) en fonction du niveau de puissance acoustique (source sonore) et de la distance à laquelle se trouve l'élément de réception par rapport à la source.

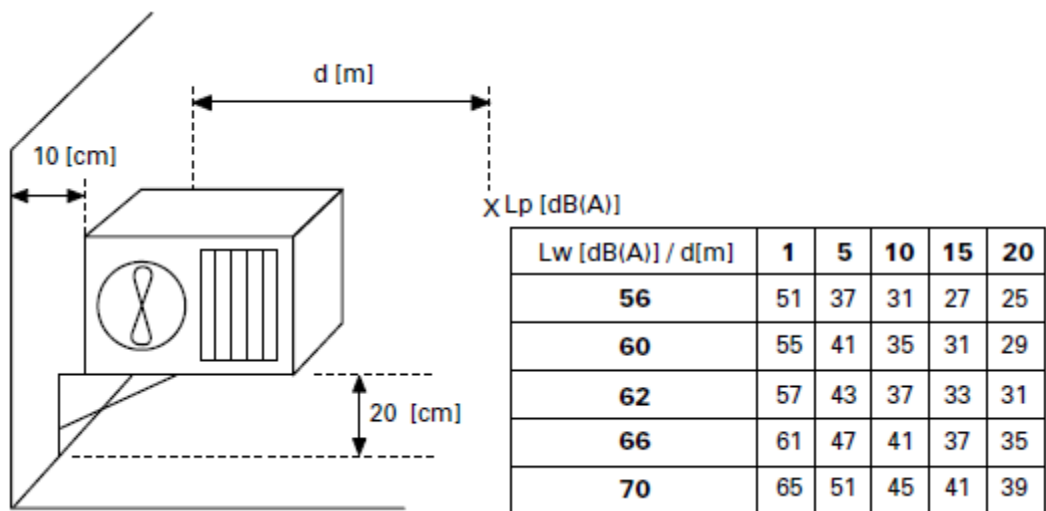


Figure 17 : Approche du niveau sonore obtenu pour une pompe à chaleur montée sur supports muraux : niveau de pression Lp en dB(A) selon la distance d en m

Des précautions doivent être prises pour intégrer au mieux l'unité placée à l'extérieur vis-à-vis du voisinage :

- Placer l'appareil hors de vue du voisinage direct, à partir d'une terrasse ou à partir de baies vitrées : l'abriter derrière un obstacle naturel formant écran tel qu'un rideau d'arbustes, une haie, une butte de terre ou un mur de clôture en conservant une distance minimale ;
- Ne pas le placer à proximité des chambres de la maison voisine ou de la maison équipée ;
- Eviter la proximité d'une ou de plusieurs parois fortement réverbérantes.

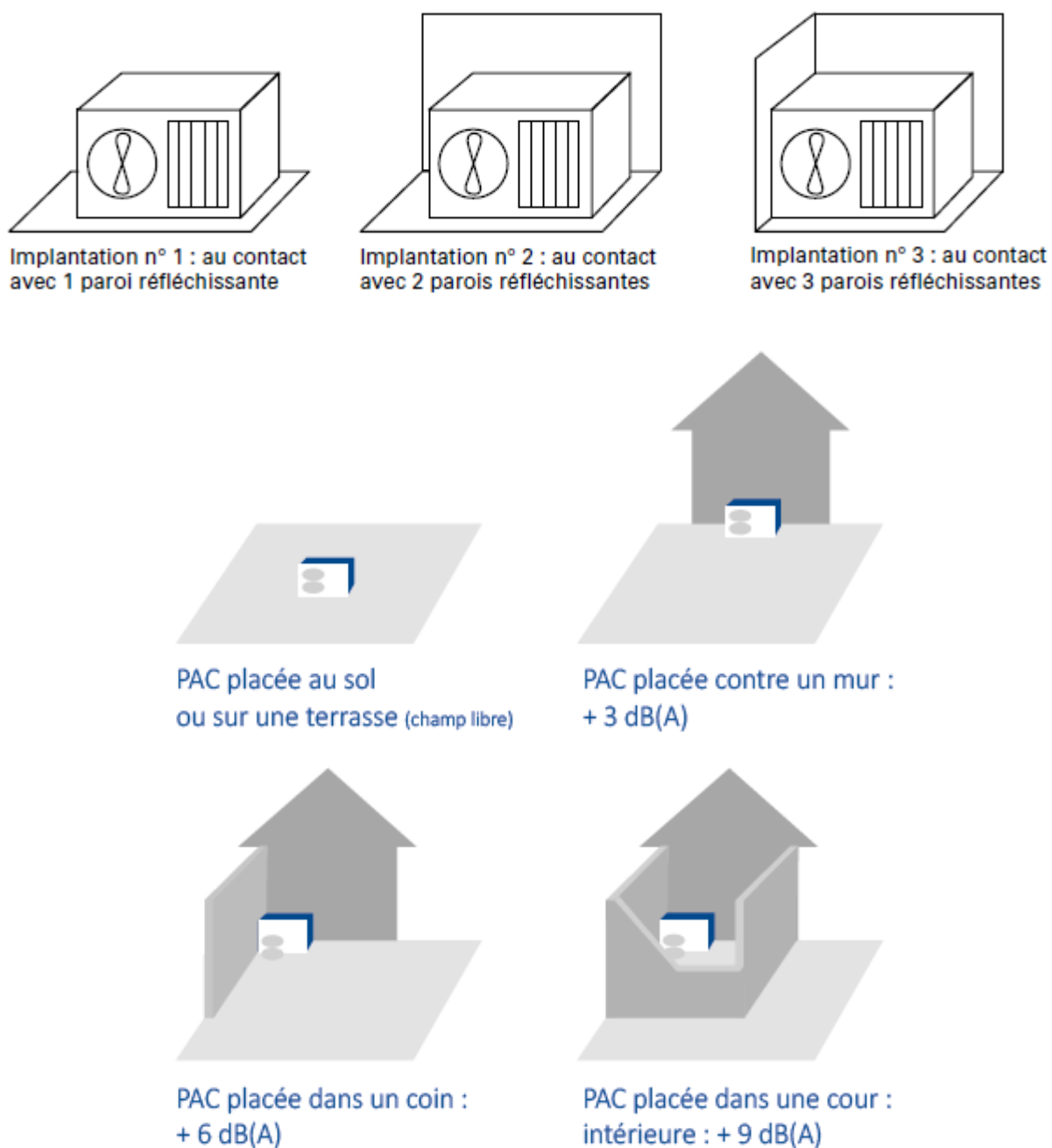


Figure18 : Impact de la mise en œuvre sur le bruit d'une PAC

Dans certains cas, des précautions complémentaires sont nécessaires du fait, par exemple, d'une distance trop faible par rapport au voisinage. Il convient alors d'affiner l'étude d'un point de vue acoustique.

Un écran acoustique peut être installé tout en restant vigilant sur le risque potentiel des ondes sonores réfléchies par une mauvaise implantation de l'unité extérieure vis-à-vis de l'écran.

Commentaire

Pour la pose d'un écran acoustique, il convient de se rapprocher des services de l'urbanisme pour savoir si une demande de travaux en mairie est nécessaire.

Les préconisations suivantes peuvent être formulées pour la mise en place d'un écran antibruit :

- **Emplacement**

L'écran doit être placé le plus près possible de la source sonore tout en permettant la libre circulation de l'air dans l'évaporateur et les interventions d'entretien.

Une attention particulière est portée sur le risque potentiel de réflexion des ondes sonores par une mauvaise implantation de l'unité extérieure.

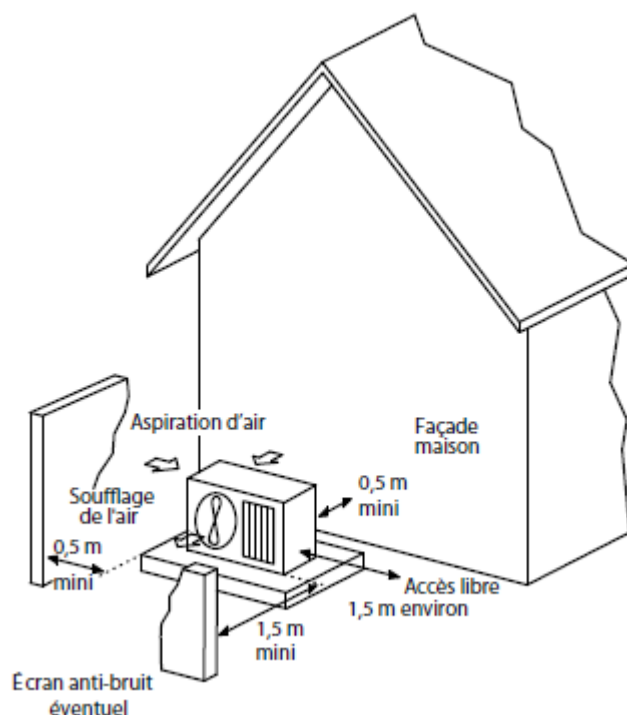


Figure 19 : Exemple d'implantation d'une pompe à chaleur et d'un écran antibruit

- **Dimensions**

La taille de l'écran doit être telle que l'unité ne soit pas visible par le voisinage. La hauteur de l'écran doit dépasser d'un mètre au moins la ligne reliant l'habitation la plus haute au point le plus élevé de la source sonore.

Dans le cas d'une installation au pied d'un immeuble, il peut être nécessaire de munir l'écran d'un auvent. La hauteur de l'écran ne pouvant être démesurée, on n'admet généralement que l'angle formé par cette ligne et l'horizontale est- d'environ 30°.

De même pour la détermination de sa largeur, des rabats peuvent s'avérer indispensables, l'écran ayant alors une forme de « L » ou de « U ».

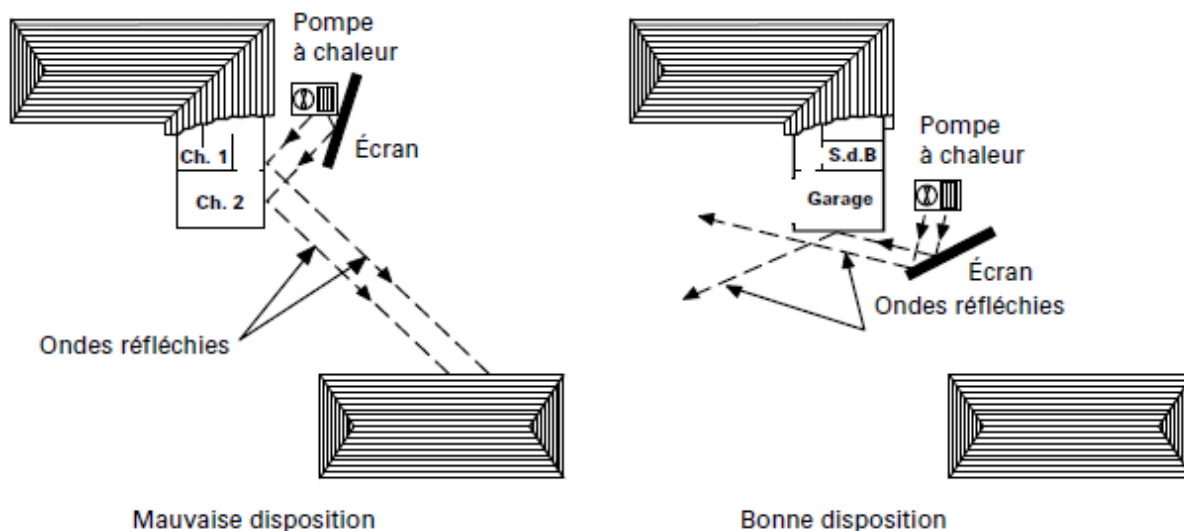


Figure 20 : Exemples de disposition d'un écran acoustique

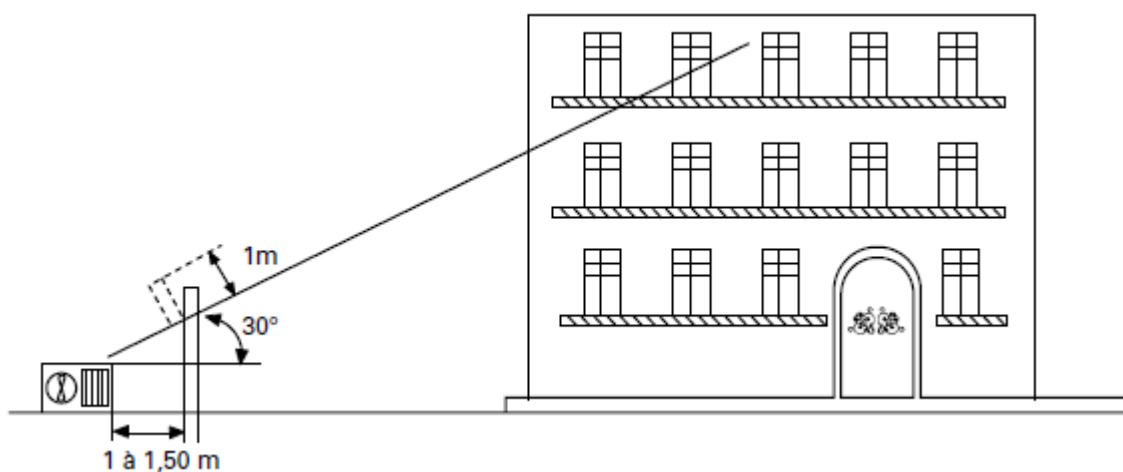


Figure 21 : Disposition d'un écran antibruit

L'écran antibruit doit être peu réverbérant du côté de la source sonore et peu d'ondes ne doivent le traverser. Il est donc recommandé de le construire avec des matériaux denses, de préférence en maçonnerie (exemple : parpaings creux avec alvéoles ouvertes du côté de la PAC et alvéoles bouchées sur la face opposée).

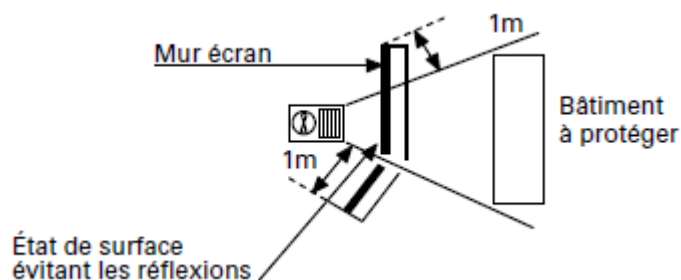


Figure 22 : Montage d'un écran antibruit entre la pompe à chaleur et le bâtiment à protéger

4.1.3. Installation

La PAC est positionnée sur un support et ne doit pas avoir de liaison rigide avec le bâtiment.

Pour cela les points suivants sont à respecter :

- La pompe à chaleur est positionnée sur un support adapté à son poids et à son encombrement (socle béton, plots en béton, longrines, châssis support ...), sans liaison rigide avec le bâtiment ;
- La hauteur du vide entre la pompe à chaleur et son support doit permettre le bon écoulement des condensats notamment lors des phases de dégivrage ;
- La pompe à chaleur est fixée à son support à l'aide de goujons d'ancrage, de vis et de rondelles freins de type « grower » ou à denture extérieure chevauchante afin d'éviter tout desserrage dû aux vibrations. La visserie utilisée permet une bonne résistance à la corrosion ;
- Des plots anti vibratiles sont prévus entre la pompe à chaleur et le support. Il peut s'agir par exemple de plots en élastomère, de plots à ressorts ou d'amortisseurs visqueux ;
- Le support est réalisé, positionné ou fixé de façon à être plan et horizontal. La garde par rapport au sol doit être suffisante (100 à 150 mm) pour les mises en hors d'eau. Dans les régions avec de fortes chutes de neige, cette garde est sur élevée d'au moins 200 mm par rapport à l'épaisseur moyenne du manteau neigeux ;
Une casquette de protection de la pompe à chaleur peut être envisagée en tenant compte des préconisations du constructeur ;
- Dans le cas d'un support de type dalle en béton, un matériau résilient à base de caoutchouc de synthèse ou élastomère est intercalé entre la dalle et la structure ;
- Dans le cas d'un support préfabriqué, des coussins anti vibratiles amortisseurs sont intercalés entre le support et la paroi ou le sol.

Il est impératif de chercher à réduire la transmission des vibrations par le support :

a) Socle en béton → Privilégier l'installation de la PAC sur un socle d'inertie

Les deux principes essentiels à respecter :

- L'inertie du socle
 - Sa masse doit être au minimum de 2 fois la masse de la PAC ;
 - Le socle doit être indépendant du bâtiment.
- Les dispositifs anti-vibratiles
 - Des plots anti-vibratiles doivent être mis en place sous le socle d'inertie. La sélection se fait en fonction de la répartition de la charge (dans le cas d'une répartition inégale de la charge, la sélection peut aboutir à des plots de même nature mais qui peuvent supporter des charges différentes) ;
 - Toutes les reprises de charges sur le bâtiment doivent avoir des dispositifs anti-vibratiles, de la fréquence des vibrations de la PAC, de l'efficacité recherchée (taux de filtrage).

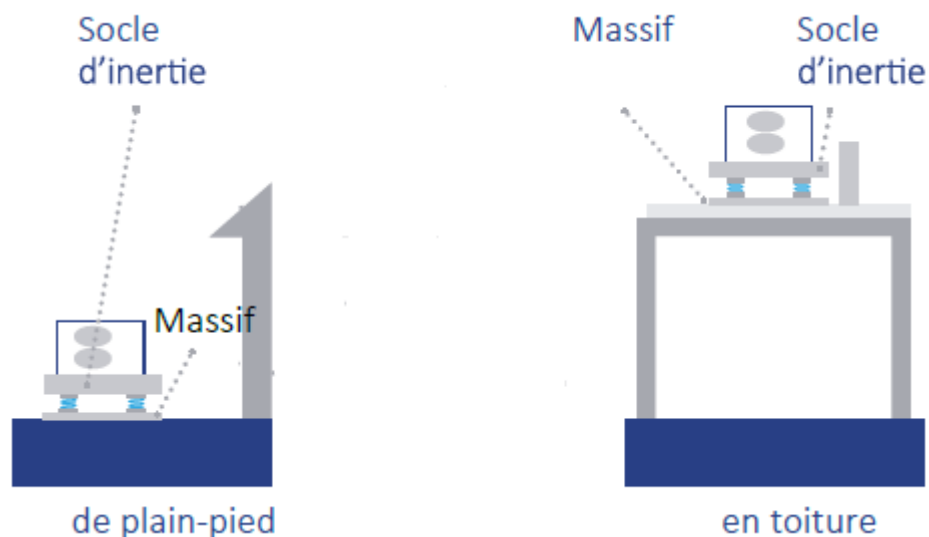


Figure 23 : Installation sur socle en béton

b) Châssis métallique

En cas d'impossibilité d'installation de la PAC sur un socle en béton, on peut utiliser un support métallique avec les précautions suivantes :

- La chaise support doit être très rigide, robuste, avec un minimum de flèche, et installée sur un mur porteur ;
- La sélection des plots anti-vibratiles se fait en fonction de la répartition de la charge, de la fréquence des vibrations de la PAC et de l'efficacité recherchée (taux de filtrage).

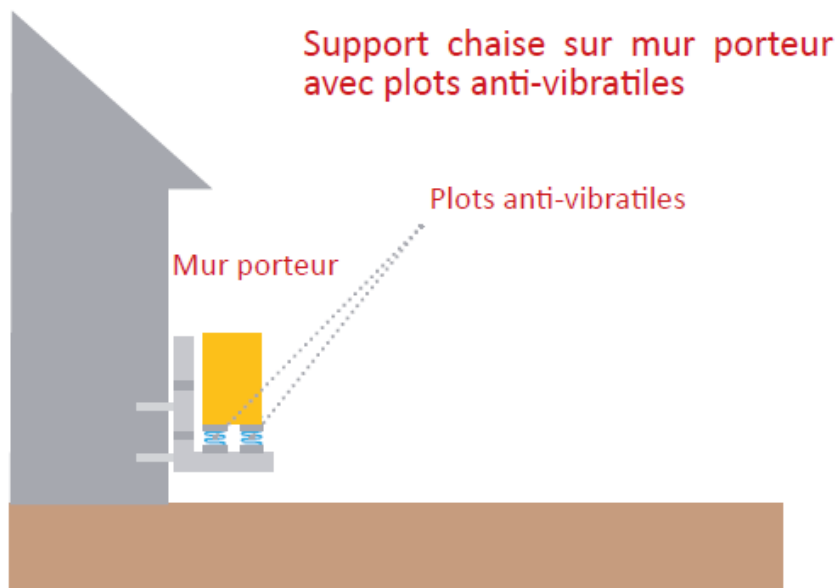


Figure 24 : Installation sur châssis métallique

4.1.4. Evacuation des condensats

Les condensats doivent s'écouler correctement.

Si besoin, notamment dans le cas d'une dalle béton, afin de permettre une bonne évacuation des condensats, la PAC est surélevée d'une hauteur de 50 mm tout en restant de niveau.

L'écoulement des condensats s'effectue sur une surface drainante, dans un lit de cailloux par exemple. Tout risque de gel des condensats sur une zone passante doit être évité.

Dans les zones froides, si une tuyauterie d'écoulement des condensats est utilisée, un ruban chauffant est installé afin de protéger la vidange du gel.

4.2. Implantation de la pompe à chaleur monobloc intérieure

Une pompe à chaleur peut être installée dans un local fermé ou semi-ouvert dès lors qu'elle est équipée d'un réseau d'amenée d'air neuf et de rejet à l'extérieur avec ventilateur spécifique (ayant de la pression disponible).

L'installation des conduits d'air doit être conforme aux préconisations du constructeur (longueur, section, matériaux absorbants...). A défaut :

- Les grilles de prise d'air et de rejet d'air avec grillage anti-volatiles en acier galvanisé doivent être dimensionnées sur la section libre de passage avec une vitesse maximale de 2,5 m/s. L'étanchéité à l'air de tout le périmètre des grilles de prise d'air ou de rejet doit être respectée. Une isolation thermique et acoustique est mise en place sur tout le périmètre des grilles et l'épaisseur du percement mural ;
- La vitesse de l'air dans les conduits aérauliques doit être limitée à 4 m/s ;
- Les conduits sont de forme circulaire ou rectangulaire. L'étanchéité à l'air est assurée tout le long du réseau ;
- Tous les conduits doivent être calorifugés. Le calorifugeage des conduits en tôle s'effectue côté extérieur, avec un matériau isolant imperméable à la vapeur d'eau pour éviter la condensation entre le conduit aéraulique et l'isolant.

L'installation de la pompe à chaleur doit tenir compte du voisinage et en particulier des chambres. Le cas échéant, des actions spécifiques sur les locaux et sur la machine peuvent être nécessaires afin d'éviter la propagation du bruit.

Une pompe à chaleur monobloc intérieure doit être placée dans un local spécifique, dédié, selon la charge de fluide frigorigène en présence.

4.2.1. Implantation en faux-plafond ou en combles

Une distance suffisante est prévue entre le rejet et la prise d'air. Leur implantation prend en compte les paramètres suivants :

- Le sens des vents dominants ;
- Le changement de façade possible entre le rejet et la prise d'air ;
- Le positionnement préférentiel du rejet en point haut par rapport à la prise d'air neuf.

Le rejet d'air ne doit pas constituer une gêne pour les occupants. Pour y satisfaire, il est admis qu'il doit se situer à une distance minimale de 0,40 m de toute baie ouvrante et de 0,60 m de toute entrée d'air de ventilation. Ces deux distances s'entendent de l'axe de l'orifice d'évacuation au point le plus proche de la partie ouvrante (porte, fenêtre, châssis) ou de l'orifice d'entrée d'air de ventilation.

L'implantation en combles est à éviter dans la mesure de possible ou sinon doit faire l'objet d'un soin très attentif de façon à maintenir l'isolation globale du logement.

La prise d'air et le rejet d'air dans les combles sont à proscrire.

En cas de prise d'air ou/et de rejet en toiture, un chapeau spécifique est prévu à chaque fois avec une section de passage créant une vitesse maximale de 2,5 m/s.

4.2.2. Implantation en local spécifique

Lorsque la charge de fluide frigorigène est supérieure à la limite calculée par la norme NF EN 378-1, la pompe à chaleur est installée dans un local technique ou une salle des machines spécifique ou encore à l'air libre.

Pour calculer la charge maximale, les paramètres à prendre en compte sont les suivants :

Classement du fluide frigorigène ;

Occupation des locaux : les locaux résidentiels sont dans la classe A – occupation générale. Les locaux techniques ou salles de machines sont considérés comme inoccupés ;

Catégorie du système : il est direct du fait que le condenseur ou l'évaporateur est en contact direct avec l'air ou le milieu à chauffer ou à refroidir ;

Emplacement du système : le système peut être en partie (pompe à chaleur en éléments séparés) ou en totalité (pompe à chaleur monobloc) dans un local technique voire même en dehors d'un local technique c'est-à-dire dans un espace occupé par l'homme ou à l'air libre.

	Non inflammable	Inflammable		
	Classe 1	Classe 2L	Classe 2	Classe 3
	Non inflammable	Légèrement inflammable [=classe 2ET vitesse de combustion $\leq 10\text{cm/s}$]	Inflammable	Extrêmement inflammable
Classe A : faible toxicité	R-744 (CO ₂)	R-1234yf/ze (HFO)	R-152a	R-290* R-600a*
	R-410A, R-407C	R-32		
Classe B : forte toxicité		R-717 (ammoniac)		

(*) Seuls les systèmes scellés en usine ayant une charge inférieure à 150 g de fluide frigorigène A2 ou A3 peuvent être installés dans un espace occupé qui n'est pas une salle des machines, sans restriction.

Figure 25 : classement des fluides frigorigènes pouvant être utilisés dans les pompes à chaleur en habitat individuel

4.3. Implantation des unités intérieures

Les unités intérieures utilisées sont généralement :

- Une ou plusieurs unités disposées en faux-plafond associées à un réseau aéraulique de soufflage d'air ;
- Plusieurs unités à émission directe disposées dans chaque pièce principale.

4.3.1. Implantation de l'unité intérieure associée à un réseau aéraulique

a) Constitution

On favorise une filtration de l'air recyclé placée au niveau de la reprise d'air de la machine elle-même. L'unité de soufflage possède au moins les éléments suivants :

- Une gaine isolée :
L'isolant est équipé d'un revêtement évitant la dispersion de particules. Si besoin, toute précaution est prise pour éviter l'entraînement de particules, l'accumulation de poussières dans certaines zones de turbulence, la rétention d'humidité et favoriser le nettoyage et l'inspection ;
- Un ventilateur :
Il est généralement du type centrifuge à une ou plusieurs vitesses de rotation, avec une pression statique disponible, au débit de sélection, compatible avec le réseau aéraulique (de 30 à 120 Pa) ;
- Une batterie réversible :
Sur la plupart des matériels, elle est en tube de cuivre et ailettes en aluminium avec un pas compatible pour les deux modes de fonctionnement ;
- Un bac à condensats calorifugé ;
- Un filtre :
Le filtre doit d'une part protéger les occupants des locaux contre les poussières ou aérosols porteurs de particules biologiques, et d'autre part, les équipements contre l'encrassement ou l'introduction de particules nuisibles à leur fonctionnement. Le filtre utilisé doit être au minimum de classe G4 selon la norme EN 779. Il y a lieu de toujours s'assurer de l'absence de fuite de dérivation autour du filtre. Une trappe de visite doit permettre un accès rapide au filtre afin de pouvoir le contrôler et le nettoyer si nécessaire ;
- Une commande à distance.

Des accessoires à monter au soufflage ou à la reprise peuvent équiper l'unité tels que :

- Un plénum avec grille de diffusion ou d'extraction d'air ;
- Une manchette souple de chaque côté du caisson ;
- Un plénum pour conduits circulaires.

b) Implantation

L'emplacement d'une unité intérieure est défini conformément aux prescriptions fournies par le constructeur. A défaut les quelques règles explicitées ci-après peuvent être employées.

Différentes solutions peuvent être envisagées pour la mise en place des matériels, chacune doit être étudiée au cas par cas selon les dispositions architecturales.

Pose en faux-plafond

Les modèles plafonniers sont suspendus au plafond. Le bac des condensats intègre une légère pente afin de faciliter l'écoulement. Ce qui évite un fonctionnement désaxé du ventilateur et assure sa longévité.

Une trappe de visite située à l'aplomb de l'unité intérieure facilite les opérations d'entretien et de maintenance. Elle est dimensionnée de façon à permettre un accès au filtre et une dépose simple de l'unité intérieure.

Dans le cas d'une reprise centralisée, la grille de reprise peut y être incorporée.

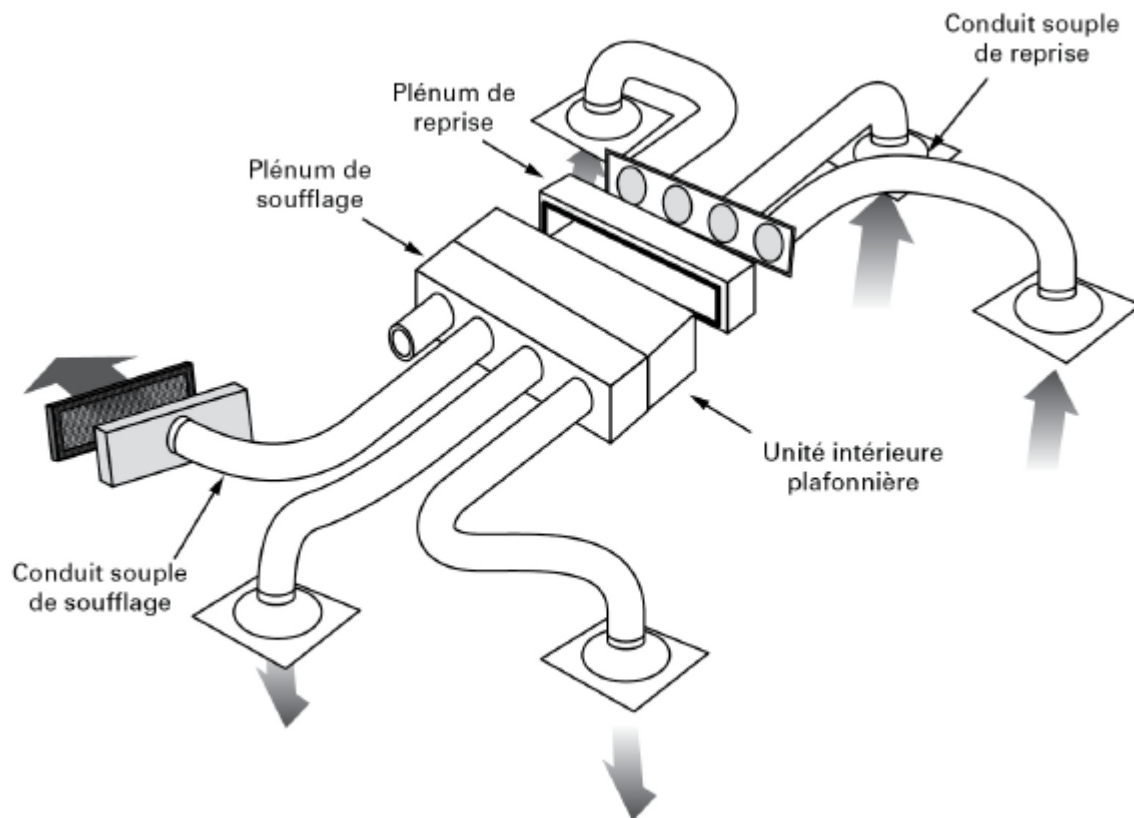


Figure26 : Exemple d'implantation d'une unité intérieure plafonnière

Pose dans un placard

Ces modèles sont installés verticalement contre un mur, soit en suspension murale, soit sur des pieds supports. Si besoin, une hauteur minimale est conservée sous l'appareil afin de permettre le dégagement du filtre.

Il ne doit pas exister de contre pente risquant une stagnation de l'eau dans le bac à condensats.

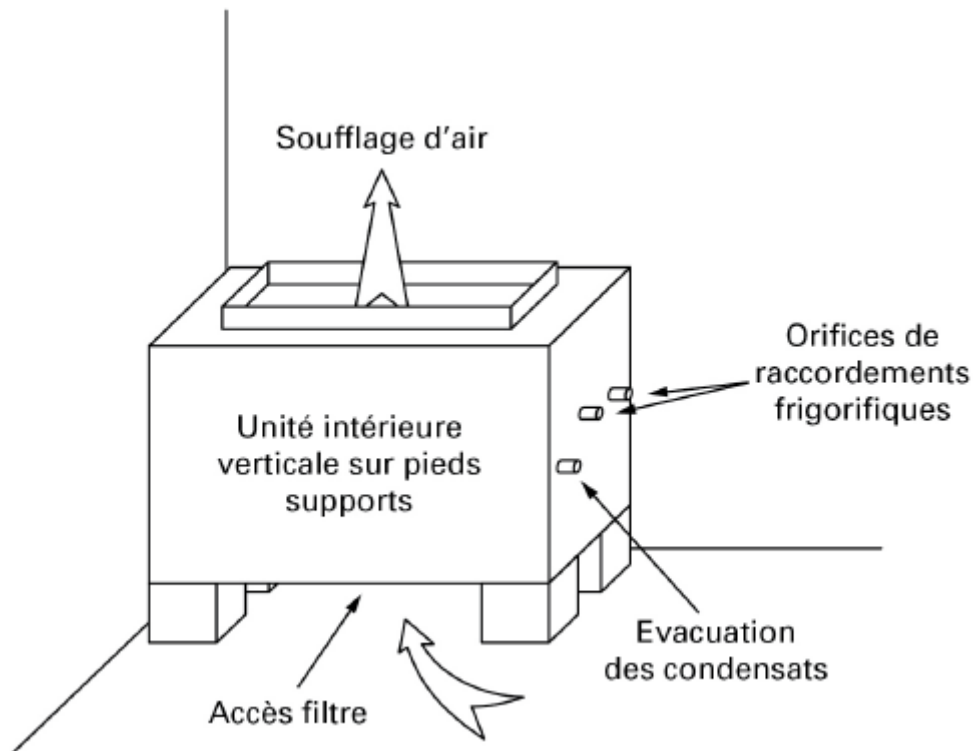


Figure 27: Exemple d'unité verticale

Pose en combles

Cette solution est à éviter dans la mesure du possible ou sinon doit faire l'objet d'un soin très attentif de façon à maintenir l'isolation globale du logement.

L'isolation est placée sous rampant au lieu d'être posée sur les plafonds quand c'est possible. Dans le cas contraire, si l'isolation est posée sur les plafonds les dispositions suivantes sont prises :
 Construction d'un caisson isolé (isolation identique à celle du logement et visitable autour de l'unité ;
 Passage des conduits de soufflage et de reprise sous l'isolant des combles ou rajout d'une couche équivalente d'isolant pardessus les conduits.

Accès

Quelle que soit la solution retenue, le matériel installé doit rester accessible pour les opérations d'entretien.

Il est nécessaire de prévoir des trappes d'accès suffisamment dimensionnées (1m x 0,5 m minimum en fonction du type d'unité installée) pour permettre la maintenance et le remplacement du matériel en cas de besoin.

L'intégration de la machine est prévue de manière à éviter toute propagation de bruit au logement.

Evacuation des condensats

L'évacuation des condensats doit s'effectuer de préférence gravitairement vers l'évacuation la plus proche. La pente de la tuyauterie d'évacuation de ces condensats doit être suffisante (1,5 cm/m au minimum) pour permettre cet écoulement. L'utilisation de pompe de relevage de condensats est à éviter dans la mesure du possible.

Il est recommandé de calorifuger les tuyauteries d'évacuation afin d'éviter des phénomènes de condensation pouvant entraîner des dégradations.

Différentes solutions d'intégration de la tuyauterie d'évacuation sont possibles :

- Création d'un soffite (figure 28) ;
- Passage dans une goulotte en plinthe ;
- Cheminement en faux-plafond, ou en combles.

Un siphon doit être installé avant le raccordement à l'égout pour éviter la remontée d'odeurs nauséabondes avec une garde d'air (tuyauterie non collée au siphon).

Dans le cas d'une unité intérieure raccordée à un réseau aéraulique, il convient de faire attention à la pression totale du ventilateur.

Comme il est représenté ci-dessous, pour permettre une bonne évacuation des condensats, la hauteur minimale de siphon H (mm) est au moins égale à deux fois la pression négative (mm eau) existant dans l'appareil en fonctionnement (avec 1 mm eau = 10 Pa).

La hauteur totale entre la sortie de l'unité intérieure et le bas du siphon est de deux fois la hauteur minimale H (mm).

Si un faux-plafond existe, les condensats des appareils de l'étage peuvent être recueillis à l'aide d'une tuyauterie installée dans ce faux-plafond.

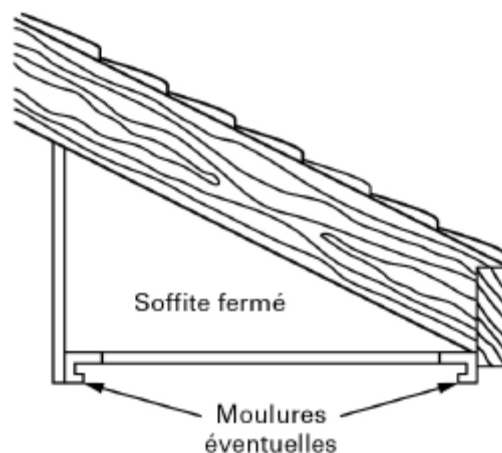


Figure 28 : Exemple de soffite créé pour passage de la tuyauterie d'évacuation des condensats

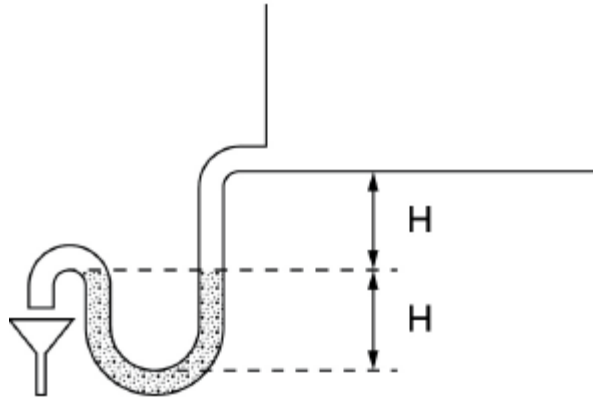


Figure 29 : Hauteur minimale du siphon sur la tuyauterie d'évacuation des condensats pour une unité intérieure raccordée à un réseau aéraulique

Implantation des unités intérieures à émission directe.

Le choix du type d'unité intérieure à implanter se fait en fonction de la disponibilité de la place au sol, au mur ou dans la surface de plafond utilisable.

Le choix est fait en accord avec le maître d'ouvrage et l'architecte sur leurs préférences en termes de fonctionnalité et d'esthétique.

Les différentes solutions les plus utilisées sont les suivantes :

- Unité murale ;
- Unité d'angle ;
- Console posée au sol ou en allège ;
- Plafonnier simple ou plafonnier de coin ;
- Cassette extra plate murale.

Les grands principes d'implantation d'air suivants sont respectés :

- Choisir un emplacement où les orifices d'aspiration et de soufflage sont libres (attention aux rideaux) ;
- Être attentif aux obstacles éventuels (poutre, refend, luminaire...) ;
- Prévoir un accès autour de l'appareil pour les opérations de maintenance ;
- Éviter un emplacement soumis à un ensoleillement direct ;
- Veiller au respect de l'architecture et de la pièce à traiter.

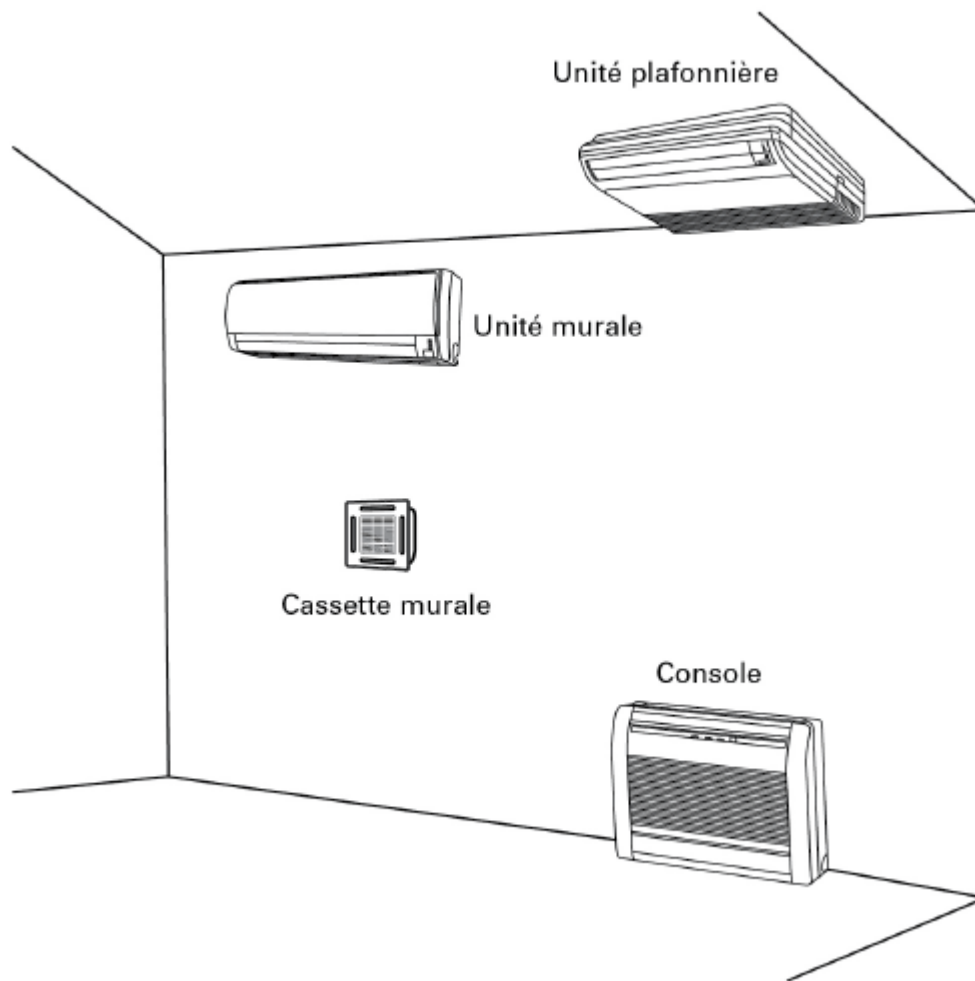


Figure 30 : Exemples d'unités intérieures en habitat

5. Ce qu'il faut savoir sur les fluides frigorigènes

GES, EQ CO₂, GWP (ou PRP) : QUELLE SIGNIFICATION ?

Les fluides HFC sont considérés comme des gaz à effet de serre (GES). Mais tous les réfrigérants n'ont pas le même impact sur le réchauffement climatique. Pour calculer les émissions de chacun : une référence comme unité de mesure, le poids en équivalent CO₂ (eq CO₂).

Pour calculer l'impact de chacun sur le réchauffement planétaire : un indicateur, le GWP (ou PRP), qui donne la propriété radiative de chacun des fluides.

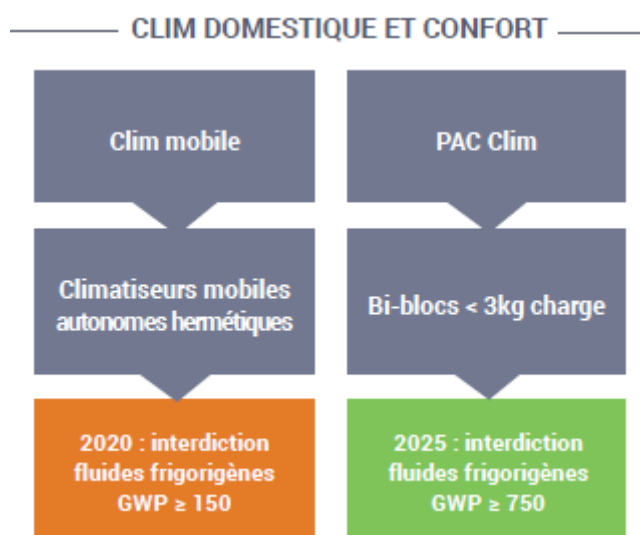
5.1. La réglementation F-GAZ

la réglementation F-Gas révisée 517-2014 ne prononce pas d'interdiction de principe à l'encontre des fluides HFC. Elle ne prévoit pas non plus leur suppression pure et simple pour les installations neuves.

Certes, F-Gas annonce l'interdiction de mise sur le marché de certains équipements avec des fluides HFC dans les secteurs du froid-commercial et de la clim mobile.

Certes, l'ensemble des fluides HFC est impacté par la diminution graduelle des émissions de gaz à effet de serre (GES) prévue pour toutes les solutions de chaud ou de froid jusqu'en 2030.

Reste qu'aujourd'hui, la clim de confort pour le logement et le tertiaire est peu touchée par F-Gas. Les HFC pourront être associés à ces solutions jusqu'en 2025 pour le résidentiel et au-delà pour le tertiaire !



VERS UNE MIXITÉ DES REFRIGÉRANTS

Aucune réglementation nationale ou européenne ne préconise l'usage d'un fluide universel, naturel ou alternatif, applicable à toutes les solutions froid-clim & PAC.

De fait, les impératifs posés par F-Gas conjugués à la mobilisation des fabricants conduisent à une offre plurielle : à chaque application ses réfrigérants alternatifs !

Les Fluides HFC (Hydro Fluoro Carbures) représentent la 3ème génération de réfrigérants. Ils constituent une solution moyen terme pour la clim de confort.

Quelques fluides de référence :

- Le R-410A, avec un GWP de 2088, il est considéré comme moyennement polluant.
- Le R-32 est considéré comme relativement peu impactant pour l'environnement avec un GWP de 675.
Il constitue une alternative au R-410A au-delà de 2025 pour les petites climatisations bi-blocs.
- Le R-404A essentiellement utilisé pour la réfrigération commerciale. Avec un GWP de 3920, c'est un gaz à effet de serre très élevé (GWP > 2500).

Les Fluides HFO (Hydro Fluoro Oléfines) sont les réfrigérants de 4ème génération particulièrement adaptés et déjà développés pour les groupes de production d'eau glacée (Chiller). Leur GWP très faible est proche de celui du CO₂.

Dans cette famille, nous trouvons :

- Le R-1234-yf, plutôt destiné à la clim automobile et offrant un faible GWP de 4.
- Le R-1234-ze, plutôt dédié au tertiaire (chillers) avec un faible GWP de 7.
- Le R-1233-zd utilisé pour les chillers de forte puissance, tels les compresseurs centrifuges, avec un GWP de 4,5.

Les fluides dits "naturels" utilisés pour des applications spécifiques. Ils représentent une solution durable, notamment dans les applications de froid-commercial.

Exemple :

- Le R-290 dit "Propane" avec un GWP de 3, pour le petit froid-commercial (vitrines...) ou en circuit primaire refroidissant de l'eau glycolée.
- Le R-744 dit "CO₂" avec un très faible GWP égal à 1, y compris pour les unités de condensation et les vitrines (groupes plug-in).

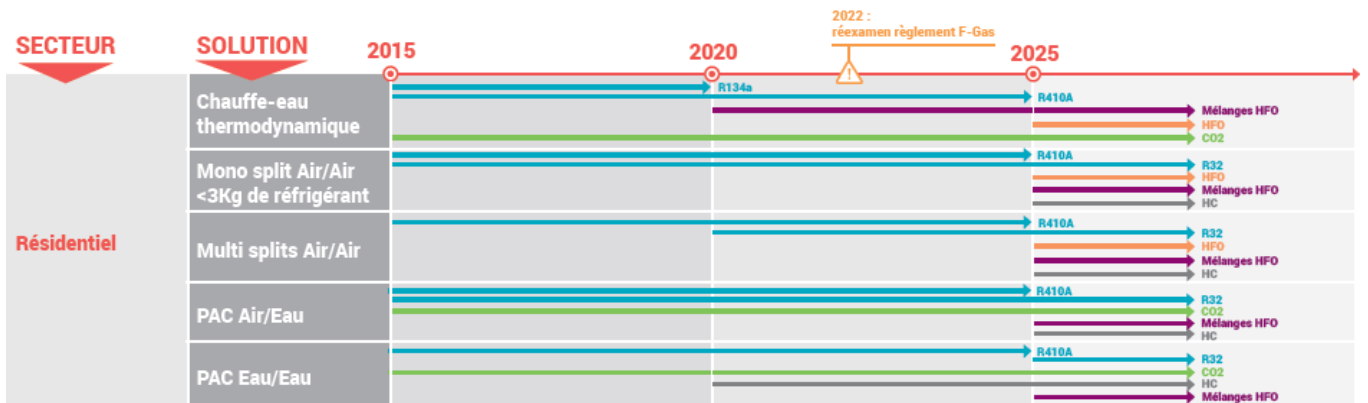
Les mélanges HFC/HFO, créés pour remplacer les HFC de référence grâce à des GWP plus faibles.

Dans cette famille, nous trouvons notamment :

- Le R-452A : fluide non inflammable avec un GWP de 2140, solution universelle de moyen terme venant en remplacement du R-404A y compris pour la congélation. Utilisable au-delà de 2022 pour les équipements de réfrigération fixe.
- Le R-513A : fluide non inflammable avec un GWP de 631, solution de moyen terme proposée en alternative au R-134a.
- Les R-454C et R-455A, fluides légèrement inflammables avec un GWP inférieur à 150, solutions de long terme utilisées en remplacement du R404A.

5.2. Les fluides disponibles

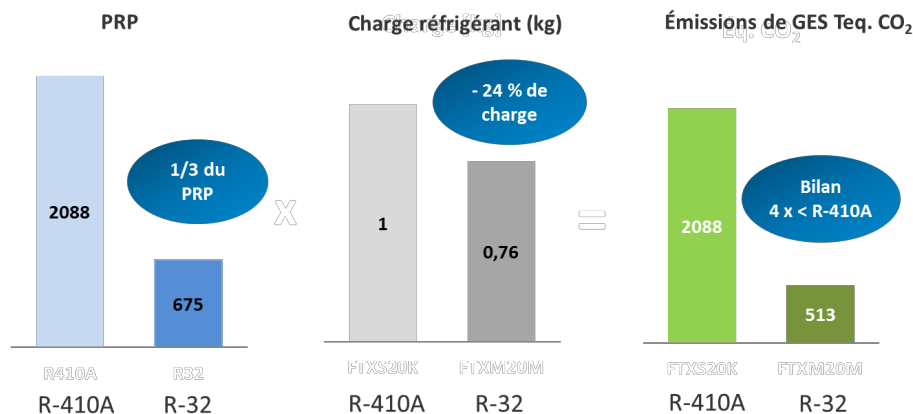
Avec la carte présentée ci-dessous, les industriels froid-clim & PAC proposent une vision à 10 – 15 ans de ce que sont et pourraient être les couples produits/ réfrigérants disponibles sur le marché. Une mise en perspective qui s’adresse à l’ensemble des professionnels du secteur. Ce panorama intègre les exigences de F-Gas comme les réalités techniques propres à chaque solution. Il consacre les HFC comme fluide de référence pour la climatisation de confort et tertiaire jusqu’en 2025, au moins.



LE FLUIDE HFC R-32

Le fluide HFC R-32 est considéré comme une alternative intéressante au R-410A sur le marché de la climatisation de confort grâce à un GWP de 675. Plus de 27 millions d’unités R-32 sont installées dans le monde.

Estimations d’impacts environnemental en équivalent CO₂ d’un PAC air/air réversible de 2kW (R-410A vs R-32)



Le R-32 possède un GWP suffisamment faible pour s’assurer un avenir sur le secteur de la climatisation de confort après 2025.

Il possède une meilleure capacité thermique que le R-410A. A efficacité égale, moins de fluide utilisé. Réfrigérant à composant unique, le R-32 est facile à manipuler, récupérer et recycler.

Le R-32 est classé “légèrement inflammable” (A2L).

La norme EN60335-2-40-ed6 définit les dimensions minimales des pièces pour les installations utilisant des réfrigérants inflammables, et donc en l’occurrence les produits fonctionnant au R32. La dimension minimale de la pièce dépendra de la quantité de réfrigérant et du type d’unités installées.

Conséquence, l’installateur doit respecter des surfaces et volumes minimum en relation avec la charge :

- En volume, sa limite d’inflammabilité :
1m³ = 0.307 kg de R-32 max.
- En volume, le risque de toxicité indique :
1m³ = 0.300 kg de R-32 max.

Classé A2L, pour utiliser du R-32 dans les solutions de climatisation à détente directe dédiées aux établissements recevant du public (ERP) tels que les écoles, salles de spectacle, hôtels, le respect de l’article CH 35 des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d’incendie et de panique dans les établissements recevant du public s’impose.

Mise en œuvre :

D’un point de vue de l’outillage nécessaire pour l’installation ou la maintenance, il y a peu de différences avec le matériel utilisé pour le R410A. La plupart des outils sont compatibles

Outils compatibles entre le R-32 et le R410A

- Cylindre de charge
- Cintrouse
- Outil d’évasement
- Clé dynamométrique
- Coupe tubes
- Pompe à vide
- Balance

Modifications ou adaptations nécessaires :

- Adaptateur sur la bouteille (différent pas de vis)
- Manomètre (modèle différent)
- Unité et bouteille de récupération (adaptées aux fluides inflammables)
- Détecteur électronique de fuites (adapté aux fluides inflammables)

Les différences principales concernent le manomètre, la bouteille de récupération et le détecteur de fuite. Il faut prévoir un adaptateur sur la bouteille car le pas de vis est inversé par rapport au R410A afin éviter toute erreur de manipulation ...

LE FLUIDE R-744, DIT “CO₂”

Avec un GWP égal à 1, le R-744 constitue sans aucun doute la solution la plus propre en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) !

Le réfrigérant connaît aujourd'hui un franc succès sur les marchés du neuf en froid-commercial et pour la production d'eau chaude sanitaire avec plus de 5 millions de chauffe-eaux thermodynamiques CO₂ installés dans le monde. Déjà présent en pompe à chaleur, il va se développer dans le résidentiel individuel, collectif et dans la climatisation automobile.

Doté d'un très faible GWP, le R-744 s'obtient à partir du traitement des fumées dégagées par les sites industriels.

Le R-744 peut provoquer les symptômes typiques de l'anoxie en cas de concentration dans un air stagnant (dès 7%). Aussi, l'installateur est invité à travailler dans un espace ventilé.

Aucune habilitation spécifique obligatoire n'est requise pour la manipulation du CO₂. Cependant, les installateurs sont incités à se former à ce type de gaz et au travail sur les réseaux à haute pression.

LES FLUIDES HFO

Les Hydro Fluoro Oléfines (HFO) sont des fluides frigorigènes de 4^{ème} génération. Issue du marché de la clim-auto, cette famille de réfrigérants alimente surtout les nouveaux chillers pour grand tertiaire et les réseaux urbains de chaleur ou de froid. En 2015, 6 200 chillers sont installés en France.

Avec des GWP très faibles, les fluides HFO ne sont pas concernés par la réduction des quantités de HFC prévue par le règlement F-Gas. Ils réduisent fortement l'impact environnemental des réfrigérants comparativement aux HFC.

En outre, ces solutions s'avèrent assez efficaces au niveau thermique.

RÉSULTAT : les fabricants de chillers font, dès à présent, le pari du tout HFO.

Les fluides HFO s'adaptent assez bien à d'autres solutions froid-clim, en remplacement du R-134A.

Leur légère perte de performance est compensée par des conceptions produits optimisées.

Les fluides HFO sont classés “légèrement inflammable” (A2L) : ils ne peuvent être associés aux solutions DRV destinées aux établissements recevant du public (ERP – cat. 1,2,3 et 4).

Le marché des chillers est naturellement destiné aux ERP.

L'utilisation d'un chiller HFO n'est autorisée dans les ERP qu'avec une limitation de charge à 150 kg.

Cela correspond à une puissance frigorifique d'environ 650kW. Cette limite correspond aux fluides A2 nettement plus inflammables. Les fabricants travaillent à la réduction des charges mais cette limite peut pénaliser cette solution prometteuse.

LE FLUIDE R-290, DIT “PROPANE”

Les fluides à base d’hydrocarbure (HC) incarnent un avenir possible pour les solutions froid individuelles - telles les vitrines - et les unités de condensation en froid négatif. Le R-290 présente un GWP égal à 20.

Un rendement énergétique élevé, une température de refoulement basse même en froid négatif, d’une grande pureté, le R-290 assure une longue durée de vie aux solutions auxquelles il est adjoint.

Aujourd’hui, la réglementation anti-incendie (CH 35) définit le propane comme un gaz inflammable et explosif. A ce jour, pour des raisons de sécurité, la charge maximale de R-290 autorisée dans les appareils destinés au froid commercial est fixée à 150 grammes.

Dans l’attente d’une adaptation de la réglementation, les professionnels de la distribution sont dans l’obligation de demander des dérogations aux autorités pour réaliser des installations contenant du propane en quantité supérieure.

6. Economies d'énergie escomptées

Cette étude de sensibilité a été réalisée en 2011 par



Ses résultats sont publiés en accord avec le commanditaire



L'objectif de cette étude est de déterminer, en maison individuelle chauffée à l'électricité, quels sont les bouquets de travaux les plus performants en rénovation, suivants des critères techniques, économiques et environnementaux.

Les bouquets de travaux sont étudiés sur 3 périodes constructives afin de mieux appréhender la majeure partie du parc existant :

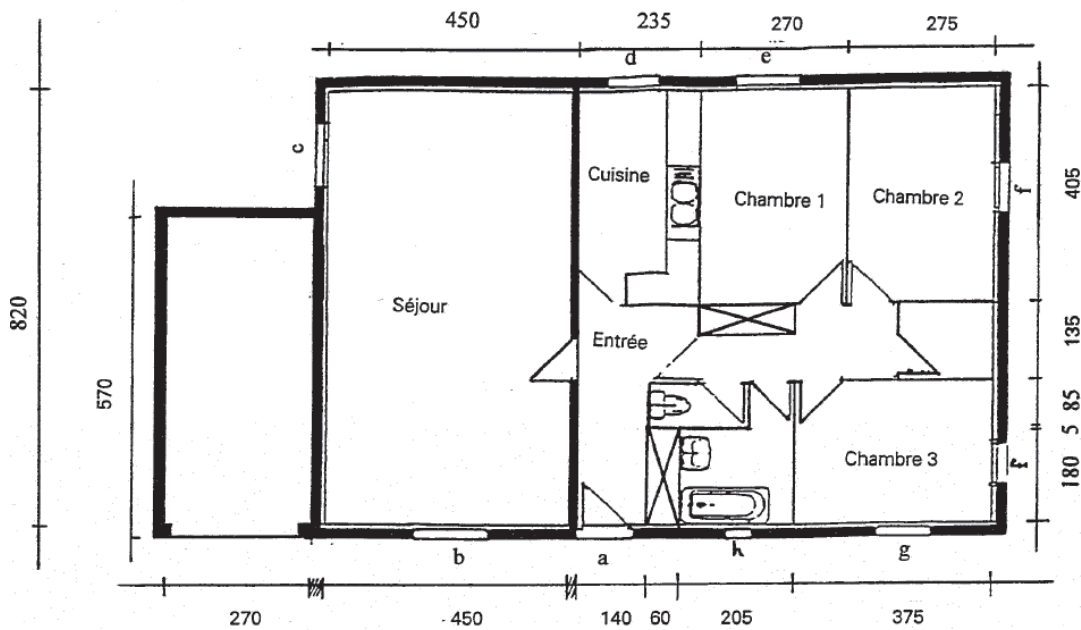
- Avant 1974
- Entre 1974 et 1982
- Entre 1982 et 1989

Tous les calculs sont réalisés à partir de Perrenoud U48 Version utilisant la version 1.0.3 du 05/02/09 du moteur **ThCE-ex** conçu par le CSTB.

6.1. Domaine de l'étude

L'étude porte sur deux maisons représentatives du parc des maisons individuelles en France

✓ Maison MOZART



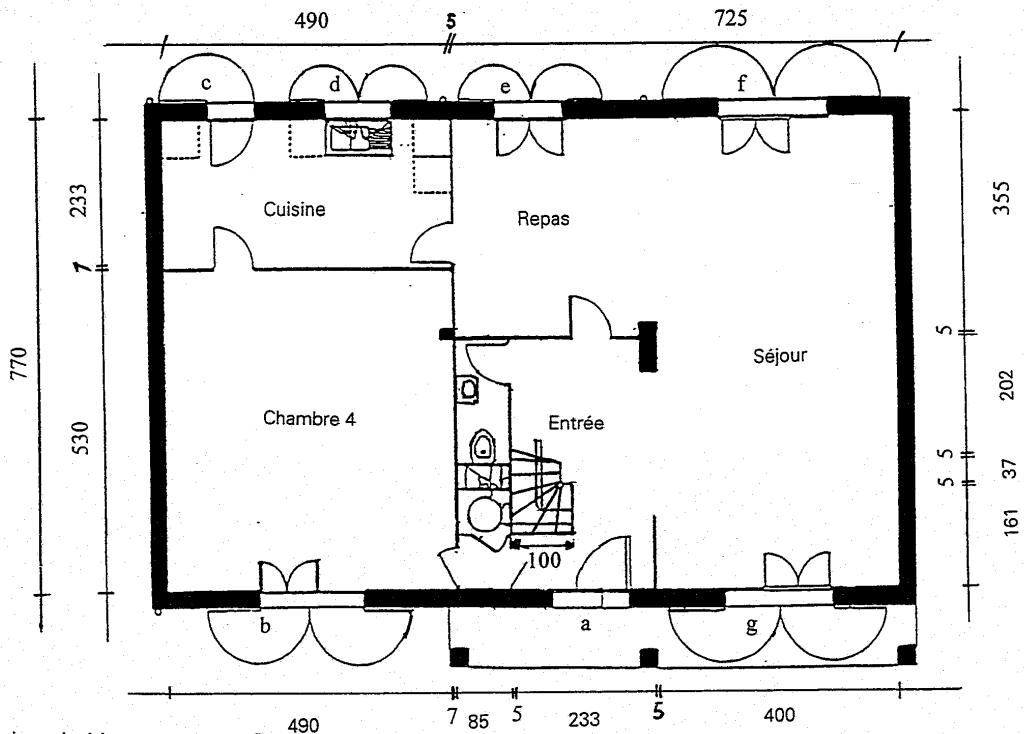
Pièce	Surface (m ²)
séjour	36,5
cuisine	9,5175
ch1	10,935
ch2	11,1375
ch3	10,125
entree	14,31
SDB + WC	7,155
Total	99,68

type	T4
SHON m ²	115,6
SHAB m ²	99,84

✓ Maison GERSHWIN

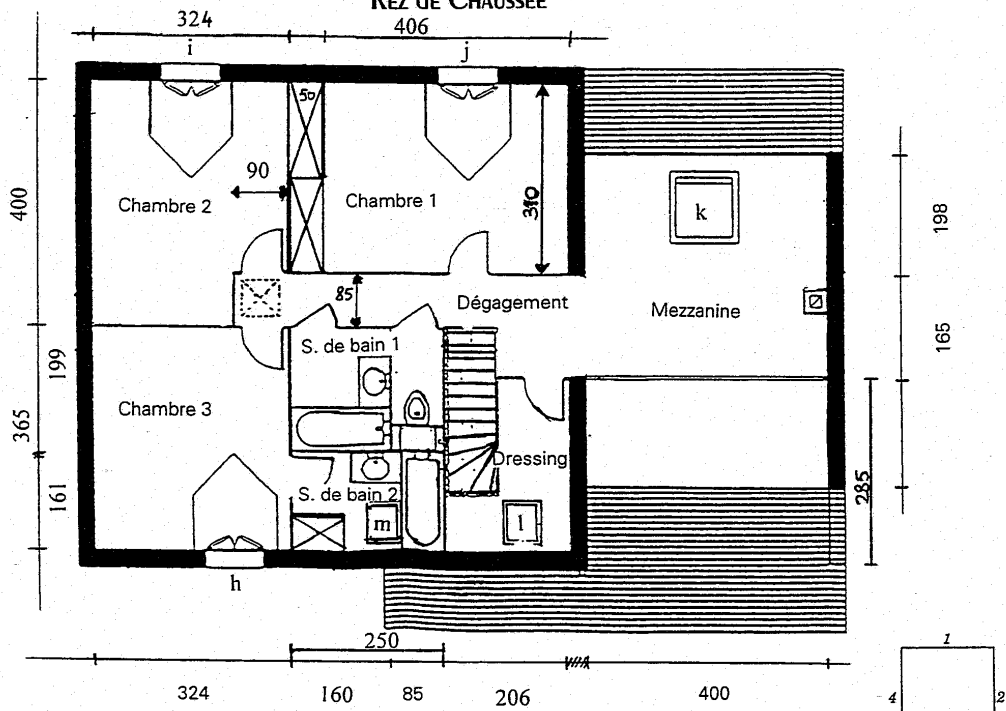


GERSHWIN



Cloisons intérieures : e = 5 ou 7

REZ DE CHAUSSEE



ETAQE

type	T7
SHON m ²	183,5
SHAB m ²	158,51

6.2. Améliorations thermiques du bâti

A partir d'un état initial défini conformément à la réglementation thermique appliquée au moment de la construction, des travaux d'amélioration du bâti sont projetés et intégrés dans les calculs de performance.

Le détail de ces travaux est décrit ci-dessous.

Murs

L'amélioration thermique de murs est réalisée par l'ajout d'un isolant de résistance thermique $R=2,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Soit **10 cm de Laine de roche Ecorock** ($0,036 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$) par l'extérieur sous enduit.

Combles

Les combles reçoivent un isolant de résistance thermique $R=5 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$.

Soit **16 cm de laine de verre** ($0,032 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$) en double couche croisée pour recouvrir les solives.

Menuiseries

Les menuiseries prise en considération sont des menuiseries bois 4/16/4 peu émissif à lame d'argon.

$$U_w=1,6 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Plancher bas

Pour la maison Mozart, sur terreplein, aucune amélioration thermique n'est prise en compte pour le plancher bas.

Par contre, pour la maison Gershwin, il est prévu une isolation du plancher sur cave de résistance thermique $R=2 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$, soit **8 cm de laine de verre** ($0,04 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$), respectant la réglementation thermique de l'existant.

Perméabilité à l'air

Le but est d'atteindre le niveau de performance BBC Rénovation, la valeur de la perméabilité est de **$0,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$** dans le cas des maisons individuelles. Par contre cette valeur n'est prise que lorsque tout le bâti est rénové : murs/fenêtres/combles. Si ces trois parois ne sont pas rénovées, la valeur prise en compte est la valeur par défaut ($1,7 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) définie dans la RT Ex.

6.3. Amélioration des équipements

A partir d'un état initial défini conformément à la réglementation thermique appliquée au moment de la construction, des travaux d'amélioration des équipements sont projetés et intégrés dans les calculs de performance.

Le détail de ces travaux est décrit ci-dessous.

Pour tous les cas, une régulation par horloge et thermostat d'ambiance est mise en place.

Production d'ECS

Pour chaque système de production de chauffage, 2 systèmes de production d'ECS ont été testés :

Ballon électrique (idem existant)

- Volume = 260L
- P = 3 kW
- Cr = 0,18 Wh/L.K.jour

Ballon thermodynamique

- Volume=285 L
- COP +7°C=2,67

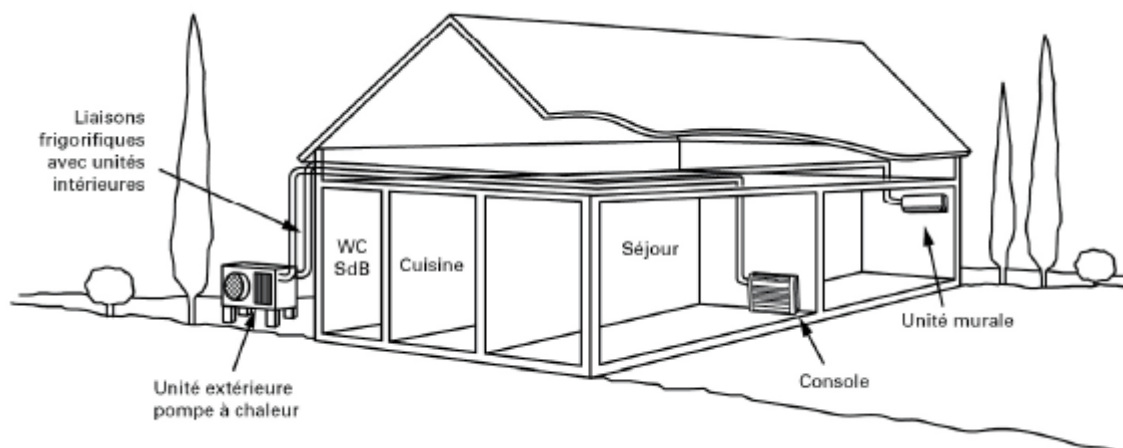
Panneaux rayonnants

Tous les convecteurs existants sont remplacés par des panneaux rayonnants.

Les pièces humides sont également équipées de panneaux rayonnants.

PAC air/air type multi-split

Le système se présente ainsi :



La PAC air/air est utilisée pour le chauffage.

L'unité extérieure est raccordée à des unités intérieures murales recyclant l'air intérieur.

Dans notre cas, il n'a été pris que des unités murales.

- ✓ Maison Mozart
 - 1 unité extérieure
 - P=16,21 kW
 - COP +7/20 = 3,38 (valeur eurovent)
 - COP -7/20 = 2.86 (valeur eurovent)
 - 6 unités intérieures calibrées en fonction des besoins

La puissance de soufflage de toutes les unités intérieures est prise à 152 W :

- 5 unités à 24 W
- 1 unité à 32 W

✓ Maison Gershwin

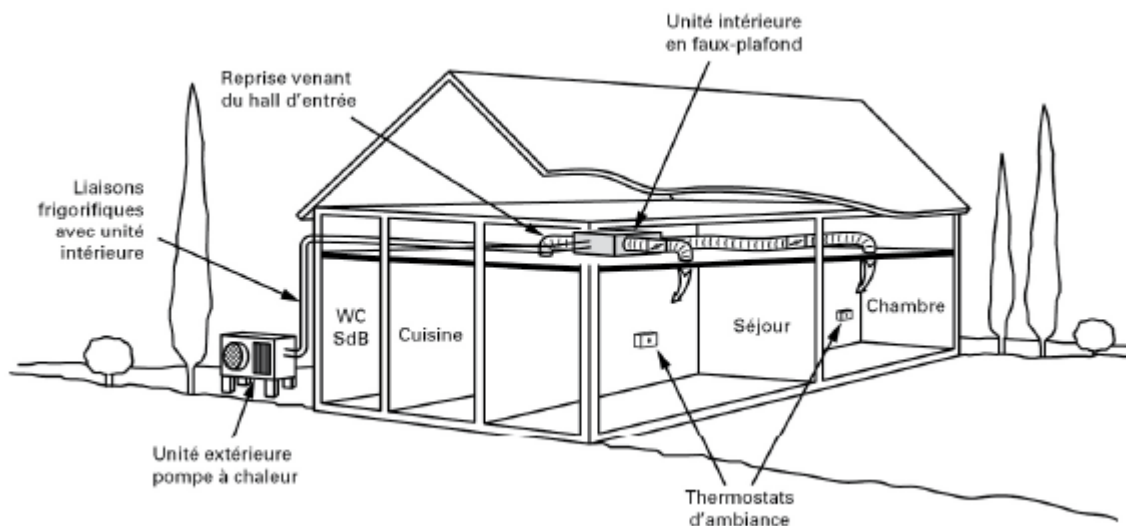
- 1 unité extérieure
P=17,63 kW
COP +7/20 = 3.51 (valeur eurovent)
COP -7/20 = 2.78 (valeur eurovent)
- 8 unités intérieures

La puissance de soufflage de toutes les unités intérieures est prise à 188 W :

- 7 unités à 24 W
- 1 unité à 20 W

PAC air/air type gainable

Le système se présente ainsi :



L'air intérieur est recyclé pour être réchauffé par l'unité intérieure puis distribuée dans chacune des pièces de vie à travers un plénum.

Les pièces humides doivent être chauffées indépendamment par des appareils à effet joule direct (panneaux rayonnants dans notre cas). En effet, l'air de ces pièces humides ne doit pas être pris dans un flux d'air recyclé par l'unité intérieure, ce qui poserait des problèmes de gestion de l'humidité de l'air.

Il est à noter que la ventilation ne peut pas être de type hygroréglable de type B car elle n'est pas reconnue compatible avec les systèmes de climatisation à recyclage dont fait partie le système. Pour les simulations avec le système présent, il est pris en compte une VMC Hygro A.

L'unité extérieure du système plénum simple est :

- ✓ Maison Mozart
 - Modèle
 - P = 6 kW
 - COP +7/20 = 3,61 (valeur documentation constructeur)
 - Appoint électrique de 2 kW

- ✓ Maison Gershwin
 - Modèle
 - P = 8 kW
 - COP +7/20 = 3,61 (valeur documentation constructeur)
 - Appoint électrique de 2.5 kW

Ventilation

La ventilation est un paramètre très important pour maintenir une qualité d'air intérieur satisfaisante, ainsi que pour éviter l'apparition de moisissures dues à l'humidité rejetée par l'activité des occupants. Cependant le système de ventilation peut aussi être à l'origine de pertes énergétiques importantes si celui-ci est mal pensé ou dimensionné.

✓ **Ventilation mécanique simple flux hygroréglable de type B**

La puissance du ventilateur a été définie comme suit :

- 10,5 W pour Mozart
- 11,9 W pour Gershwin

Ce type de ventilation est mis en œuvre pour tous les cas réhabilités à effet joule direct (panneaux rayonnant) et PAC air/air VRV.

✓ **Ventilation mécanique simple flux hygroréglable de type A**

La puissance du ventilateur a été définie comme suit :

- 10,5 W pour Mozart
- 11,9 W pour Gershwin

Ce type de ventilation est mis en œuvre pour tous les cas réhabilités à effet joule direct (panneaux rayonnant) et PAC air/air type gainable.

✓ **Ventilation mécanique simple flux autoréglable**

La puissance du ventilateur a été définie comme suit :

- 25,9 W pour Mozart
- 31,75 W pour Gershwin

Ce type de ventilation est mis en œuvre sur tous les cas effet joule direct avec réhabilitation du bâti seul.

6.4. Consommations annuelles en fonction des lots de travaux réalisés

Les simulations donnent les résultats suivants

6.4.1. Maison Mozart zone H1a

Lots de travaux

Existant : situation conforme à l'année de construction.

Bâti seul + Auto : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation autoréglable a été installée.

Multi+ C + F + HB : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

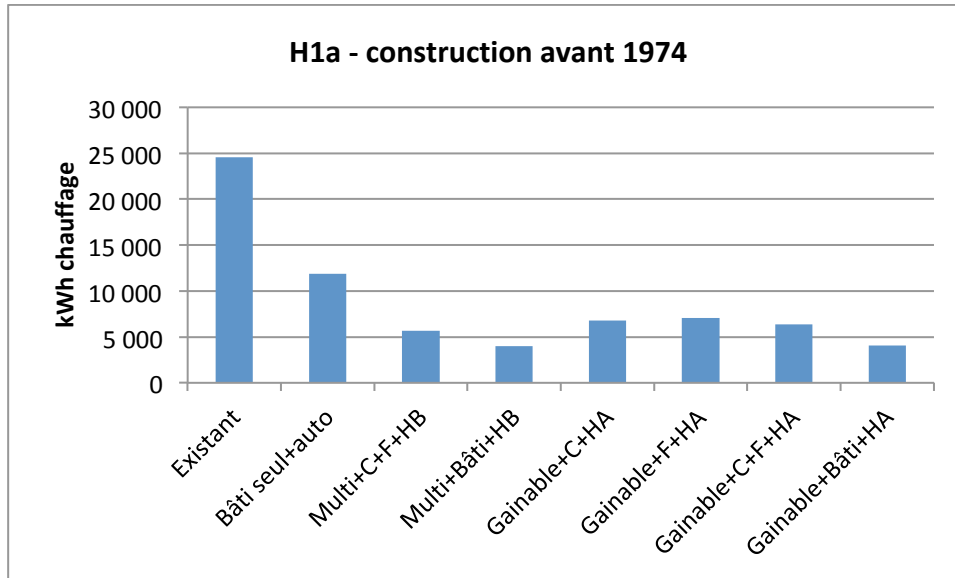
Multi+ Bâti + HB : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

Gainable + C + HA : les combles ont été isolés, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

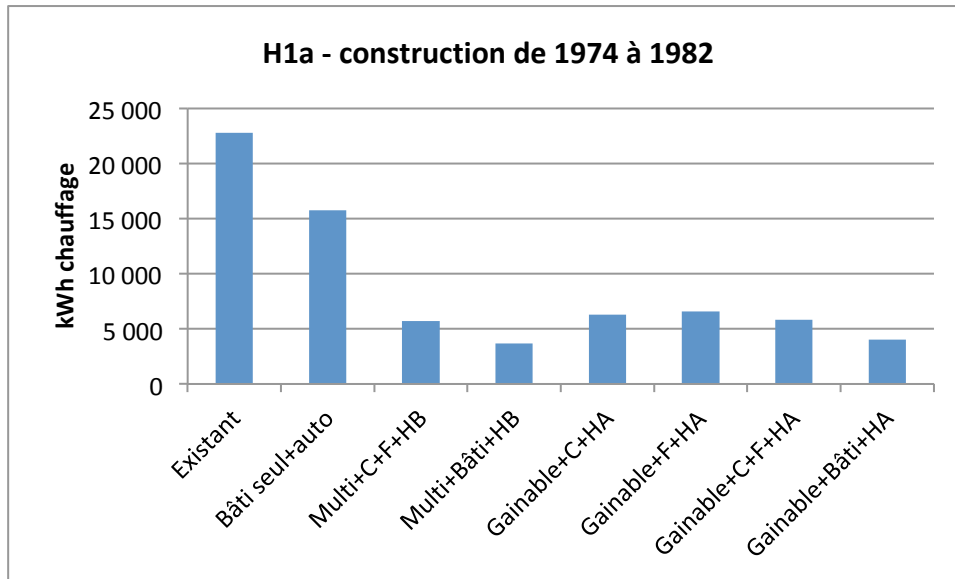
Gainable + F + HA : les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

Gainable + C + F + HA : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

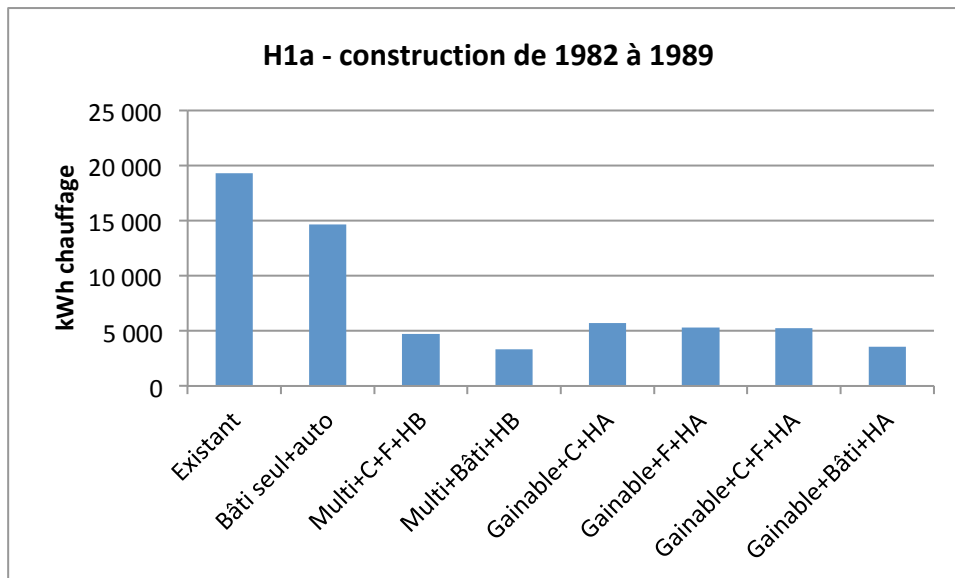
Gainable + Bâti + HA : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.



H1a Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWhef/an	ECS kWhef/an	
avant 1974	existant	0,55	2,90	1,05	0,95	conv	ballon	nat	24 578	3 311
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	11 859	3 311
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	5 689	2 920
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	4 005	2 920
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	5 650	1 210
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 971	1 210
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	6 789	2 920
			X			PAC + Conv	Joule	HA	7 072	2 920
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	6 344	2 920
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	4 055	2 920
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	6 740	1 210
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	7 021	1 210
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	6 295	1 210
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	4 013	1 210



H1a Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/an	ECS kWh/an	
1974-1982	existant	0,55	2,90	0,80	0,76	conv	ballon	auto	22 770	3 311
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	15 768	3 311
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	5 713	2 920
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	3 649	2 920
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	5 676	1 210
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 615	1 210
	PAC R/R gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	6 281	2 920
			X			PAC + Conv	Joule	HA	6 578	2 920
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	5 845	2 920
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	4 014	2 920
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	6 233	1 210
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	6 528	1 210
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	5 797	1 210
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	3 971	1 210



H1a Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1982-1989	existant	0,25	2,85	0,70	0,67	conv	ballon	auto	19 285	3 311
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	14 648	3 311
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	4 738	2 920
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	3 302	2 920
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	4 701	1 210
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 270	1 210
	PAC R/R gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	5 730	2 920
			X			PAC + Conv	Joule	HA	5 296	2 920
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	5 257	2 920
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	3 534	2 920
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	5 684	1 210
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	5 250	1 210
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	5 211	1 210
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	3 494	1 210

6.4.2. Maison Mozart zone H3

Lots de travaux

Existant : situation conforme à l'année de construction.

Bâti seul + Auto : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation autoréglable a été installée.

Multi+ C + F + HB : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

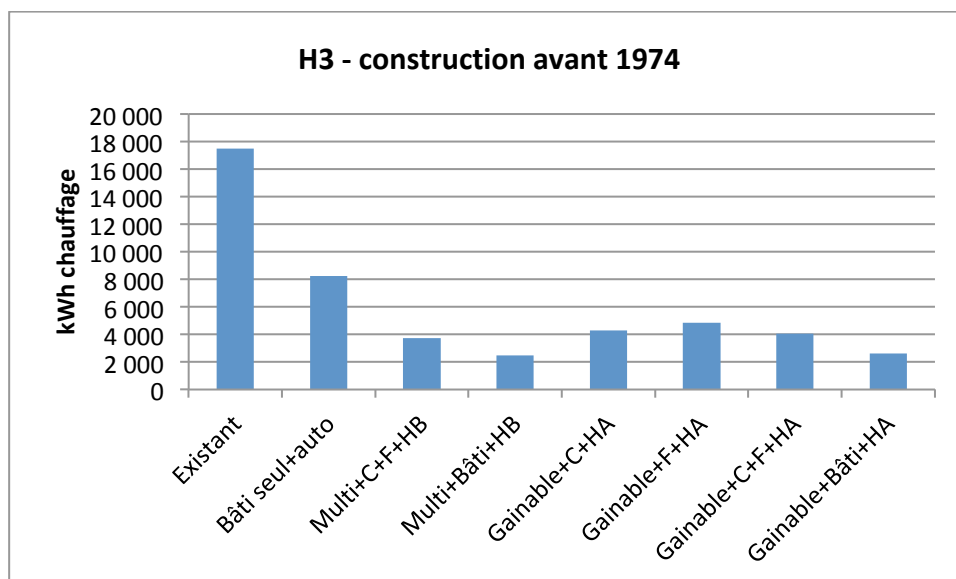
Multi+ Bâti + HB : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

Gainable + C + HA : les combles ont été isolés, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

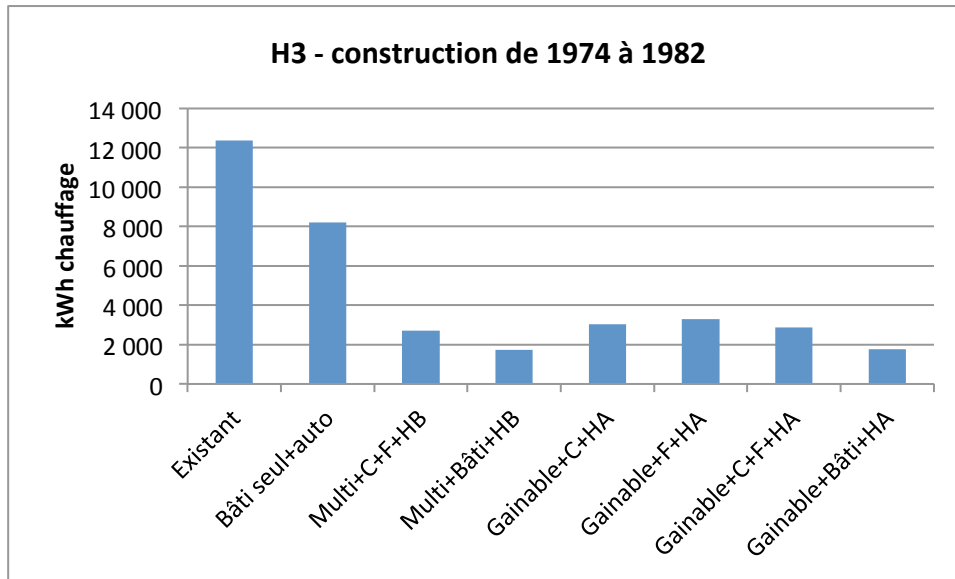
Gainable + F + HA : les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

Gainable + C + F + HA : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

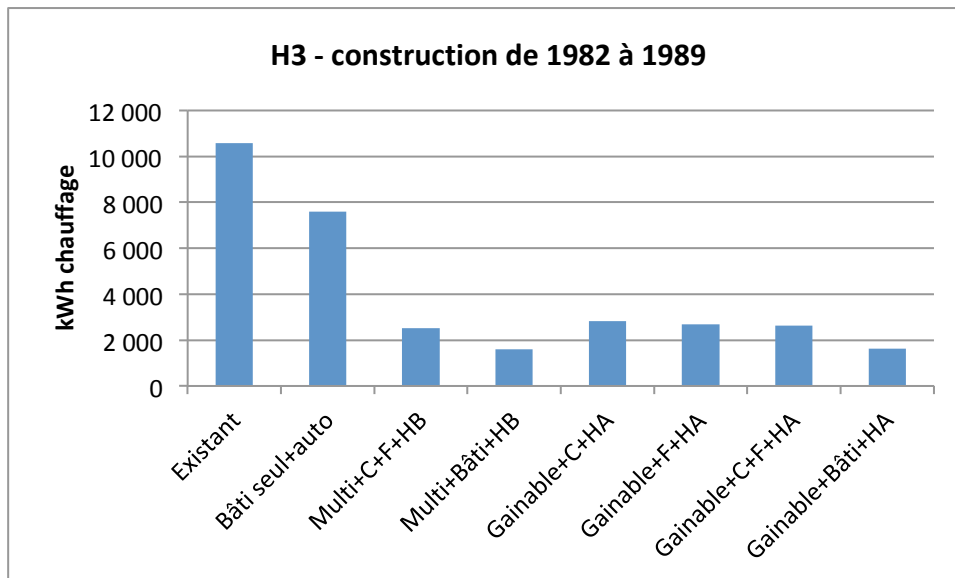
Gainable + Bâti + HA : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.



H3 Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/an	ECS kWh/an	
avant 1974	existant	0,55	2,90	1,05	0,95	conv	ballon	nat	17 470	2 966
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	8 222	2 966
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	3 753	2 628
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	2 489	2 628
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	3 725	951
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	2 465	951
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	4 288	2 628
			X			PAC + Conv	Joule	HA	4 848	2 628
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	4 050	2 628
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	2 623	2 628
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	4 254	951
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	4 812	951
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	4 016	951
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	2 591	951



H3 Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1974-1982	existant	0,55	2,90	0,80	0,76	conv	ballon	auto	12 363	2 966
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	8 214	2 966
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	2 723	2 628
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	1 736	2 628
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	2 698	951
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	1 714	951
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	3 051	2 628
			X			PAC + Conv	Joule	HA	3 282	2 628
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	2 877	2 628
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	1 761	2 628
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	3 020	951
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	3 249	951
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	2 846	951
	X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	1 734	951	



H3 Elec MOZART	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1982-1989	existant	0,25	2,85	0,70	0,67	conv	ballon	auto	10 580	2 966
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	7 581	2 966
	PAC R/R Multi	X	X			PAC +conv	Joule	HB	2 509	2 628
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	1 608	2 628
	PAC R/R Gainable	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	2 484	951
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	1 587	951
	PAC R/R Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	2 821	2 628
			X			PAC + Conv	Joule	HA	2 674	2 628
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	2 643	2 628
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	1 619	2 628
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	2 791	951
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	2 644	951
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	2 612	951
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	1 593	951

6.4.3. Maison Gershwin zone H1a

Lots de travaux

Existant : situation conforme à l'année de construction

Bâti seul + Auto : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation autoréglable a été installée.

Multi+ C + F + HB : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

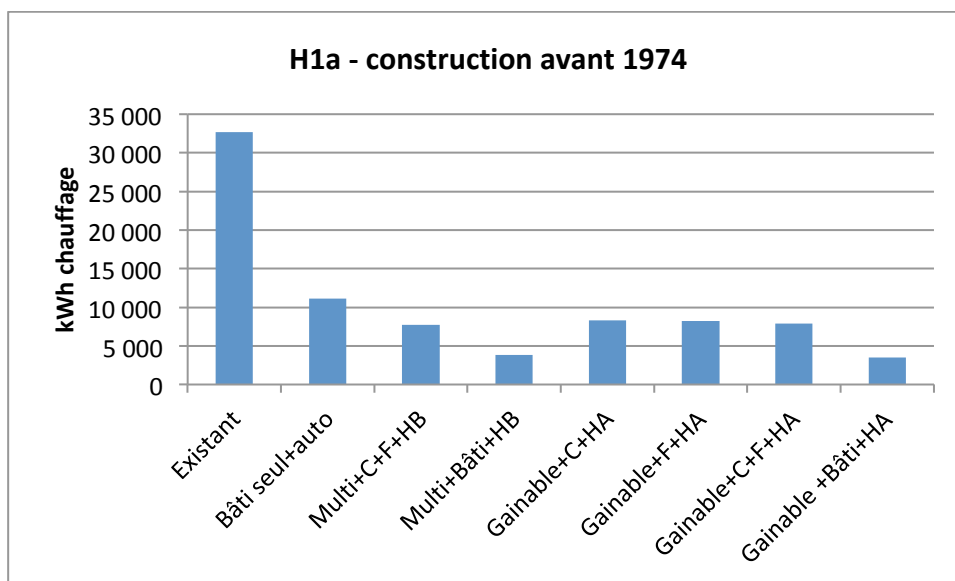
Multi+ Bâti + HB : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

Gainable + C + HA : les combles ont été isolés, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

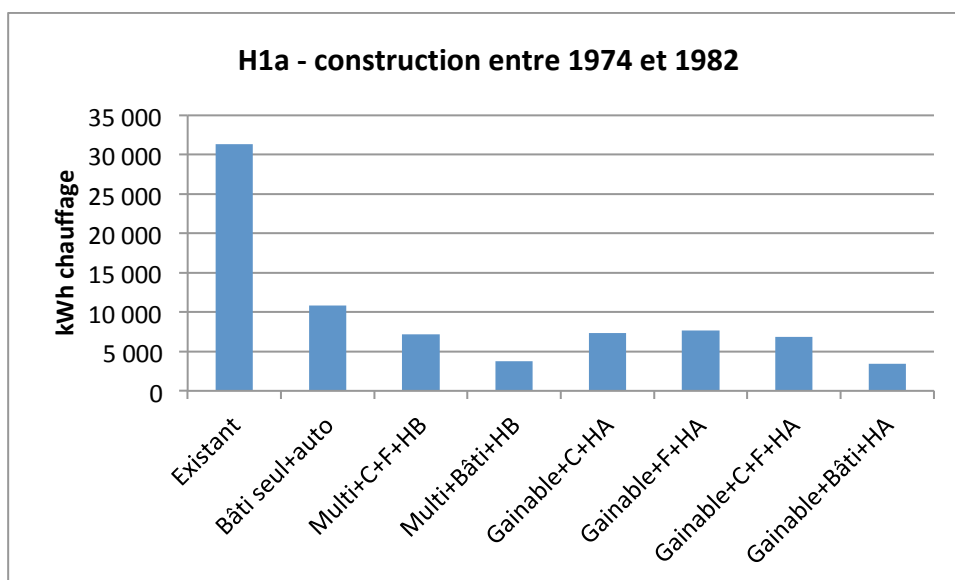
Gainable + F + HA : les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées

Gainable + C + F + HA : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

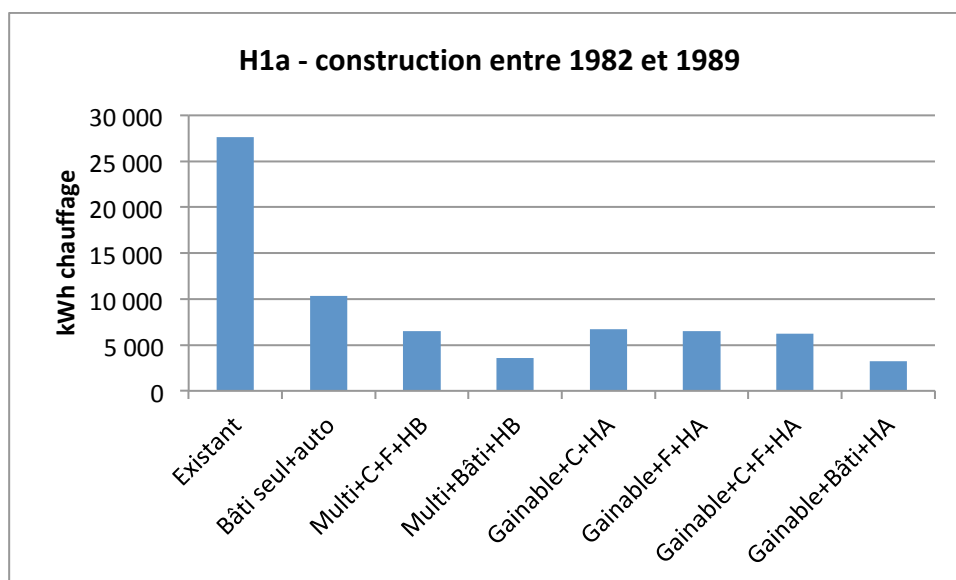
Gainable + Bâti + HA : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.



H1a Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWhef/an	ECS kWhef/an	
avant 1974	existant	0,55	2,9	1,05	0,95	conv	ballon	nat	32 691	3 348
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	11 085	3 390
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	7 721	3 348
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	3 804	3 348
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	7 685	1 394
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 777	1 394
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	8 333	3 348
			X			PAC + Conv	Joule	HA	8 243	3 348
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	7 861	3 348
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	3 459	3 348
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	8 290	1 394
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	8 200	1 394
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	7 819	1 394
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	3 427	1 394



H1a Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1974-1982	existant	0,55	2,9	0,8	0,76	conv	ballon	auto	31 357	3 390
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	10 878	3 348
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	7 154	3 348
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	3 726	3 348
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	7 118	1 394
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 699	1 394
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	7 358	3 348
			X			PAC + Conv	Joule	HA	7 697	3 348
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	6 851	3 348
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	3 405	3 348
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	7 318	1 394
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	7 655	1 394
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	6 811	1 394
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	3 374	1 394



H1a Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1982-1989	existant	0,25	2,85	0,7	0,67	conv	ballon	auto	27 654	3 390
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	10 310	3 348
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	6 512	3 348
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	3 548	3 348
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	6 478	1 394
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	3 521	1 394
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	6 720	3 348
			X			PAC + Conv	Joule	HA	6 486	3 348
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	6 220	3 348
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	3 213	3 348
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	6 680	1 394
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	6 446	1 394
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	6 181	1 394
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	3 182	1 394

6.4.4. Maison Gershwin zone H3

Lots de travaux

Existant : situation conforme à l'année de construction.

Bâti seul + Auto : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation autoréglable a été installée.

Multi+ C + F + HB : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

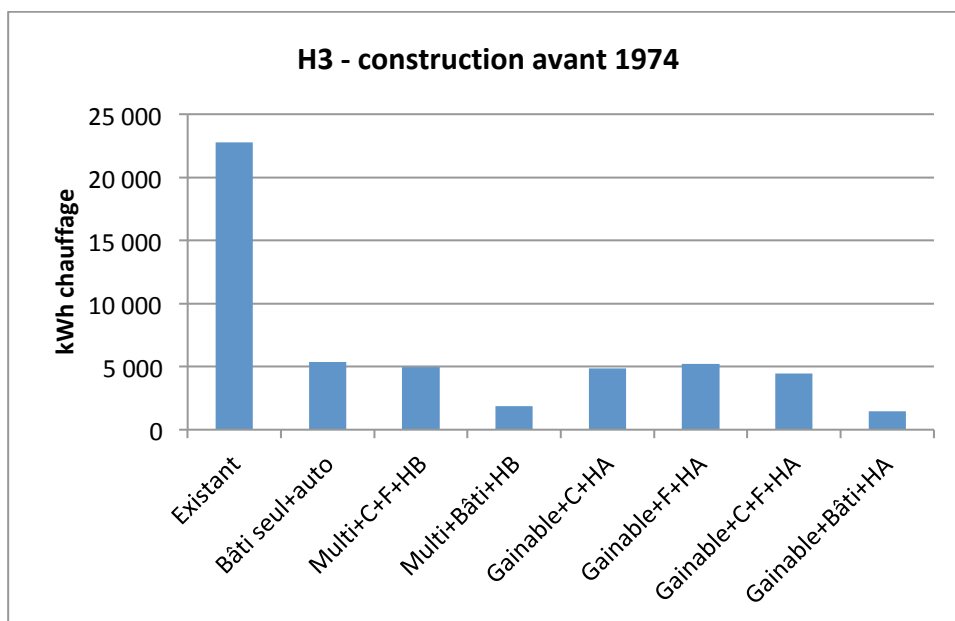
Multi+ Bâti + HB : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro B et une PAC multi-split ont été installées.

Gainable + C + HA : les combles ont été isolés, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

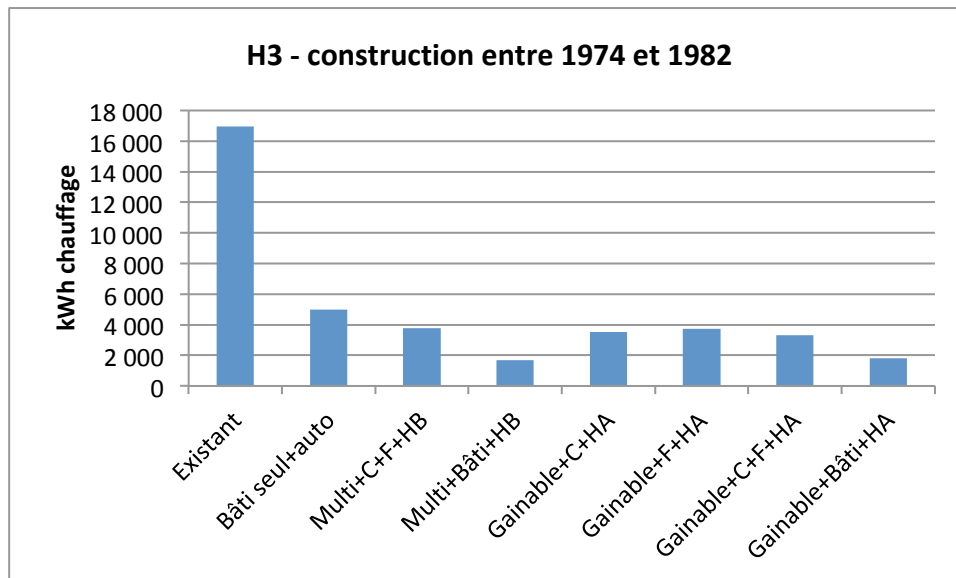
Gainable + F + HA : les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

Gainable + C + F + HA : les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.

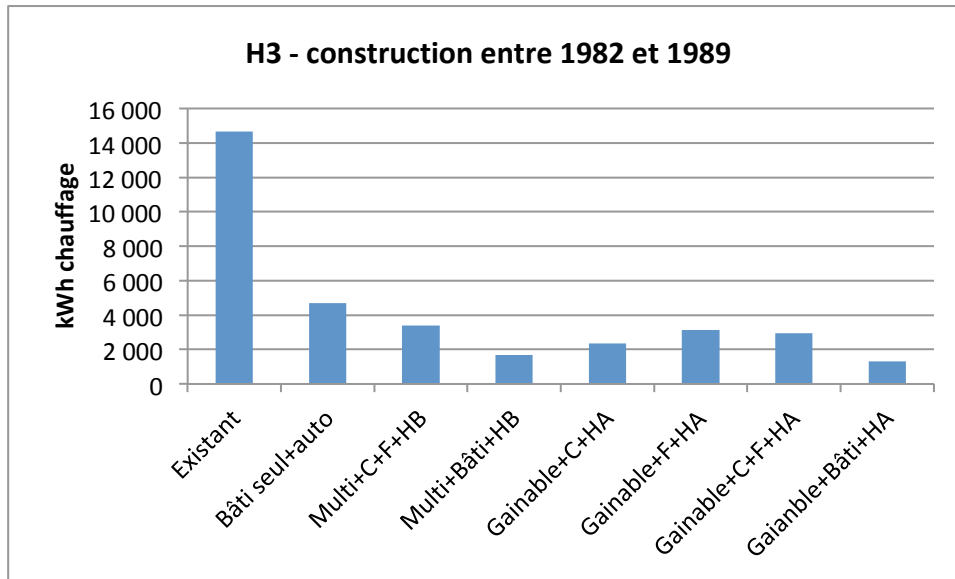
Gainable + Bâti + HA : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation hygro A et une PAC gainable ont été installées.



H3 Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/an	ECS kWh/an	
avant 1974	existant	0,55	2,9	1,05	0,95	conv	ballon	nat	22 745	3 041
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	5 358	2 998
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	4 935	2 998
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	1 884	2 998
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	4 910	1 087
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	1 868	1 087
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	4 858	2 998
			X			PAC + Conv	Joule	HA	5 220	2 998
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	4 459	2 998
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	1 474	2 998
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	4 829	1 087
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	5 190	1 087
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	4 431	1 087
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	1 454	1 087



H3 Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/an	ECS kWh/an	
1974-1982	existant	0,55	2,9	0,8	0,76	conv	ballon	auto	16 962	3 041
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	4 977	2 998
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	3 756	2 998
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	1 671	2 998
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	3 733	1 087
		X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	1 657	1 087
	Gainable	X				PAC + Conv	Joule	HA	3 529	2 998
			X			PAC + Conv	Joule	HA	3 728	2 998
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	3 309	2 998
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	1 795	2 998
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	3 504	1 087
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	3 701	1 087
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	3 284	1 087
		X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	1 777	1 087



H3 Elec GERSHWIN	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	Chauffage	ECS	Ventilation	Chauffage + ventilation kWh/ef/an	ECS kWh/ef/an	
1982-1989	existant	0,25	2,85	0,7	0,67	conv	ballon	auto	14 665	3 041
	Bâti seul	X	X	X	X	conv	ballon	Auto	4 708	2 998
	PAC R/R	X	X			PAC +conv	Joule	HB	3 408	2 998
		X	X	X	X	PAC +conv	Joule	HB	1 691	2 998
	Multi	X	X			PAC +conv	Thermo	HB	3 386	1 087
	Gainable	X	X	X	X	PAC +conv	Thermo	HB	1 676	1 087
		X				PAC + Conv	Joule	HA	2 356	2 998
			X			PAC + Conv	Joule	HA	3 149	2 998
		X	X			PAC + Conv	Joule	HA	2 965	2 998
		X	X	X	X	PAC + Conv	Joule	HA	1 295	2 998
		X				PAC + Conv	Thermo	HA	2 965	1 087
			X			PAC + Conv	Thermo	HA	3 124	1 087
		X	X			PAC + Conv	Thermo	HA	2 940	1 087
	X	X	X	X	PAC + Conv	Thermo	HA	1 277	1 087	

6.5.Ce qu'il faut retenir

La PAC air/air offre une vraie alternative aux équipements existants de type convecteurs. Associée à un, voire plusieurs lots de travaux complémentaires pour améliorer la performance du bâti, cette solution est porteuse d'importantes économies d'énergie.

Dans le cadre d'une rénovation globale, la production d'eau chaude sanitaire thermodynamique apporte également des économies d'énergie substantielles.

7. Retour d'expérience en région PACA

Ce retour d'expérience a été publié dans le numéro de Décembre 2015 de la revue « Energy Efficiency ». Maxime Raynaud, Dominique Osso, Bernard Bourges, Bruno Duplessis et Jérôme Adnot, ingénieurs chercheurs à EDF, en sont les auteurs.

Dans le cadre d'une opération d'efficacité énergétique visant à limiter les consommations d'électricité en région Provence Alpes-Côte d'Azur, en octobre 2009 fut lancé pour 6 ans une vaste opération pour promouvoir la rénovation de maisons individuelles.



Le cœur de cible étant les maisons individuelles, la rénovation devait comporter 2 lots :

- 1^{er} lot : mise en place d'une PAC (air/air ou air-eau) ou d'un chauffage bois (poêle ou chaudière) ,
- 2nd lot : isolation des combles, ou isolation thermique par l'extérieur, ou mise en place d'une production d'eau chaude solaire ou thermodynamique, ou changement des ouvrants.

Des financements spécifiques ont été proposés pour cette opération.

D'octobre 2009 à mars 2012, 4200 maisons individuelles furent rénovées.

Au printemps 2012, une étude fut lancée pour connaître l'évolution des comportements concernant le chauffage et l'utilisation de la fonction rafraîchissement suite à l'installation de pompes à chaleur réversibles.

Il s'agissait de quantifier les effets rebonds directs et indirects.

L'effet rebond direct est défini par la demande de confort supplémentaire induit par l'installation de matériels plus performants et à meilleure efficacité énergétique. Il se traduit par un gain sur la consommation énergétique moindre par rapport à celui escompté.

L'effet rebond indirect est quant à lui défini par l'utilisation de fonctionnalités nouvelles mises à disposition par la substitution d'une PAC réversible à une installation de chauffage ancienne. Il se traduit par une consommation énergétique liée à l'utilisation de la fonction rafraîchissement.

212 propriétaires occupants ont été interviewés sur les départements du Var, des Bouches du Rhône et des Alpes Maritimes. Les domaines abordés dans le questionnaire sont les suivants :

- Caractéristiques du ménage,
- Caractéristiques du logement,
- Caractéristiques des travaux: isolation des parois, système de ventilation, système de production d'ECS, système de chauffage et système de climatisation,

- Energie de cuisson,
- Appareils électroménagers et éclairage,
- Bilan de consommation (récupération des consommations depuis 2009),
- Habitudes,
- Gestion du confort de chauffage et gestion du confort de climatisation,
- Motivations et bilan de la démarche de rénovation.

A cause d'imprécisions dans les réponses sur l'historique avant travaux, seuls 91 cas ont été conservés :

- 100 % de l'échantillon sont des maisons individuelles,
- 80 % ont été construites après 1974, dont 54 % construites entre 1976 et 1988,
- Elles étaient principalement équipées initialement de convecteurs (44 %) ou de radiateurs électriques (20 %),
- La surface moyenne est de 126 m² (mini 70 m² et maxi 350 m²),
- 75 % des enquêtés ont déclarés une température de consigne pour le chauffage entre 19 et 21 °C (moyenne de 20,1 °C avec un mini à 14 et un maxi à 24),
- 84 % de l'échantillon ne possédait pas de système de climatisation avant travaux.

Calcul des économies d'énergie

$$EE_i = C_{i,av}^{normal} - C_{i,ap}^{normal}$$

Avec EE_i : économies d'énergie unitaires annuelles du cas i, en kWh (énergie finale)

$C_{i,av}^{normal}$: Consommation énergétique annuelle tous usages avant travaux ajustée à un climat normal du cas i, en kWh

$C_{i,ap}^{normal}$: Consommation énergétique annuelle tous usages après travaux ajustée à un climat normal du cas i, en kWh

- Consommation **tous usages** réelle = somme des consommations déclarées pour les différentes énergies converties en kWh pci
- Ajustement climatique uniquement sur la consommation de chauffage

Retour d'expérience

Sur les 91 cas retenus, les économies d'énergie observées sont les suivantes :

Dans 44 % des cas, l'économie est inférieure à 50 kWh/m²

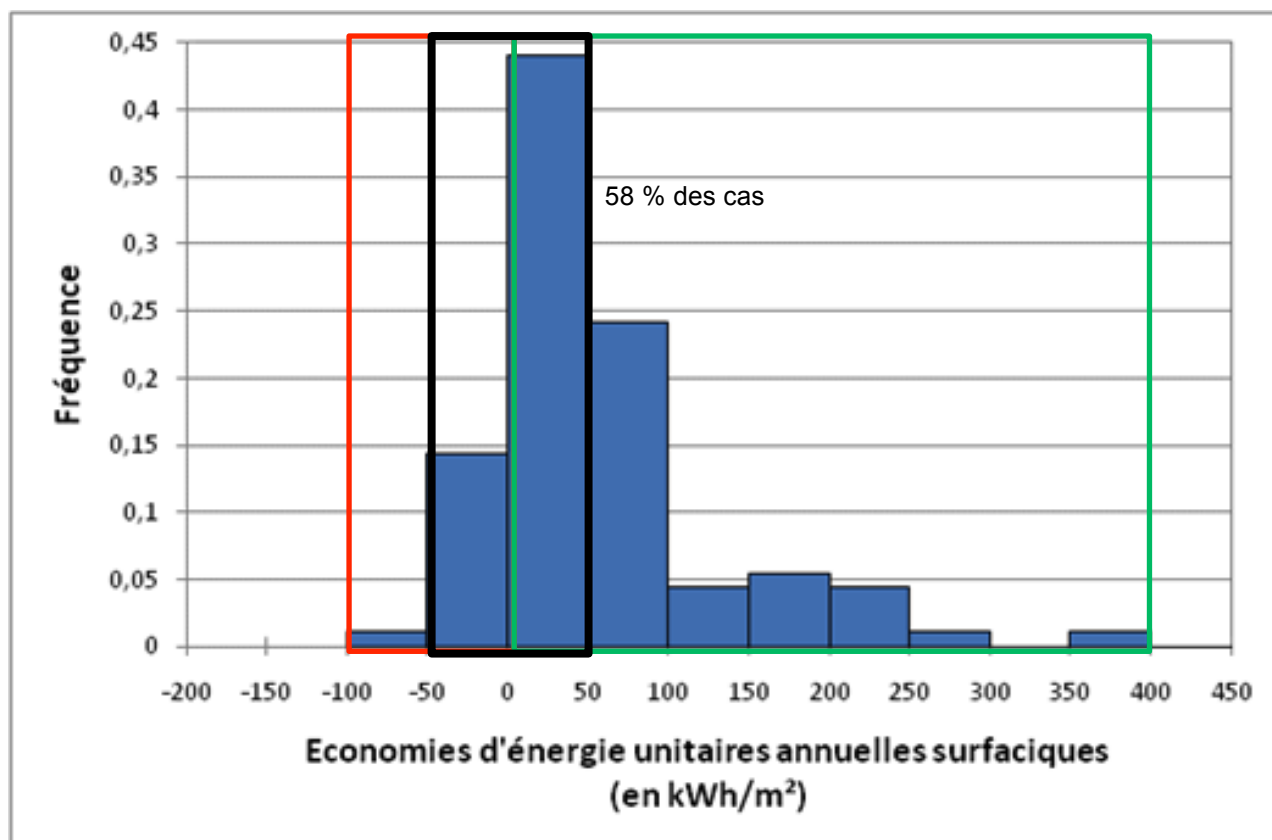
Dans 24 % des cas, l'économie se situe entre 50 et 100 kWh/m²

Dans 17 % des cas, l'économie est supérieure à 100 kWh/m²

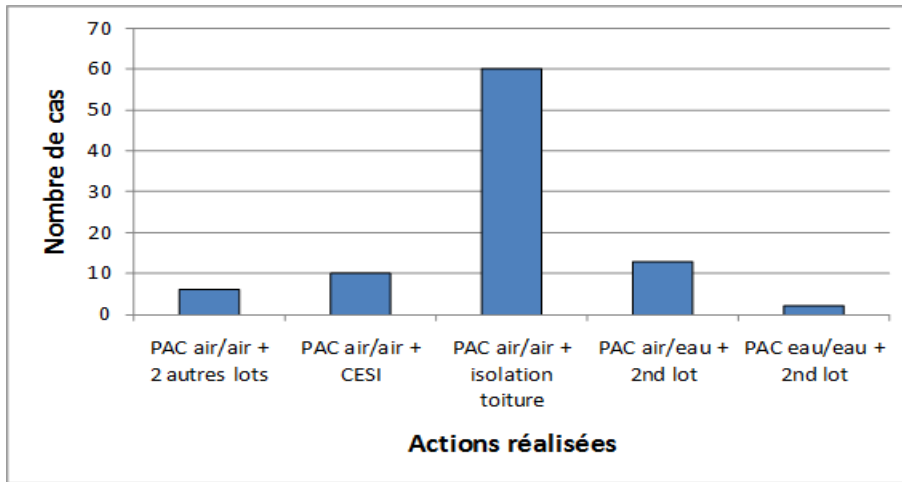
Cependant, dans 58 % des cas, la variation des économies se situe entre – 50 et + 50 kWh/m²

15 % des cas

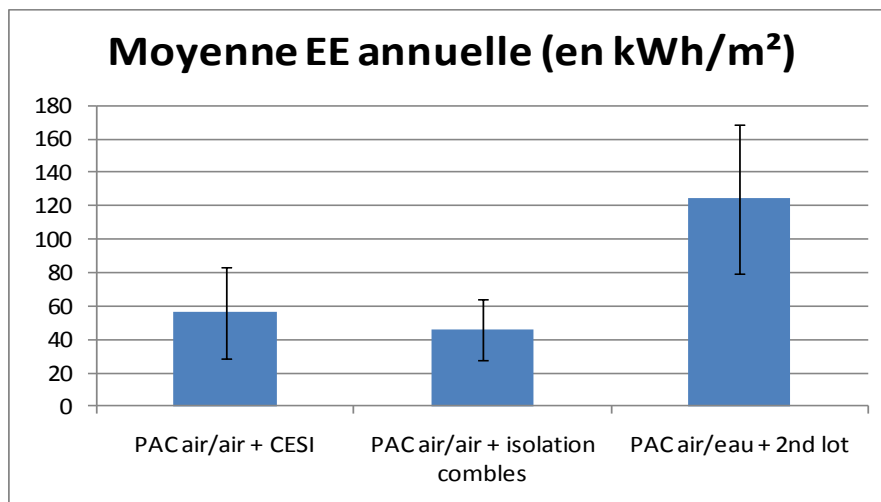
85 % des cas



Sur 91 cas, quels travaux ont été réalisés ?



Sur 82 cas quels travaux sont les plus efficaces en termes d'économie d'énergie ?

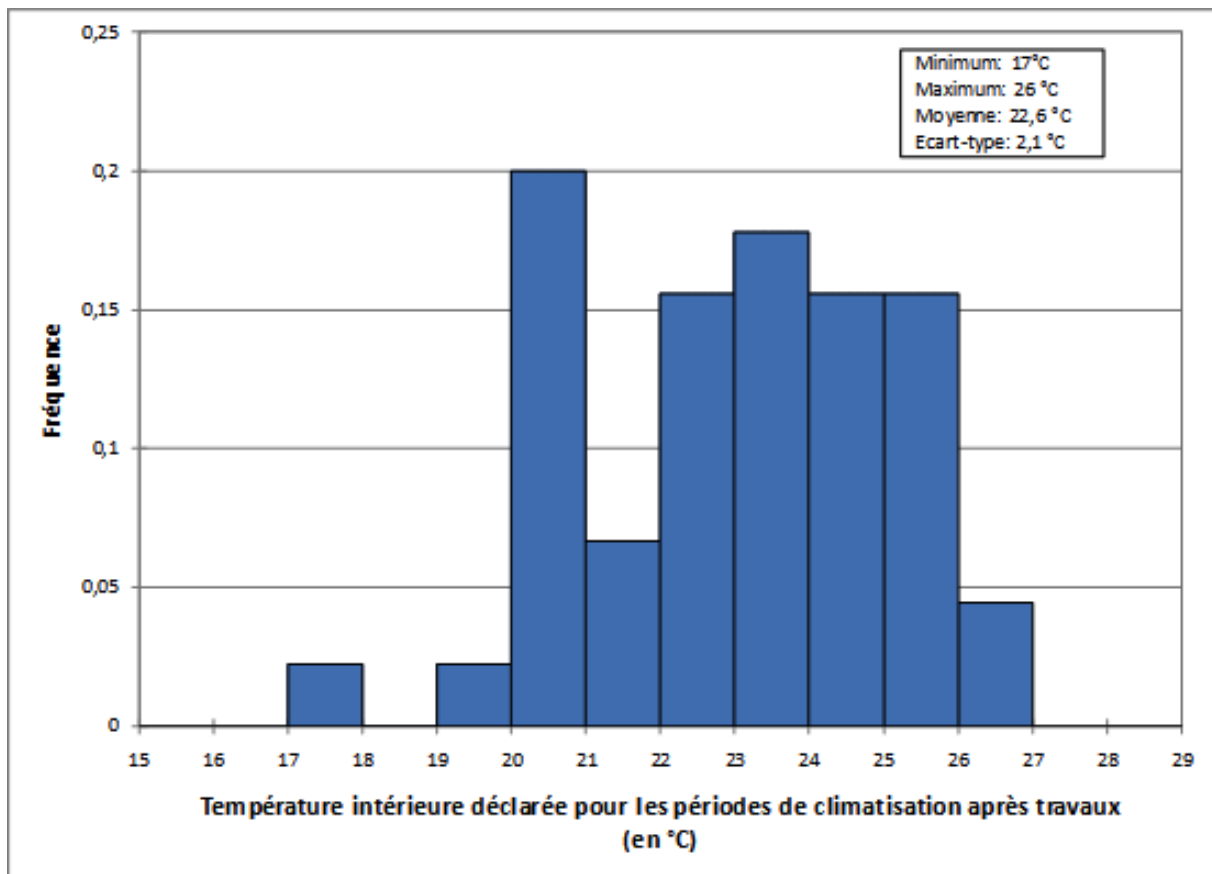


Sur 82 cas, niveau d'installation de la climatisation

Travaux de climatisation	Pourcentage
Installation avec l'opération	73 %
Renouvellement avec l'opération	15 %
Aucune action	12 %

Sur 82 cas, usage de la climatisation après travaux

Type d'usage	Installation avec l'opération	Renouvellement avec l'opération	Aucune action
Utilisation en continue (1 mois et plus)	17 %	9 %	0 %
Utilisation fréquente (de 2 à 3 semaines en cumulés)	18 %	25 %	0 %
Utilisation que les jours les chauds (-moins d'1 semaine en cumulé)	25 %	33 %	10 %
Pas d'utilisation	40 %	33 %	90 %
Total	100 %	100 %	100 %



Conclusion

- Des économies d'énergie avérées pour des travaux PAC air/air couplée à un second lot. Toutefois, les économies sont variables et au cas par cas.
- Dans 73 % des cas, les travaux sont l'occasion de bénéficier de la climatisation, même si 65 % déclarent ne pas ou peu l'utiliser.
- L'utilisation importante de la climatisation minimise les économies d'énergie.

Bibliographie



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

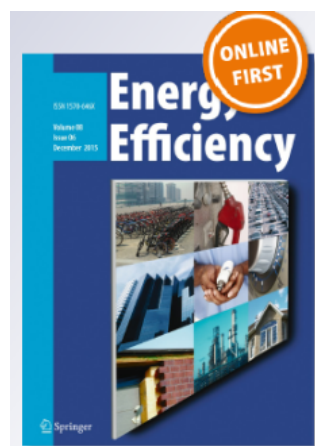
Recommandations RAGE

- Pompes à chaleur air/air - Rénovation - Conception et dimensionnement
- Pompes à chaleur air/air - Rénovation - Installation et mise en service
- Pompes à chaleur air/air - Neuf - Conception et dimensionnement
- Pompes à chaleur air/air - Neuf - Installation et mise en service



FLUIDES HFC – Quel avenir avec F-GAS ?

A télécharger sur : https://www.uniclimate.fr/actu_22_livret-fluides-hfc-quel-avenir-avec-f-gas-deuxieme-edition.html



**L'AFPAC,
un acteur majeur de la transition
énergétique et bas carbone**

AFPAC - Association Française pour les Pompes À Chaleur - 31 rue du Rocher - 75008 Paris
contact@afpac.org - www.afpac.org

OCTOBRE 2018



La pompe à chaleur au cœur de votre confort