

Séance de 1 heure | Situation et cours

Bilan carbone du chauffage : gaz ou pompe à chaleur ?

Seconde TNE | Domaine « Thermique »

Prénom et nom : Classe :

Énoncé — Contexte professionnel : conseil en rénovation énergétique

Une cliente possède une vieille **chaudière au gaz naturel**. Elle hésite à la remplacer par une **pompe à chaleur (PAC)** et se demande si ce changement est bon pour le climat.

Un **conseiller en rénovation énergétique** vient évaluer son logement. Celui-ci a besoin d'environ **10 000 kWh de chaleur par an**. « *Combien de kilogrammes de CO_2e mon chauffage représente-t-il chaque année avec le gaz ? Et avec une pompe à chaleur ? De quel pourcentage vais-je réduire ces émissions ?* »

Définition — Facteur d'émission

Le **facteur d'émission** d'une énergie est la masse de gaz à effet de serre émise pour **chaque kilowattheure (kWh) consommé**. Il s'exprime en **kg CO_2e /kWh**. CO_2e signifie « équivalent dioxyde de carbone » : cette unité regroupe l'effet de tous les gaz à effet de serre.

$$\text{masse (kg } \text{CO}_2\text{e)} = \text{énergie consommée (kWh)} \times \text{facteur d'émission (kg } \text{CO}_2\text{e/kWh)}$$

Facteurs de la méthode du diagnostic de performance énergétique (DPE) : **gaz naturel 0,227 kg CO_2e /kWh** ; **électricité pour le chauffage 0,079 kg CO_2e /kWh**.

Propriété — Cas de la pompe à chaleur (le COP)

Une pompe à chaleur ne « fabrique » pas la chaleur : elle la **prend dans l'air extérieur** et la déplace dans le logement. Pour 1 kWh d'électricité consommée, elle fournit **plusieurs kWh de chaleur**. Ce nombre est le **COP** (coefficient de performance) :

$$\text{électricité consommée} = \frac{\text{chaleur fournie}}{\text{COP}}$$

Erreur fréquente — À éviter

Multiplier les 10 000 kWh de chaleur de la pompe à chaleur par le facteur de l'électricité. La PAC consomme moins d'électricité que la chaleur qu'elle fournit : on calcule d'abord l'électricité consommée ($\text{chaleur} \div \text{COP}$), puis on multiplie par le facteur d'émission.

Sauf indication contraire, la chaudière est supposée parfaite : le gaz consommé est égal à la chaleur fournie. Les exercices 5 et 6 tiennent compte de son rendement.

Exemple — Un petit appartement : 6 000 kWh de chaleur par an

On compare une chaudière gaz et une PAC de $\text{COP} = 3$.

1. Chaudière gaz : $m_{\text{gaz}} = 6\,000 \times 0,227 = 1\,362 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e}$ par an.

2. Pompe à chaleur : électricité consommée $= 6\,000 \div 3 = 2\,000 \text{ kWh}$, puis $m_{\text{PAC}} = 2\,000 \times 0,079 = 158 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e}$ par an.

3. Réduction : $(1\,362 - 158) \div 1\,362 \approx 0,884$, soit une réduction d'environ **88,4 %**.

Exercices | Socle

Émissions de CO₂e et pompe à chaleur

Écris tes calculs et l'unité de chaque résultat.

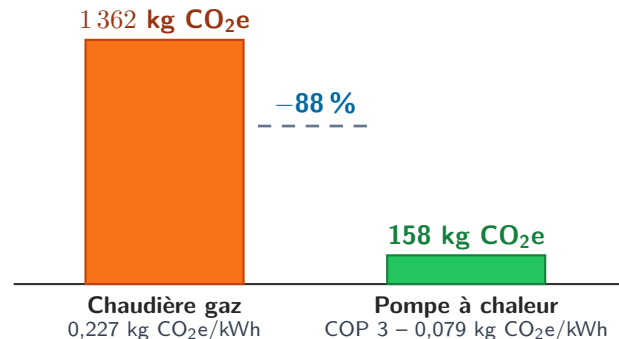
Émissions de CO₂e par an (exemple : 6 000 kWh de chaleur)

Diagramme en barres de l'exemple : émissions annuelles, en kg CO₂e, d'une chaudière gaz et d'une pompe à chaleur de COP 3 pour 6 000 kWh de chaleur. Les deux barres sont à la même échelle.

Donnée fournie	Valeur	Remarque
Facteur d'émission – gaz naturel	0,227 kg CO ₂ e/kWh	méthode du DPE
Facteur d'émission – électricité pour le chauffage	0,079 kg CO ₂ e/kWh	méthode du DPE
COP d'une pompe à chaleur	donné dans chaque exercice	supposé constant dans les calculs
Consommation moyenne de chauffage d'une résidence principale	environ 88 kWh par m ² et par an	France, 2024 (ADEME) : environ 8 800 kWh par an pour 100 m ²

Exercice 1 – Lire le tableau des données

Exemple — Sur d'autres valeurs

Une chaudière brûle 500 kWh de gaz : $500 \times 0,227 = 113,5$ kg CO₂e.

À toi de jouer.

En utilisant le tableau des données fournies :

- Quelle énergie a le facteur d'émission le plus élevé : le gaz ou l'électricité ?
- Une chaudière brûle 1 000 kWh de gaz. Calculer la masse de CO₂e associée.
- Un radiateur électrique consomme 1 000 kWh d'électricité. Calculer la masse de CO₂e associée.

Exercice 2 – Électricité consommée par une pompe à chaleur**Exemple — Sur d'autres valeurs**

Une PAC de COP 4 fournit 6 000 kWh de chaleur : électricité consommée = $6\,000 \div 4 = 1\,500$ kWh. Émissions : $1\,500 \times 0,079 = 118,5$ kg CO₂e.

À toi de jouer.

Un plombier-chauffagiste installe une pompe à chaleur de **COP = 3** dans un logement qui a besoin de 9 000 kWh de chaleur par an.

Rappel : électricité consommée = chaleur fournie $\div$ COP.

1. Calculer l'électricité consommée par la pompe à chaleur, en kWh.
2. Calculer la masse de CO₂e associée à cette électricité.

Exercices | Standard**Exercice 3 – Comparer gaz et pompe à chaleur****Exemple — Sur d'autres valeurs**

Besoin de 5 000 kWh, PAC de COP 4. Gaz : $5\,000 \times 0,227 = 1\,135$ kg CO₂e. PAC : $5\,000 \div 4 = 1\,250$ kWh, puis $1\,250 \times 0,079 = 98,75$ kg CO₂e. La PAC émet moins.

À toi de jouer.

Un technicien en énergies renouvelables étudie un logement qui a besoin de 12 000 kWh de chaleur par an. Données : gaz 0,227 kg CO₂e/kWh ; électricité pour le chauffage 0,079 kg CO₂e/kWh ; PAC de **COP = 2,5**.

1. Calculer les émissions de CO₂e avec une chaudière gaz (le gaz consommé est égal à la chaleur fournie).
2. Calculer l'électricité consommée par la PAC, puis les émissions de CO₂e associées.
3. Quel mode de chauffage est le plus respectueux du climat ? Justifier par les deux résultats.

Exercice 4 – Pourcentage de réduction des émissions**Exemple — Sur d'autres valeurs**

Un logement passe de 1 500 kg à 300 kg CO₂e par an. Baisse : $1\,500 - 300 = 1\,200$ kg CO₂e. Réduction : $1\,200 \div 1\,500 \times 100 = 80$ %.

À toi de jouer.

Un conseiller en rénovation énergétique reprend le logement de l'exercice 3 : il compare les émissions avec la chaudière gaz et avec la pompe à chaleur.

1. Calculer la baisse des émissions, en kg CO₂e.

2. Calculer le pourcentage de réduction des émissions : $\text{réduction} = \text{baisse} \div \text{émissions avec le gaz} \times 100$.

Exercices | Approfondissement

Exercice 5 – Chaudière gaz avec rendement

Exemple — Sur d'autres valeurs

Une chaudière de rendement 0,9 doit fournir 2 700 kWh de chaleur : gaz consommé = $2\,700 \div 0,9 = 3\,000$ kWh, puis $3\,000 \times 0,227 = 681$ kg CO_{2e}.

À toi de jouer.

La vieille chaudière de la cliente n'a pas un rendement parfait : son **rendement vaut 0,8**. Pour fournir la chaleur voulue, elle consomme **plus de gaz** : gaz consommé = chaleur fournie $\div$ rendement. Le logement a besoin de 10 000 kWh de chaleur par an. Donnée : gaz 0,227 kg CO_{2e}/kWh.

1. Calculer la quantité de gaz réellement consommée, en kWh.
2. En déduire la masse de CO_{2e} émise par an.
3. Calculer la masse de CO_{2e} si la chaudière était parfaite (10 000 kWh de gaz). De combien de kg les émissions augmentent-elles à cause du rendement ?

Exercice 6 – Croiser le coût et le CO_{2e}

Exemple — Sur d'autres valeurs

Une chaudière consomme 8 000 kWh de gaz : $8\,000 \times 0,126 = 1\,008$ €. Une pompe à chaleur consomme 2 000 kWh d'électricité : $2\,000 \times 0,20 = 400$ €. Économie : $1\,008 - 400 = 608$ € par an.

À toi de jouer.

Le conseiller compare maintenant, pour le logement de la cliente (10 000 kWh de chaleur par an), sa vieille chaudière gaz et une pompe à chaleur de COP = 3. Données : gaz 0,227 kg CO_{2e}/kWh, prix du gaz **0,126 €/kWh** ; électricité pour le chauffage 0,079 kg CO_{2e}/kWh, prix de l'électricité **0,20 €/kWh**.

1. Chaudière gaz : reprendre le gaz consommé et la masse de CO_{2e} trouvés à l'exercice 5, puis calculer le coût annuel du gaz.
2. Pompe à chaleur : calculer l'électricité consommée, puis la masse de CO_{2e} par an et le coût annuel.
3. La PAC est-elle gagnante à la fois pour les émissions et pour le coût ? Justifier avec les chiffres.

Mon bilan avec l'enseignant : ☐ Calculer une masse de CO_{2e} ☐ Utiliser le COP ☐ Pourcentage de réduction.