

Devoir Surveillé n°9

Consigne de rédaction :

- chaque réponse doit être précédée du raisonnement qui la justifie.
- les résultats devront être encadrés
- les applications numériques sans unités seront considérées fausses.

Physique : Thermodynamique

I Étude d'une climatisation [d'après Banque PT 2006, Epreuve C]

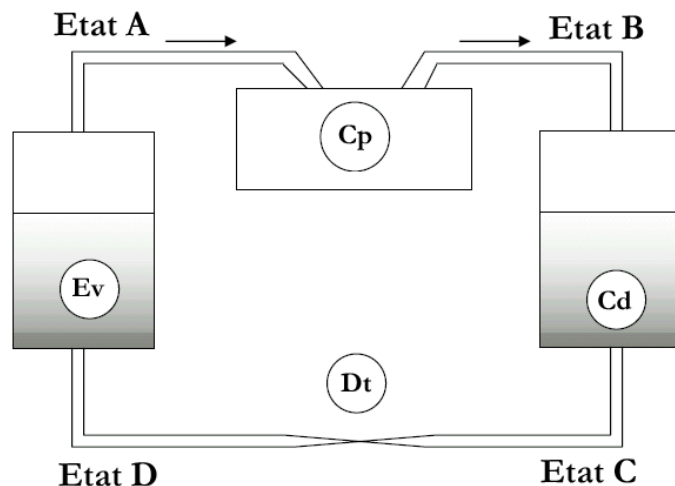
Un climatiseur se compose de quatre éléments principaux (voir figure ci-contre) : un Compresseur (Cp), un Détendeur (Dt), un Evaporateur (Ev) et un Condenseur (Cd).

Dans toute l'étude, on suppose l'écoulement du fluide permanent, et on néglige toute variation d'énergie cinétique massique et d'énergie potentielle massique.

- Le **compresseur** Cp aspire le fluide sous une basse pression, le comprime à l'aide d'un piston entraîné par un moteur et le refoule sous une haute pression. Pour simplifier, on considère que la compression est adiabatique et réversible. Dans toute la suite, on nomme « état A » l'état du fluide à l'entrée du compresseur.

- Le **détendeur** Dt , calorifugé et sans pièces mécaniques mobiles, est muni d'un pointeau qui permet de réguler le débit du fluide. La chute de pression est due aux variations de section dans cet élément.

- L'**évaporateur** Ev et le **condenseur** Cd sont des échangeurs thermiques isobares, dépourvus de pièces mécaniques mobiles qui ressemblent à des radiateurs, offrant ainsi une grande surface de contact thermique avec l'air du local à climatiser (pour l'un) et l'air extérieur (pour l'autre). On suppose que les pressions sont uniformes dans chacune de ces deux parties du circuit (la partie haute pression et la partie basse pression).



1) Indiquer, en le justifiant, le signe des transferts thermiques Q_{Cd} et Q_{Ev} reçu par le fluide de la part du condenseur et de l'évaporateur.

2) Montrer sans calcul que, pour un climatiseur « producteur de froid », le local à climatiser est en contact thermique avec l'évaporateur.

3) Faire figurer, sur un schéma de principe (Fluide frigorigène, Source froide, source chaude), tous les transferts énergétiques algébriquement reçus par le fluide (W , Q_C , Q_F) et indiquer leur signe après avoir rappelé le principe d'une installation frigorifique.

Rappeler la définition de son **efficacité** η_f et expliquer pourquoi son augmentation va dans le sens des économies d'énergie.

Le schéma de la Figure 2 représente l'allure du cycle décrit par le fluide frigorigène dans le diagramme enthalpique dit « des frigoristes » :

- enthalpie massique h en abscisse,
 - pression P en ordonnée, avec échelle logarithmique,
- sans surchauffe après l'évaporation, ni sous-refroidissement après la condensation. Aucune connaissance préalable de ce diagramme n'est requise.

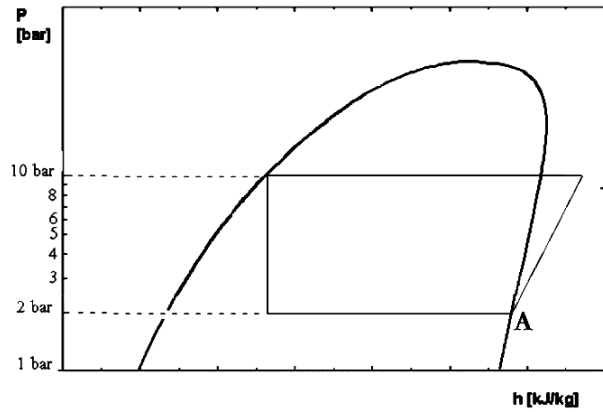


Figure 2 : allure du cycle du fluide frigorigène

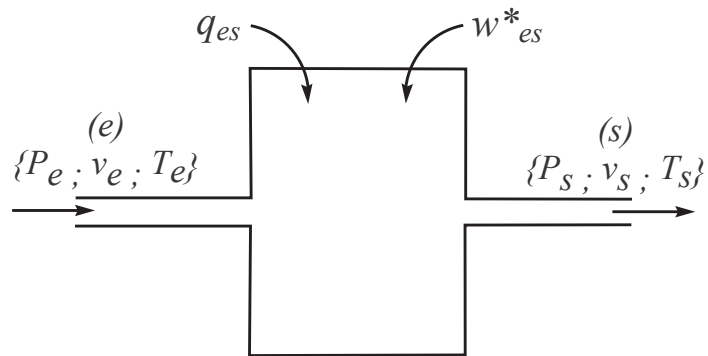
4) Reproduire sommairement la Figure 2 sur la copie et y reporter les points B , C et D ainsi que le sens de parcours du cycle.

5) Redémontrer (avec grande application) que le premier principe des systèmes ouverts en régime stationnaire (dans le cas où l'on ne tient pas compte des variations d'énergies cinétiques et potentielles) s'écrit, pour l'unité de masse du fluide évoluant de l'état thermodynamique d'entrée (e) $\{P_e, v_e, T_e\}$ vers l'état thermodynamique de sortie (s) $\{P_s, v_s, T_s\}$:

$$h_s - h_e = q_{es} + w_{es}^*$$

où :

- q_{es} note le transfert thermique massique reçu par le fluide traversant le système ouvert
- et w_{es}^* , le travail autre que celui des forces de pression d'entrée P_e et de sortie P_s fourni au fluide à la traversée du système ouvert.



6) Préciser *et justifier* la nature (isobare, isotherme, isenthalpique ou isentropique) de chacune des quatre transformations du fluide ($A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$) au cours du cycle.

7) Évaluer littéralement, *en justifiant soigneusement les expressions obtenues*, les transferts énergétiques massiques w_{ij}^* et q_{ij} en fonction des enthalpies massiques des points remarquables du cycle.

8) Donner l'expression de l'efficacité η_f de l'installation en fonction des enthalpies massiques adéquates.

Le schéma de la Figure 3 (à rendre avec la copie, après l'avoir complété) représente le diagramme « des frigoristes » enthalpique du fluide R134A ; celui de la Figure 4 représente celui du fluide R22, qui n'est pas à rendre avec la copie.

Sur cette dernière Figure 4, on a facilité le repérage de quelques isentropiques et de quelques isothermes.

On rappelle que l'échelle des pressions de ces diagrammes est logarithmique.

9) Justifier, dans ce diagramme, l'allure des isentropiques à l'extérieur de la courbe de saturation pour la vapeur, assimilée **seulement dans cette question**, à un gaz parfait ; dans ces mêmes conditions, quelle devrait être l'allure des isothermes ? Commenter.

Quelle est la forme des isothermes à l'intérieur de la courbe de saturation ?

Montrer que, pour le liquide, les isothermes sont des verticales, *dans ce diagramme*.

Dans la suite, la basse pression est fixée à 2 bars et la haute pression à 10 bars.

10)

- Tracer le cycle étudié et placer les points A , B , C et D sur le diagramme (P , h) de la **Figure 3**.
- Reproduire sur la copie le tableau ci-contre et le compléter pour le fluide R134A en s'aidant du diagramme enthalpique que vous venez de compléter.
- Calculer l'efficacité η_f du cycle du climatiseur « réfrigérant », dans ce cas.

ÉTAT du fluide	A	B	C	D
Pression (bar)				
Température (°C)				
Enthalpie massique (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)				
Titre en vapeur				

Tableau à reproduire sur la copie et à compléter

11) Redémontrer l'expression de l'efficacité η_C du cycle de CARNOT d'un climatiseur (on notera T_C la température de la source chaude et T_F la température de la source froide).

Calculer numériquement l'efficacité du cycle de CARNOT d'un climatiseur fonctionnant entre les deux sources proposées.

12) De même que précédemment (cf. 10)), et en s'aidant cette fois du diagramme de la Figure 4, calculer numériquement l'efficacité d'un climatiseur fonctionnant avec du fluide R22, selon le même type de cycle, avec une haute pression de 10 bars et une basse pression de 2 bars.

13) Déterminer la chaleur latente de vaporisation $L_{vap}(T_0)$ du fluide R22 à la température $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$.

Quelle est la variation d'entropie ΔS_{liq} d'une masse $m = 2 \text{ kg}$ de gaz R22 qui subit une liquéfaction totale à cette température ?

14) Evaluer la température T_C et la pression P_C du point critique de ce même fluide R22.

Physique : Électrostatique

II Spire, disque et plan

1) Exprimer le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ créé en un point $M(0, 0, z)$ sur l'axe (Oz) d'une spire circulaire, de rayon R , de densité linéique de charges uniforme ($\lambda = \lambda_0$), de centre O , placée dans le plan (Oxy).

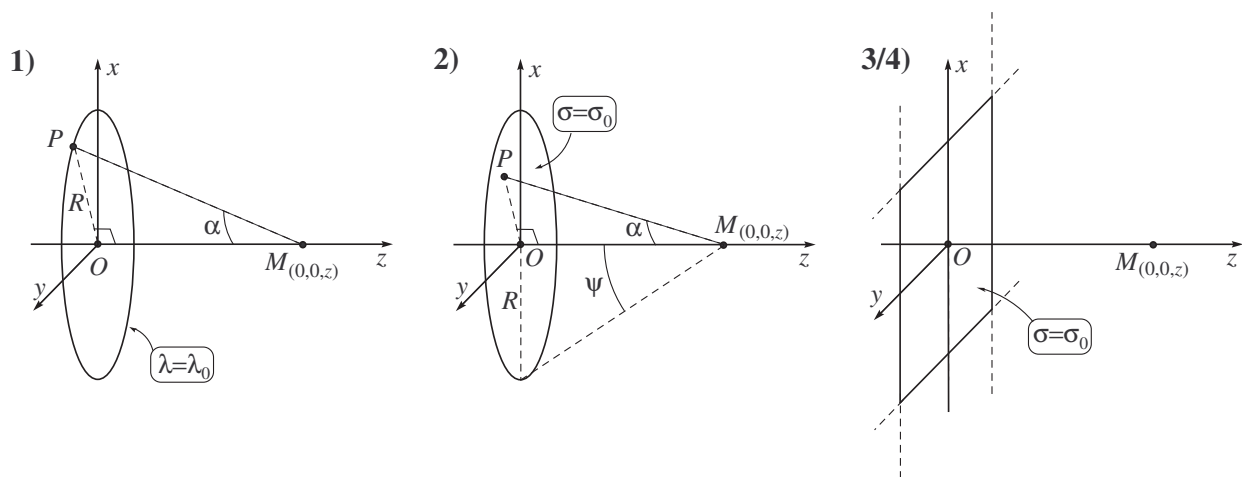
2) Même question, mais cette fois la distribution de charges est un disque de rayon R de densité surfacique de charges $\sigma = \sigma_0$, de centre O et d'axe (Oz).

3) En déduire le champ électrique créé **en tout point M de l'espace** par un plan infini (Oxy) uniformément chargé en surface ($\sigma = \sigma_0$).

4)

4.a) Retrouver directement le résultat précédent – à savoir : établir le champ électrique créé en tout point M de l'espace par un plan infini (Oxy) uniformément chargé en surface ($\sigma = \sigma_0$) – en appliquant le théorème de Gauss.

4.b) Montrer qu'on vérifie la relation de passage.



Chimie : Structures cristallines

III Le chrome métallique [d'après Banque PT 2005, Epreuve II-C]

Le chrome est un métal blanc avec un poli brillant ; il peut être déposé par électrolyse sur d'autres métaux – comme le fer – pour leur servir de revêtement protecteur ou décoratif.

On cherche à déterminer le système cubique du chrome.

Données :

Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_a = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Masse atomique molaire du chrome : $M(\text{Cr}) = 52,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse volumique du chrome métallique : $\rho = 7\,200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Rayon métallique du fer : $R_{\text{Fe}} = 1,24 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

1) Hypothèse 1 : le chrome cristallise en un système cubique à faces centrées (F).

1.a) Représenter la maille élémentaire.

1.b) Exprimer et calculer numériquement le paramètre a_1 de cette maille.

1.c) En déduire $R_{\text{Cr}}(F)$, le rayon métallique du chrome dans cette structure c.f.c.

2) Hypothèse 2 : le chrome cristallise en un système cubique centré (I).

2.a) Représenter la maille élémentaire.

2.b) Exprimer et calculer numériquement le paramètre a_1 de cette maille.

2.c) En déduire $R_{\text{Cr}}(I)$, le rayon métallique du chrome dans cette structure c.c.

3) Le chrome forme de nombreux alliages de substitution avec différents métaux dont le fer. Les rayons métalliques des métaux participant à ces alliages doivent être très proches.

Quel est, à votre avis, la structure cristalline du chrome ?