

Séance de 1 heure | Situation et cours

Climatisation réversible : la pompe à chaleur

Seconde TNE | Compétences CC3, CC6, CC9

Prénom et nom : Classe :

Énoncé — Contexte professionnel : pose d'une climatisation réversible chez un particulier

Un installateur en génie climatique pose une **climatisation réversible** de type « split air-air » dans le séjour d'une maison individuelle. L'appareil comporte une **unité extérieure** (posée sur la façade) et une **unité intérieure** (fixée au mur du séjour).

- En **été**, l'appareil **rafraîchit** la pièce : il extrait la chaleur du séjour et la rejette dehors.
- En **hiver**, l'appareil **chauffe** la pièce : il capte la chaleur de l'air extérieur (même froid) et la restitue à l'intérieur.

Le client est surpris et demande : « *Comment se fait-il que cette climatisation chauffe en consommant moins d'électricité qu'un simple radiateur électrique ?* »

Définition — Pompe à chaleur (PAC)

Une **pompe à chaleur ne crée pas de chaleur** : elle **déplace** de l'énergie thermique d'un milieu **froid** vers un milieu **chaud**, grâce au **travail électrique** W de son compresseur. Une climatisation réversible est une pompe à chaleur dont on peut inverser le sens.

Propriété — Le cycle du fluide frigorigène et le bilan d'énergie

Un **fluide frigorigène** circule en boucle fermée dans l'appareil et change d'état :

- dans l'**évaporateur**, côté froid, il **s'évapore** : il absorbe la chaleur Q_{froid} ;
- le **compresseur**, alimenté par l'électricité, le comprime : il lui apporte le travail W ;
- dans le **condenseur**, côté chaud, il **se condense** : il libère la chaleur Q_{chaud} ;
- le **détendeur** fait baisser sa pression, et il repart vers l'évaporateur.

Bilan d'énergie : $Q_{\text{chaud}} = W + Q_{\text{froid}}$. La chaleur Q_{froid} captée dehors est gratuite : c'est elle qui explique l'économie d'énergie.

Définition — COP (mode chauffage) et EER (mode froid)

$\text{COP} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{W}$ et $\text{EER} = \frac{Q_{\text{froid}}}{W}$. Ce sont des quotients de deux énergies : ils n'ont pas d'unité.

Pour les appareils récents, ils valent souvent **3 à 4** ; dans les exercices, ils sont supposés constants. Un COP de 3 signifie : pour **1 kWh** d'électricité, l'appareil restitue **3 kWh** de chaleur.

Comme $Q_{\text{froid}} > 0$, on a $Q_{\text{chaud}} > W$, donc toujours $\text{COP} > 1$. Ce raisonnement ne prouve rien pour l'EER : rien ne garantit qu'il dépasse 1. Sa valeur dépend des conditions de fonctionnement et se lit sur la fiche du fabricant.

Erreur fréquente — Comparaison avec un convecteur électrique

Un **convecteur électrique** transforme toute l'électricité en chaleur, sans rien capter dehors : $\text{rendement} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{W} = 1$. Une pompe à chaleur de COP 3,8 fournit **3,8 fois plus de chaleur** pour la même électricité.

Exemple — Exemple chiffré : puissance thermique d'un split

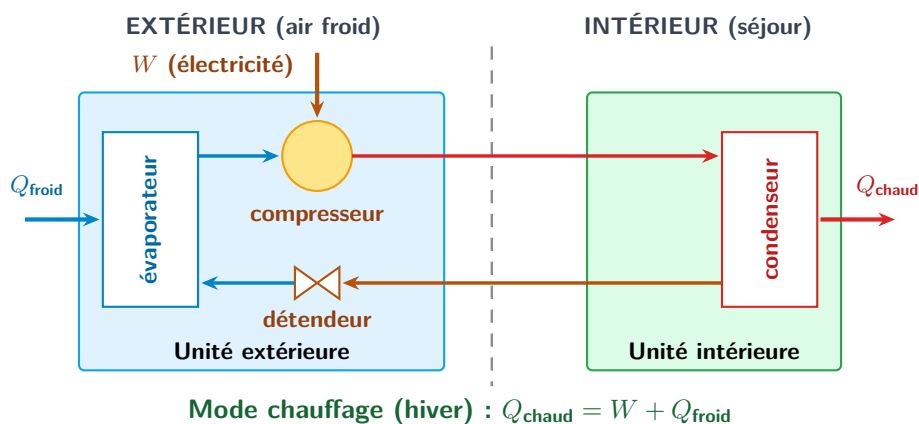
Le split du client a une puissance électrique $P_{\text{elec}} = 1,5 \text{ kW}$ et un $\text{COP} = 3,8$ en mode chauffage : $P_{\text{thermique}} = \text{COP} \times P_{\text{elec}} = 3,8 \times 1,5 = 5,7 \text{ kW}$.

L'appareil chauffe comme un radiateur de 5,7 kW : les $5,7 - 1,5 = 4,2 \text{ kW}$ en plus sont captés gratuitement dehors. C'est la réponse au client.

Schéma et exercices | Socle

COP, EER et bilan d'énergie

Écris tes calculs et l'unité de chaque résultat.



Climatisation réversible en mode chauffage, schéma de principe sans échelle. Le fluide tourne en boucle fermée : évaporateur, compresseur et détendeur dans l'unité extérieure, condenseur dans l'unité intérieure. Q_{froid} est la chaleur captée dehors, W l'électricité du compresseur, Q_{chaud} la chaleur rendue au séjour. En été, le sens est inversé : la chaleur est prise dans le séjour et rejetée dehors.

Exercice 1 – Interpréter « COP = 4 »

Exemple — Sur d'autres valeurs

Une pompe à chaleur a un COP de 3,2. Pour 1 kWh d'électricité, elle restitue 3,2 kWh de chaleur. Pour 5 kWh d'électricité, elle restitue $3,2 \times 5 = 16$ kWh de chaleur.

À toi de jouer.

Un installateur en génie climatique lit sur la fiche technique d'un appareil : **COP = 4**.

- Combien de kWh de chaleur l'appareil restitue-t-il pour 1 kWh d'électricité consommé ?
- Si l'appareil consomme 3 kWh d'électricité, combien de kWh de chaleur restitue-t-il ?

Exercice 2 – Calculer un EER

Exemple — Sur d'autres valeurs

Une climatisation extrait 7,5 kWh de chaleur d'une pièce en consommant 2,5 kWh d'électricité : $\text{EER} = 7,5 \div 2,5 = 3$. L'EER est supérieur à 1 : l'appareil extrait 3 kWh de chaleur pour 1 kWh d'électricité.

À toi de jouer.

En mode froid, une climatisation extrait $Q_{\text{froid}} = 6$ kWh de la pièce en consommant $W = 1,5$ kWh d'électricité.

- Écrire la formule de l'EER.
- Calculer l'EER.
- L'EER est-il supérieur à 1 ? Que signifie ce résultat ?

Exercice 3 – Bilan d'énergie**Exemple — Sur d'autres valeurs**

Une pompe à chaleur capte 5,6 kWh dans l'air extérieur et son compresseur consomme 1,6 kWh :
 $Q_{\text{chaud}} = 1,6 + 5,6 = 7,2 \text{ kWh}$, puis $\text{COP} = 7,2 \div 1,6 = 4,5$.

À toi de jouer.

Une pompe à chaleur capte $Q_{\text{froid}} = 4,5 \text{ kWh}$ dans l'air extérieur et le compresseur consomme $W = 1,5 \text{ kWh}$.

1. Écrire le bilan d'énergie de la pompe à chaleur.

2. Calculer Q_{chaud} .

3. En déduire le COP.

Exercices | Standard**Exercice 4 – Puissance thermique fournie****Exemple — Sur d'autres valeurs**

Un appareil de puissance électrique 1,2 kW a un COP de 3. Il fournit $3 \times 1,2 = 3,6 \text{ kW}$ de chaleur.
 Un convecteur devrait consommer 3,6 kW d'électricité pour fournir la même chaleur.

À toi de jouer.

Un installateur de pompes à chaleur installe un appareil de puissance électrique $P_{\text{elec}} = 2 \text{ kW}$ et de $\text{COP} = 3,5$.

1. Calculer la puissance thermique $P_{\text{thermique}}$ restituée dans le logement.

2. Cette puissance permet-elle de remplacer un radiateur électrique de 6 kW ?

3. Quelle puissance électrique aurait-il fallu avec un simple convecteur pour obtenir la même puissance thermique ?

Exercice 5 – Comparaison pompe à chaleur / convecteur**Exemple — Sur d'autres valeurs**

Pour fournir 10 kWh de chaleur, un convecteur consomme 10 kWh. Une pompe à chaleur de COP 2,5 consomme $10 \div 2,5 = 4 \text{ kWh}$. Économie : $10 - 4 = 6 \text{ kWh}$, soit $6 \div 10 \times 100 = 60 \%$.

À toi de jouer.

Pour chauffer un séjour, on a besoin de $Q_{\text{chaud}} = 12 \text{ kWh}$ de chaleur par jour. On compare un **convecteur électrique** (rendement = 1) et une **pompe à chaleur** (COP = 4).

1. Quelle quantité d'électricité W consomme le convecteur pour fournir ces 12 kWh ?

2. Quelle quantité d'électricité W consomme la pompe à chaleur pour les mêmes 12 kWh ?

3. Calculer l'économie d'électricité par jour (en kWh), puis en pourcentage.

Exercice | Approfondissement

Exercice 6 – Rentabilité de l'installation

Exemple — Sur d'autres valeurs

Besoin de 5 000 kWh de chaleur par an, COP 2,5, électricité 0,20 €/kWh. Convecteurs : $5\,000 \times 0,20 = 1\,000$ €. Pompe à chaleur : $5\,000 \div 2,5 = 2\,000$ kWh, soit $2\,000 \times 0,20 = 400$ €. Économie : $1\,000 - 400 = 600$ € par an. Une installation de 3 000 € est remboursée en $3\,000 \div 600 = 5$ ans.

À toi de jouer.

Un particulier hésite à remplacer les convecteurs de sa maison de 100 m^2 par une pompe à chaleur air-air multisplit (une unité extérieure, une unité intérieure par pièce). Besoin annuel de chauffage : $Q_{\text{chaud}} = 7\,500\text{ kWh}$. Pompe à chaleur : COP = 4. Électricité : 0,20 €/kWh. L'installation de la pompe à chaleur coûte **8 000 €**.

1. Calculer l'électricité consommée par an avec les convecteurs (rendement 1), puis le coût annuel.
2. Calculer l'électricité consommée par an avec la pompe à chaleur, puis le coût annuel.
3. Calculer l'économie annuelle en euros.
4. Au bout de combien d'années entières l'installation est-elle remboursée ?

Mon bilan avec l'enseignant : ☐ Calculer un COP ou un EER ☐ Écrire le bilan d'énergie ☐ Comparer à un convecteur.