

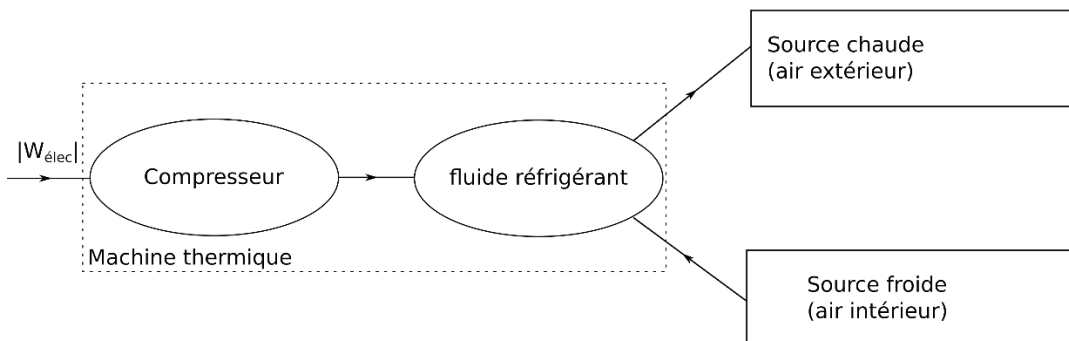


Exercices de la séquence 5

Les machines thermiques

EXERCICE 1 : Réfrigérateur porte ouverte...

Le petit Tom, pour son goûter, a mangé un yaourt. Cependant, il a malencontreusement laissé la porte du réfrigérateur ouverte ! Sa maman lui explique qu'il est important de bien refermer la porte du réfrigérateur sinon la température de la pièce va diminuer.

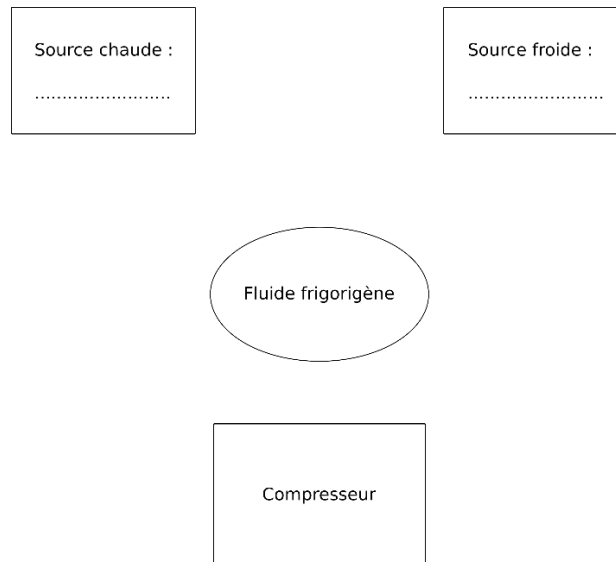


1. Compléter le diagramme énergétique dans le cas du réfrigérateur fermé.
2. Réaliser le bilan d'énergie en valeur absolue et comparer les transferts thermiques entre le fluide et la source chaude avec le transfert thermique entre le fluide et la source froide.
3. Simplifier le diagramme ci-dessus dans le cas où la porte du frigo est ouverte.
4. Si l'on considère la pièce parfaitement isolée thermiquement, sa maman a-t-elle raison ?

EXERCICE 2 : Chauffage de l'eau d'une piscine municipale

En tant que conseiller municipal délégué au sport de votre commune, vous avez récemment construit une piscine municipale en choisissant un chauffage de l'eau de la piscine par une pompe à chaleur air/eau. Soucieux d'optimiser la consommation énergétique de votre commune, vous aimeriez vérifier l'intérêt énergétique de ce type de chauffage.

1. Compléter le schéma énergétique ci-dessous en précisant la nature de la source froide et de la source chaude et en indiquant par des flèches les sens réels des transferts thermiques et du travail.
Indiquer également dans quelles transformations du cycle du fluide ces échanges d'énergie se produisent.



2. Lors de sa mise en service, la piscine d'un volume de 325 m^3 , a été remplie avec une eau initialement à 18°C , qui est ensuite chauffée à 29°C , température idéale pour la baignade.
Déterminer l'énergie thermique Q_c fournie par la pompe à chaleur à l'eau de la piscine si l'on considère qu'il n'y a pas de pertes thermiques.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 - Masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
3. L'énergie électrique consommée par la pompe à chaleur pour effectuer ce chauffage a été mesurée et est égale à 890 kWh. En déduire l'énergie thermique Q_f transférée vers la source froide.
4. Conclure sur l'intérêt de la pompe à chaleur sur la consommation d'énergie électrique par rapport à un chauffage direct par une résistance électrique.

EXERCICE 3 : Rafraîchissements

Afin de préparer l'arrivée d'amis lors d'une journée ensoleillée, vous placez au réfrigérateur deux packs de six canettes initialement à la température ambiante de 20°C contenant une boisson gazeuse rafraîchissante.

Une canette, pour passer de 20°C à 4°C , libère une énergie thermique de 24,5 kJ.

Les données constructeur de votre réfrigérateur annonce un coefficient de performance de 2,6.

Vous souhaitez connaître le coût du refroidissement de ces boissons.

1. En considérant votre réfrigérateur parfaitement isolé thermiquement, déterminer l'énergie électrique consommée par le réfrigérateur pour assurer le refroidissement de ces bouteilles à 4°C .
2. Le fournisseur d'électricité de votre domicile applique un tarif de 0,15 € par kWh. Calculer alors, à l'aide du document ci-dessous, le coût financier pour le refroidissement de vos bouteilles.
3. Pensez-vous que le coût réel du refroidissement corresponde bien au coût estimé par votre calcul ?



EXERCICE 4 : Apprenti pâtissier

Vous travaillez dans une pâtisserie et utilisez pour faire prendre plus rapidement le glaçage de vos gâteaux une cellule de refroidissement rapide.

Comme vous êtes un pâtissier curieux et soucieux de l'environnement, vous souhaitez savoir combien de temps sera nécessaire au refroidissement en cellule et si cette machine n'est pas trop énergivore.

Document : Caractéristiques techniques de la cellule de refroidissement

Capacité par cycle (kg)	Puissance frigorifique (W)	Puissance électrique absorbée par le compresseur (W)
14	1182	639

1. Si vous utilisez la capacité maximale de la cellule de refroidissement, calculer la valeur du transfert thermique Q cédé par les gâteaux pour les faire passer de 65°C à 4°C , température idéale pour un glaçage parfait. En déduire la durée Δt nécessaire au refroidissement des gâteaux.

Données :

- Capacité thermique massique des gâteaux : $C_{\text{gâteau}} = 3,74 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Puissance frigorifique : $P_{\text{frigo}} = Q / \Delta$

2. Calculer le coefficient de performance de cette cellule de refroidissement rapide. La comparer à l'efficacité énergétique théorique d'une machine frigorifique si l'on considère l'air extérieur à la température de 20°C .

EXERCICE 5 : Etude d'une pompe à chaleur

On utilise une pompe à chaleur pour le chauffage d'une maison individuelle. La pompe échange de l'énergie avec l'air extérieur et chauffe l'eau qui circule en circuit fermé dans des serpentins encastrés dans le plancher chauffant.

Sur la documentation technique de la pompe à chaleur on lit :

- Puissance de chauffage : $P_{1\text{th}} = 13,1 \text{ kW}$.
 - Puissance électrique : $P_{2\text{e}} = 3,6 \text{ kW}$.
1. Expliquer, à l'aide d'un schéma, les échanges d'énergie intervenant dans le fonctionnement de cette pompe à chaleur ditherme. Préciser quelles sont la source chaude et la source froide.
 2. Exprimer le coefficient de performance de la pompe à chaleur et le calculer numériquement.
 3. Faire un bilan d'énergie de cette pompe. En déduire la valeur du transfert thermique Q cédé à l'air extérieur de la maison. Vérifier la cohérence du signe du résultat.

EXERCICE 6 : Utilisation du 1^{er} principe de la thermodynamique

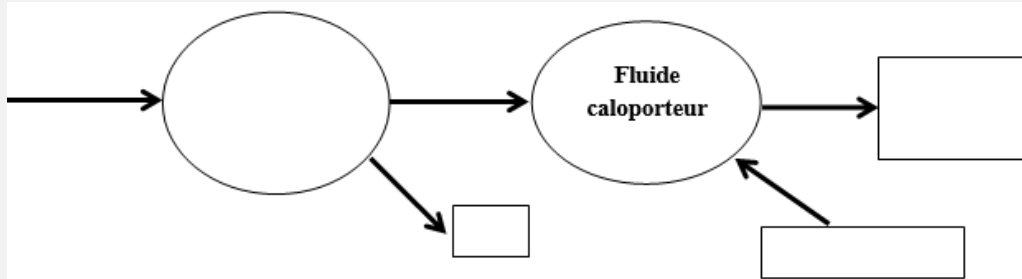
Un réfrigérateur a consommé 465 kJ d'énergie électrique. Pendant cette durée il a refroidi de l'eau en y retirant 1232 kJ d'énergie thermique. Le rendement du compresseur électrique est de $85,0 \%$.



Compléter la chaîne énergétique du système représentée sur le document 1 ;

DOCUMENT 1 : Chaîne énergétique du réfrigérateur

Rappels : dans une chaîne énergétique, les rectangles doivent indiquer les sources d'énergies, les flèches les transferts d'énergie et les ovales les systèmes qui convertissent ces énergies d'une forme à une autre.



Calculer le travail W fourni par le compresseur au fluide caloporteur.

Indiquer la valeur du transfert d'énergie échangée entre le fluide caloporteur et l'eau présente dans le réfrigérateur.

Calculer la valeur du transfert thermique entre le fluide caloporteur et la cuisine.

Calculer la valeur du Coefficient de Performance (COP) du réfrigérateur.

EXERCICE 7 : Réfrigérateur

Partie 1 : Principe de fonctionnement

Le document 1 ci-dessous détaille la structure d'un réfrigérateur dans lequel circule le fluide frigorigène.

1. Légender le schéma du document 1 avec les mots : **évaporateur** / **compresseur** / **condenseur** et **détendeur**.

2. Compléter le texte à trous ci-dessous résumant le cycle de fonctionnement du réfrigérateur en 4 étapes :

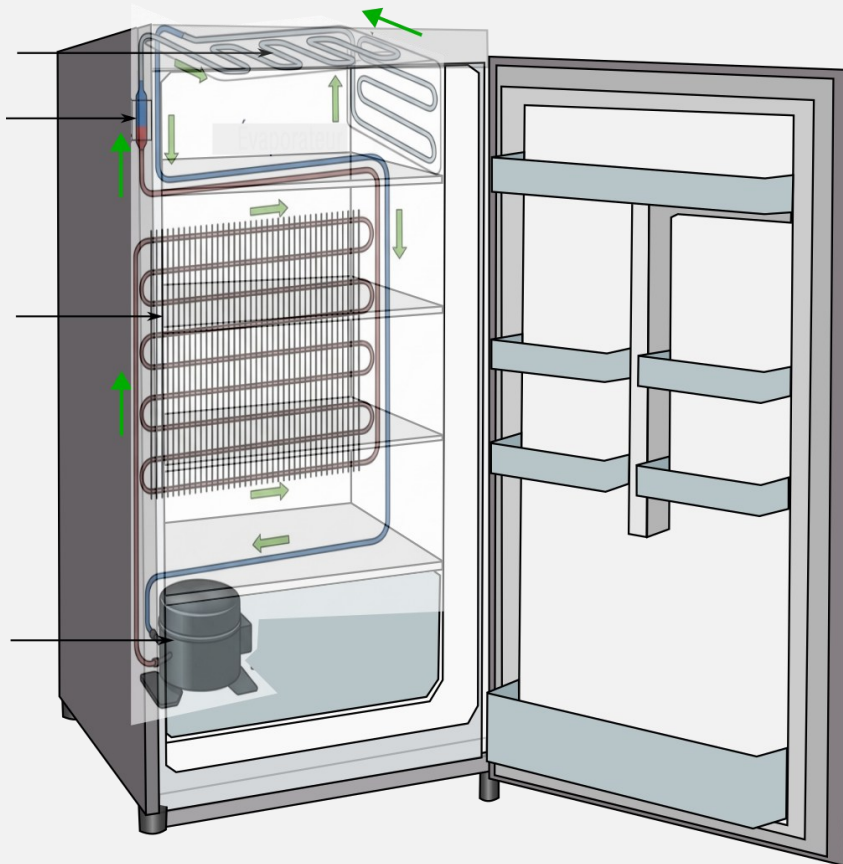
Étape 1 : le **compresseur** comprime le fluide caloporteur (qui est à l'état gazeux) ce qui provoque une forte augmentation de

Étape 2 : le **condenseur** est un échangeur thermique dans lequel le fluide caloporteur gazeux très chaud se au contact de l'air de la cuisine, ce qui provoque sa (ou liquéfaction) et le de l'air de la cuisine.

Étape 3 : le **détendeur** détend le fluide liquide, ce qui provoque une forte diminution de

Étape 4 : l'**évaporateur** est un échangeur thermique dans lequel le fluide caloporteur liquide très froid se au contact de l'air froid du réfrigérateur (mais moins froid que le fluide), ce qui provoque sa (passage à l'état gazeux) et le supplémentaire de l'air à l'intérieur du réfrigérateur.

3. Indiquer, sur chacune des flèches vertes du document 1, les états physiques et les conditions de pression du fluide frigorigène en utilisant la légende suivante : G = Gazeux ; L = Liquide ; HP = Haute Pression et BP = Basse Pression.

**DOCUMENT 1 : Structure du réfrigérateur***Principe du réfrigérateur***Partie 2 : Performance énergétique**

On utilisera les données du document 2 pour répondre aux questions qui suivent :

DOCUMENT 2 : Données de fonctionnement du réfrigérateur

À l'instant $t = 0$, lorsqu'on branche le réfrigérateur, la température à l'intérieur est égale à la température à l'extérieur, soit 20°C . On souhaite savoir au bout de combien de temps la température atteindra $5,0^{\circ}\text{C}$ dans le réfrigérateur.

- Volume utile : $V = 180 \text{ L}$;
- Coefficient de performance : $\text{COP} = 2,00$;
- Consommation électrique annuelle estimée : 111 kWh/an ;
- Rendement du compresseur : $\eta = 60,0 \%$;
- Capacité thermique volumique de l'air : $C_{\text{air}} = 1,20 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

4. Calculer la puissance électrique consommée par le compresseur du réfrigérateur.
5. Calculer la puissance mécanique fournie par le compresseur au fluide caloporteur.
6. Donner l'expression littérale du COP du réfrigérateur.
7. En déduire la puissance thermique Φ_{froid} absorbé par le fluide caloporteur à l'intérieur du réfrigérateur.
8. Quelle quantité d'énergie doit absorber le fluide caloporteur pour abaisser la température à $5,0^{\circ}\text{C}$ dans le frigo ?
9. Au bout de combien de minutes la température atteint-elle $5,0^{\circ}\text{C}$?



EXERCICE 8 : Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur air/eau possède (en mode chauffage) un coefficient de performance $COP = 3,3$ (air extérieur $7,0^{\circ}C$ et température intérieure $20^{\circ}C$). On souhaite pouvoir réchauffer l'air de $18^{\circ}C$ à $20^{\circ}C$ dans une pièce isolée de $6,00\text{ m} \times 8,00\text{ m}$ (hauteur de plafond $2,50\text{ m}$) en 30 minutes.

Données :

Capacité thermique volumique de l'air est de $C_{\text{vair}} = 1,2\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Rendement du compresseur de la PAC : $\eta = 0,55$.

1. Déterminer la relation permettant de calculer l'énergie thermique (notée Q_{air}) reçue par un volume V d'air. Utiliser les unités de C_v pour le raisonnement.
2. Calculer le volume de la pièce.
3. Calculer la quantité d'énergie thermique reçue par l'air.
4. En déduire le transfert électrique d'énergie W_e et la puissance électrique P_e consommées par la pompe à chaleur.
5. Exprimer le rendement du compresseur et en déduire le travail qu'il fournit au fluide caloporteur.
6. Calculer l'énergie cédée par l'air extérieur en citant le principe utilisé.

EXERCICE 9 : Climatiseur

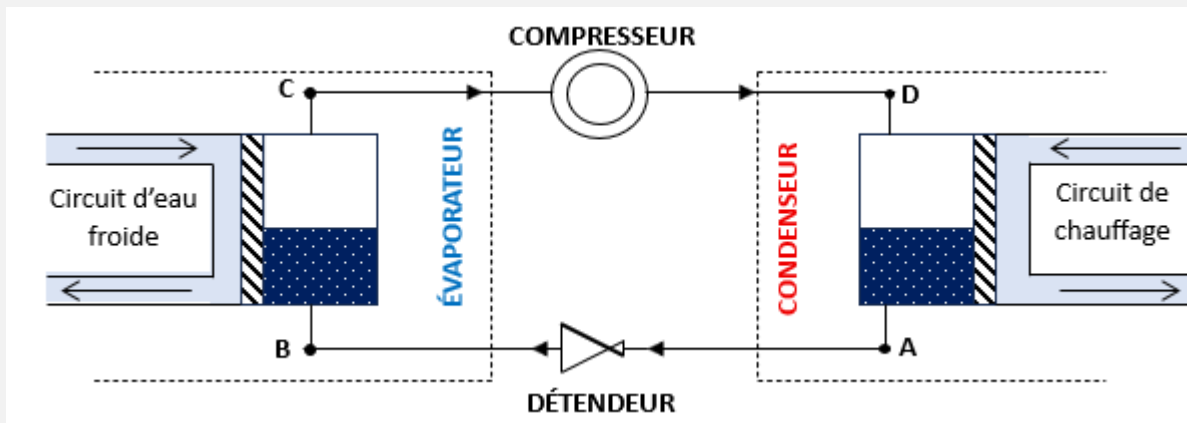
Un climatiseur rejette de l'air à une température inférieure de $10,0^{\circ}C$ par rapport à l'air entrant (air de la pièce) à un débit de $600\text{ m}^3/\text{h}$. Son COP vaut $2,90$.

Donnée : capacité thermique volumique de l'air : $C_{\text{vair}} = 1256\text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

1. Calculer la puissance thermique absorbée pour refroidir l'air de la pièce.
2. Définir le COP pour un climatiseur.
3. Calculer la puissance électrique absorbée par le système.
4. EDF facture $0,2016\text{ €}$ le kWh (tarif Bleu EDF février 2025). Combien coûte l'utilisation du climatiseur pendant une journée de 12 heures ? À combien s'élève la facture au bout d'un mois d'utilisation ?

EXERCICE 10 : Pompe à chaleur eau/eau

Le document 1 ci-dessous schématise le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur à fréon qui prélève de la chaleur à un circuit d'eau froide et cède ensuite cette chaleur à un autre circuit d'eau (circuit d'eau chaude du chauffage) qui circule dans le sol de l'habitation.

**DOCUMENT 1 : Principe de fonctionnement de la pompe à chaleur eau/eau**

Principe pompe à chaleur

Cette pompe à chaleur sert à compenser les pertes de chaleur de l'habitation maintenue à la température $T_i = 20^\circ\text{C}$, alors que la température extérieure est $T_e = 0^\circ\text{C}$.

Le fréon décrit un cycle :

- Dans l'évaporateur, il subit une évaporation complète à température fixe ;
- Le compresseur agit ensuite sur le fréon en augmentant sa température et sa pression ;
- Dans le condenseur le fréon gazeux se liquéfie complètement et se refroidit ;

DOCUMENT 2 : Données de fonctionnement de la pompe à chaleur

- $T_1 = 32,0^\circ\text{C}$; $T_2 = 0^\circ\text{C}$; $T_3 = 64,0^\circ\text{C}$;
- $P_1 = 12,65$ bars ; $P_2 = 5,0$ bars ;
- Débit massique du fréon : $D_m = 8,00$ kg/h ;
- Enthalpies de vaporisation du fréon à différentes températures : $\Delta H_{\text{vap}}(T_3) = 175$ kJ.kg⁻¹ ; $\Delta H_{\text{vap}}(T_2) = 170$ kJ.kg⁻¹ ;
- Capacités thermiques massiques à l'état liquide (supposée indépendante de T et de P) : $C_L = 1,38$ kJ.kg⁻¹.°C⁻¹ et $C_{\text{eau}} = 4,18$ kJ.kg⁻¹.°C⁻¹ ;
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000$ kg.m⁻³

En s'aidant des données du document 2, répondre aux questions qui suivent :

1. Associer les températures et pressions du fluide caloporteur indiquées dans le document 2 à chacun des points du cycle de fonctionnement indiqués sur le schéma du document 1. **On regroupera les réponses dans un tableau.**
2. Calculer la puissance thermique reçue par le fréon dans le circuit d'eau froide.
3. Calculer la puissance thermique cédée par le fréon dans le circuit d'eau chaude.
4. En déduire la puissance mécanique fournie par le compresseur.
5. Le rendement du compresseur est égal à 0,85. En déduire la puissance électrique consommée et le COP de la pompe à chaleur.
Calculer l'élévation de température subie par l'eau dans le circuit de chauffage, sachant qu'elle circule avec un débit volumique $D_v = 40,0$ L/h ?