

# La Pompe à Chaleur Air-Eau

## Rénover son chauffage et faire des économies d'énergie



La pompe à chaleur au cœur de votre confort



*A propos de l'AFPAC - [www.afpac.org](http://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<sup>ème</sup> 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-eau est une solution intéressante pour rénover son système de chauffage. Elle apporte le confort, 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-eau sur un circuit de chauffage existant.

Thierry NILLE

Président de l'AFPAC



## Sommaire

1.	Pourquoi rénover son chauffage en installant une PAC air-eau .....	11
2.	Les technologies disponibles.....	13
2.1.	Pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc extérieure .....	14
2.2.	Pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc intérieure.....	15
2.3.	Pompe à chaleur air extérieur-eau en éléments séparés .....	16
2.4.	Pompe à chaleur air extérieur-eau tout ou rien.....	16
2.5.	Pompe à chaleur air extérieur-eau à variation de puissance .....	17
3.	Les solutions de rénovation .....	19
3.1.	La substitution de chaudière.....	21
3.2.	La chaudière en relève .....	22
3.2.1.	Fonctionnement simultané .....	23
3.2.2.	Fonctionnement alterné .....	24
3.3.	La pompe à chaleur hybride.....	25
3.3.1.	Caractéristiques techniques.....	26
3.3.2.	La régulation.....	27
3.3.3.	La production de chauffage.....	30
3.3.4.	La production d'eau chaude sanitaire.....	30
4.	La pompe à chaleur double service.....	31
4.1.	Principe général .....	31
4.2.	Système à ballon intégré.....	32
4.3.	Système à ballon séparé .....	34
4.4.	Régulation .....	34
4.4.1.	Réchauffage uniquement nocturne de l'ECS.....	34
4.4.2.	Réchauffage de l'ECS non asservi à une programmation horaire .....	35
4.4.3.	Réchauffage de l'ECS à 55°C la nuit et l'après-midi et à 40°C le reste du temps .....	35
4.4.4.	Gestion de l'appoint électrique.....	35
5.	Dimensionnement de la pompe à chaleur .....	37
5.1.	Calcul des déperditions .....	37
5.1.1.	Principe du calcul des déperditions.....	37
5.1.2.	Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois.....	37
5.1.3.	Déperditions linéiques aux liaisons des différentes parois .....	38
5.1.4.	Déperditions par renouvellement d'air et infiltrations .....	38
5.1.5.	La température extérieure de base du lieu.....	38

5.2.	Dimensionnement de la pompe à chaleur et de l'appoint.....	40
5.2.1.	Cas de la substitution en rénovation.....	40
5.2.2.	Cas de la relève par chaudière en rénovation.....	42
5.2.3.	Cas de la pompe à chaleur hybride en rénovation.....	42
5.3.	Caractéristiques de la pompe à chaleur air extérieur-eau .....	43
5.4.	Performances thermiques de la pompe à chaleur .....	44
5.4.1.	Mode chauffage .....	44
5.4.2.	L'étiquetage énergétique des pompes à chaleur .....	45
5.4.3.	Mode refroidissement.....	47
5.5.	Spécifications acoustiques réglementaires .....	47
5.5.1.	Réglementation sur le bruit intérieur.....	47
5.5.2.	Réglementation sur le bruit de voisinage.....	48
6.	Dimensionnement de la production d'eau chaude sanitaire .....	49
6.1.	Caractéristiques de la pompe à chaleur.....	49
6.2.	Détermination du ballon d'ECS .....	50
6.2.1.	Besoins dimensionnants.....	51
6.2.2.	Détermination de la capacité du ballon d'ECS .....	52
6.3.	Détermination de la puissance de la pompe à chaleur .....	53
7.	Implantation de la pompe à chaleur .....	55
7.1.	Implantation de l'unité extérieure .....	55
7.1.1.	Intégration technique de la pompe à chaleur.....	55
7.1.2.	Intégration acoustique de la pompe à chaleur .....	57
7.1.3.	Installation.....	62
7.1.4.	Evacuation des condensats .....	64
7.2.	Implantation de la pompe à chaleur monobloc intérieure .....	64
8.	Economies d'énergie escomptées.....	67
8.1.	Domaine de l'étude.....	68
8.2.	Equipements existants .....	71
8.3.	Améliorations thermiques du bâti .....	71
8.4.	Amélioration des équipements.....	72
8.4.1.	PAC moyenne température avec relève chaudière.....	72
8.4.2.	PAC hybride.....	73
8.4.3.	PAC haute température .....	74
8.5.	Consommations annuelles en fonction des lots de travaux réalisés .....	75



8.5.1.	Maison Mozart zone H1a .....	75
8.5.2.	Maison Mozart zone H3 .....	80
8.5.3.	Maison GERSHWIN zone H1a .....	85
8.5.4.	Maison GERSHWIN zone H3.....	90
9.	Ce qu'il faut retenir .....	95
	Bibliographie.....	97



## 1. Pourquoi rénover son chauffage en installant une PAC air-eau

La pompe à chaleur (PAC) air-eau permet d'assurer le **chauffage et la production d'eau chaude** d'un logement. Le fonctionnement de cette pompe à chaleur est simple et **efficace** : la pompe à chaleur puise les **calories de l'air extérieur** pour les injecter dans le circuit d'eau chaude du logement.

### Les calories de l'air extérieur pour chauffer un logement

Une **PAC air-eau** capte les calories contenues dans l'air pour les transformer en **chaleur** avant de les restituer dans un circuit d'eau de chauffage qui va permettre d'alimenter des radiateurs, un plancher chauffant ou la production d'eau chaude sanitaire.



### Diminuer d'une manière importante la facture de chauffage

En utilisant l'énergie gratuite de l'air, on ne paie que l'électricité nécessaire au système 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-eau et son installation.

### **La pompe à chaleur air-eau s'installe simplement**

L'installation d'une pompe à chaleur air-eau 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 circuit de chauffage central sur lequel vient se connecter l'unité intérieure

Dans le cas d'une installation « bi-bloc », la jonction entre les deux est assurée par un circuit de **fluide frigorigène**.

Si la pompe à chaleur est monobloc, l'unité extérieure et l'unité intérieure sont confondues.

### **Puissance et COP de la pompe à chaleur air-eau**

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

- Le **coefficient de performance (COP)** qui représente le nombre de kWh de chaleur produits, pour 1 kWh d'électricité consommé. Le COP de la pompe à chaleur air-eau est généralement supérieur à 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.

## 2. Les technologies disponibles

Les pompes à chaleur air extérieur- eau regroupent les technologies suivantes :

- La pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc extérieure ;
- La pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc intérieure ;
- La pompe à chaleur air extérieur- eau en éléments séparés.

On distingue les pompes à chaleur air extérieur-eau fonctionnant en tout ou rien et celles à variation de puissance.

Les machines monoblocs extérieures et intérieures intègrent généralement un module hydraulique qui contient la plupart des éléments hydrauliques. Elles ne nécessitent pas d'intervention sur le circuit frigorifique lors de l'installation.

La plupart des machines en éléments séparés nécessitent la manipulation de fluides frigorigènes lors de l'installation, ce qui implique de se conformer à la réglementation concernant les fluides frigorigènes, notamment les articles R543-75 à R543-123 du Code de l'environnement.

## 2.1. Pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc extérieure

Ce type de pompe à chaleur est installé soit à l'extérieur, soit dans un local semi-ouvert.

Tous les composants frigorifiques sont rassemblés dans l'appareil.

Ce type de pompe à chaleur intègre généralement un module hydraulique.

Ce module peut également être installé à l'intérieur avec une liaison hydraulique entre celui-ci et l'unité extérieure.

Les émetteurs sont alimentés grâce à un circulateur qui distribue l'eau réchauffée lors du passage au condenseur.

L'appoint électrique, s'il est présent, est situé en aval de la pompe à chaleur, généralement dans le module hydraulique. La mise en route de l'appoint n'est pas autorisée en mode rafraîchissement.

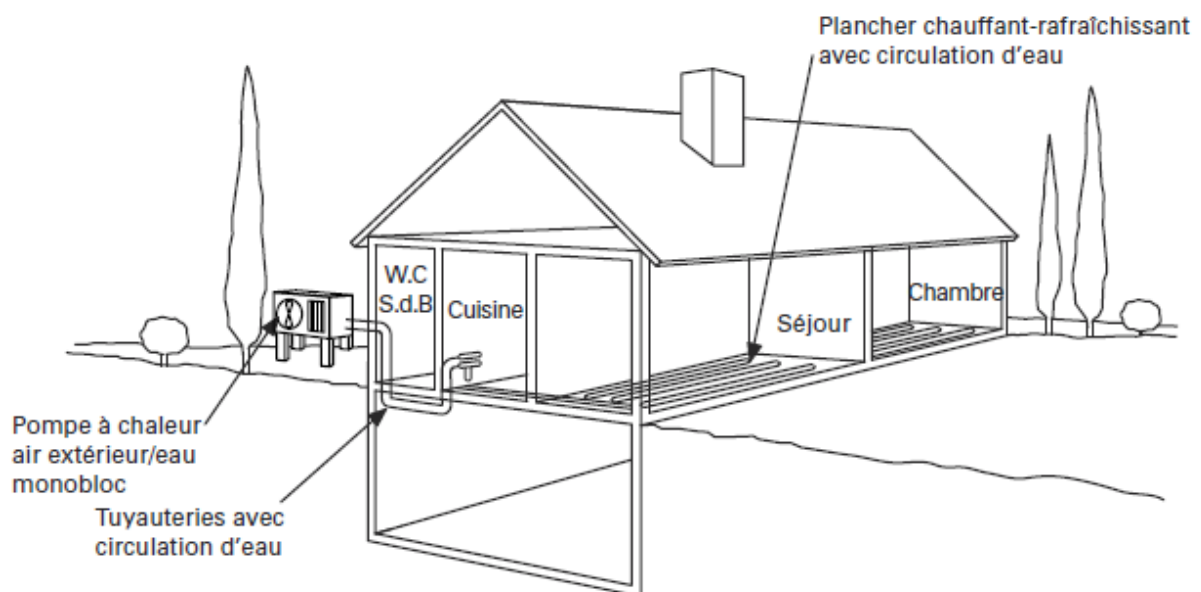


Figure 1 : Principe d'une pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc extérieure

## 2.2.Pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc intérieure

Ce type de pompe à chaleur est installé à l'intérieur, généralement dans un local spécifique (local technique).

Tous les composants frigorifiques sont rassemblés dans l'appareil.

Ce type de pompe à chaleur intègre généralement un module hydraulique.

Les émetteurs sont alimentés grâce à un circulateur qui distribue l'eau réchauffée lors du passage au condenseur.

L'appoint électrique, s'il est présent, est situé en aval de la pompe à chaleur, généralement dans le module hydraulique. La mise en route de l'appoint n'est pas autorisée en mode rafraîchissement.

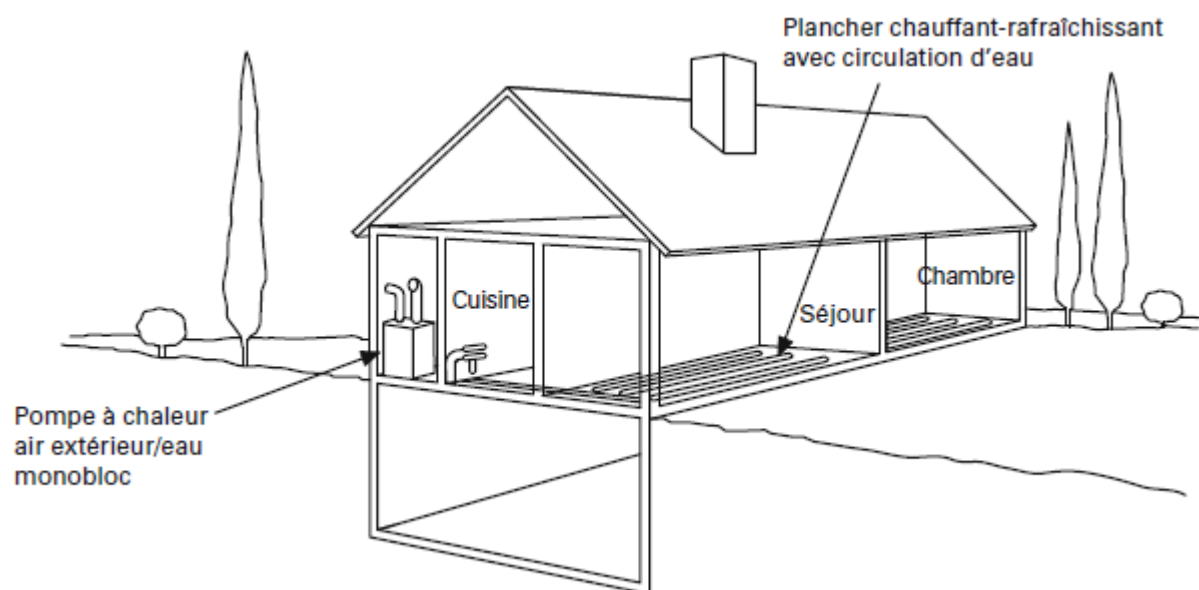


Figure 2 : Principe d'une pompe à chaleur air extérieur-eau monobloc intérieure

## 2.3. Pompe à chaleur air extérieur-eau en éléments séparés

Pour cette solution, la pompe à chaleur est composée de deux éléments :

- L'unité extérieure qui comprend le plus souvent l'évaporateur, le compresseur et le détendeur ;
- L'unité intérieure qui comprend le condenseur, ainsi que la plupart des éléments hydrauliques. Elle peut parfois intégrer le compresseur.

Selon les industriels, différents systèmes sont proposés (bi-bloc, split système).

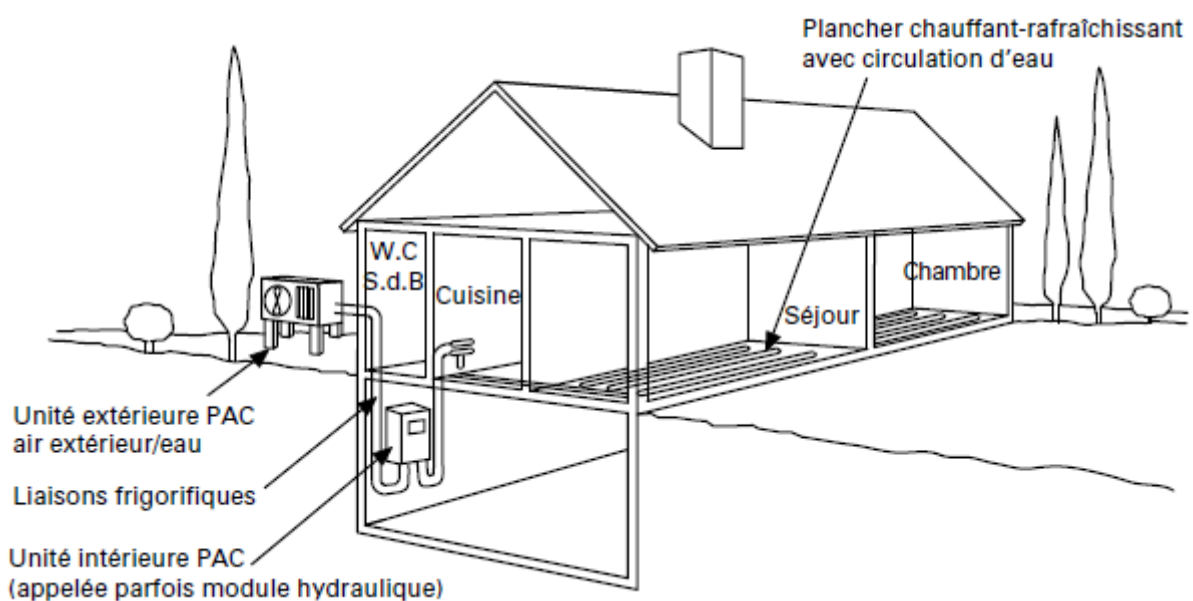


Figure 3 : Principe d'une pompe à chaleur air extérieur-eau en éléments séparés

## 2.4. Pompe à chaleur air extérieur-eau tout ou rien

En mode de fonctionnement tout ou rien, le principe est de maintenir la température d'eau délivrée par la pompe à chaleur en mettant en marche ou à l'arrêt le compresseur.

**Une attention particulière doit être portée sur les principales contraintes du mode de régulation tout ou rien :**

- **Démarrages successifs du compresseur,**
- **Intensité élevée au démarrage,**
- **Succession de séquences marche-arrêt.**

**Commentaire :**

*Ce type de technologie tend à disparaître au profit de la variation de puissance*



## 2.5.Pompe à chaleur air extérieur-eau à variation de puissance

Les pompes à chaleur à variation de puissance comprennent généralement un compresseur avec variation électronique de vitesse. Les autres technologies de compresseurs à puissances variables (compresseur à spirale débrayable, système bi-compresseurs) sont plus rares.

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 du compresseur. La vitesse évolue de la limite basse, fixée par la 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 afin d'adapter la puissance thermique au besoin.



### 3. Les solutions de rénovation

La mise en place d'une pompe à chaleur air-eau en rénovation d'une installation de chauffage nécessite la présence d'un réseau hydraulique avec émetteurs de type plancher, radiateurs ou autres. Dans le cas d'une réhabilitation complète d'un système tout électrique, ce réseau est à créer.

Mise à part le remplacement à l'identique d'une pompe à chaleur air-eau, les deux solutions de rénovation par pompe à chaleur les plus rencontrées sont :

- La substitution de chaudière ;
- La chaudière en relève, en appoint ;

Toutes les installations de chauffage ne permettent pas l'intégration d'une pompe à chaleur dans de bonnes conditions de fonctionnement et de performance.

Bien qu'il existe des pompes à chaleur permettant d'obtenir des températures d'eau élevées, même à de faibles températures extérieures, un état de l'existant doit être effectué systématiquement.

La performance de la pompe à chaleur est directement fonction de la température d'eau obtenue par rapport à une température extérieure considérée.

**Commentaire**

*Une pompe à chaleur peut actuellement produire de l'eau à une température aussi élevée que celle délivrée par une chaudière. Cependant, l'installation d'une pompe à chaleur est préférable lorsque la diminution de la température d'alimentation des émetteurs est possible. C'est notamment le cas si les radiateurs existants sont surdimensionnés par rapport aux besoins réels (surpuissance initiale ou suite à une rénovation thermique du bâtiment). Dans le cas contraire, un autre générateur (chaudière ou résistance électrique) est utilisé en appoint.*

**Commentaire**

*Dans le cas de la substitution de la chaudière, l'option de changer les émetteurs est envisageable. Ils doivent être dimensionnés pour une basse température d'eau, obtenue par une pompe à chaleur standard. Cependant, excepté le cas des ventilo-convecteurs, les émetteurs à basse température présentent des surfaces d'échange et donc des encombrements plus importants. Dans le cas de la substitution de chaudière, un appoint est généralement nécessaire s'agissant d'une pompe à chaleur air extérieur/eau.*

**Commentaire**

*La fonction rafraîchissement nécessite une installation adaptée avec notamment un remplacement des radiateurs par des unités terminales à eau à 2 tubes ou 4 tubes, une isolation des tuyauteries...*

### 3.1. La substitution de chaudière

Une pompe à chaleur installée en substitution de chaudière permet de couvrir la plus grande partie, voire la totalité, des besoins. Quand un appoint est présent, généralement électrique, celui-ci est utilisé pour les jours les plus froids.

Afin de minimiser le temps de fonctionnement de l'appoint pour disposer de la performance optimum de la pompe à chaleur, la température maximum de fonctionnement du réseau de chauffage (loi d'eau) doit se rapprocher au plus près de la température d'eau maximum délivrée par la pompe à chaleur. Quand l'écart est trop important, pour le réduire en assurant les besoins de chauffage nécessaires, il est possible de changer les quelques émetteurs rendus « sous puissants » à cause du nouveau régime d'eau imposé par la pompe à chaleur.

Plus la température maximale d'eau produite par la pompe à chaleur est élevée, plus les possibilités de réaliser une substitution directe sont grandes. Dans la plupart des cas, le remplacement d'une chaudière peut être possible avec une PAC travaillant à haute température sous réserve des résultats d'une étude de dimensionnement.

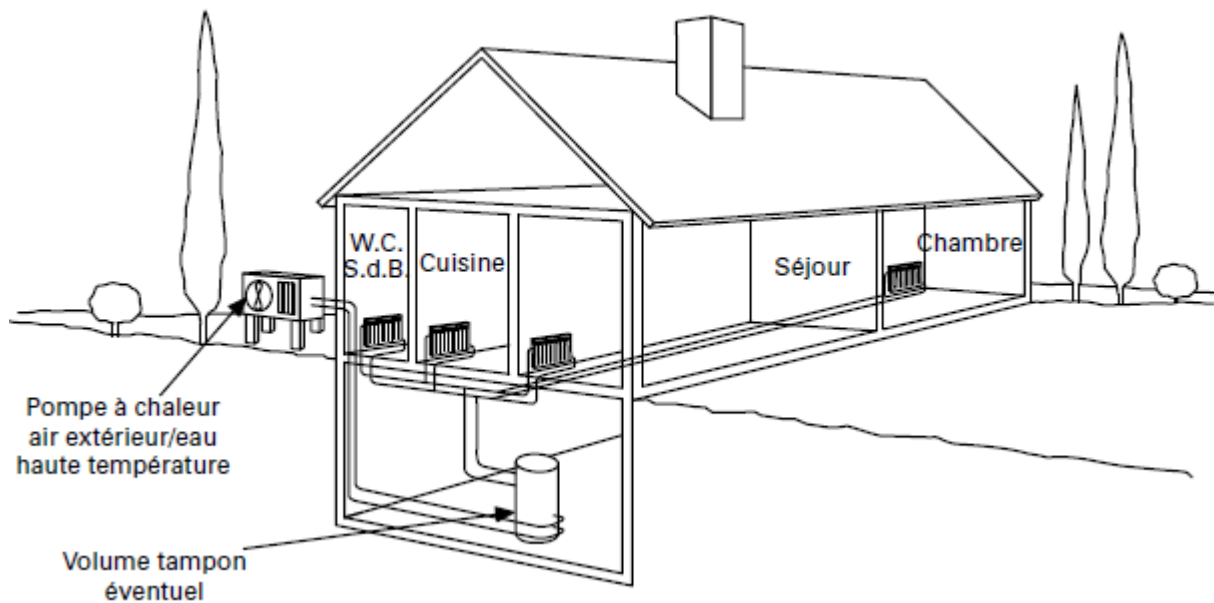


Figure 4 : Exemple de pompe à chaleur haute température air extérieur-eau en substitution de chaudière

### Commentaire

Certaines machines permettent d'obtenir de l'eau chaude jusqu'à une température de 80°C sans appoint. Elles sont parfois présentées sous le terme « pompe à chaleur très haute température ». Cependant, dans la mesure du possible, il convient de favoriser des actions visant à réduire les pertes thermiques du bâtiment à chauffer, ce qui peut conduire à installer une machine de plus petite taille travaillant à plus basse température.

## 3.2.La chaudière en relève

La pompe à chaleur est associée à une chaudière qui assure l'appoint. La PAC fonctionne prioritairement. Pour les températures extérieures les plus basses, la chaudière fonctionne en relève de la pompe à chaleur pour couvrir le complément des besoins, voire la totalité.

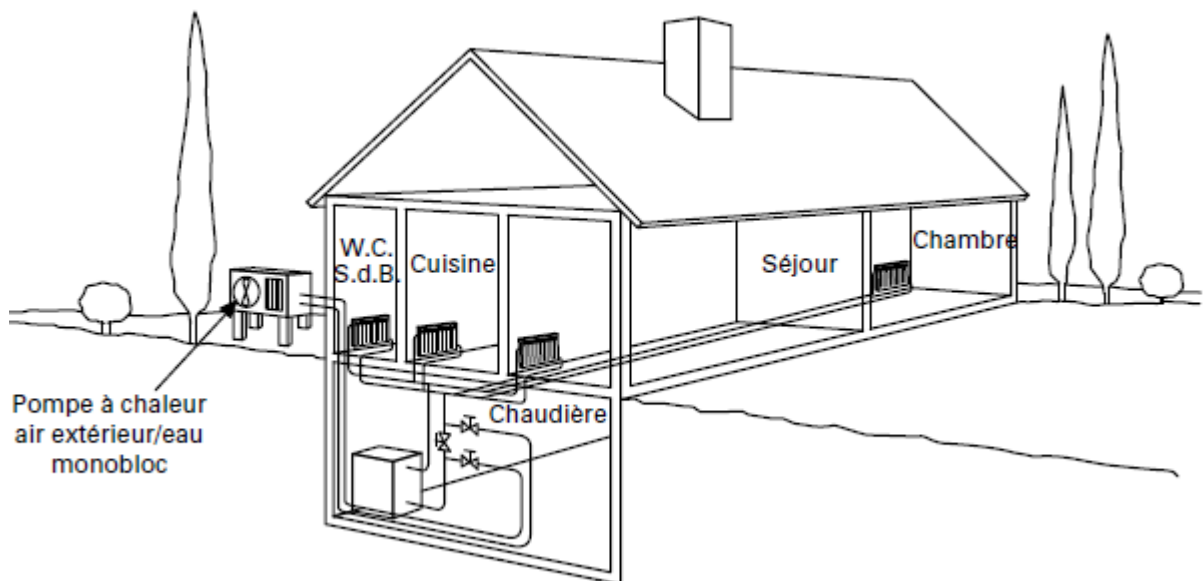


Figure 5 : Exemple de chaudière existante en relève de pompe à chaleur air extérieur-eau

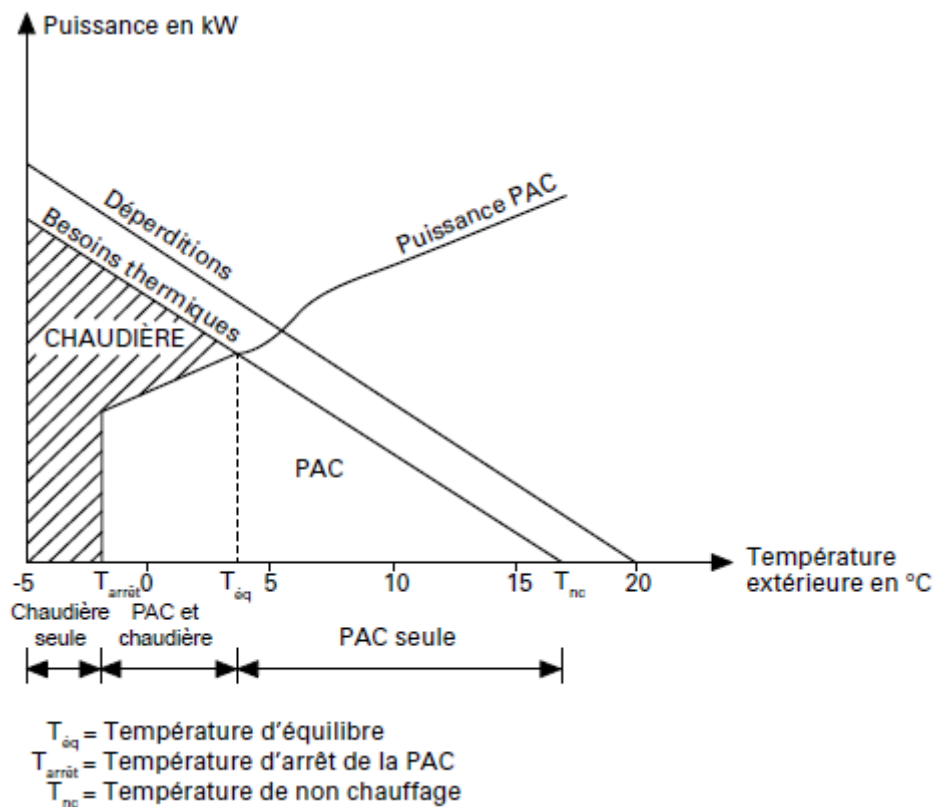
Deux types de fonctionnement sont possibles : simultané ou alterné.

### 3.2.1. Fonctionnement simultané

Ce mode de fonctionnement est également désigné bivalent parallèle.

La pompe à chaleur assure seule le chauffage jusqu'à la température d'équilibre, également appelé « point de bivalence ».

En dessous de cette température d'équilibre (point de bivalence), la pompe à chaleur et la chaudière fonctionnent ensemble pour assurer la totalité des besoins, jusqu'à la température extérieure d'arrêt de la PAC à partir de laquelle la chaudière assure seule les besoins.

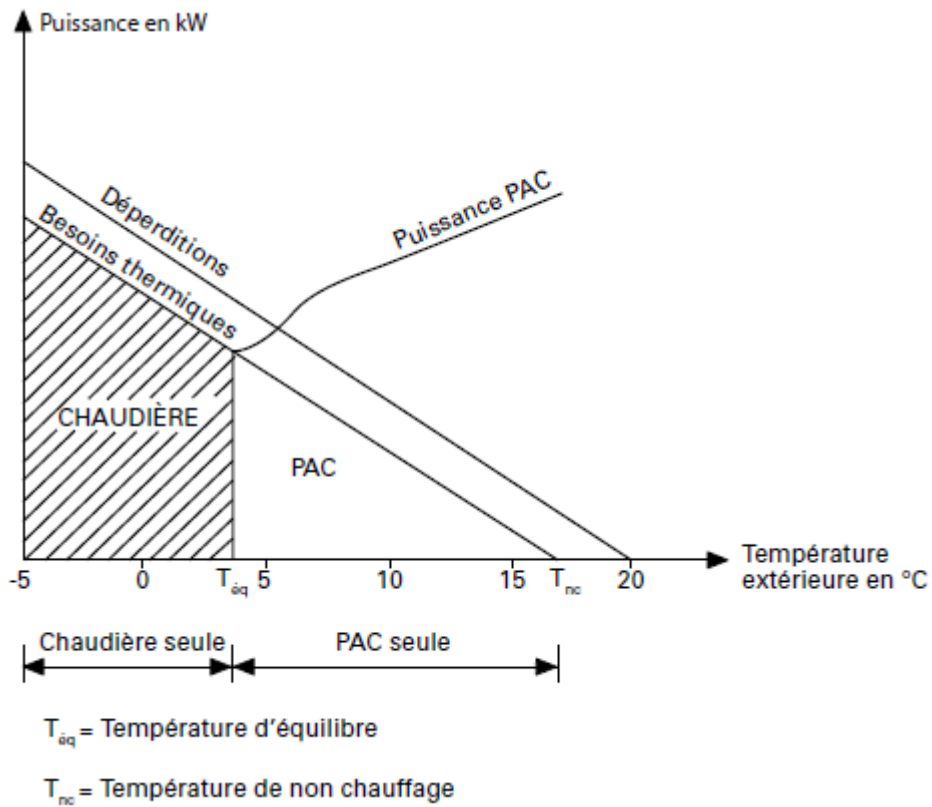


### 3.2.2. Fonctionnement alterné

Ce mode de fonctionnement est également désigné bivalent alternatif.

La pompe à chaleur assure seule le chauffage de l'habitation pour une température extérieure supérieure à la température d'équilibre variable d'environ 5 à -5°C. C'est la température à laquelle la puissance fournie par la pompe à chaleur est égale aux besoins. Cette température est également appelée « point de bivalence »

En dessous de la température d'équilibre (point de bivalence), la chaudière assure seule les besoins.





### 3.3. La pompe à chaleur hybride

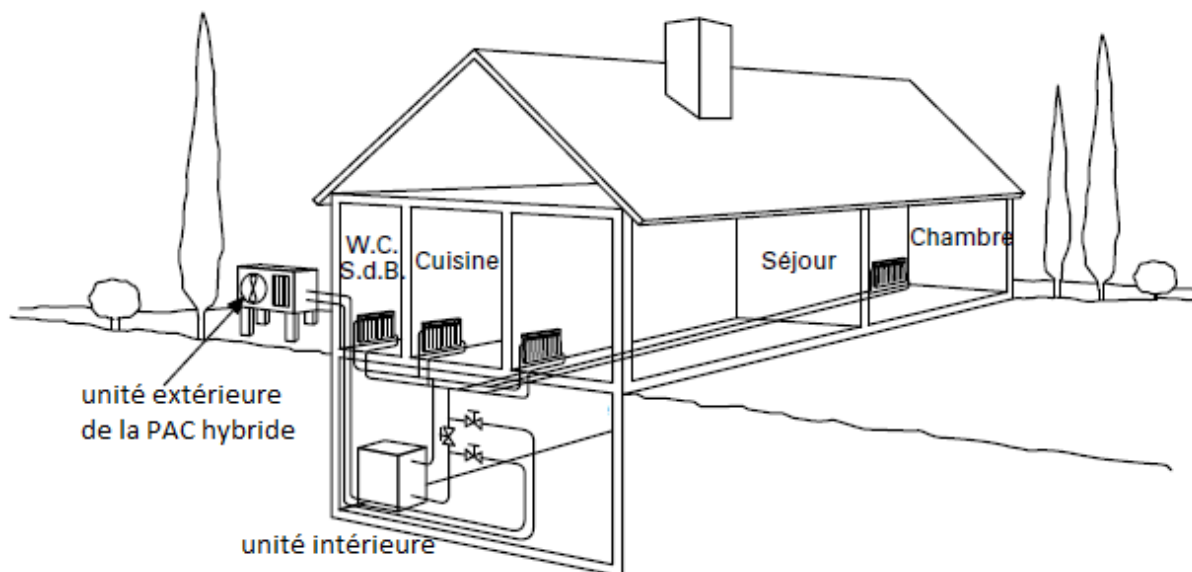


Figure 6 : Exemple de pompe à chaleur hybride

Une pompe à chaleur hybride comprend :

- Une pompe à chaleur air extérieur-eau fonctionnant à l'électricité ;
- Une chaudière fonctionnant au gaz ou au fioul ;
- L'équipement électrique associé ;
- Une régulation pilotant l'ensemble et gérant la mise en marche et l'arrêt des deux générateurs.

Cette pompe à chaleur hybride permet d'assurer la production de chaleur pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire.

La régulation gère le fonctionnement des deux générateurs pour assurer en permanence la performance globale optimale selon le critère de régulation choisi (minimiser la consommation d'énergie primaire, le coût de l'énergie, ou les émissions de CO<sub>2</sub> à termes).

En effet, les performances de la pompe à chaleur et de la chaudière varient avec les conditions de température d'eau et de température extérieure. D'une façon générale :

- Le coefficient de performance de la pompe à chaleur diminue lorsque la température extérieure baisse et lorsque la température d'eau augmente ;
- Le rendement de la chaudière diminue lorsque la température de retour d'eau augmente (cas de la chaudière à condensation).

Le système peut se présenter sous deux formes :

- Monobloc : les deux systèmes de production sont regroupés dans un même module intérieur ;

- En éléments séparés : le système est composé de l'unité extérieure de la pompe à chaleur et d'un module intérieur.

Les systèmes en éléments séparés nécessitent soit une liaison de fluide frigorigène, soit une liaison hydraulique entre le module extérieur et le module intérieur. Le module intérieur est proposé en solution murale ou au sol.

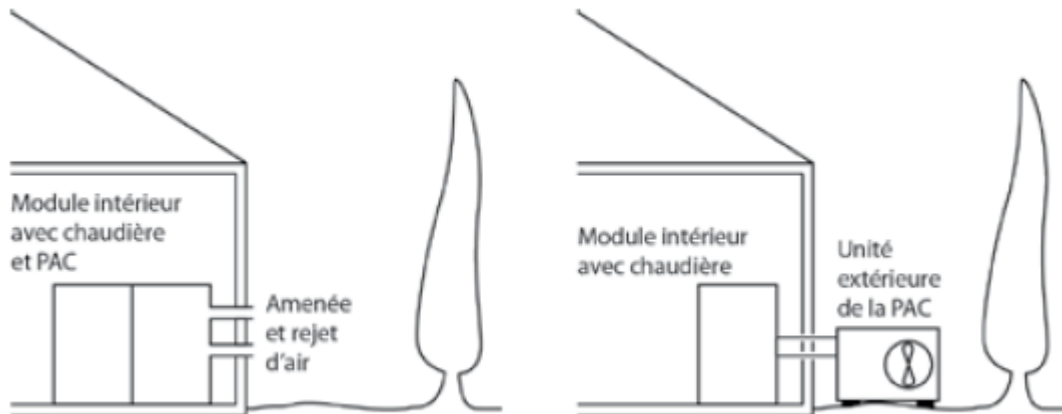


Figure 7 : Schémas de principe des générateurs hybrides monobloc et en éléments séparés

### 3.3.1. Caractéristiques techniques

Les systèmes se différencient par les types de pompes à chaleur, de chaudières, les puissances calorifiques, les raccordements des éléments, les modes de régulation et les modes de production de l'eau chaude sanitaire.

Les pompes à chaleur sont disponibles en version monobloc ou en éléments séparés. Les compresseurs se déclinent soit en technologie à variation de vitesse de type Inverter, soit en tout ou rien. Les puissances et les performances varient en fonction des fabricants. L'alimentation électrique est en monophasé ou en triphasé pour les puissances calorifiques plus importantes.

Les chaudières sont disponibles en type mural ou au sol ; les chaudières murales fonctionnent au gaz tandis que les chaudières au sol peuvent être alimentées en fioul ou en gaz. Elles produisent de l'eau jusqu'à la température de 80°C si nécessaire. La puissance calorifique maximale de la chaudière est généralement comprise entre 15 et 35 kW. Les chaudières disposent d'un raccordement de type étanche (« ventouse ») ou par conduit de fumée.

### 3.3.2. La régulation

La régulation du chauffage est en fonction de la température extérieure, avec éventuellement prise en compte de la température ambiante. La gestion de la mise en marche et de l'arrêt de la pompe à chaleur et de la chaudière est établie en fonction de paramètres énergétiques ou financiers, qui prennent en compte la combinaison de différents paramètres (température extérieure, départ et retour chauffage).

La régulation en fonction de la température extérieure nécessite au moins une sonde de température extérieure et une sonde de température d'eau, souvent incorporée à la machine. Cette régulation peut être complétée par la mesure de la température ambiante, permettant d'adapter la courbe de chauffe.

La régulation commande la marche et l'arrêt de la pompe à chaleur et de la chaudière, soit selon l'énergie primaire consommée, soit selon le coût de l'énergie.

La figure ci-dessous illustre la stratégie de commande de la pompe à chaleur et de la chaudière :

- Si l'utilisation de la pompe à chaleur est plus pertinente que celle de la chaudière selon le critère de pilotage choisi, la pompe à chaleur assure seule les besoins tant que sa puissance est suffisante ;
- Si l'utilisation de la pompe à chaleur est plus pertinente que celle de la chaudière selon le critère de pilotage choisi et si la puissance de la pompe à chaleur n'est plus suffisante, alors la chaudière est mise en fonctionnement en appoint de la pompe à chaleur ;
- La pompe à chaleur s'arrête lorsque son utilisation devient moins pertinente que celle de la chaudière selon le critère de pilotage choisi, ou lorsque les conditions requises sortent de ses limites de fonctionnement (notamment limite de température de départ maximale). La température extérieure à laquelle la pompe à chaleur s'arrête est très variable selon le niveau de température requis par l'installation et selon les machines.

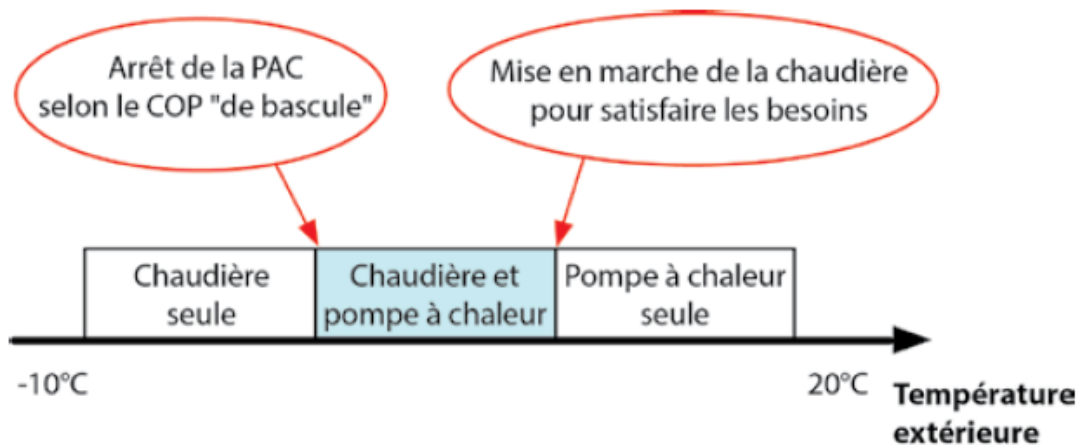


Figure 8 : Stratégie de régulation des pompes à chaleur hybrides

Pour la majorité des produits, la régulation interne de la machine estime à chaque instant le COP (coefficient de performance) de la pompe à chaleur et le rendement de la chaudière.

Le critère de choix peut ainsi reposer sur un COP « de bascule » en-dessous duquel la pompe à chaleur n'est pas autorisée à fonctionner. Il peut être déterminé en fonction :

- **De l'énergie primaire consommée**, en considérant le coefficient de transformation de l'énergie primaire en énergie finale de 2,58 pour l'électricité et de 1 pour le combustible gaz ou fioul. Tant que le COP de la pompe à chaleur est supérieur à 2,58 multiplié par le rendement PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) de la chaudière, il est plus intéressant de la faire fonctionner. En dessous, la pompe à chaleur est arrêtée au profit de la chaudière ;

$$\text{COP « de bascule »} = 2,58 \times (\text{Rendement sur PCI de la chaudière})$$

- Du coût de l'énergie : les prix du kWh de gaz ou de fioul et du kWh électrique doivent être paramétrés. La détermination du point d'arrêt de la pompe à chaleur se calcule en comparant le prix du kWh électrique au prix du kWh de l'énergie utilisée par la chaudière. La pompe à chaleur fonctionne tant que son COP est supérieur au COP « de bascule ». Dans la formule ci-dessous, dans le cas du gaz, c'est le rendement sur PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur) qui est considéré par cohérence avec le coût du kWh.

$$\text{COP de bascule} = \frac{\text{Coût kWh électrique}}{\text{Coût kWh gaz ou fioul}} \times (\text{Rendement de la chaudière})$$

Les consommations de chauffage sont présentées en fonction de la température extérieure (figure ci-dessous). Elles sont calculées pour le nombre de jours de la saison de chauffe passés à la température extérieure moyenne considérée. La figure ci-dessous montre les consommations (en énergie finale) de combustible de la chaudière et d'électricité de la pompe à chaleur ainsi que l'énergie délivrée au logement par le générateur hybride.

On constate que la pompe à chaleur seule permet d'assurer le chauffage jusqu'à la température extérieure de 6°C. En dessous, la puissance de la pompe à chaleur étant inférieure aux déperditions, la chaudière est mise en fonctionnement en appoint. Pour des températures inférieures à 2°C, la pompe à chaleur est mise à l'arrêt.

### Consommation en énergie finale en kWh

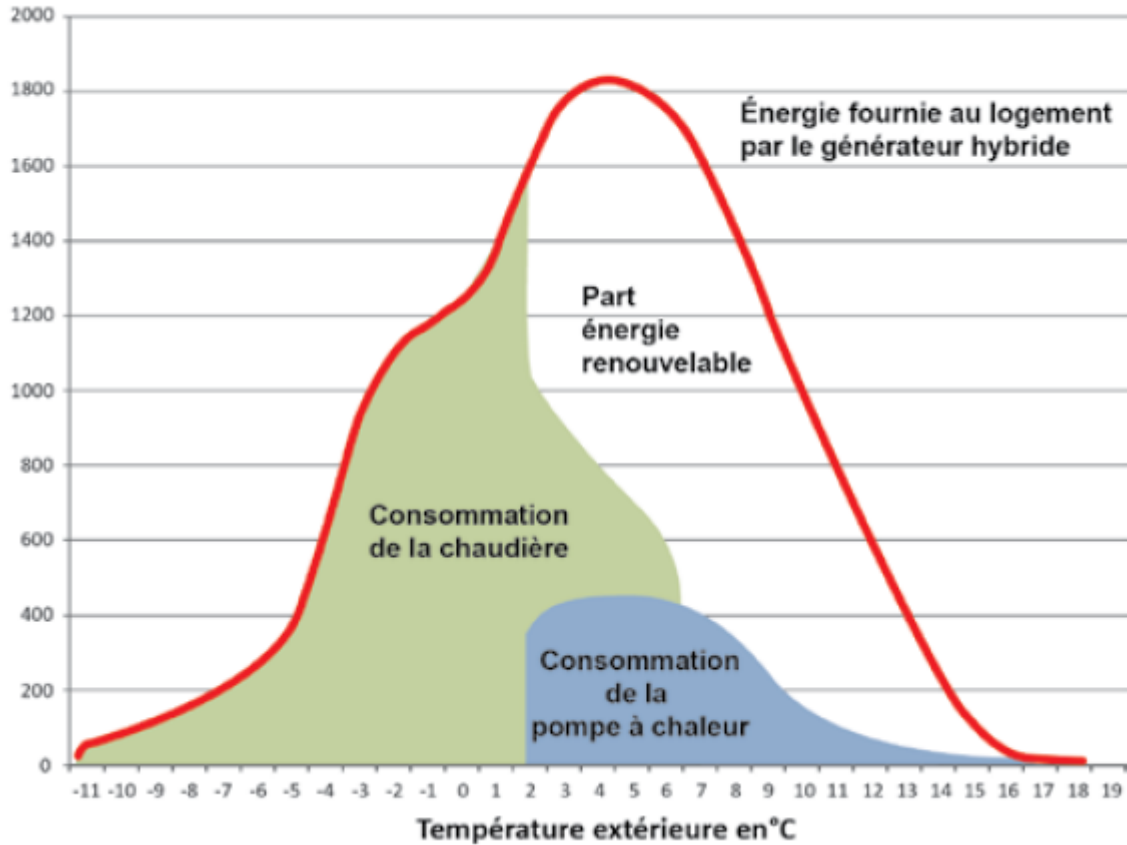


Figure 9 : Répartition des consommations en énergie finale de la chaudière et de la pompe à chaleur et d'énergie délivrée au logement par le générateur hybride

La figure ci-dessous présente la comparaison des consommations en énergie primaire entre un générateur hybride et une chaudière seule. Un coefficient de conversion de 2,58 est considéré pour l'électricité et de 1 pour le combustible. Cette figure montre, dès la mise en marche de la pompe à chaleur, que l'énergie primaire consommée par le générateur hybride est inférieure à celle d'une chaudière seule.

### Consommation en énergie primaire en kWh

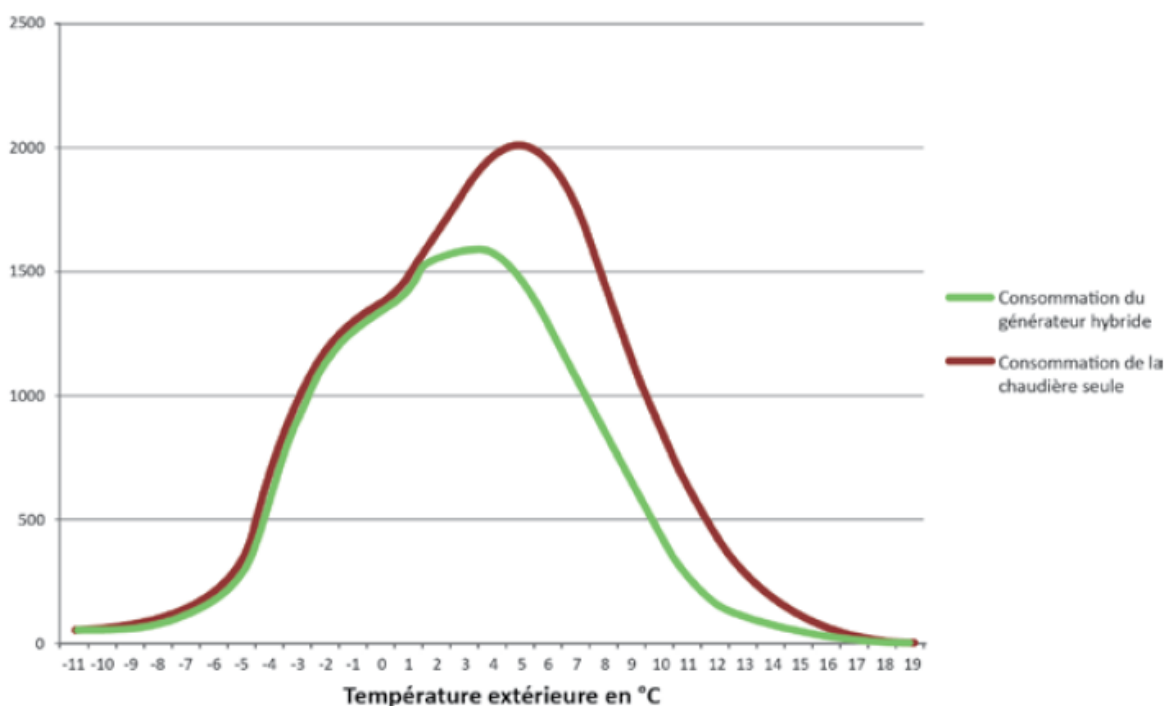


Figure 10 : Comparaison des consommations en énergie primaire d'une chaudière gaz à condensation et d'une pompe à chaleur hybride, en rénovation

### 3.3.3. La production de chauffage

L'ensemble des régimes de température de chauffage sont possibles, du régime 80/60°C au régime basse température 40/30°C alimentant un plancher chauffant. Ce dernier est à privilégier pour que la pompe à chaleur fonctionne avec les meilleures performances. Un ou plusieurs réseaux de chauffage peuvent être alimentés. Dans certains cas, par exemple pour un plancher chauffant, une vanne à trois voies de régulation en mélange est nécessaire.

### 3.3.4. La production d'eau chaude sanitaire

La production d'ECS est de type instantanée, micro-accumulée ou accumulée. Un volume de stockage peut être déjà intégré à la chaudière dans le module intérieur, intégré au module hydraulique ou ajouté à l'installation. Dans certains cas, la production est entièrement assurée par la chaudière. Dans d'autres cas, la pompe à chaleur préchauffe l'eau tout en conservant le mode de régulation décrit ci-dessus et la chaudière apporte le complément d'énergie pour atteindre la température d'eau souhaitée. Le fonctionnement idéal est de laisser la chaudière en arrêt lors de la période de non chauffage.

## 4. La pompe à chaleur double service

### 4.1.Principe général

Le principe de la pompe à chaleur double-service est d'assurer la production de l'ECS et le chauffage de la maison à partir d'une même machine.

Elle peut être utilisée sur une nouvelle installation en habitat neuf ou venir en substitution d'un système de chauffage et de production d'ECS existant dans le cadre d'une rénovation.

Le principe le plus courant consiste à faire circuler l'eau sortant du condenseur de la pompe à chaleur soit vers le circuit de chauffage de la maison, soit vers le ballon de préparation de l'ECS, sous le contrôle de la régulation. Le basculement entre le chauffage et la production d'ECS est réalisé par la commande d'une vanne à trois voies directionnelle ou plus rarement par la commande du circulateur de charge du ballon d'ECS et du circulateur de chauffage.

Dans notre cas, les pompes à chaleur double-service sont des pompes à chaleur air extérieur-eau monobloc ou à éléments séparés.

Les pompes à chaleur comprennent généralement un module hydraulique qui contient la plupart des éléments hydrauliques (circulateur, vase d'expansion...).

Le ballon d'ECS peut être séparé ou intégré à la pompe à chaleur.

Un appoint pour la production d'ECS est nécessaire pour les pompes à chaleur qui ne permettent pas d'atteindre des températures d'ECS suffisamment élevées ou qui ne fonctionnent pas sur toute la plage de températures extérieures rencontrées. Il peut être réalisé par une résistance électrique placée dans le circuit hydraulique de la pompe à chaleur, ou en partie basse ou médiane à l'intérieur du ballon ECS.

**En maison individuelle, éviter de réaliser un bouclage sur la distribution d'ECS. Un bouclage est très consommateur et détruit la stratification du ballon d'ECS. Pour limiter les temps d'attente aux robinets, regrouper les points de soutirage, placer le ballon d'ECS au plus près de ceux-ci ou prévoir des appareils de production complémentaires.**

**Si une boucle de circulation devait tout de même être mise en œuvre, il est important de veiller particulièrement à l'isolation des tuyauteries et de programmer le fonctionnement du circulateur de bouclage aux heures d'utilisation possibles.**

**Le maintien de la distribution d'ECS en permanence à une température d'au moins 50°C, vis-à-vis du risque lié aux légionnelles, n'est imposé par l'arrêté du 30 novembre 2005 que si le volume entre le point de puisage le plus éloigné et la sortie de production d'ECS est de plus de 3 litres. Cet arrêté ne s'applique que dans le cas d'une installation neuve (production et distribution d'ECS neuves). Un volume de 3 litres correspond à une longueur de canalisation en cuivre de 38 m en diamètre 10/12, 26 m en 12/14, 19 m en 14/16 ou bien 9 m en 20/22.**

**A partir d'un volume de stockage d'ECS de 400 litres, l'arrêté du 30 novembre 2005 impose une température minimale en sortie de production d'ECS d'au moins 55°C, en prévention du risque lié aux légionnelles. En dessous de 400 litres, il n'y a pas d'exigence réglementaire sur la température de production d'ECS en habitat.**

## **4.2. Système à ballon intégré**

Ce système se présente comme un ensemble manufacturé intégrant, à l'intérieur d'un même carénage :

- La machine thermodynamique (dans le cas d'une pompe à chaleur air extérieur- eau monobloc intérieure) ou l'unité intérieure (dans le cas d'une pompe à chaleur air extérieur- eau à éléments séparés) ;
- Le ballon d'ECS ;
- Les principaux composants hydrauliques (circulateur, vanne à trois voies, vase d'expansion...).

Les ballons d'ECS les plus couramment rencontrés sont des ballons équipés d'un échangeur à serpentin immergé. Il existe également des ballons à double-enveloppe ou à bain marie qui présentent un volume en eau primaire plus important, accumulant de l'énergie. Les pertes thermiques plus élevées des ballons à bain-marie et à double-enveloppe impliquent une isolation renforcée de la coque extérieure. Les ballons avec un échangeur externe sont généralement utilisés pour des capacités plus importantes que celles couramment rencontrées en maison individuelle.

Le ballon d'ECS est placé au-dessus ou en dessous de la pompe à chaleur, selon les modèles. En cas de hauteur de plafond insuffisante, il peut être éventuellement positionné sur les côtés de la pompe à chaleur.



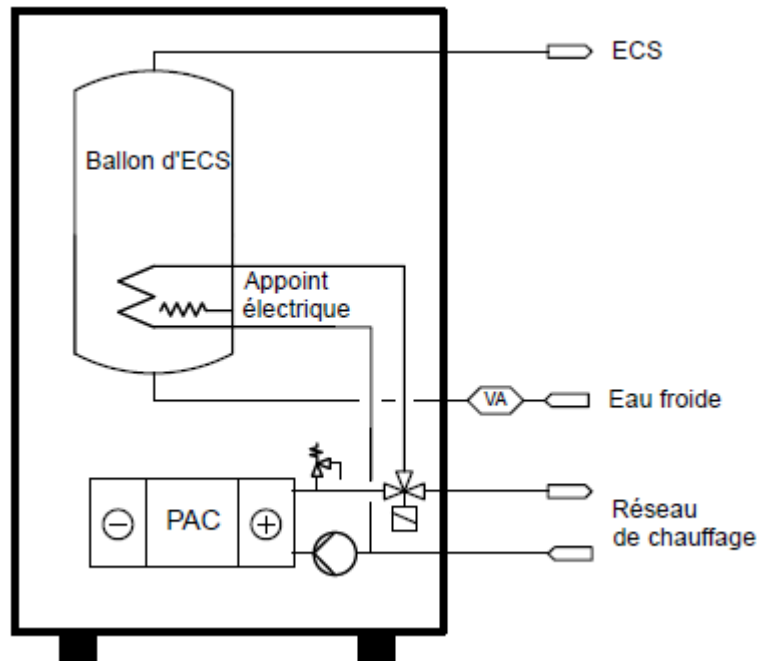


Figure 11 : Exemple de pompe à chaleur double-service. Le groupe de sécurité (VA) n'est généralement pas inclus dans la pompe à chaleur et est donc à prévoir

La pompe à chaleur à ballon intégré présente l'avantage d'une conception optimisée par le constructeur et d'un encombrement moindre.

Il importe cependant que la puissance thermique de l'appareil et la capacité du ballon répondent à la fois aux besoins de chauffage de la maison et aux exigences de production d'ECS.

### 4.3. Système à ballon séparé

Dans les systèmes dits à ballon séparé, l'ensemble pompe à chaleur et ballon d'ECS n'est pas rassemblé à l'intérieur d'un même carénage. Les éléments constitutifs de l'installation de production pour le chauffage et le ballon d'ECS sont séparés.

Cette solution permet de rapprocher le plus possible le ballon d'ECS des points de puisage pour limiter les temps d'attente aux robinets.

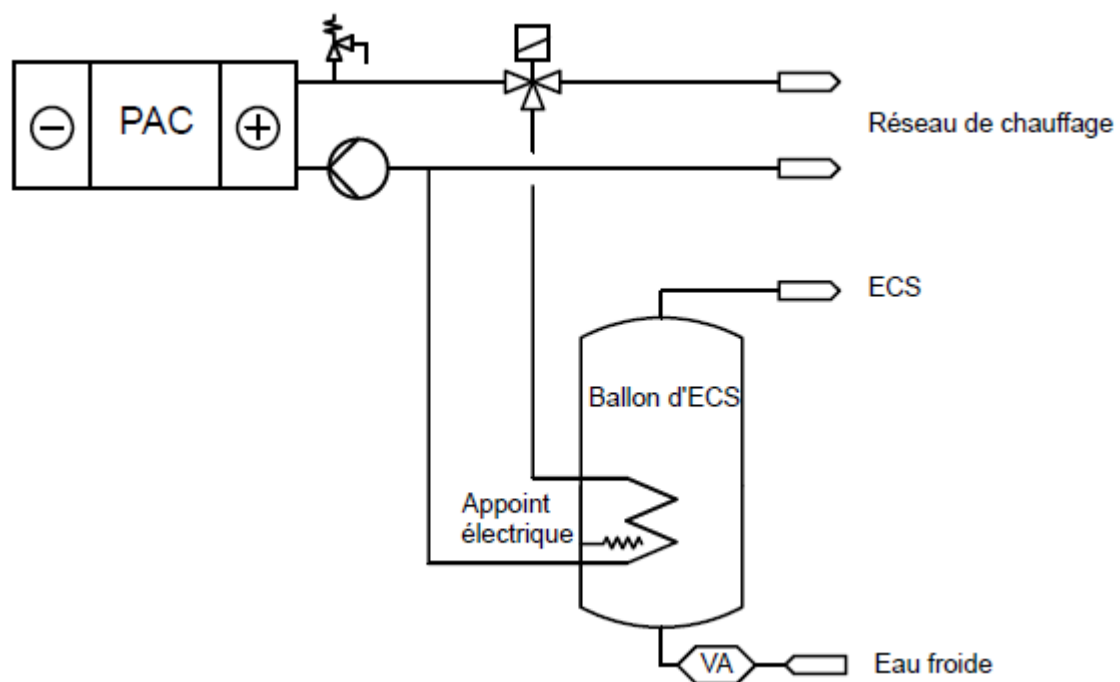


Figure 12 : Exemple de pompe à chaleur double-service avec un ballon d'ECS séparé, à serpentin

### 4.4. Régulation

Les possibilités offertes en termes de régulation de la production d'ECS varient fortement selon les modèles. Ci-après sont présentés des exemples de régulation proposée.

#### 4.4.1. Réchauffage uniquement nocturne de l'ECS

Certains modèles permettent de réaliser un réchauffage de l'ECS uniquement en période nocturne grâce à une programmation horaire. Assurer un réchauffage la nuit est moins contraignant qu'en période diurne. Durant la nuit, le chauffage peut être arrêté plus longtemps pour réchauffer l'ECS, l'abaissement des températures ambiantes pouvant être plus important qu'en période diurne. Le

réchauffage peut être éventuellement entrecoupé par des relances automatiques du chauffage en fonction de la température ambiante. Les performances énergétiques sont meilleures avec ce mode de régulation que pour un réchauffage non asservi. Il requiert par contre une capacité de stockage d'ECS beaucoup plus importante.

#### **4.4.2. Réchauffage de l'ECS non asservi à une programmation horaire**

Pour certaines pompes à chaleur, un réchauffage de l'ECS non asservi à une programmation horaire est possible. La recharge de ballon d'ECS est prioritaire sur le chauffage. Lorsque la température d'ECS descend en dessous d'une valeur paramétrée, la production d'ECS est enclenchée, le chauffage est arrêté. Une durée maximale de réchauffage de l'ECS est souvent fixée de manière à limiter la chute de température ambiante provoquée par l'arrêt du chauffage. Si après 30 minutes, par exemple, le réchauffage de l'ECS n'est pas terminé, le chauffage est relancé pour une durée fixée, par exemple de 45 minutes, puis le réchauffage de l'ECS est ensuite à nouveau activé et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il soit terminé. La relance du chauffage peut aussi être réalisée automatiquement en fonction de la température ambiante. L'enclenchement du réchauffage de l'ECS dépend du différentiel réglé mais aussi de caractéristiques intrinsèques du ballon d'ECS telles que l'efficacité du brise-jet, la position de la ou des sondes de température d'ECS. Avec ce mode de fonctionnement, une partie importante de la production d'ECS est effectuée en période diurne.

#### **4.4.3. Réchauffage de l'ECS à 55°C la nuit et l'après-midi et à 40°C le reste du temps**

D'autres modèles offrent la possibilité de réaliser une programmation horaire avec deux consignes de production d'ECS différentes. Ils combinent les deux modes de fonctionnement décrits précédemment. Ainsi, ils permettent de programmer une température dite « de confort » (de 55°C par exemple) durant la nuit et l'après-midi et une température dite « de réduit » (de 40°C par exemple) le reste du temps. Comme dans le cas d'un fonctionnement non asservi, la capacité du ballon d'ECS nécessaire est nettement plus faible que pour un réchauffage uniquement en période nocturne. Des recharges de ballon d'ECS durant la période diurne généralement moins nombreuses constituent également un autre avantage par rapport à un fonctionnement sans asservissement horaire. Des relances du chauffage peuvent également être effectuées si nécessaire au cours du réchauffage de l'ECS.

#### **4.4.4. Gestion de l'appoint électrique**

La gestion de l'appoint électrique pour la production d'ECS est également très variable selon les pompes à chaleur. Pour les pompes à chaleur qui ne permettent pas d'atteindre des températures d'ECS suffisamment élevées, la résistance électrique peut être enclenchée, par exemple, à partir d'une consigne de température réglée ou après une durée fixée de fonctionnement de la pompe à

chaleur. Son fonctionnement peut être ou non asservi à la tarification ou à certaines périodes de fonctionnement, par exemple aux périodes dites « de confort ».

La résistance électrique peut également assurer seule la production d'ECS en dessous d'une valeur minimale ou au-dessus d'une valeur maximale de température extérieure, pour les pompes à chaleur air-eau qui ne fonctionnent pas sur toute la plage de conditions extérieures. La résistance peut aussi être utilisée pour éviter de trop longs arrêts du chauffage les jours les plus froids.

## 5. 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. Cette tâche est du ressort de l'installateur qualifié pour l'installation de la pompe à chaleur.

### 5.1. Calcul des déperditions

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

#### 5.1.1. 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.

#### 5.1.2. 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  $K$

### 5.1.3. 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 :

- $\Psi$  : 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.*

### 5.1.4. 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/m<sup>3</sup>.K
- $q_v$  : débit de renouvellement d'air par ventilation et infiltration en m<sup>3</sup>/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.*

### 5.1.5. 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 13 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 14.

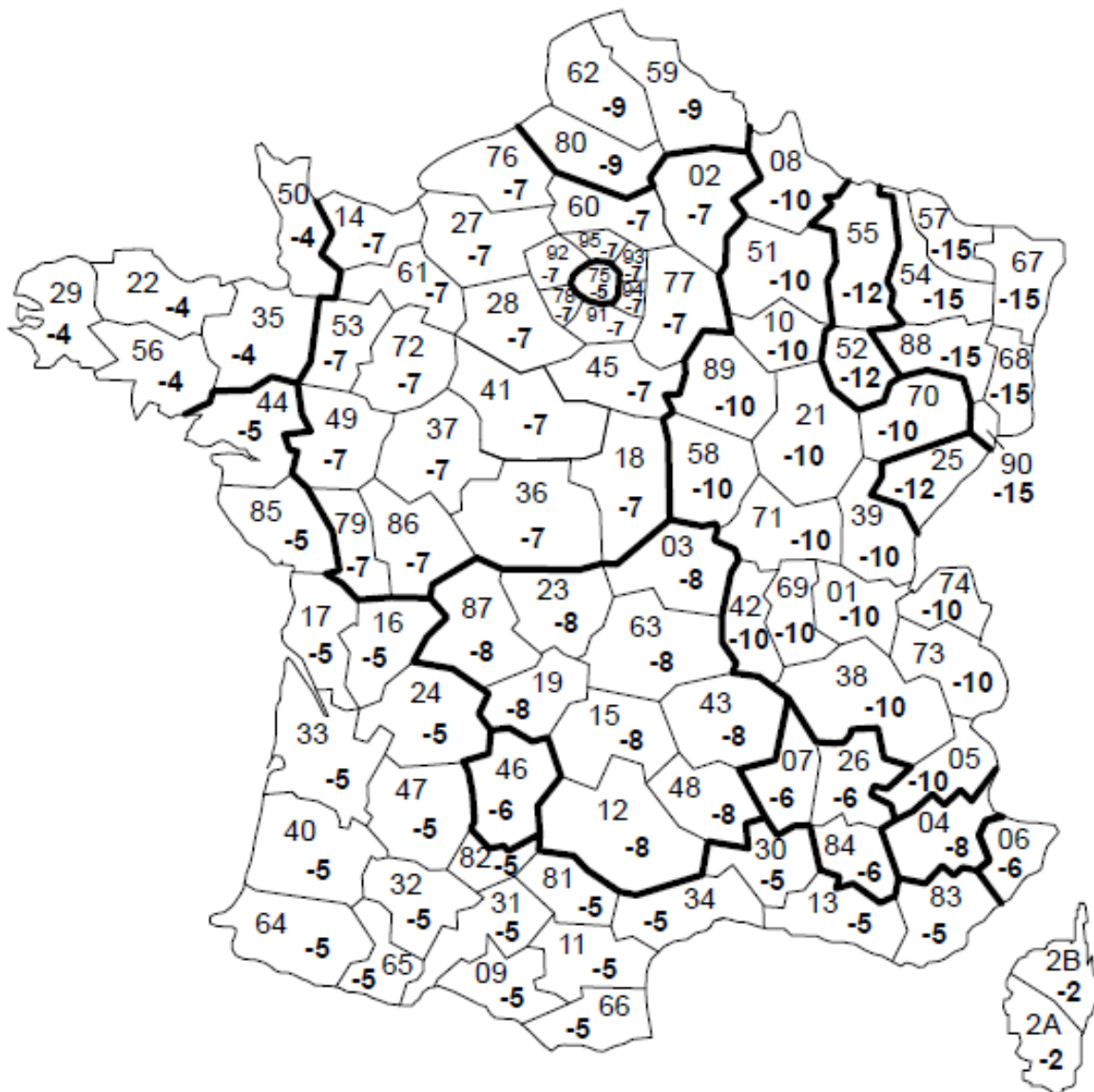


Figure 13 : Températures extérieures de base non corrigées par l'altitude

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										-3
-4	401 à 600	0 à 200	↓								-4
-5	601 à 700	201 à 400	0 à 200								-5
-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					-8
-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			-13
-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 14 : Corrections en fonction de l'altitude

## 5.2. Dimensionnement de la pompe à chaleur et de l'appoint

### 5.2.1. Cas de la substitution en rénovation

La pompe à chaleur et son appoint doivent être capables de fournir la température d'eau nécessaire pour les conditions extérieures de base du lieu.

Le dimensionnement est effectué en mode chauffage.

L'appoint, intégré à la pompe à chaleur, est constitué par un réchauffeur électrique placé en aval de la partie thermodynamique, afin d'assurer le complément de puissance.



Au-delà d'une puissance de 3 kW, l'appoint doit être prévu avec à minima deux niveaux de puissance ; le dernier niveau étant mis en fonctionnement uniquement à l'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 électrique doit pouvoir être effectué manuellement.*

#### **5.2.1.1. Dimensionnement de la pompe à chaleur tout ou rien et de l'appoint**

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 70 et 100 % des déperditions 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 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.

#### **5.2.1.2. Dimensionnement de la pompe à chaleur à variation de puissance et de l'appoint**

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 70 et 100 % des déperditions calculées pour la température extérieure de base du lieu si les locaux desservis présentent une inertie moyenne à très lourde.

Sinon la puissance calorifique de la pompe à chaleur est comprise entre 80 et 100 % des déperditions 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 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 extérieure en dessous de laquelle le constructeur ne garantit pas le fonctionnement satisfaisant de la pompe à chaleur ni l'obtention des performances attendues.*

### 5.2.2. Cas de la relève par chaudière en rénovation

Dans ce cas, la chaudière existante est conservée et est utilisée en appoint de la pompe à chaleur, voire fonctionne seule les jours les plus froids.

La puissance calorifique de la chaudière est supérieure ou égale à 120% des déperditions calculées à la température extérieure de base, quel que soit le type de pompe à chaleur installé.

La puissance calorifique de la pompe à chaleur est déterminée par l'installateur selon des critères techniques et économiques liés à l'installation existante.

**La compatibilité de la température de retour d'eau maximale admissible au niveau de la pompe à chaleur est vérifiée par rapport à la température de départ d'eau de chaudière nécessaire à l'installation.**

### 5.2.3. Cas de la pompe à chaleur hybride en rénovation

Une récente étude de l'AFPAC fait apparaître que :

- Pour améliorer le taux de couverture de la PAC, la pompe à chaleur doit participer, en forte proportion à la production d'eau chaude sanitaire. L'idéal serait de ne pas fonctionner avec la partie fossile pendant la période de non chauffage. Ce qui implique d'avoir une pompe à chaleur capable de produire de l'eau chaude sanitaire seule à une température suffisante, qui sera stockée pour assurer les pics de consommations.
- La pompe à chaleur doit produire de l'eau chaude à une température qui se rapproche le plus de celle demandée par les émetteurs. Cela implique que, pour un réseau de radiateurs en maison individuelle existante, une température dépassant 60°C, sans aller au-delà de 65°C pour ne pas changer radicalement de technologie de compresseur afin de limiter les coûts de fabrication, semble intéressante. Ce qui permet de répondre également aux besoins de la production d'eau chaude sanitaire.
- Pour une PAC hybride au fioul, une PAC de puissance comprise entre 6 et 10 kW est recommandée d'un point de vue économique et environnemental. Pour les climats les plus froids, la PAC sera de plus forte puissance (entre 8 et 10 kW) que pour les climats plus doux (entre 6 et 8 kW).
- Pour une PAC hybride au gaz, les puissances de PAC recommandées sont de 6 à 8 kW. Au-delà de 8 kW, le gain obtenu avec l'augmentation de puissance de la PAC au niveau de la part EnR et du taux de couverture se réduit, ne favorisant donc pas des puissances de PAC supérieures à 8 kW.

### 5.3. Caractéristiques de la pompe à chaleur air extérieur-eau

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

- Les températures limites réelles de fonctionnement (températures d'entrée d'air, d'entrée d'eau et de sortie d'eau) ;
- Les débits minimal et maximal d'air et d'eau ;
- Les pertes de charge sur l'eau ;
- Les pertes de charges sur l'air pour les unités raccordables (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, selon le type d'émetteur ;
- La présence d'antigel ;
- 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	
Air extérieur	Température entrée évaporateur	Temp. sèche	Temp. humide	Temp. sèche	Temp. humide
		7°C	6°C	-7°C	-8°C
Eau basse température application plancher chauffant	Température entrée condenseur	30°C		*	
	Température sortie condenseur	35°C		35°C	
Eau basse température application unité terminale ou radiateur	Température entrée condenseur	40°C		*	
	Température sortie condenseur	45°C		45°C	

(\*) Température fonction du débit identique à celui de l'essai en mode chauffage à +7°C extérieur

Figure 15 : Points de fonctionnement en mode chaud, selon la certification NF PAC

Fluide Caloporteur	Point de fonctionnement		
		Nominal	Supplémentaire
Air extérieur	Température entrée condenseur	Temp. sèche	Temp. humide
		35°C	**
Eau basse température application plancher rafraichissant	Température entrée évaporateur	23°C	
	Température sortie évaporateur	18°C	
Eau basse température application unité terminale à eau 2 tubes ou ventilo-convecteur	Température entrée évaporateur	12°C	
	Température sortie évaporateur	7°C	

(\*\*) non contrôlée

Figure 16 : Points de fonctionnement en mode froid, selon la certification NF PAC

### Commentaire

*En présence d'antigel, les performances annoncées doivent tenir compte du pourcentage de concentration en antigel. Il convient de se référer aux fiches techniques du constructeur.*

## 5.4. Performances thermiques de la pompe à chaleur

Les performances calorifiques d'une pompe à chaleur annoncées par le constructeur font l'objet d'une certification (NF PAC, EUROVENT CERTITA CERTIFICATION...). La pompe à chaleur doit répondre aux exigences définies dans les normes NF EN 14825.

La certification européenne HP-Keymark répond également aux critères d'éligibilité des certifications tels que définis dans les documents officiels relatifs :

- A la RT2012, en particulier dans la méthode de calcul TH-BCE 2012 ;
- A l'obtention de la qualification en vue de bénéficier du signe de qualité *Reconnu Garant de l'Environnement* (RGE) ;
- Au DTU 65-16 P1 -Travaux de bâtiment - Installations de pompes à chaleur.

### 5.4.1. Mode chauffage

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

- Puissance thermique dissipée au condenseur ;
- Puissance électrique totale absorbée, qui prend notamment la puissance électrique du compresseur et du ventilateur et une partie de la puissance électrique des circulateurs.

#### 5.4.1.1. Coefficient de performance (COP)

Le COP sert à évaluer la performance d'une pompe à chaleur en certains points de fonctionnement.

$$COP = \frac{P_{caloPAC}}{(P_{abs} + P_{aux})}$$

Avec :

- $P_{caloPAC}$  : puissance calorifique pour le chauffage des locaux, et le cas échéant, la production d'eau chaude sanitaire ;
- $P_{abs}$  : puissance électrique consommée par le compresseur ;
- $P_{aux}$  : puissance pour compenser la chute de pression dans le condenseur, le dégivrage et la régulation de la pompe à chaleur conformément à la norme NF EN 14825.

#### 5.4.1.2. Facteur total de performance saisonnière (SCOP)

Le SCOP est calculé selon la norme NF EN 14825.

En 2019, l'efficacité minimum d'une PAC pour sa mise en marché est de 110% pour une PAC à 55°C, et 125% pour une PAC à 35°C. Cela correspond à un SCOP (ou COP saisonnier) de : 3 pour une PAC à 55°C et 3,4 pour une PAC à 35°C

### 5.4.2. L'étiquetage énergétique des pompes à chaleur

Les règlements européens « éco-conception » et « étiquetage énergétique » sont entrées en vigueur le 26 septembre 2015.

C'est dans le cadre de la Directive européenne ErP (Energy related Products) qui avait déjà commencé avec les moteurs électriques en 2011, les climatiseurs en 2013, et devant ainsi continuer à améliorer les performances des équipements mis sur le marché, que désormais tous les générateurs de chauffage doivent présenter un minimum d'efficacité énergétique. Dont font partie les pompes à chaleur !

#### **La directive européenne écoconception ou ErP (pour Energy related Product)**

Elle concerne désormais tous les générateurs tels que pompes à chaleur d'une puissance inférieure à 400 kW, et les ballons d'Eau Chaude Sanitaire inférieurs à 2 000 litres.

Désormais toutes les pompes à chaleurs domestiques devront présenter un minimum d'efficacité énergétique (ou rendement) ainsi qu'un niveau de bruit maximum.

#### **La directive écolabelling ou étiquetage énergétique**

Cette directive - la plus importante aux yeux du particulier - impose désormais un étiquetage de la performance énergétique pour tous les générateurs tels que pompes à chaleur ayant une puissance

inférieure à 70 kW. Ce qui concerne les maisons individuelles.

### But de l'étiquetage énergétique

La directive étiquetage énergétique a pour objectif d'identifier et de comparer l'efficacité de la pompe à chaleur. L'étiquette livre nombres d'informations : efficacité énergétique (A+++ pour les plus performantes), consommation annuelle d'énergie, nom du fabricant, niveau sonore...

### Etiquette énergétique de pompe à chaleur



I Marque      II Modèle de générateur      ← Classe d'efficacité énergétique saisonnière

Concerne chauffage      XL Volume d'eau chaude utilisé par jour, généralement M ou L ou XL

YZ dB Puissance acoustique LWA à l'intérieur      YZ kW Puissance utile en kW

Pictogramme optionnel rajouté seulement si le dispositif permet le délestage pour un fonctionnement en mode heures pleines/heures creuses

### Deux étiquettes selon le régime de température de la pompe à chaleur

Selon que la PAC délivre de l'eau à basse température (35°C) ou à moyenne température au minimum (55°C), une étiquette spécifique est utilisée.

### Deux colonnes pour les pompes à chaleur double service

L'étiquette énergétique d'un dispositif de chauffage mixte par pompe à chaleur, de type « double service », c'est-à-dire produisant du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, comporte deux colonnes. L'une pour l'efficacité énergétique de la fonction chauffage et l'autre pour l'efficacité énergétique de

la partie eau chaude sanitaire.

#### *Classe d'efficacité énergétique saisonnière*

Le niveau de la classe énergétique varie de G (énergivore) à A++ (la plus performante et économique). C'est un niveau moyen annuel appelé « Classe d'efficacité énergétique saisonnière ». Cela vient du fait que le rendement ou coefficient de performance d'une pompe à chaleur varie en fonction de la température extérieure. Cette meilleure définition du SCOP (ou COP saisonnier) donne une plus juste indication de la performance annuelle de la pompe à chaleur.

### **5.4.3. Mode refroidissement**

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

- Puissance thermique absorbée à l'évaporateur en fonction de la température extérieure ;
- Puissance électrique totale absorbée, qui comprend notamment la puissance électrique du compresseur et du ventilateur et une partie de la puissance électrique des circulateurs.

## **5.5. 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 extérieure et intérieure pour une PAC en élément séparés. Ces données sont fournies par le fabricant et figurent sur la fiche produit tel qu'exigé par le règlement écoconception.

**Pour faciliter le respect des réglementations sur le bruit, le niveau de puissance acoustique de la PAC exprimé en dB(A) doit être choisi en fonction des conditions d'installation.**

### **5.5.1. Réglementation sur le bruit intérieur**

L'arrêté du 30 juin 1999 impose des valeurs maximales du niveau de pression acoustique normalisé  $L_{nAT}$  du bruit engendré dans des conditions normales de fonctionnement par un appareil individuel de chauffage ou de climatisation.

La pression acoustique ne doit pas dépasser 35 dB(A) dans les pièces principales et 50 dB(A) dans les cuisines de chaque logement.

Si la cuisine est ouverte sur une pièce principale, la pression acoustique doit être inférieure à 40 dB(A) dans la pièce principale.

### 5.5.2. Réglementation sur le bruit de voisinage

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

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

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, correspondant 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 du fonctionnement d'une pompe à chaleur dépasse généralement huit heures, aucune valeur corrective ne peut être prise en compte.



## 6. Dimensionnement de la production d'eau chaude sanitaire

La méthode de dimensionnement décrite consiste à déterminer tout d'abord la capacité du ballon d'ECS nécessaire pour satisfaire les besoins, puis la puissance de la pompe à chaleur. Le dimensionnement dépend du mode de fonctionnement adopté pour la production d'ECS, les possibilités offertes variant fortement selon les produits.

Les cas traités sont les suivants :

- Un réchauffage uniquement en période nocturne de l'ECS à 55°C ;
- Deux périodes de réchauffage de l'ECS à 55°C par jour : une la nuit et une autre le matin ou l'après-midi ;
- Un réchauffage de l'ECS autorisé tout au long de la journée à une température de consigne de 55°C en permanence ou de 55°C la nuit et de 40°C le reste du temps.

### 6.1. Caractéristiques de la pompe à chaleur

En plus des caractéristiques en mode chauffage, différentes données sur la pompe à chaleur et sa régulation en mode ECS doivent être connues pour effectuer son dimensionnement ;

Quelles sont les capacités de ballon d'ECS proposées par le constructeur pour la pompe à chaleur double-service envisagée ?

Quelles sont les différentes programmations de la production d'ECS qui peuvent être réalisées (un réchauffage de l'ECS uniquement en période nocturne, sur deux périodes, à des températures différentes au cours de la journée ...) ?

Quelles sont les possibilités offertes de relances du chauffage durant le réchauffage du ballon d'ECS (limitation des temps de production d'ECS et de relances, relances selon la température ambiante) ?

Où est située la résistance électrique d'appoint éventuelle pour l'ECS (en bas du ballon, au tiers inférieur, à mi-hauteur ...) ?

Comment fonctionne cette résistance (seuil de température d'ECS d'enclenchement, asservissement ou non à une programmation horaire, conditions de température extérieure pour lesquelles elle fonctionne seule et température de production dans ce cas) ?

Quelle est la puissance calorifique moyenne de la pompe à chaleur durant le cycle de production d'ECS à la température extérieure de base ?

Quelle est la position de la sonde de régulation du ballon d'ECS ?

#### Commentaire

*Se rapprocher du constructeur pour obtenir les informations éventuellement manquantes dans la documentation technique.*

Pour les pompes à chaleur réalisant la production d'ECS sans appoint, certifiées double-service, le volume maximum d'eau chaude utilisable à 40°C (V40), tel que défini dans le règlement éco-conception, est une donnée également utile pour le dimensionnement du ballon. Cette valeur est indiquée dans les certificats NF PAC et HP KEYMARK des produits.

### Commentaire

*V 40 correspond à la quantité maximale d'eau mitigée à 40°C que peut fournir le ballon, en sortie du point de puisage, en un seul soutirage, avec une eau froide à 10°C. Cette valeur est fonction de la température de production d'ECS. Plus la consigne est élevée, plus la quantité d'eau mitigée fournie à 40°C est importante.*

*Cette caractéristique, qui permet de connaître le volume réellement utile, dépend également de différents éléments de conception du ballon influant sur son efficacité (la position du serpentin en dessous duquel l'eau n'est pas réchauffée, l'efficacité du déflecteur sur l'arrivée d'eau froide ...).*

Dans les certificats des pompes à chaleur double-service NF PAC et HP KEYMARK figurent également de nombreuses autres données certifiées permettant de juger de leurs performances. Pour la production d'eau chaude sanitaire, ces performances sont déterminées selon la norme NF EN 16147. Le profil de soutirage normatif satisfait fait notamment partie des données indiquées, ainsi que le coefficient de performance mesuré en mode ECS pour ce profil. La durée de mise en température de l'ensemble du ballon par la pompe à chaleur est aussi une des caractéristiques certifiées.

### Commentaire

*Les profils d'essais normatifs utilisés sont notamment :*

*Le profil M qui correspond à un besoin d'ECS de 5,845 kWh soit 112 litres à 55°C ;*

*Le profil L de 11,655 kWh soit 223 litres à 55°C ;*

*Le profil XL de 19,07 kWh soit 365 litres à 55°C.*

*Les soutirages de ces profils sont répartis sur toute une journée de 7h à 21h30.*

*Les essais normatifs de performance en mode production d'ECS sont réalisés, pour les pompes à chaleur air extérieur / eau, à une température sèche à l'entrée de l'évaporateur de 7°C (température humide de 6°C), conformément à la norme NF EN 16147.*

## 6.2.Détermination du ballon d'ECS

La méthode décrite s'applique :

- Aux pompes à chaleur à ballon d'ECS intégré. Il s'agit dans ce cas de vérifier que le ballon intégré à la pompe à chaleur envisagée permet de satisfaire les besoins d'ECS de la maison considérée ;
- Aux pompes à chaleur à ballon séparé. Il s'agit dans ce cas de choisir le ballon d'ECS répondant aux besoins d'ECS parmi la gamme proposée par le constructeur pour la pompe à chaleur sélectionnée. Le ballon d'ECS doit être compatible avec la pompe à chaleur, en termes de volume, puissance, débit et régulation. Le cas d'un ballon choisi en dehors de la gamme du constructeur n'est pas traité.

### 6.2.1. Besoins dimensionnants

Les besoins dimensionnants à considérer pour déterminer la capacité du ballon dépendent de la programmation du réchauffage de l'ECS choisie :

Si le réchauffage est réalisé uniquement en période nocturne, le ballon est dimensionné pour satisfaire les besoins journaliers ;

Si deux périodes de réchauffage par jour sont programmées, une la nuit et une autre l'après-midi ou le matin, le ballon est dimensionné pour satisfaire la pointe de consommation du matin et du midi ou du midi et du soir ;

Si la recharge du ballon peut être effectuée tout au long de la journée, le ballon est dimensionné pour satisfaire la pointe de consommation du matin ou du soir. Cela correspond à un fonctionnement soit sans asservissement horaire, soit asservi à une programmation horaire de la température de production d'ECS (par exemple 55°C la nuit et l'après-midi et 40°C le reste du temps).

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs de besoins d'ECS dimensionnants pour ces différents cas. Ces valeurs sont données à 55°C et en fonction du nombre de personnes.

**Le nombre de personnes à prendre en compte pour le dimensionnement doit être déterminé en accord avec le client, en cohérence avec la capacité d'accueil de la maison.**

Valeurs de besoins d'ECS dimensionnants à 55°C				
Nombre de personnes	2 personnes	3 personnes	4 personnes	5 personnes
Besoins d'ECS journaliers à considérer dans le cas d'un réchauffage uniquement nocturne	120 l	180 l	240 l	300 l
Besoins d'ECS de <b>pointe du matin et du midi ou du midi et du soir</b> à considérer dans le cas de deux périodes de réchauffage par jour, une nocturne et une autre le matin ou l'après-midi	90 l	135 l	180 l	225 l
Besoins d'ECS de <b>pointe du matin ou du soir</b> à considérer pour un réchauffage tout au long de la journée	60 l	90 l	120 l	150 l

Figure 20: Les valeurs de besoins d'ECS à 55°C à satisfaire pour différents modes de fonctionnement

### **Commentaire**

*Le tableau ci-dessus a établi, tel qu'indiqué plus en détail ci-après, en considérant une valeur de besoins moyens d'ECS de 45 litres par personne par jour à 40°C, soit 30 l à 55°C pour une eau froide à 10°C. Cette valeur est basée sur les résultats de suivis d'une centaine de chauffe-eau solaires réalisés par le COSTIC, pour l'ADEME. Elle est proche également de la valeur de besoins moyens indiquée dans la norme NF EN 15450.*

*Les besoins journaliers considérés pour le dimensionnement dans le cas d'un réchauffage uniquement nocturne de l'ECS sont égaux à deux fois les besoins moyens, comme dans la norme NF EN 15450, soit 60 l par personne par jour à 55°C. Il ne s'agit pas des besoins maximaux, ces derniers pouvant atteindre jusqu'à 4 fois les besoins moyens ou plus encore en cas de taux d'occupation exceptionnels.*

*Les besoins d'ECS pour la pointe du matin ou du soir considérés, si le réchauffement de l'ECS peut être réalisé tout au long de la journée, sont égaux aux besoins moyens journaliers, comme proposé dans la norme NF EN 15450, soit 30 l par personne à 55°C. Cela permet de satisfaire une grande douche par personne.*

*Dans le cas de deux réchauffages par jour, un la nuit et un autre le matin ou l'après-midi, les besoins d'ECS pour la pointe du matin et du midi ou du midi et du soir considérés sont égaux à 1,5 fois les besoins moyens journaliers.*

***Ces valeurs peuvent éventuellement être ajustées en accord avec le client, en fonction des informations fournies sur sa consommation et ses équipements (douche avec des débits plus élevés...).***

*Le dimensionnement de la production d'ECS doit permettre de satisfaire les besoins d'ECS avec une insatisfaction suffisamment rare pour qu'elle soit acceptable, sachant qu'un surdimensionnement nuit aux performances énergétiques du système.*

### **6.2.2. Détermination de la capacité du ballon d'ECS**

La capacité du ballon d'ECS est déterminée pour satisfaire les besoins d'ECS dimensionnants. Elle dépend :

De la programmation du réchauffage de l'ECS choisie ;

Des températures de consigne de production d'ECS. Plus les températures dans le ballon d'ECS sont basses, plus les volumes nécessaires sont importants ;

De l'emplacement de la résistance électrique éventuelle et de sa régulation ;

Des pertes thermiques du ballon d'ECS.

### **Commentaire**

***Attention à l'emplacement de la résistance électrique et à sa régulation qui impactent la capacité du ballon d'ECS à prévoir. Si la résistance à l'intérieur du ballon assure seule son réchauffage pour***

*certaines conditions de températures extérieures, le volume réchauffé, situé au-dessus de cette résistance, doit être suffisant pour couvrir à lui seul les besoins d'ECS.*

*De même, dans le cas d'une résistance assurant le complément de la montée en température, par exemple de 45 à 55°C, seul le volume situé au-dessus de la résistance sera réchauffé par celle-ci à 55°C.*

*A noter que certaines régulations augmentent la température de production d'ECS lorsque la résistance fonctionne seule de manière à avoir toujours la même quantité d'eau chaude disponible.*

### **6.3.Détermination de la puissance de la pompe à chaleur**

La puissance de la pompe à chaleur est déterminée en fonction des déperditions de la maison. Si la puissance de la pompe à chaleur ainsi sélectionnée conduit à un risque d'inconfort lors du réchauffage du ballon d'ECS tel qu'évalué dans les tableaux suivants, se rapprocher du constructeur afin de déterminer si le produit envisagé en fonction des spécificités de sa régulation et des caractéristiques de la maison (déperditions, inertie, zone climatique) peut être choisi ou non pour l'usage projeté.

#### **Commentaire**

*Par exemple, pour limiter les risques d'inconfort thermique, sur certaines pompes à chaleur air extérieur-eau, l'ECS est réchauffée uniquement par une résistance électrique intérieure au ballon les jours les plus froids. Les autres jours, lors du réchauffage de l'ECS pour la pompe à chaleur, une relance automatique du chauffage en fonction de la température ambiante est réalisée si nécessaire.*



## 7. 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.

**Les éléments ci-dessous ne sont pas exhaustifs, Pour plus de détails, il conviendra de se rapprocher du document NF DTU 65.16 P1-1**

### 7.1. Implantation de l'unité extérieure

#### 7.1.1. 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 casse 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.

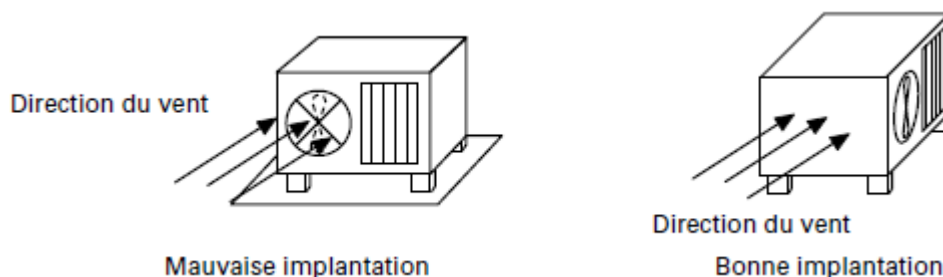


Figure 21 : Action des vents sur le ventilateur de la pompe à chaleur

- 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).

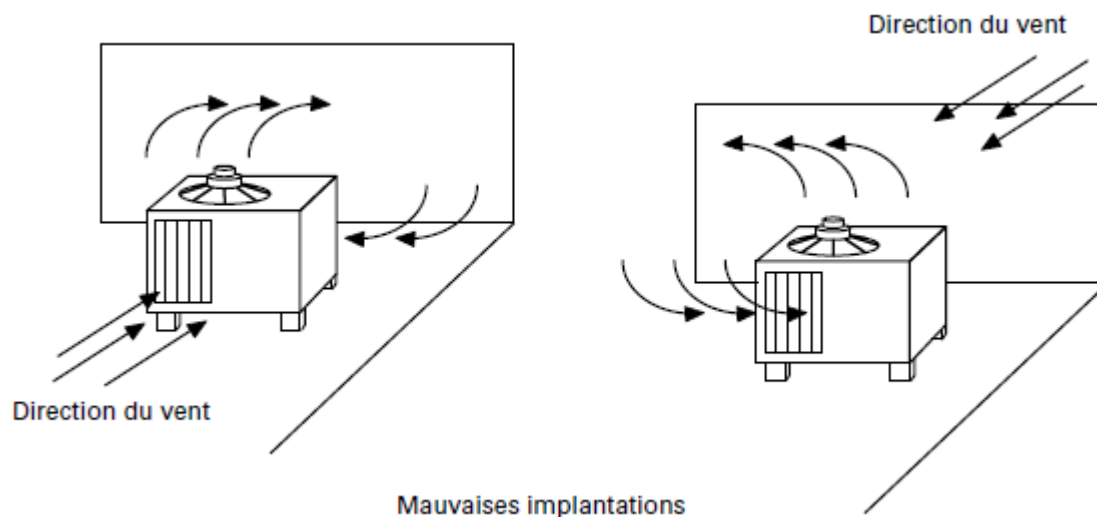


Figure 22 : Recyclage parasite d'air extérieur sur la pompe à chaleur

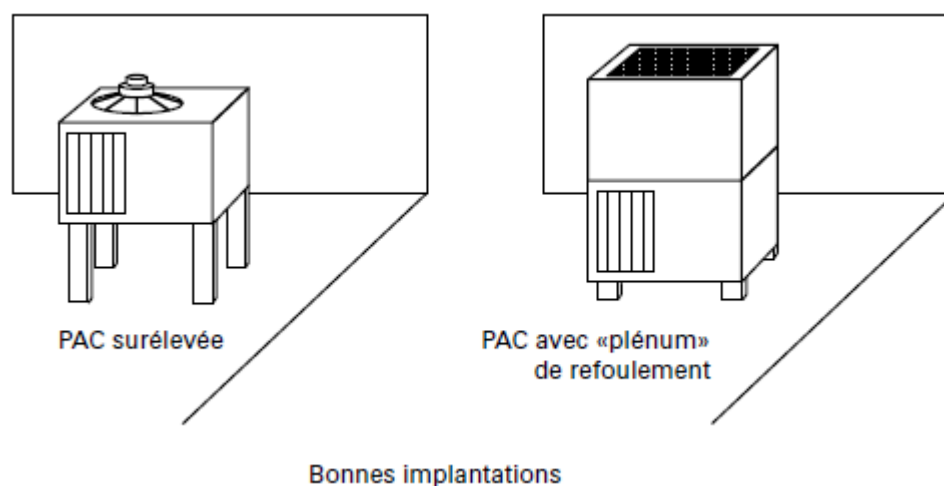


Figure 23 : Améliorations de l'évacuation de l'air rejeté par une pompe à chaleur

- 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.

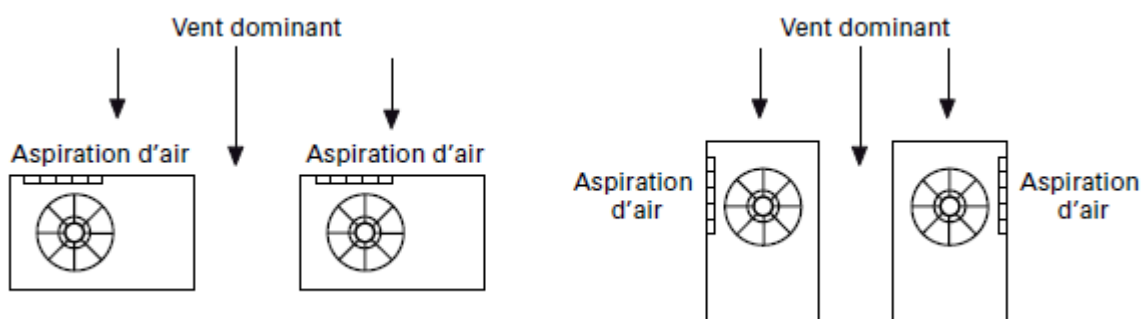


Figure 24 : Implantation de deux pompes à chaleur



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.

### 7.1.2. 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.

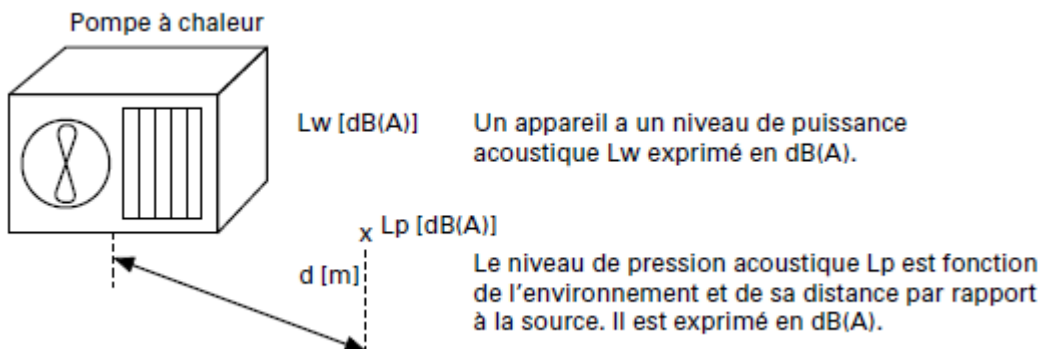


Figure 25 : Grandeurs principales utilisées en acoustique

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.

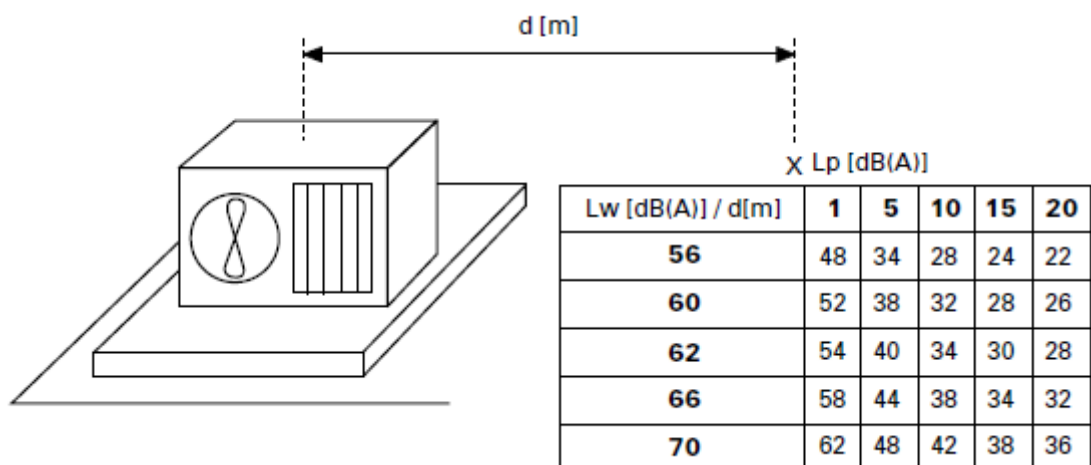


Figure 26 : Approche du niveau sonore obtenu pour une pompe à chaleur posée sur un socle en béton : niveau de pression Lp en dB(A) selon la distance d en m (propagation en champ libre)

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.

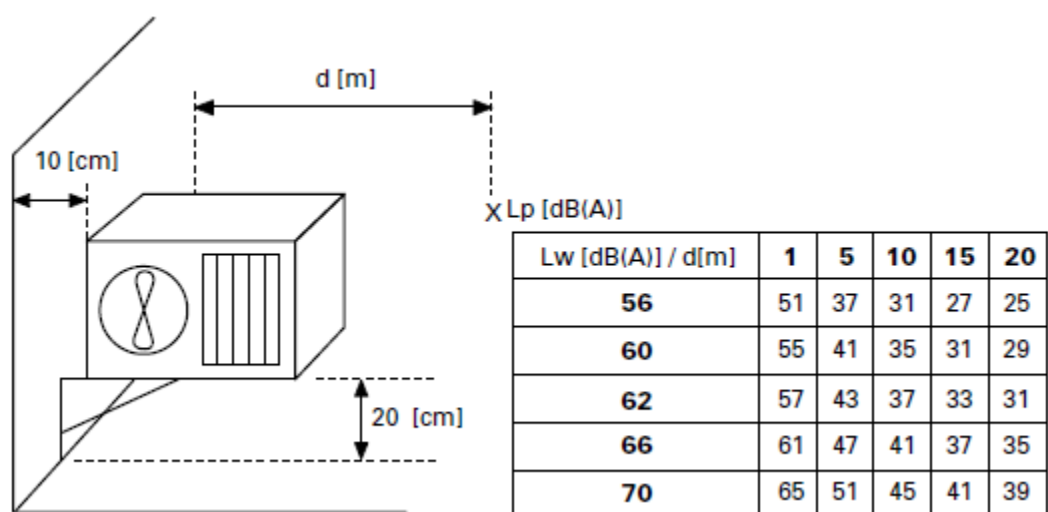


Figure 27 : Approche du niveau sonore obtenu pour une pompe à chaleur montée sur supports muraux : niveau de pression Lp en dB(A) selon la distance d en m (propagation en champ réverbérant)

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.

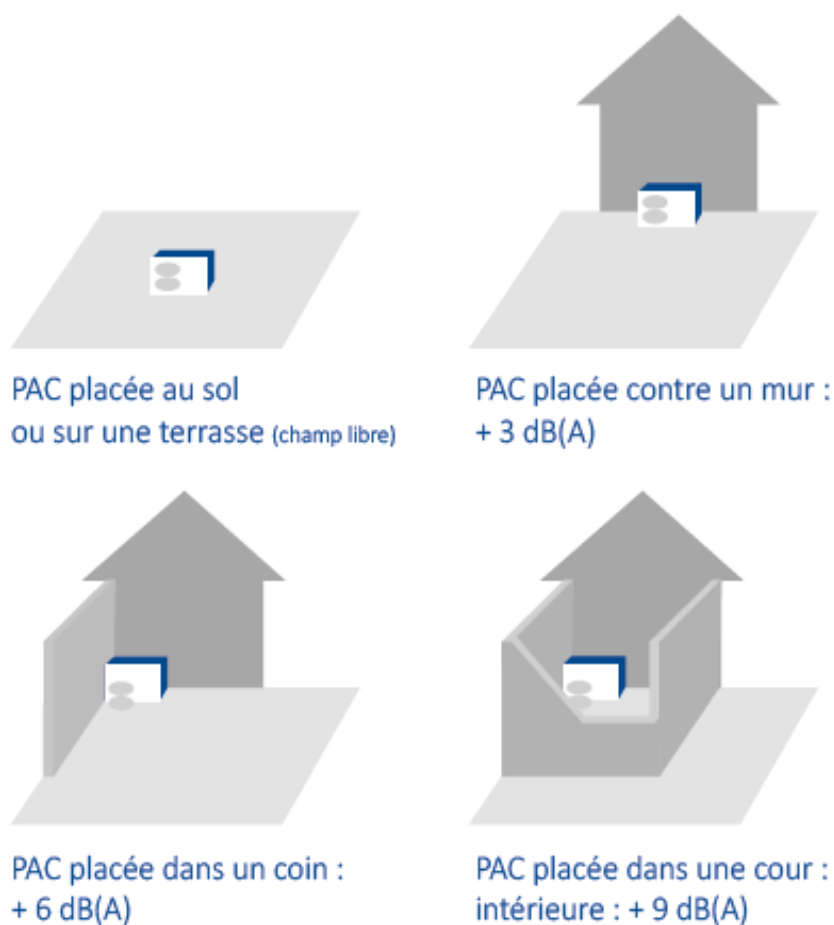
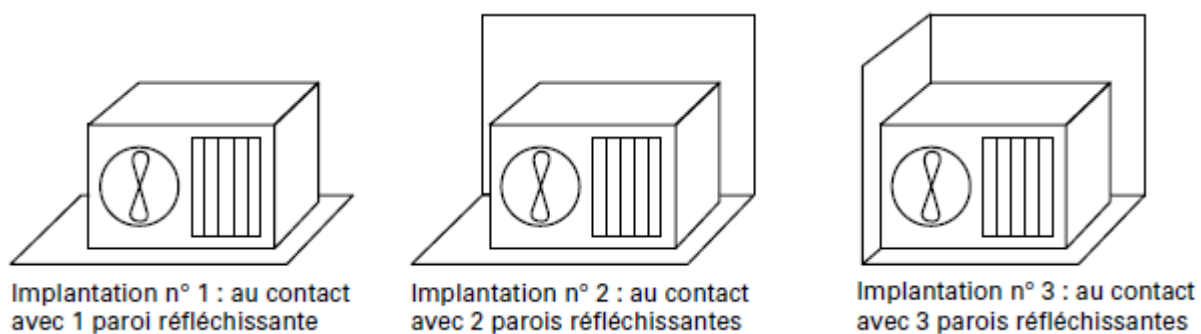


Figure 28 : Impact de la mise en œuvre sur le bruit d'une PAC

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.

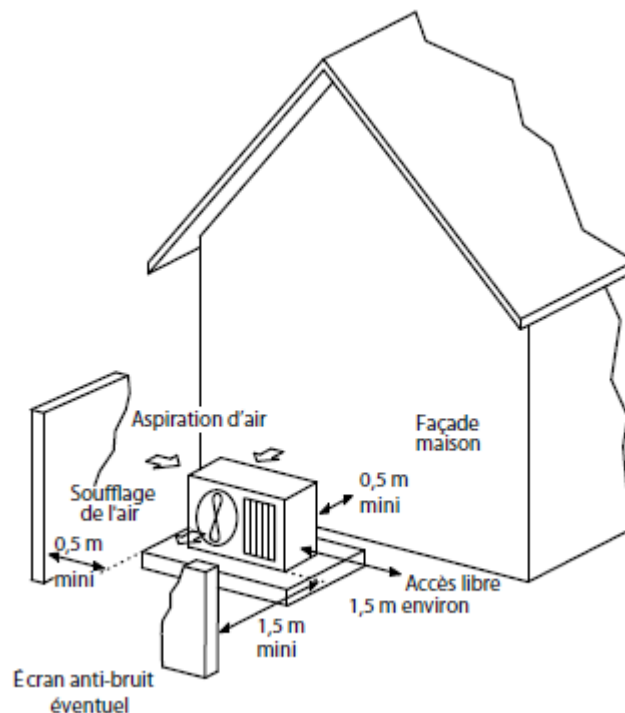


Figure 29 : Exemple d'implantation d'une pompe à chaleur et d'un écran antibruit

- **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 ».

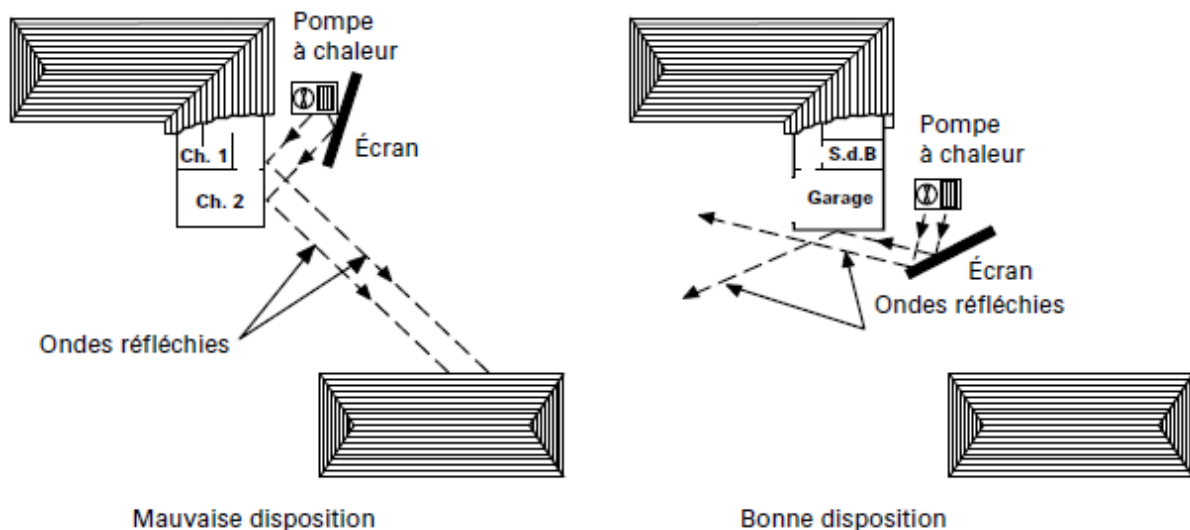


Figure 30 : Exemples de disposition d'un écran acoustique

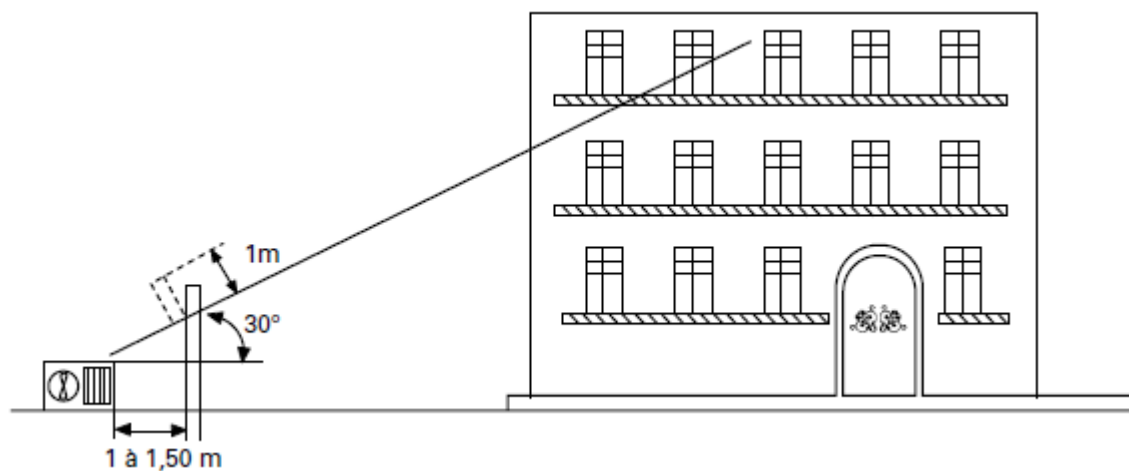


Figure 31 : Disposition d'un écran antibruit

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).

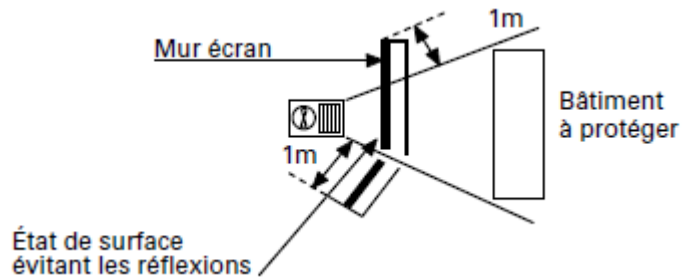


Figure 32 : Montage d'un écran antibruit entre la pompe à chaleur et le bâtiment à protéger

### 7.1.3. 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)

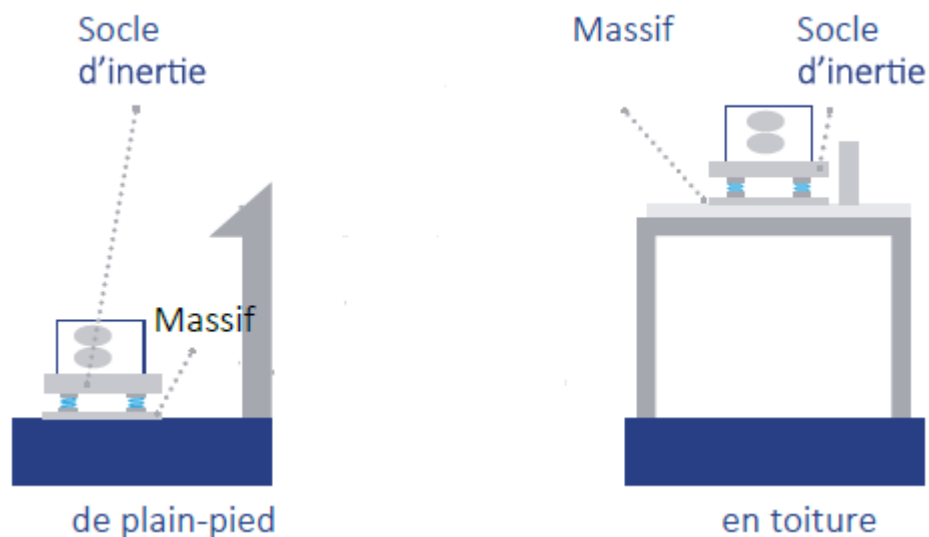


Figure 33 : Installation sur socle en béton

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)

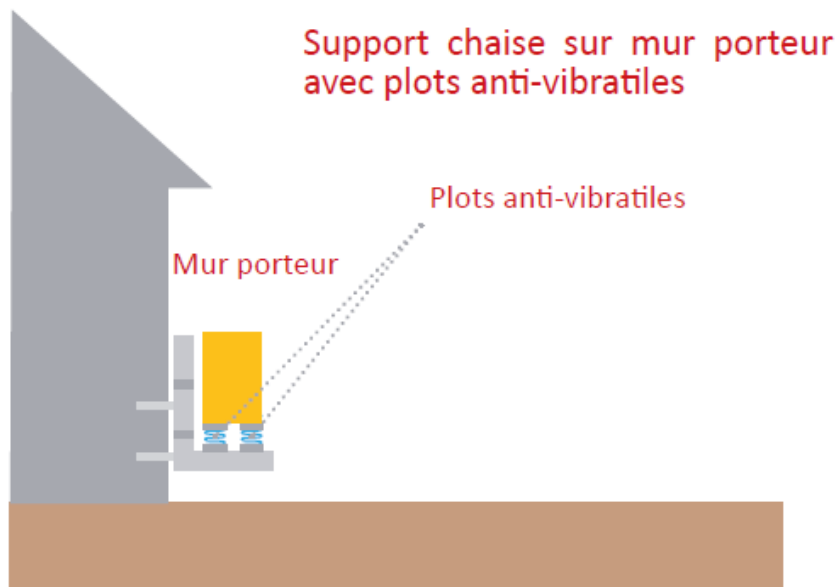


Figure 34 : Installation sur châssis métallique

#### 7.1.4. Evacuation des condensats

Les condensats doivent s'écouler librement.

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 autorégulant est installé afin de protéger la vidange du gel.

## 7.2. 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.**



## 8. 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 au fioul, 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 :

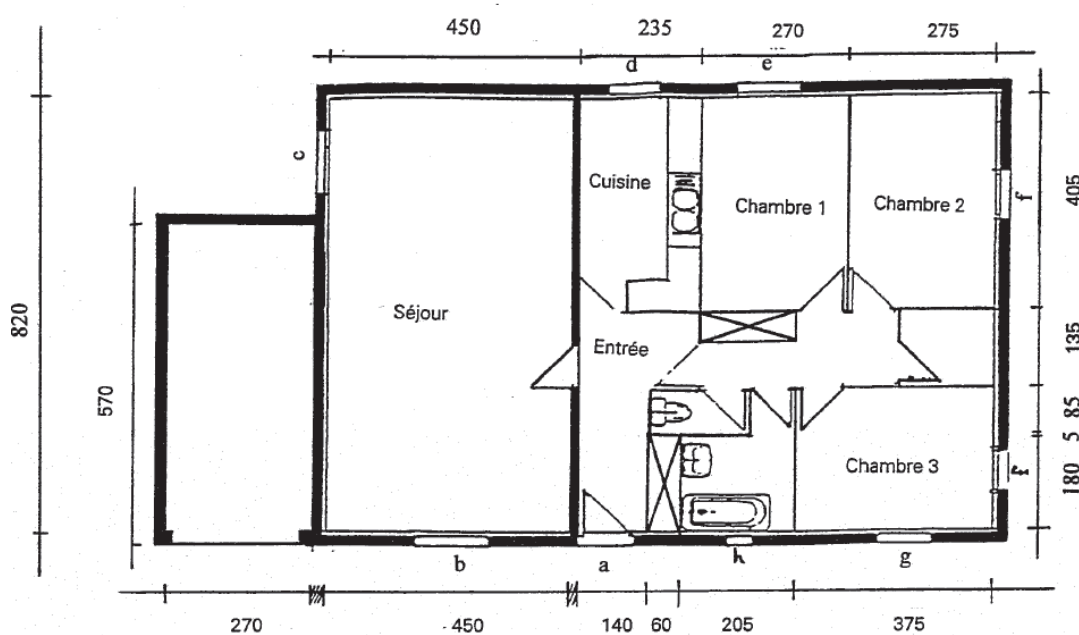
- Avant 1974
- Entre 1974 et 1982
- Entre 1982 et 1989

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.

## 8.1. Domaine de l'étude

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

✓ Maison MOZART



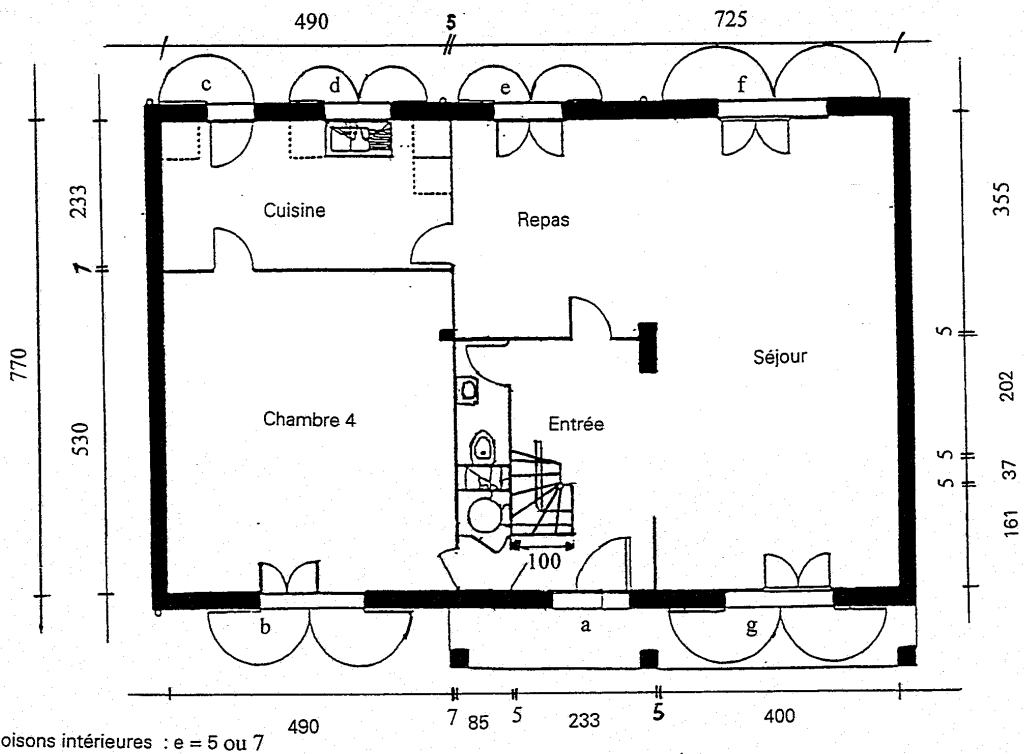
Pièce	Surface (m <sup>2</sup> )
séjour	36,5
cuisine	9,5175
ch1	10,935
ch2	11,1375
ch3	10,125
entrée	14,31
SDB + WC	7,155
Total	99,68

type	T4
SHON m <sup>2</sup>	115,6
SHAB m <sup>2</sup>	99,84

✓ Maison GERSHWIN

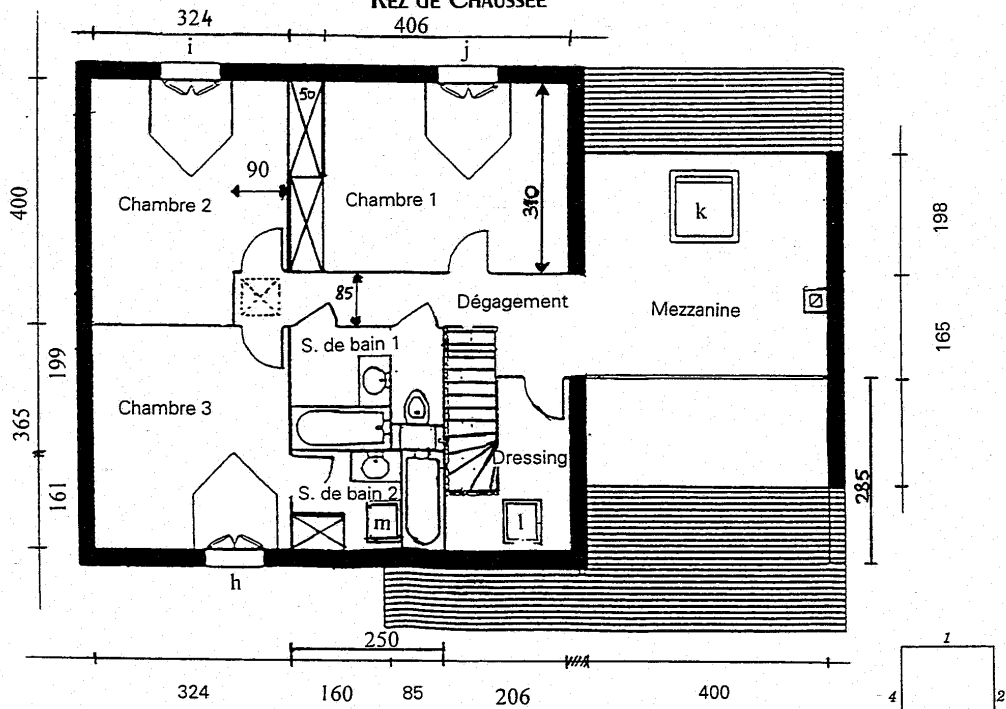


# GERSHWIN



Cloisons intérieures : e = 5 ou 7

## REZ DE CHAUSSEE



## ETAQE

type	T7
SHON m <sup>2</sup>	183,5
SHAB m <sup>2</sup>	158,51

## 8.2. Equipements existants

**Production :** Chaudière fioul pour le chauffage et l'ECS

- Maison Mozart :

Chaudière fioul de 40 kW placée hors du volume chauffé.

Rpn = 80 %

Rpint = 75 %

- Maison Gershwin :

Chaudière fioul de 50 kW placée hors du volume chauffé.

Rpn = 82 %

Rpint = 77 %

**Régulation :** sur sonde extérieure, aucun thermostat d'ambiance n'a été pris en compte, en effet, dans la plupart des cas, les thermostats d'ambiance sont hors d'usage.

**Emission :** par radiateurs haute température avec robinets standards.

**Ventilation naturelle :** ce type de ventilation est réalisé en général par ouverture des fenêtres. Il est très rare de rencontrer en maison avec des entrées d'air en position basse et des extractions en position haute (contrairement aux bâtiments collectifs).

## 8.3. 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  $R=2,8$   $m^2.K/W$ .

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

### **Combles**

Les combles reçoivent un isolant de résistance thermique  $R=5$   $m.K/W$ .

Soit **16 cm de laine de verre** (0,032 W/m.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.

**$U_w=1,6$   $W/m^2.K$**

### **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  $R=2 \text{ m.K/W}$ , soit **8 cm de laine de verre** ( $0,04 \text{ W/m.K}$ ), 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 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>** dans le cas des maisons individuelles. Par contre cette valeur n'est prise que lorsque tout le bâti est rénové : murs/fenêtres/comble. Si ces trois parois ne sont pas rénovées, la valeur prise en compte est la valeur par défaut ( $1,7 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ ) définie dans la RT Ex.

## **8.4. 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 chaque amélioration des équipements de chauffage, une régulation par thermostat d'ambiance est prise en compte. Les robinets standards des radiateurs sont remplacés par des robinets thermostatiques.

La ventilation existante étant naturelle, il n'y a pas possibilité de se raccorder à un réseau de gaines. Il est par contre possible de mettre en place une ventilation mécanique répartie. Ainsi, les entrées d'air sont placées dans les pièces de vie et les extractions sont situées dans les pièces humides (balayage intégral).

### **8.4.1. PAC moyenne température avec relève chaudière**

#### **Chauffage**

La chaudière fioul existante est conservée pour assurer l'appoint de chauffage et une PAC air/eau moyenne température assure la majorité des besoins de chauffage (et d'ECS).

- Maison Mozart

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P = 13.3 \text{ kW}$

$\text{COP } +7/45 = 3,17$  (valeur certifiée)

$\text{COP } -7/45 = 2.05$  (valeur certifiée)



- Maison Gershwin

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P = 16.4 \text{ kW}$
- COP +7/45 = 3,27 (valeur certifiée)
- COP -7/45 = 2.30 (valeur certifiée)

## ECS

L'ECS est assurée par la PAC moyenne température avec appoint par la chaudière existante.

- Températures de production : 50°C
- Température de production de la PAC : 45°C
- Température de sous tirage : 40°C

### 8.4.2. PAC hybride

#### Chauffage

La PAC hybride vient à la place de la chaudière existante. Ce système intègre une pompe à chaleur air/eau et une chaudière de 25 kW (avec un rendement à charge nominale supérieur à 90% selon la documentation constructeur) pour assurer la demande de puissance en dessous de -7°C extérieur.

- Maison Mozart

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P_{pac} = 13.3 \text{ kW}$
- COP +7/35 = 3.20 (valeur documentation fabricant)
- COP -7/35 = 2.1 (valeur documentation fabricant)

- $P_{chaudière} = 25 \text{ kW}$
- $R_{pn} = 92.4\%$
- $R_{pint} = 98.4 \%$

- Maison Gershwin

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P_{pac} = 15.1 \text{ kW}$
- COP +7/35 = 3.42 (valeur documentation fabricant)
- COP -7/35 = 2.27 (valeur documentation fabricant)

- $P_{chaudière} = 25 \text{ kW}$
- $R_{pn} = 92.4\%$
- $R_{pint} = 98.4 \%$

Deux types de production d'ECS sont modélisés :

#### ECS 1 PAC seule

- Températures de production : 50°C
- Température de production de la PAC : 50°C
- Température de sous tirage : 40°C

#### ECS 2 PAC avec appoint fioul

- Températures de production : 50°C
- Température de production de la PAC : 35°C
- Température de sous tirage : 40°C

### 8.4.3. PAC haute température

#### Chauffage

La PAC haute température vient en remplacement de la chaudière fioul. Elle assure le chauffage et l'ECS.

- Maison Mozart

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P_{pac} = 12.60 \text{ kW}$

$COP_{+7/55} = 2.12$  (valeur certifiée)

- Maison Gershwin

La PAC choisie a les caractéristiques suivantes :

- $P_{pac} = 19.44 \text{ kW}$

$COP_{+7/55} = 2.71$  (valeur certifiée)

#### ECS

- Températures de production : 50°C
- Température de production de la PAC : 50°C
- Température de sous tirage : 40°C

## 8.5. Consommations annuelles en fonction des lots de travaux réalisés

Les simulations donnent les résultats suivants

### 8.5.1. Maison Mozart zone H1a

#### **Lots de travaux**

**Existant** : situation conforme à l'année de construction ; une chaudière fioul assure le chauffage et la production d'ECS

**Bâti seul + V** : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation mécanique répartie a été installée ; la chaudière fioul existante assure toujours le chauffage et la production d'ECS

**PAC MT+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC Hybride+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+ECSF+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+F+ECSF+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+C+F+ECSF+V:** les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+Bâti+ECSF +V:** l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC HT+C+ECST+V:** les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+F+ECST+V:** les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+C+F+ECST+V:** les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

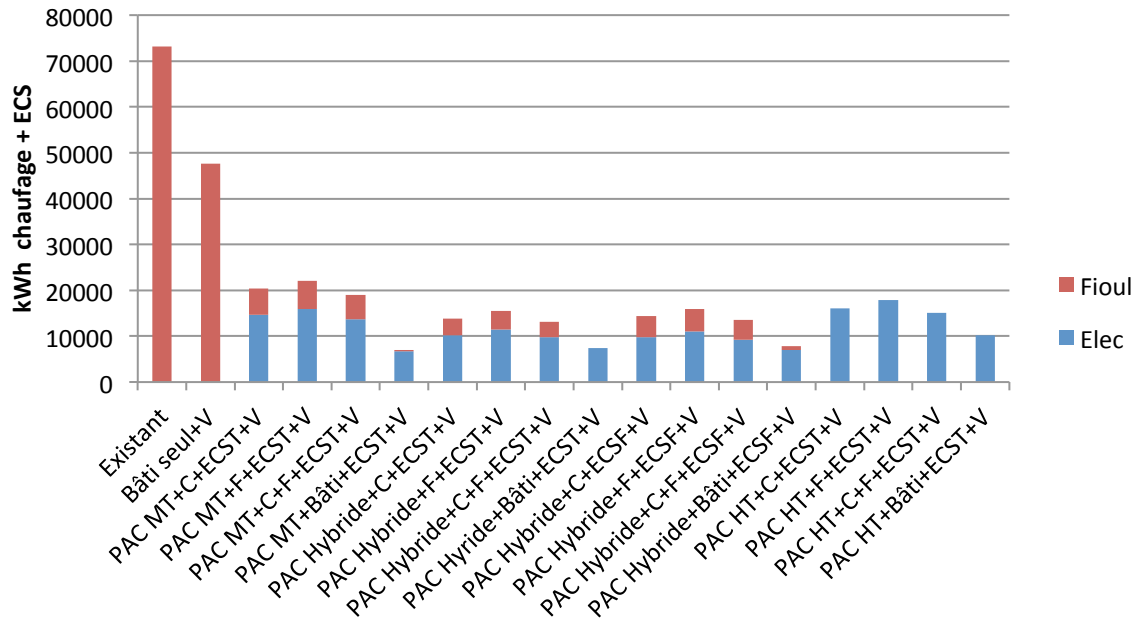
**PAC HT+Bâti+ECST+V:** l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**Remarque :**

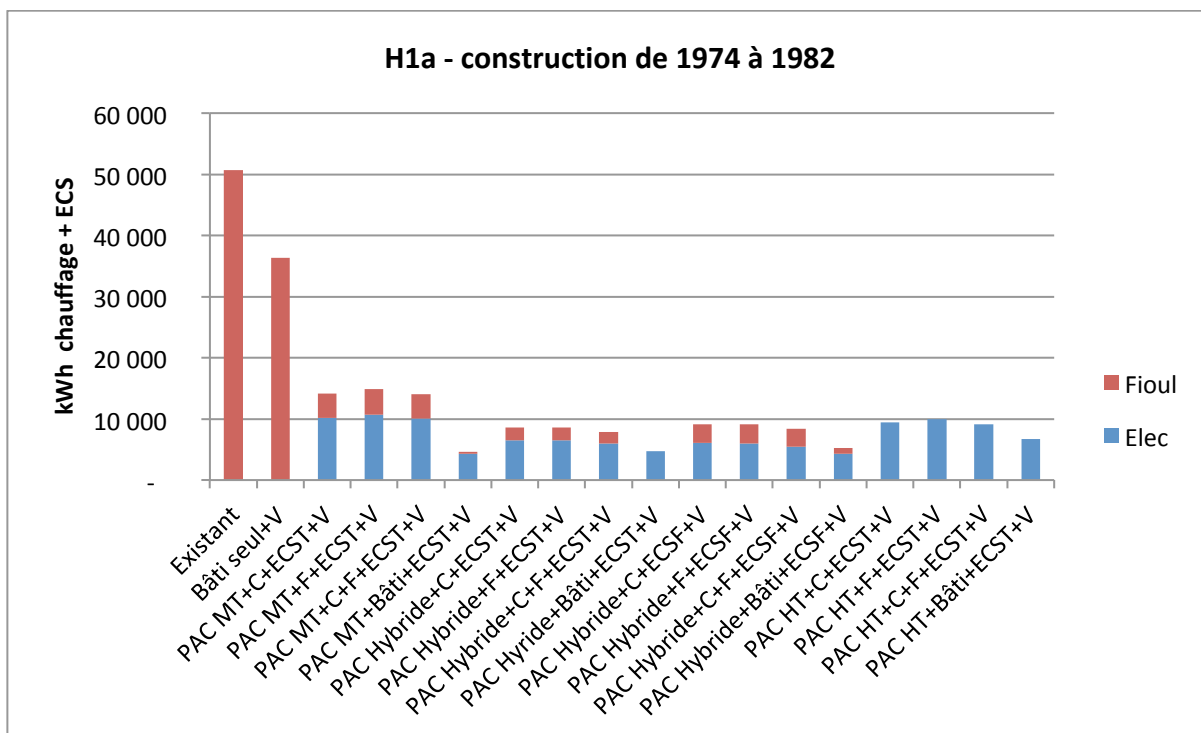
**Les calculs qui suivent n'ont qu'une valeur théorique et ne reflètent en aucun cas l'aspect comportemental des occupants qui adaptent, bien souvent, leur confort en fonction de leur capacité financière.**

**Les consommations de fioul, pour la situation existante, semblent de fait exagérées et déconnectées de la réalité, en particulier pour la construction d'avant 1974. Cependant ces valeurs restent un repère pour comparer les améliorations qui sont simulées.**

### H1a - construction avant 1974

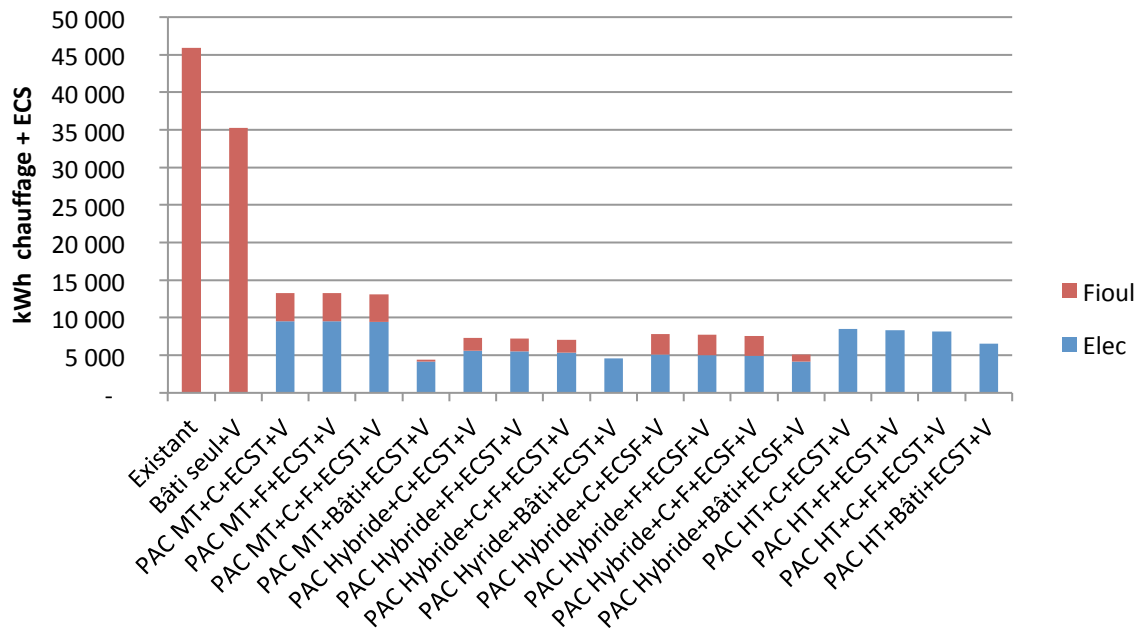


H1a Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	1,50	4,20	2,50	2,16	fioul	nat	6788	0	607	
Bâti seul	x	x	x	x	Thermo	VMR	13974	549	677	29
PAC MT + relève	x				Thermo	VMR	15203	597	677	29
		x			Thermo	VMR	12990	510	677	29
	x	x			Thermo	VMR	6061		677	29
	x	x	x	x	Thermo	VMR	6061		677	29
PAC hybride	x				Thermo	VMR	9186	361	1071	0
		x			Thermo	VMR	10371	407	1071	0
	x	x			Thermo	VMR	8653	340	1071	0
	x	x	x	x	Thermo	VMR	6303		1071	0
	x				Fioul	VMR	9186	361	627	97
		x			Fioul	VMR	10371	407	627	97
	x	x			Fioul	VMR	8653	340	627	97
	x	x	x	x	Fioul	VMR	6303		627	97
PAC HT en substitution	x				Thermo	VMR	14609		1393	0
		x			Thermo	VMR	16500		1393	0
	x	x			Thermo	VMR	13758		1393	0
	x	x	x	x	Thermo	VMR	8801		1393	0



H1a	Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres	
1974-1982	existant	0,55	2,90	1,05	0,99	fioul	nat		4521	0	597	
	Bâti seul	x	x	x	x		VMR		3070	0	597	
	PAC MT + relève	x					Thermo	VMR	9492	373	677	29
			x				Thermo	VMR	10007	393	677	29
		x	x				Thermo	VMR	9384	369	677	29
		x	x	x	x		Thermo	VMR	3672		677	29
	PAC hybride	x					Thermo	VMR	5426	213	1071	0
			x				Thermo	VMR	5393	212	1071	0
		x	x				Thermo	VMR	4871	191	1071	0
		x	x	x	x		Thermo	VMR	3636		1071	0
		x					Fioul	VMR	5426	213	627	97
			x				Fioul	VMR	5393	212	627	97
		x	x				Fioul	VMR	4871	191	627	97
		x	x	x	x		Fioul	VMR	3636		627	97
	PAC HT en substitution	x					Thermo	VMR	8021		1393	0
			x				Thermo	VMR	8543		1393	0
		x	x				Thermo	VMR	7709		1393	0
x		x	x	x		Thermo	VMR	5280		1393	0	

H1a - construction entre 1982 et 1989



H1a Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	Mur garage	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	0,30	2,85	0,75	0,72	fioul	nat		4044	0	597
Bâti seul	x	x	x	x		VMR		2969	0	597
PAC MT + relève	x				Thermo	VMR	8866	348	677	29
		x			Thermo	VMR	8870	348	677	29
	x	x			Thermo	VMR	8727	343	677	29
	x	x	x	x	Thermo	VMR	3468		677	29
PAC hybride	x				Thermo	VMR	4498	177	1071	0
		x			Thermo	VMR	4414	173	1071	0
	x	x			Thermo	VMR	4300	169	1071	0
	x	x	x	x	Thermo	VMR	3529		1071	0
	x				Fioul	VMR	4498	177	627	97
		x			Fioul	VMR	4414	173	627	97
	x	x			Fioul	VMR	4300	169	627	97
	x	x	x	x	Fioul	VMR	3529		627	97
PAC HT en substitution	x				Thermo	VMR	7110		1393	0
		x			Thermo	VMR	6978		1393	0
	x	x			Thermo	VMR	6794		1393	0
	x	x	x	x	Thermo	VMR	5121		1393	0

### 8.5.2. Maison Mozart zone H3

#### **Lots de travaux**

**Existant** : situation conforme à l'année de construction ; une chaudière fioul assure le chauffage et la production d'ECS

**Bâti seul + V** : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation mécanique répartie a été installée ; la chaudière fioul existante assure toujours le chauffage et la production d'ECS

**PAC MT+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC Hybride+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+ECSF+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+F+ECSF+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+C+F+ECSF+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+Bâti+ECSF +V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le



chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC HT+C+ECST+V:** les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+F+ECST+V:** les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+C+F+ECST+V:** les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

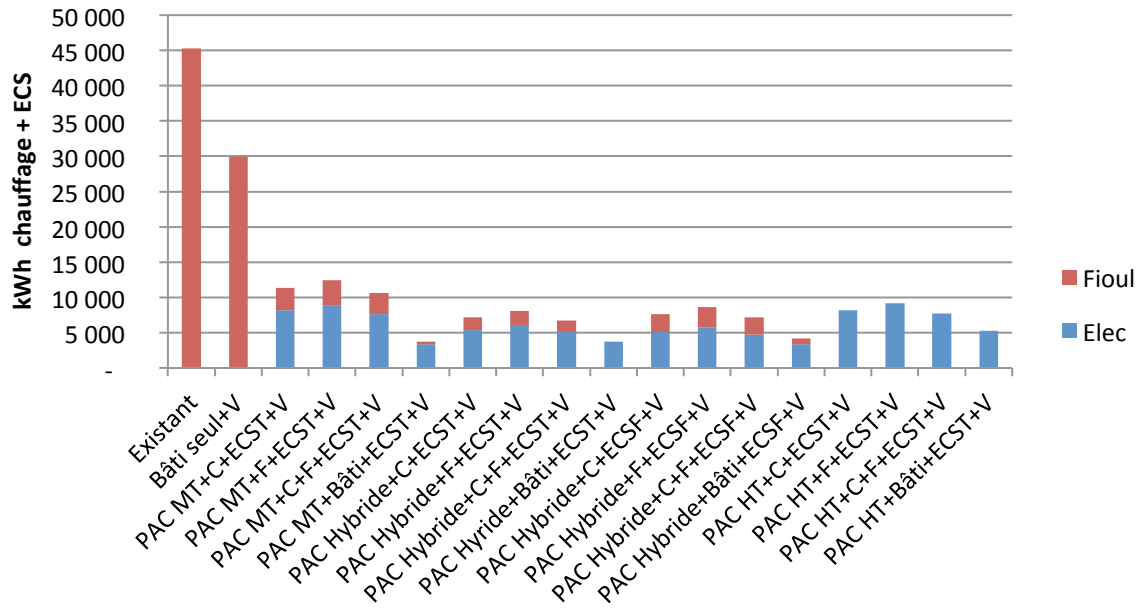
**PAC HT+Bâti+ECST+V:** l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**Remarque :**

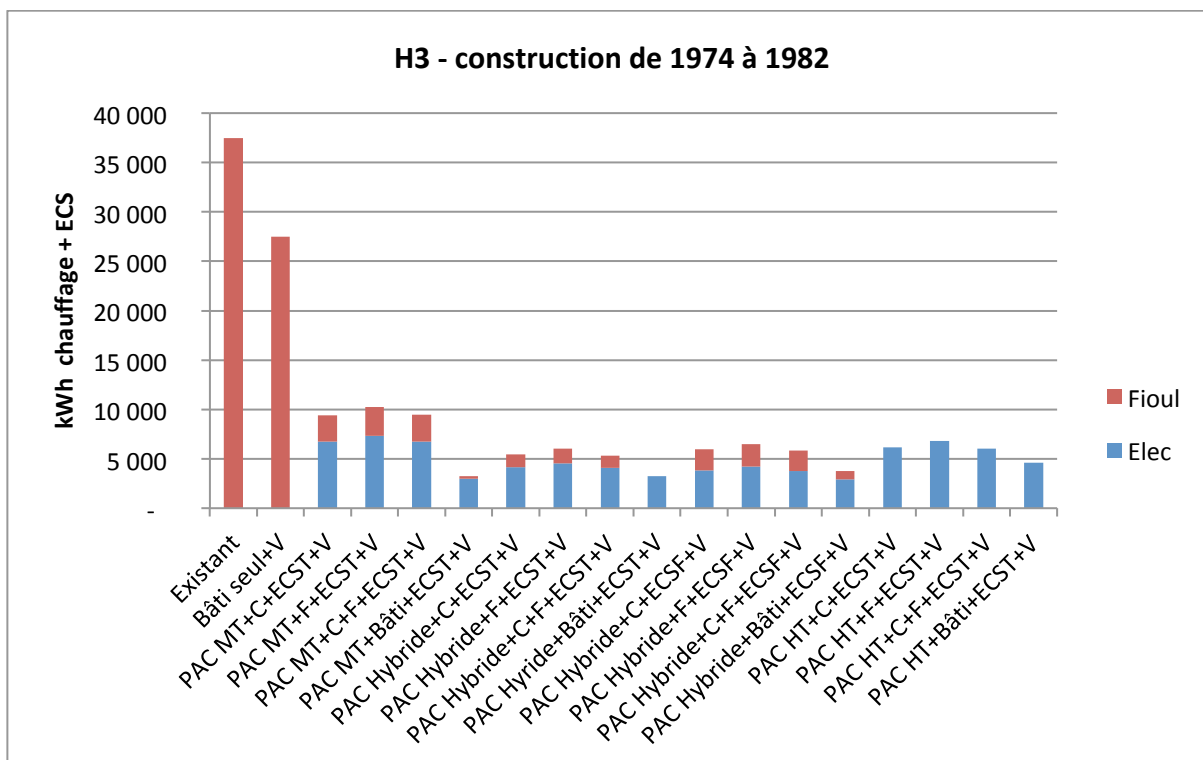
**Les calculs qui suivent n'ont qu'une valeur théorique et ne reflètent en aucun cas l'aspect comportemental des occupants qui adaptent, bien souvent, leur confort en fonction de leur capacité financière.**

**Les consommations de fioul, pour la situation existante, semblent de fait exagérées et déconnectées de la réalité, en particulier pour la construction d'avant 1974. Cependant ces valeurs restent un repère pour comparer les améliorations qui sont simulées.**

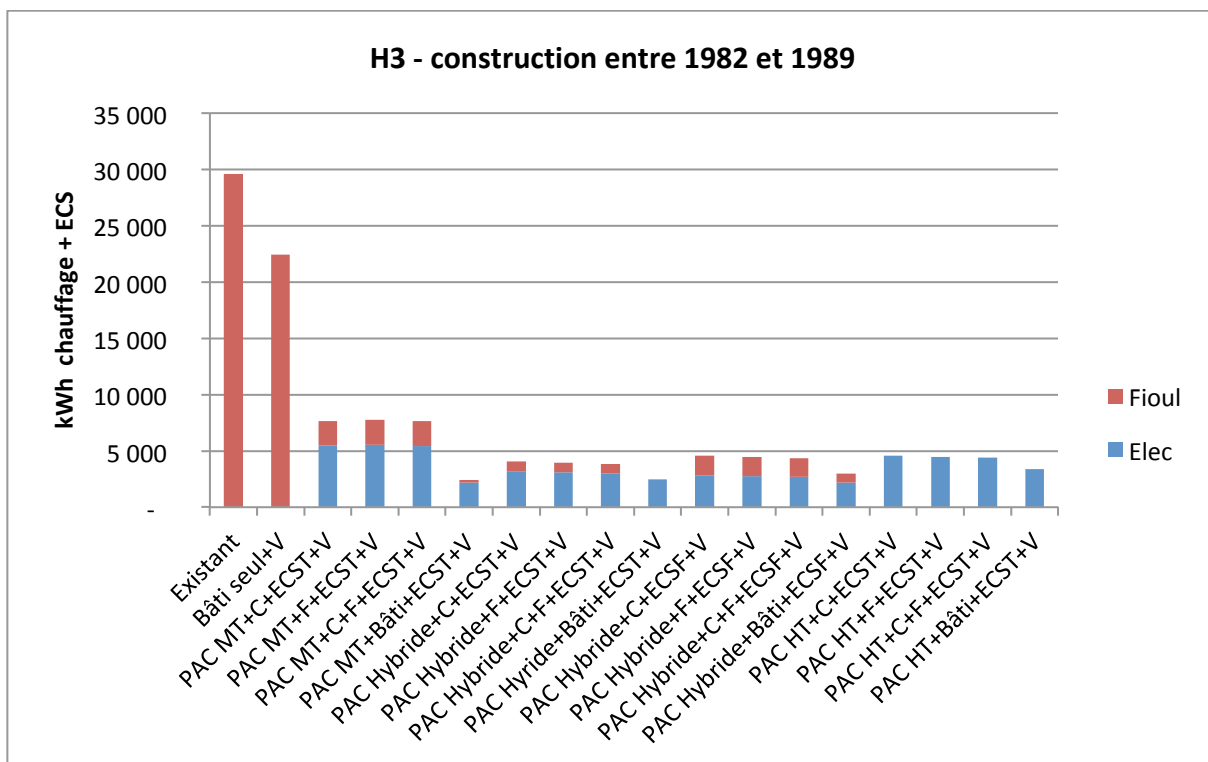
### H3 - construction avant 1974



H3 Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres	
existant	1,50	4,20	2,50	fioul	nat		3 966	-	607	
avant 1974	Bâti seul	x	x	x		VMR		2 429	-	597
	PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	7 634	300	515	28
			x		Thermo	VMR	8 363	329	515	28
		x	x		Thermo	VMR	7 107	279	515	28
		x	x	x	Thermo	VMR	2 896		515	28
	PAC hybride	x			Thermo	VMR	4 572	180	815	-
			x		Thermo	VMR	5 230	205	815	-
		x	x		Thermo	VMR	4 235	166	815	-
		x	x		Thermo	VMR	2 875		815	-
		x			Fioul	VMR	4 572	180	502	83
			x		Fioul	VMR	5 230	205	502	83
		x	x		Fioul	VMR	4 235	166	502	83
	PAC HT en substitution	x			Fioul	VMR	2 875		502	83
		x			Thermo	VMR	7 139		995	-
			x		Thermo	VMR	8 180		995	-
		x	x		Thermo	VMR	6 711		995	-
	x	x	x	Thermo	VMR	4 244		995	-	



H3 Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	0,85	4,20	1,35	fioul	nat		3 189	-	597
Bâti seul	x	x	x		VMR		2 180	-	597
PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	6 209	244	515	28
		x		Thermo	VMR	6 807	267	515	28
	x	x		Thermo	VMR	6 226	245	515	28
1974- 1982	x	x	x	Thermo	VMR	2 459		515	28
	x			Thermo	VMR	3 345	131	815	-
		x		Thermo	VMR	3 736	147	815	-
	x	x		Thermo	VMR	3 241	127	815	-
	x	x	x	Thermo	VMR	2 442		815	-
	x			Fioul	VMR	3 345	131	502	83
		x		Fioul	VMR	3 736	147	502	83
	x	x		Fioul	VMR	3 241	127	502	83
	x	x	x	Fioul	VMR	2 442		502	83
	PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	5 198		995
		x		Thermo	VMR	5 818		995	-
x		x		Thermo	VMR	5 033		995	-
x		x	x	Thermo	VMR	3 581		995	-



H3 Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	0,30	4,15	0,85	fioul	nat		2 391	-	597
Bâti seul	x	x	x		VMR		1 669	-	597
PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	4 947	194	515	28
		x		Thermo	VMR	5 018	197	515	28
	x	x		Thermo	VMR	4 920	193	515	28
	x	x	x	Thermo	VMR	1 649		515	28
1982-1989 PAC hybride	x			Thermo	VMR	2 338	92	815	-
		x		Thermo	VMR	2 263	89	815	-
	x	x		Thermo	VMR	2 183	86	815	-
	x	x	x	Thermo	VMR	1 669		815	-
	x			Fioul	VMR	2 338	92	502	83
		x		Fioul	VMR	2 263	89	502	83
	x	x		Fioul	VMR	2 183	86	502	83
	x	x	x	Fioul	VMR	1 669		502	83
PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	3 602		995	-
		x		Thermo	VMR	3 485		995	-
	x	x		Thermo	VMR	3 386		995	-
	x	x	x	Thermo	VMR	2 397		995	-

### 8.5.3. Maison GERSHWIN zone H1a

#### **Lots de travaux**

**Existant** : situation conforme à l'année de construction ; une chaudière fioul assure le chauffage et la production d'ECS

**Bâti seul + V** : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation mécanique répartie a été installée ; la chaudière fioul existante assure toujours le chauffage et la production d'ECS

**PAC MT+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC Hybride+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+ECSF+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+F+ECSF+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+C+F+ECSF+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+Bâti+ECSF +V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le

chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC HT+C+ECST+V:** les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+F+ECST+V:** les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

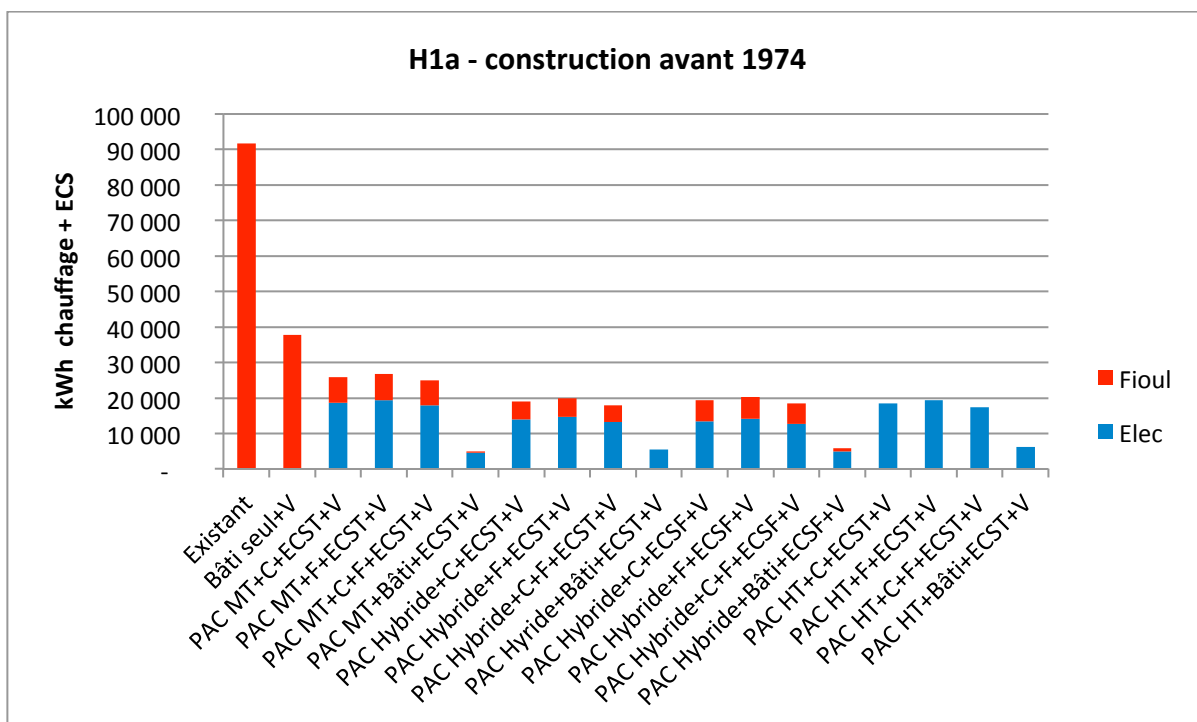
**PAC HT+C+F+ECST+V:** les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+Bâti+ECST+V:** l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**Remarque :**

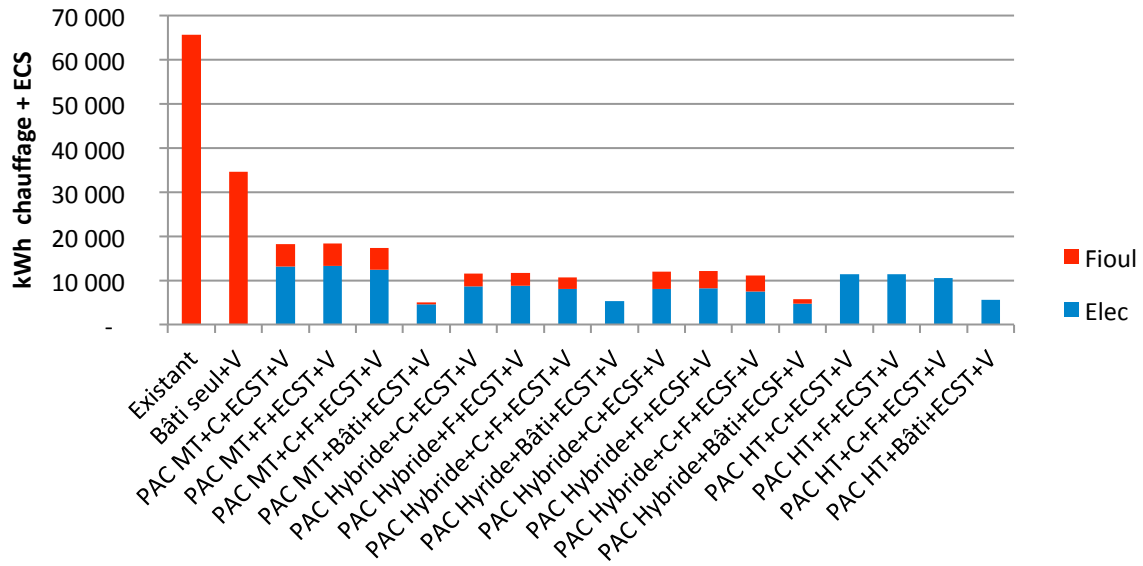
**Les calculs qui suivent n'ont qu'une valeur théorique et ne reflètent en aucun cas l'aspect comportemental des occupants qui adaptent, bien souvent, leur confort en fonction de leur capacité financière.**

**Les consommations de fioul, pour la situation existante, semblent de fait exagérées et déconnectées de la réalité, en particulier pour la construction d'avant 1974. Cependant ces valeurs restent un repère pour comparer les améliorations qui sont simulées.**



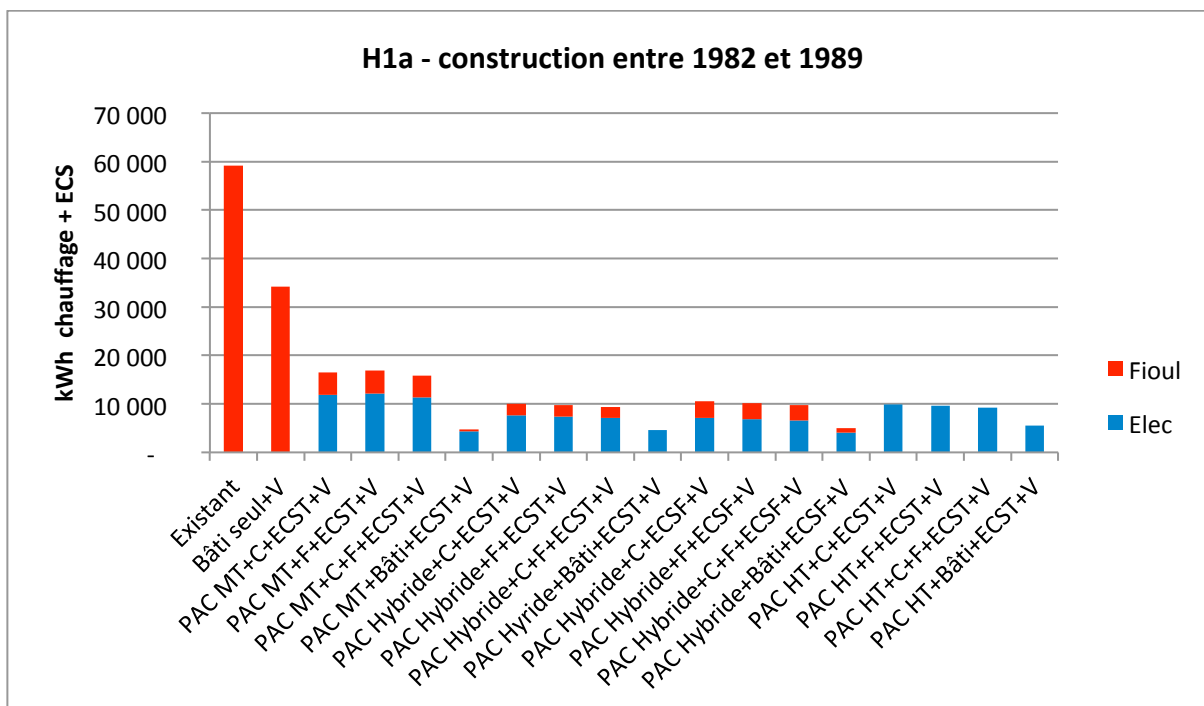
H1a Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	1,5	4,2	2,5	fioul	nat	0	8543	0	711
Bâti seul	x	x	x		VMR	-	3 101	-	712
PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	17 857	701	789	37
		x		Thermo	VMR	18 504	727	789	37
	x	x		Thermo	VMR	17 145	673	789	37
	x	x	x	Thermo	VMR	3 762	-	789	37
PAC hybride	x			Thermo	VMR	12 847	505	1 202	-
		x		Thermo	VMR	13 457	529	1 202	-
	x	x		Thermo	VMR	12 091	475	1 202	-
	x	x	x	Thermo	VMR	4 203	-	1 202	-
	x			Fioul	VMR	12 847	505	661	96
		x		Fioul	VMR	13 457	529	661	96
	x	x		Fioul	VMR	12 091	475	661	96
	x	x	x	Fioul	VMR	4 203	-	661	96
PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	17 168	-	1 323	-
		x		Thermo	VMR	17 985	-	1 323	-
	x	x		Thermo	VMR	16 150	-	1 323	-
	x	x	x	Thermo	VMR	4 800	-	1 323	-

### H1a - construction entre 1974 et 1982



H1a	Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
1974-1982	existant	0,55	2,9	1,1	fioul	nat	0	5923	0	711
	Bâti seul	x	x	x	Thermo	VMR	-	2 785	-	712
	PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	12 295	483	789	37
			x		Thermo	VMR	12 427	488	789	37
		x	x		Thermo	VMR	11 686	459	789	37
		x	x	x	Thermo	VMR	3 819	-	789	37
	PAC hybride	x			Thermo	VMR	7 449	293	1 202	-
			x		Thermo	VMR	7 539	296	1 202	-
		x	x		Thermo	VMR	6 862	270	1 202	-
		x	x	x	Thermo	VMR	4 062	-	1 202	-
		x			Fioul	VMR	7 449	293	661	96
			x		Fioul	VMR	7 539	296	661	96
		x	x		Fioul	VMR	6 862	270	661	96
		x	x	x	Fioul	VMR	4 062	-	661	96
	PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	9 999	-	1 323	-
			x		Thermo	VMR	10 125	-	1 323	-
		x	x		Thermo	VMR	9 211	-	1 323	-
		x	x	x	Thermo	VMR	4 235	-	1 323	-





H1a Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
existant	0,3	2,85	0,8	fioul	nat	0	5265	0	711
Bâti seul	x	x	x		VMR	-	2 748	-	712
PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	11 091	436	789	37
		x		Thermo	VMR	11 328	445	789	37
	x	x		Thermo	VMR	10 568	415	789	37
	x	x	x	Thermo	VMR	3 527	-	789	37
PAC hybride	x			Thermo	VMR	6 397	251	1 202	-
		x		Thermo	VMR	6 161	242	1 202	-
	x	x		Thermo	VMR	5 865	230	1 202	-
	x	x	x	Thermo	VMR	3 406	-	1 202	-
	x			Fioul	VMR	6 397	251	661	96
		x		Fioul	VMR	6 161	242	661	96
	x	x		Fioul	VMR	5 865	230	661	96
	x	x	x	Fioul	VMR	3 406	-	661	96
PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	8 591	-	1 323	-
		x		Thermo	VMR	8 269	-	1 323	-
	x	x		Thermo	VMR	7 871	-	1 323	-
	x	x	x	Thermo	VMR	4 144	-	1 323	-

#### 8.5.4. Maison GERSHWIN zone H3

##### **Lots de travaux**

**Existant** : situation conforme à l'année de construction ; une chaudière fioul assure le chauffage et la production d'ECS

**Bâti seul + V** : l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, et une ventilation mécanique répartie a été installée ; la chaudière fioul existante assure toujours le chauffage et la production d'ECS

**PAC MT+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC MT+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau moyenne température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et le préchauffage de l'ECS, la chaudière existante reste en relève

**PAC Hybride+C+ECST+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+F+ECST+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+F+ECST+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+Bâti+ECST+V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS, la partie chaudière fioul est en relève

**PAC Hybride+C+ECSF+V**: les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+F+ECSF+V**: les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+C+F+ECSF+V**: les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relève pour le chauffage

**PAC Hybride+Bâti+ECSF +V**: l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC hybride ont été installées ; la PAC assure le

chauffage et la production de l'ECS est assurée par la partie chaudière fioul qui est également en relèver pour le chauffage

**PAC HT+C+ECST+V:** les combles ont été isolés, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+F+ECST+V:** les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

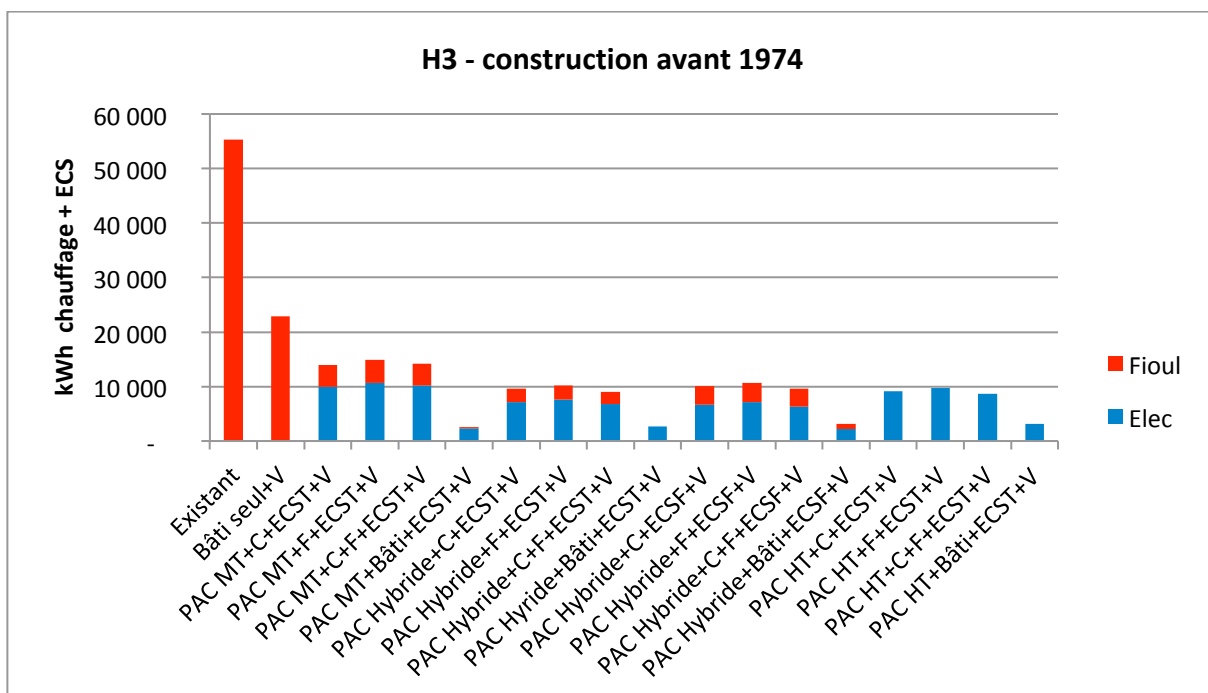
**PAC HT+C+F+ECST+V:** les combles ont été isolés, les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

**PAC HT+Bâti+ECST+V:** l'isolation complète a été revue (combles, murs), les fenêtres ont été changées, une ventilation mécanique répartie et une PAC air-eau haute température ont été installées ; la PAC assure le chauffage et la production de l'ECS

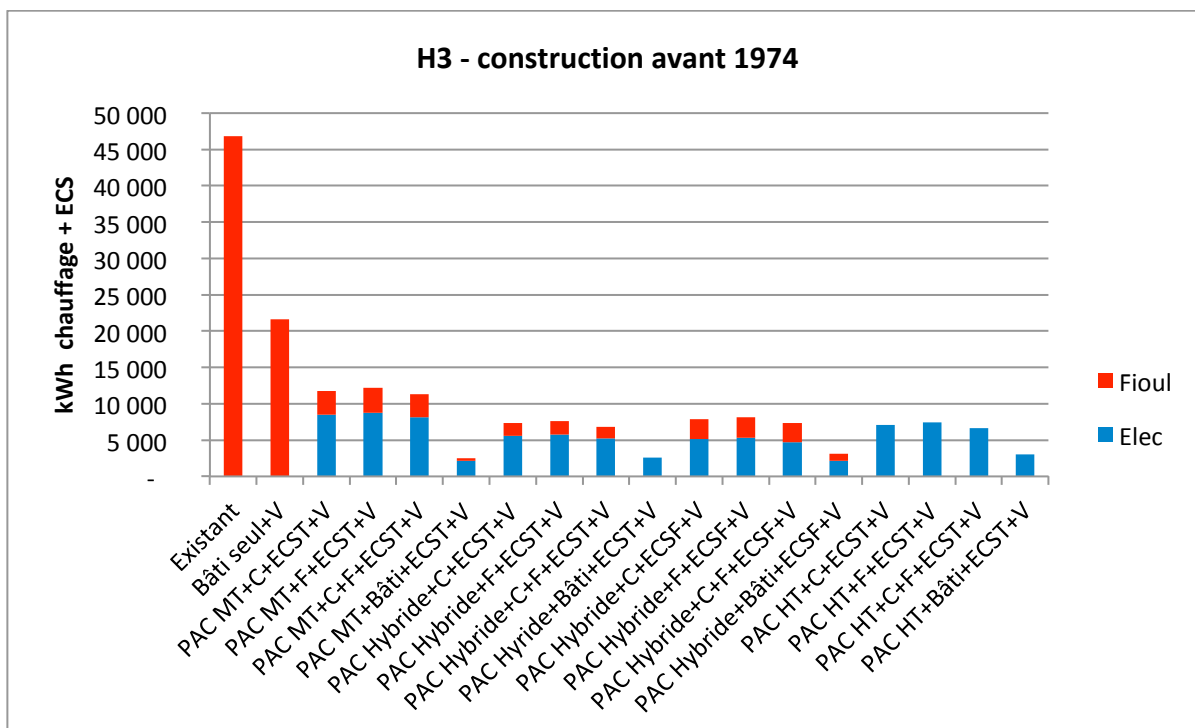
**Remarque :**

**Les calculs qui suivent n'ont qu'une valeur théorique et ne reflètent en aucun cas l'aspect comportemental des occupants qui adaptent, bien souvent, leur confort en fonction de leur capacité financière.**

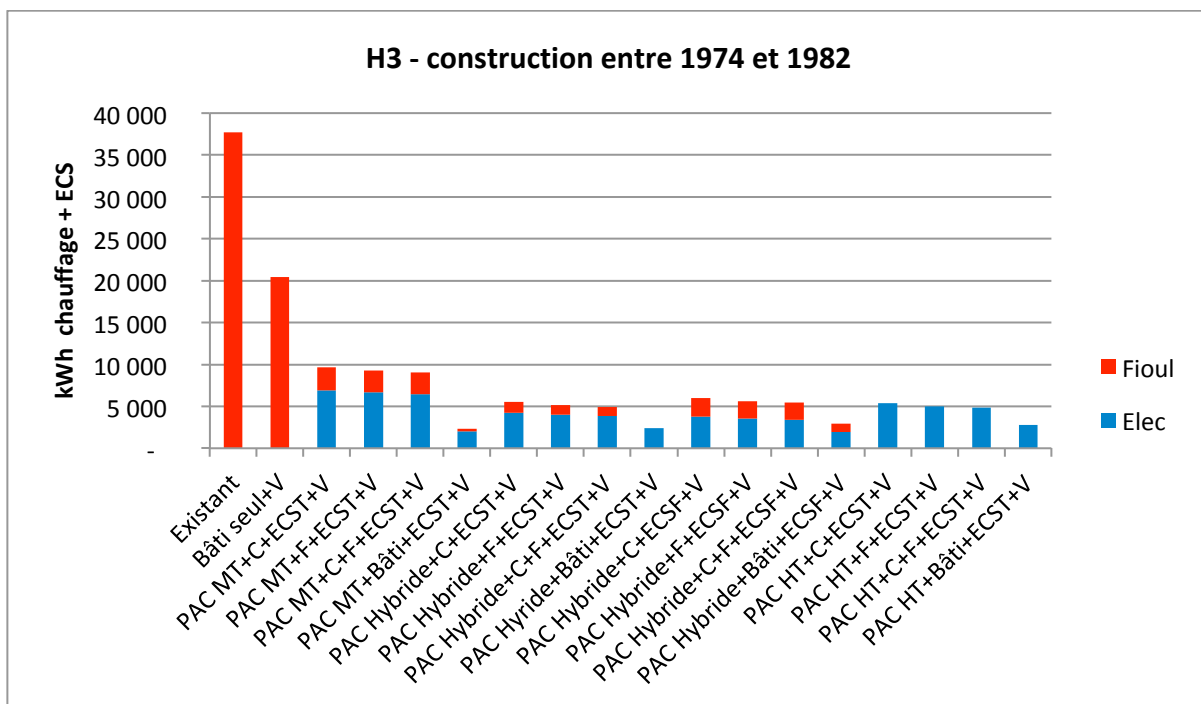
**Les consommations de fioul, pour la situation existante, semblent de fait exagérées et déconnectées de la réalité, en particulier pour la construction d'avant 1974. Cependant ces valeurs restent un repère pour comparer les améliorations qui sont simulées.**



H3	Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres	
avant 1974	existant	1,5	4,2	2,5	fioul	nat	-	4 929	-	661	
	Bâti seul	x	x	x		VMR	-	1 648	-	661	
	PAC MT + relève	x				Thermo	VMR	9 366	368	633	30
			x			Thermo	VMR	10 015	393	633	30
		x	x			Thermo	VMR	9 550	375	633	30
		x	x	x		Thermo	VMR	1 665	-	633	30
	PAC hybride	x				Thermo	VMR	6 205	244	953	-
			x			Thermo	VMR	6 639	261	953	-
		x	x			Thermo	VMR	5 824	229	953	-
		x	x	x		Thermo	VMR	1 740	-	953	-
		x				Fioul	VMR	6 205	244	505	96
			x			Fioul	VMR	6 639	261	505	96
		x	x			Fioul	VMR	5 824	229	505	96
		x	x	x		Fioul	VMR	1 740	-	505	96
	PAC HT en substitution	x				Thermo	VMR	8 161	-	1 031	-
			x	x		Thermo	VMR	8 738	-	1 031	-
x		x			Thermo	VMR	7 654	-	1 031	-	
x		x	x		Thermo	VMR	2 080	-	1 031	-	



H3	Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres	
1974-1982	existant	0,85	4,2	1,35	fioul	nat	-	4 068	-	661	
	Bâti seul	x	x	x		VMR	-	1 526	-	661	
	PAC MT + relève	x				Thermo	VMR	7 822	307	633	30
			x			Thermo	VMR	8 140	320	633	30
		x	x			Thermo	VMR	7 501	295	633	30
		x	x	x		Thermo	VMR	1 548	-	633	30
	PAC hybride	x				Thermo	VMR	4 598	181	953	-
			x			Thermo	VMR	4 821	189	953	-
		x	x			Thermo	VMR	4 242	167	953	-
		x	x	x		Thermo	VMR	1 617	-	953	-
		x				Fioul	VMR	4 598	181	505	96
			x			Fioul	VMR	4 821	189	505	96
		x	x			Fioul	VMR	4 242	167	505	96
		x	x	x		Fioul	VMR	1 617	-	505	96
	PAC HT en substitution	x				Thermo	VMR	6 088	-	1 031	-
			x			Thermo	VMR	6 386	-	1 031	-
		x	x			Thermo	VMR	5 614	-	1 031	-
		x	x	x		Thermo	VMR	1 967	-	1 031	-



H3	Fioul	Combles	Fenêtres	Murs	ECS	Ventil	Conso élec chauffage kWh	Conso fioul chauffage litres	Conso élec ECS kWh	Conso fioul ECS litres
1982-1989	existant	0,3	4,15	0,85	fioul	nat	-	3 145	-	661
	Bâti seul	x	x	x	Thermo	VMR	-	1 406	-	661
	PAC MT + relève	x			Thermo	VMR	6 272	246	633	30
			x		Thermo	VMR	6 028	237	633	30
		x	x		Thermo	VMR	5 837	229	633	30
		x	x	x	Thermo	VMR	1 395	-	633	30
	PAC hybride	x			Thermo	VMR	3 272	129	953	-
			x		Thermo	VMR	3 017	119	953	-
		x	x		Thermo	VMR	2 867	113	953	-
		x	x	x	Thermo	VMR	1 455	-	953	-
		x			Fioul	VMR	3 272	129	505	96
			x		Fioul	VMR	3 017	119	505	96
		x	x		Fioul	VMR	2 867	113	505	96
		x	x	x	Fioul	VMR	1 455	-	505	96
	PAC HT en substitution	x			Thermo	VMR	4 321	-	1 031	-
			x		Thermo	VMR	3 981	-	1 031	-
		x	x		Thermo	VMR	3 781	-	1 031	-
x		x	x	Thermo	VMR	1 762	-	1 031	-	

## 9. Ce qu'il faut retenir

La PAC air/eau offre une vraie alternative pour rénover une installation de chauffage munie d'un plancher chauffant et/ou de radiateurs. Associée à un, voire plusieurs lots de travaux complémentaires pour améliorer la performance du bâti, cette solution est porteuse d'importantes économies d'énergie.

La production d'eau chaude sanitaire avec la pompe à chaleur apporte également des économies d'énergie substantielles.

Une pompe à chaleur installée en substitution de chaudière permet de couvrir la plus grande partie, voire la totalité, des besoins. Quand un appoint est présent, généralement électrique, celui-ci est utilisé pour les jours les plus froids.

Afin de minimiser le temps de fonctionnement de l'appoint pour disposer de la performance optimum de la pompe à chaleur, la température maximum de fonctionnement du réseau de chauffage (loi d'eau) doit se rapprocher au plus près de la température d'eau maximum délivrée par la pompe à chaleur. Quand l'écart est trop important, pour le réduire en assurant les besoins de chauffage nécessaires, il est possible de changer les quelques émetteurs rendus « sous puissants » à cause du nouveau régime d'eau imposé par la pompe à chaleur.

Plus la température maximale d'eau produite par la pompe à chaleur est élevée, plus les possibilités de réaliser une substitution directe sont grandes. Dans la plupart des cas, le remplacement d'une chaudière peut être possible avec une PAC travaillant à haute température sous réserve des résultats d'une étude de dimensionnement.







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

[www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr](http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr)

**Recommandations RAGE**

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





**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



**La pompe à chaleur au cœur de votre confort**