

Produit : Maison ancienne

1. Contexte et problématique

La rénovation énergétique au service de la sobriété

En France, plus de 5 millions de logements sont aujourd'hui considérés comme des "passoires thermiques" : mal isolés, énergivores, et inconfortables en hiver comme en été. Une large part de ces habitations datent d'avant 1975, époque où les normes thermiques étaient peu exigeantes, voire inexistantes.

Or, dans un contexte de crise énergétique, d'inflation du coût de l'énergie et de lutte contre le changement climatique, la rénovation du parc immobilier ancien devient une priorité nationale. Réduire la consommation d'énergie des bâtiments est indispensable pour atteindre les objectifs fixés par la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), qui vise la neutralité carbone d'ici 2050.

Les pouvoirs publics encouragent ainsi les particuliers à isoler leurs logements (toitures, murs, planchers, fenêtres...) et à remplacer les anciens systèmes de chauffage (fioul, gaz ou convecteurs électriques) par des solutions plus sobres et renouvelables, comme les pompes à chaleur (PAC). Ces rénovations permettent :

- de réduire les émissions de CO₂ liées au chauffage ;
- de faire baisser les factures énergétiques ;
- d'améliorer le confort thermique des habitants ;
- et de contribuer à une sobriété énergétique collective, c'est-à-dire consommer moins mais mieux.

Dans une maison, le premier poste énergétique est le chauffage. Les besoins de chauffage représentent près de 70% des consommations énergétiques dans une maison, suivis par les électroménagers et les besoins pour l'eau chaude sanitaires et les consommations électriques des appareils.

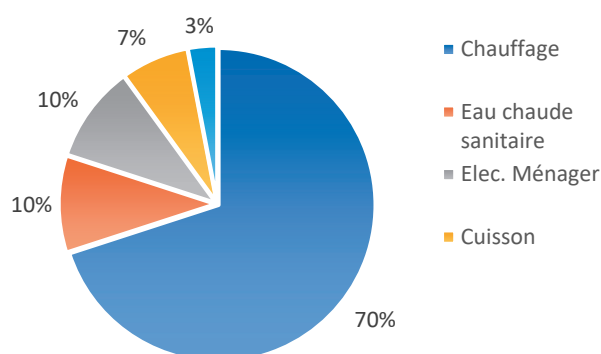


Figure 1 : répartition par poste dans l'habitat en France (source ADEME)

2. Simulation

Maison avant rénovation :

un propriétaire d'une maison des années 70 souhaite :

- isoler sa maison;
- changer la ventilation;
- remplacer la chaudière fioul par une pompe à chaleur.

Voici les caractéristiques de la maison avant rénovation :

- maison individuelle de 90 m² de plain-pied de 1979 à Landerneau en Bretagne;
- ventilation naturelle (pas de VMC)
- 120 m² de mur ; 90 m² de plafond ; 90 m² de plancher sur vide-sanitaire;
- 18 m² de fenêtre ; 2,1 m² de porte.

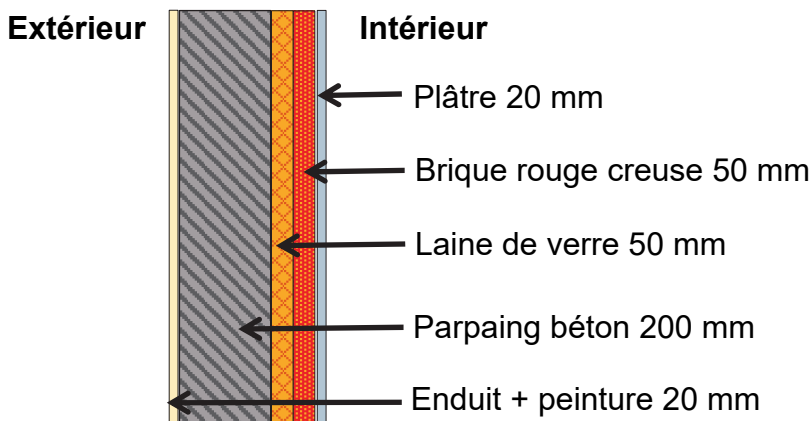


Figure 2 : composition des murs avant travaux

Composants	λ conductivité en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Plâtre	0,4
Brique rouge creuse	0,33
Laine de verre	0,040
Parpaing béton	0,9
Enduit + peinture	0,2

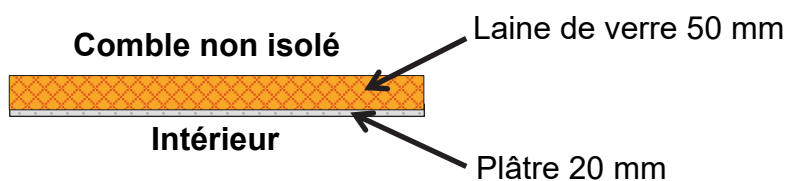


Figure 3 : composition du plafond avant travaux

Composants	λ conductivité en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Plâtre	0,4
Laine de verre	0,04

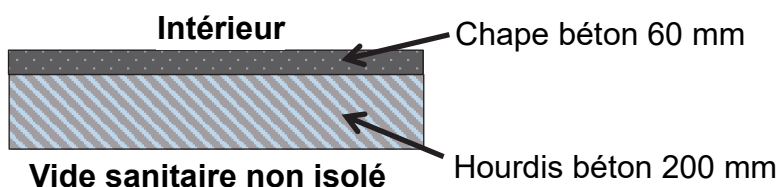


Figure 4 : composition du plancher avant travaux

Composants	λ conductivité en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Chape béton	1,75
Hourdis béton	1,2

Les fenêtres sont d'origines en simple vitrage.

La porte d'origine est en bois massif avec un $U_{\text{porte}} = 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Les valeurs de RSE et RSI à prendre en compte en fonction de la paroi :

	R_{SI} $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	R_{SE} $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$	$R_{\text{SI}} + R_{\text{SE}}$ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
Paroi verticale mur, fenêtre, porte...	0.13	0.04	0.17
Paroi horizontale Plafond	0.10	0.04	0.14
Paroi horizontale Plancher	0.17	0.04	0.21

Pour les calculs de simulation :

- la température intérieure consigne est de 18°C ;
- la température extérieure de référence à Landerneau est de -5°C ;
- prendre la valeur basse dans le tableau du DJU en fonction de la région où se trouve la maison.

Voici un tableau des DJU (Degrés-Jours Unifiés) par zone climatique et région française, utilisé pour estimer les besoins annuels de chauffage.

$\text{DJU} = \sum (18 - T_{\text{ext. moyenne journalière}})$ sur tous les jours où $T < 18^\circ \text{C}$

Zone climatique	Régions concernées	DJU annuels moyens
H1a	Haut de France Lorraine, Alsace nord Champagne	3500 - 3800
H1b	Ile de France, Centre Val de Loire Bourgogne, nord Auvergne	3200 - 3500
H1c	Limousin, Sud Bourgogne, partie est de l'Auvergne	3000 - 3200
H2a	Bretagne, Loire Atlantique, Vendée, Charente Maritime	2600 - 2800
H2b	Sud-ouest : Bordeaux, Agen, Dordogne, Poitou	2300 - 2600
H2c	Biarritz, Montauban, Albi, Tarn et Garonne	2000 - 2300
H3	Sud Est et littoral méditerranéen : Marseille, Nice, Corse, Montpellier	1500 - 2000

Les DJU sont utilisés pour estimer les besoins annuels de chauffage :

$$E = \frac{D_{\text{total}} \times \text{DJU} \times 24}{1000}$$

E Besoin d'énergie de chauffage à l'année en kWh/an
 D_{total} Déperdition thermique par degré en W/K
 DJU Degrés Jours Unifiés base 18°C en K·Jour/an
 24 Nombre d'heures par jour
 1000 Conversion de Wh/an en kWh/an

Ajouter les valeurs dans le fichier Excel « simulation_isolation.xlsx » :

- de C3 à C5 les caractéristiques de la maison ;
- C6 la valeur DJU en Bretagne
- C7 et C8 les températures intérieure et extérieure pour le calcul de déperditions ;
- les valeurs de $R_{SE}+R_{SI}$ et surfaces de mur, plafond, plancher, fenêtres et porte ;
- les matériaux qui constituent les murs, plafond et plancher avec l'épaisseur en mm et la conductivité λ en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
- C44 le type de fenêtres dans le menu déroulant ;
- C51 La valeur de U de la porte ;
- D58 le type de ventilation dans le menu déroulant ;
- I17 la formule pour calculer automatiquement la déperdition thermique des murs Φ_{mur} (les formules sont notées dans le fichier Excel) ;
- I63 la formule pour calculer automatiquement la déperdition thermique total en W Φ_{total} (les formules sont notées dans le fichier Excel)

Faire « enregistrer sous » et **renommer** le « Simulation avant travaux.xlsx »

Maison après rénovation :

Recopier le fichier « Simulation avant travaux.xlsx »

Renommer le « Simulation après travaux.xlsx »

- mur isolation par l'extérieur

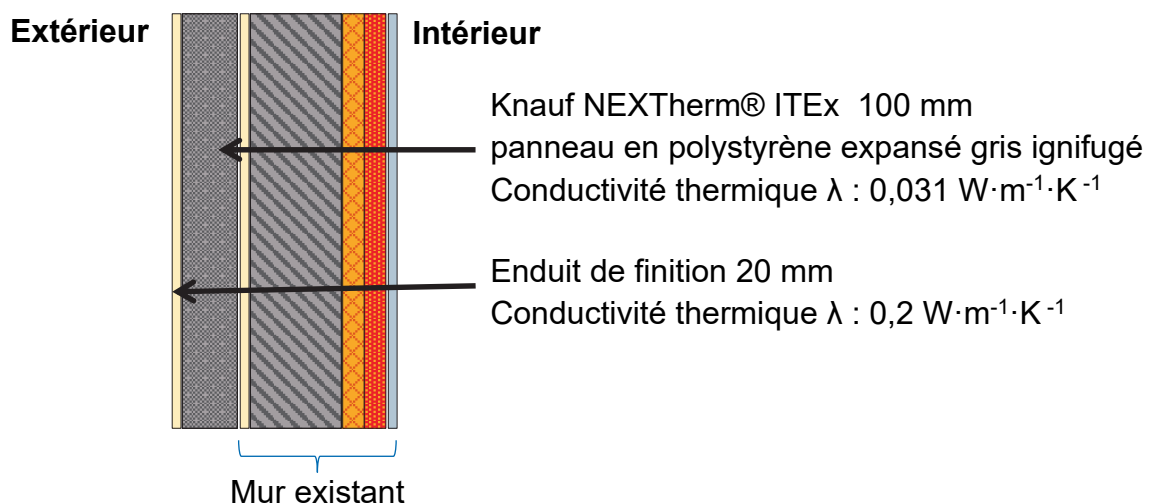


Figure 5 : composition des murs après travaux

- plafond

Remplacer la vieille laine de verre par une épaisseur de 180 mm de laine de verre en flocons

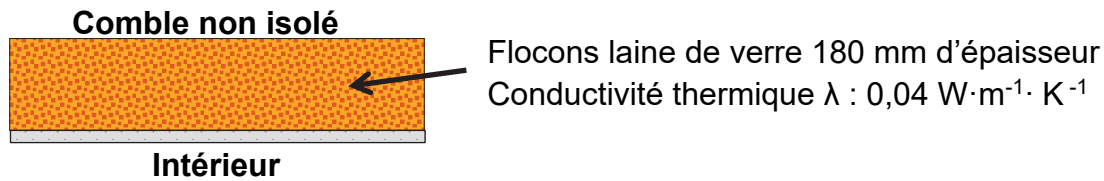


Figure 6 : composition du plafond après travaux

- plancher

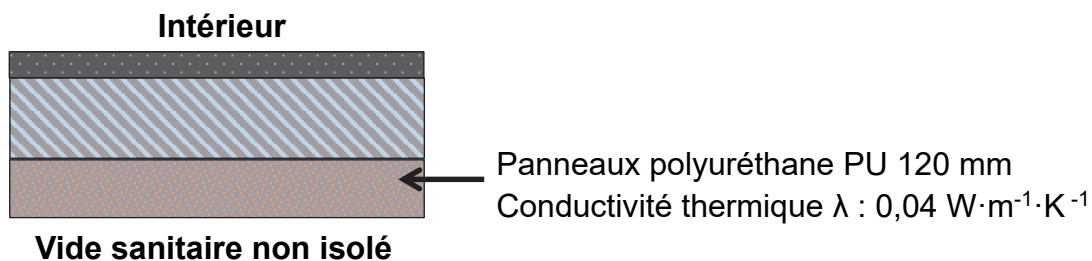


Figure 7 : composition du plancher avant travaux

- remplacement fenêtres

Double vitrage performant (argon, faible émissivité)

- remplacement porte

La nouvelle porte en PVC avec un $U_{\text{porte}} = 1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

- remplacement ventilation

VMC simple flux hygroréglable

Compléter les valeurs dans le fichier Excel « simulation après travaux.xlsx » :

- les matériaux qui constituent les murs, plafond et plancher avec l'épaisseur en mm et la conductivité λ en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- C44 le type des nouvelles fenêtres dans le menu déroulant ;
- C51 La valeur de U de la nouvelle porte ;
- D58 le type de la nouvelle ventilation dans le menu déroulant.

3. Expérimentation

La pompe à chaleur (ou PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. Elle capte les calories de l'air ambiant extérieur grâce à un évaporateur, les convertit en chaleur via un cycle thermodynamique, puis les restitue à l'eau du circuit de chauffage existant.

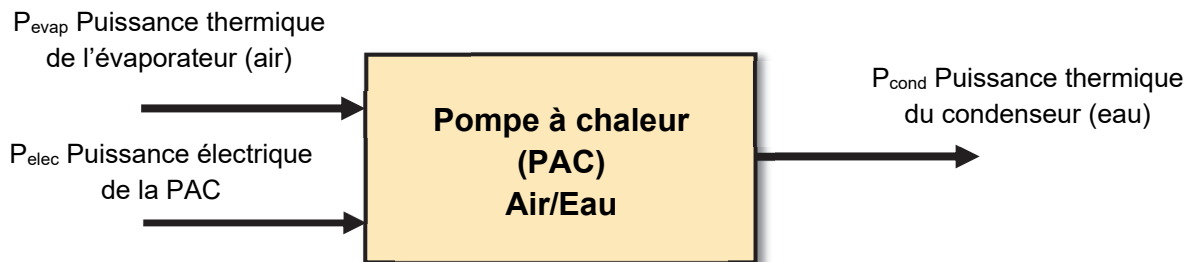


Figure 8 : Bilan de puissance pompe à chaleur

Contrairement à une chaudière, une pompe à chaleur (PAC) ne transforme pas directement une énergie payante en chaleur.

Elle capte une partie de l'énergie gratuite présente dans l'environnement, ici l'air extérieur (au niveau de l'évaporateur), et la transfère vers l'eau du circuit de chauffage (au niveau du condenseur).

Ce transfert nécessite une consommation d'électricité, mais l'énergie récupérée dans l'air n'est pas comptabilisée car elle est gratuite et renouvelable.

C'est pourquoi on ne parle pas de rendement (η), comme pour une chaudière, mais de coefficient de performance (COP). Le COP peut être supérieur à 1

$$\eta = \frac{P_{cond}}{P_{evap} + P_{elec}} \quad \text{X}$$

$$COP = \frac{P_{cond}}{P_{elec}} \quad \text{✓}$$

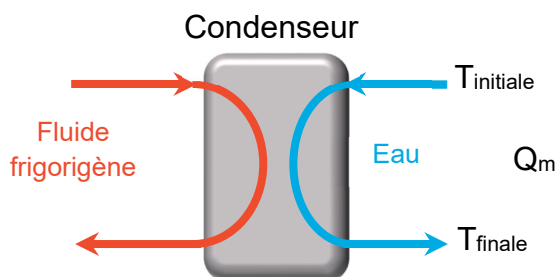


Figure 9 : Schéma du condenseur

$$P_{cond} = Q_m \times C_p \times (T_{finale} - T_{initiale})$$

P_{cond} : Puissance thermique au condenseur en W

$T_{initiale}$: Température initiale de l'eau en K

T_{finale} : Température finale de l'eau en K

Q_m : Débit massique en $\text{Kg} \cdot \text{s}^{-1}$

C_p : Capacité thermique en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Le C_p de l'eau est de $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1l d'eau = 1kg d'eau

Une pompe à chaleur contient quatre parties principales :

Le compresseur :

Le compresseur utilise de l'électricité pour, comme son nom l'indique, compresser le fluide sous forme de gaz pour augmenter sa température vers les 90-100 °C. C'est généralement un compresseur à piston.

Le condenseur :

Le condenseur (partie la plus chaude), permet de transmettre la chaleur du fluide à l'eau de chauffage. C'est donc un échangeur. Pendant son passage dans le condenseur, le fluide frigorigène se liquéfie sous l'effet de l'eau froide.

Le détendeur :

Le détendeur est en fait un minuscule tuyau appelé "capillaire". Quand le fluide passe à l'intérieur, sa pression est abaissée. Le fait d'abaisser sa pression fait chuter également sa température vers les -15 °C.

L'évaporateur :

L'évaporateur (partie la plus froide) est un circuit qui permet de capter les calories de l'environnement le fluide frigorigène se vaporise sous l'effet de l'air chaud.

Aller dans le navigateur web et taper l'adresse suivante : **XXX.XXX.XXX.XXX**

Cliquer sur enter puis [User pages](#) et [homepage of the application](#)

PAC SPEN

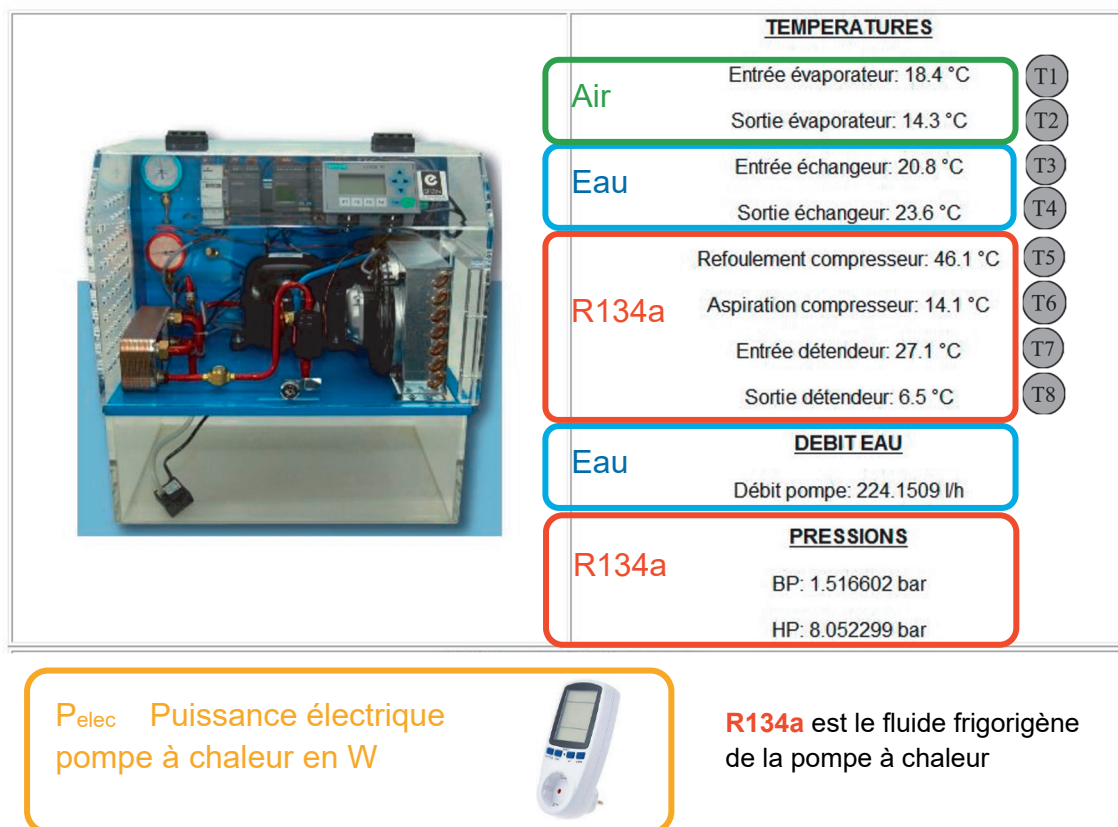


Figure 10 : Explications des mesures de la PAC

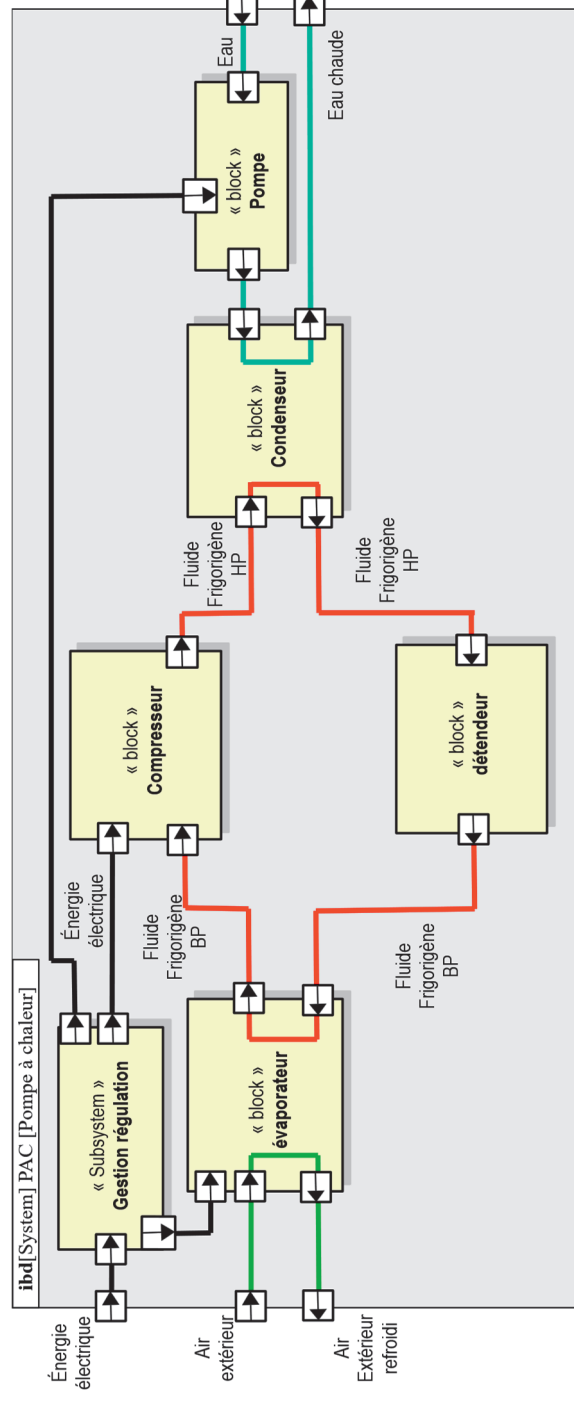


Figure 11 : SYS-ML diagramme blocks internes de la pompe à chaleur

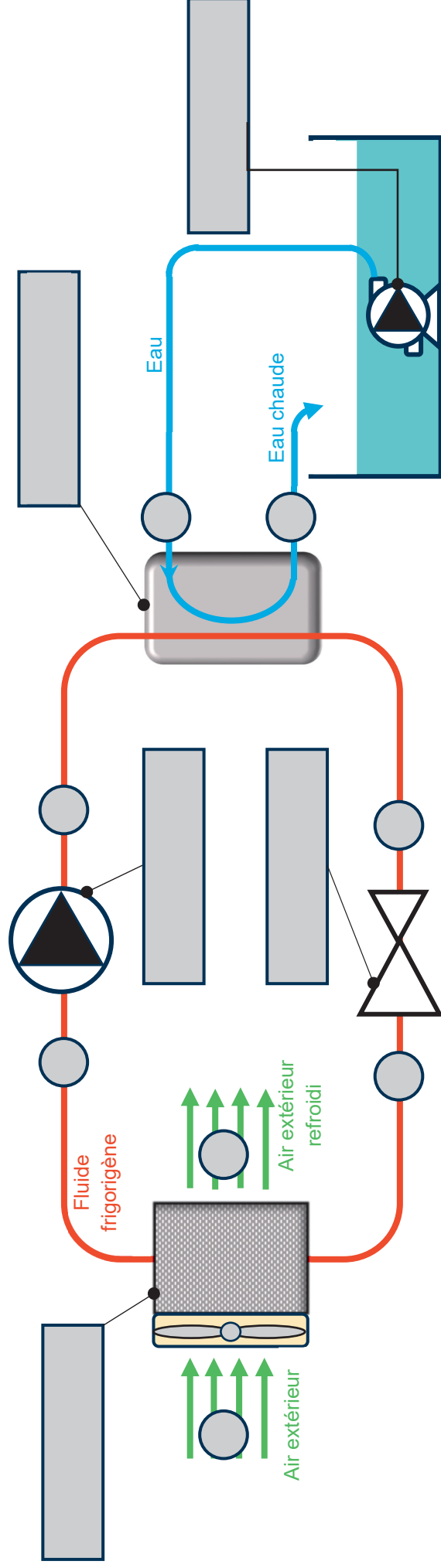


Figure 12 : Schéma PAC à compléter (constituants et capteurs température)

4 Conception

Le projet consiste à remplacer la chaudière fioul existante par une pompe à chaleur air/eau (PAC), dans le but d'améliorer les performances énergétiques du bâtiment.

- avantages du système choisi :
L'installation est compatible avec les émetteurs de chaleur existants, notamment des radiateurs en fonte, ce qui permet une rénovation sans modification majeure du réseau hydraulique.
- choix du type de PAC :
Le propriétaire a exprimé le souhait d'installer une PAC monobloc, entièrement située à l'extérieur, afin de préserver la surface habitable intérieure (contrairement à une PAC bibloc, qui nécessite un module intérieur).
- paramètres techniques :
La température d'eau en sortie de PAC est de 55 °C, ce qui est adapté aux radiateurs haute température existants, tout en maintenant un bon compromis entre confort et performance.

La puissance minimum de la PAC correspond au Φ_{total} en W du fichier Excel
« simulation après travaux.xlsx » .

Modèle	Type PAC	Type bloc	Puissance chauffage (kW)	Température max eau (°C)	COP
Daikin Altherma Monobloc 4 kW	Air / eau	Monobloc	4,3	60	4,5
Mitsubishi Ecodan Monobloc 5 kW	Air / eau	Monobloc	5	60	4,3
Atlantic Alféa Extensa Duo+ 5	Air / eau	Bi-bloc	4,8	55	4,1
Hitachi Yutaki M Monobloc 5 kW	Air / eau	Monobloc	5	50	4,2
Mitsubishi Ecodan Monobloc 10 kW	Air / eau	Monobloc	10	60	4
Panasonic Aquarea T-CAP Bi-bloc 5 kW	Air / eau	Bi-bloc	5	60	4,7
Daikin Emura 4 kW	Air / air	Bi-bloc	4		4,5

Tableau 1 : Choix de la PAC

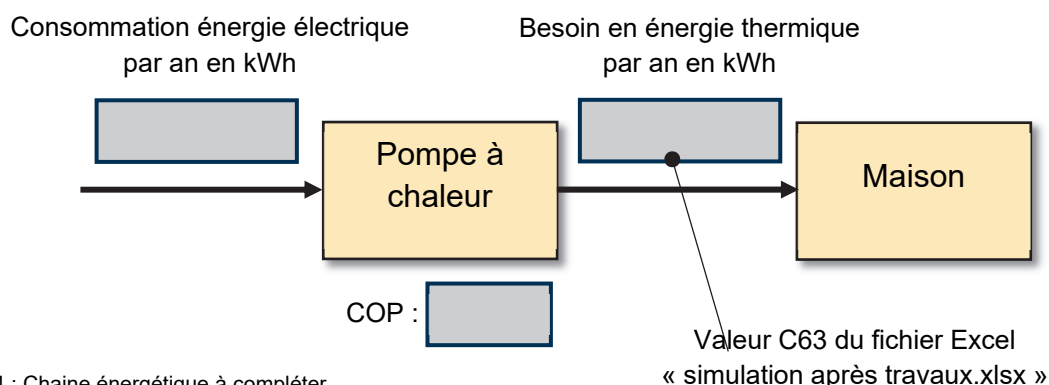


Figure14 : Chaîne énergétique à compléter