

**MINISTERE DE L'ECONOMIE, DES FINANCES
ET DE L'INDUSTRIE**

*** * * * ***

**CONCOURS INTERNE POUR L'ACCES AU CORPS
DES INGENIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES**

*** * * * ***

Epreuve écrite d'admissibilité n° 3 du jeudi 24 mai 2007

*** * * * ***

COMPOSITION SUR UN SUJET DE PHYSIQUE - CHIMIE

*** * * * ***

(DUREE : 4 HEURES – COEFFICIENT 1)

(TOUTE NOTE INFERIEURE A 10 SUR 20 EST ELIMINATOIRE)

PHYSIQUE

ÉTUDE D'UN CONGÉLATEUR

Sur la fiche technique d'un modèle de congélateur on peut relever les données suivantes:

Volume utile : 230 ℓ

H x L x P : 130 x 60 x 60 (en cm)

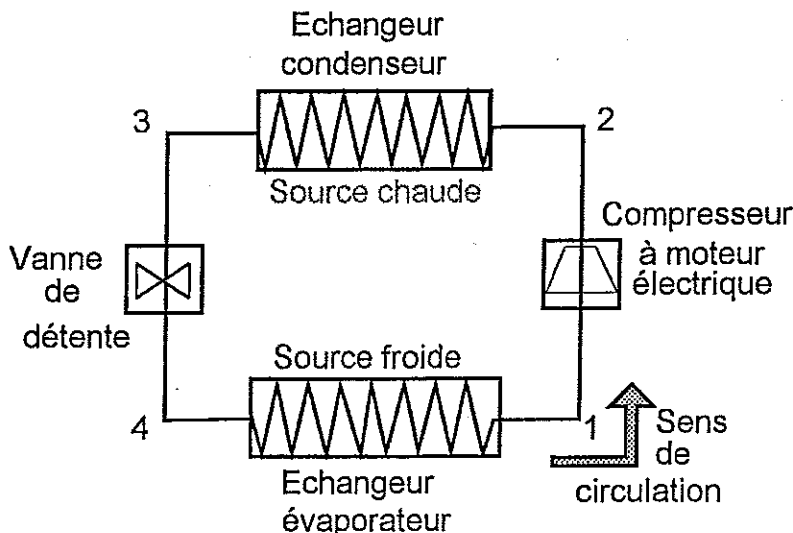
Consommation électrique : 0,70 kWh par jour

- 1- On suppose le congélateur parallélépipédique, l'épaisseur des parois notée e est supposée uniforme. A l'aide des données, évaluer e .
- 2- En régime permanent, la machine frigorifique du congélateur maintient une température intérieure $\theta_i = -18^\circ\text{C}$ pour une température extérieure $\theta_e = 20^\circ\text{C}$. On suppose la conduction thermique comme unique responsable des fuites à travers les parois du congélateur de conductivité $\lambda = 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
Évaluer la puissance thermique correspondantes à ces fuites.
- 3- A l'aide des données, calculer la puissance moyenne électrique consommée par le congélateur.
- 4- On suppose que le compresseur convertit l'intégralité de l'énergie électrique en travail mécanique reçu par le fluide. Évaluer l'efficacité de ce congélateur.

On modélise le congélateur par une machine frigorifique contenant un fluide frigorigène nommé R134a dont le diagramme Pression-Enthalpie massique ($P ; h$) est joint. Le mélange liquide-vapeur est situé dans la zone centrale sous la courbe de saturation. Sur ce diagramme apparaissent les courbes isothermes et isentropiques.

Cette machine ditherme qui fonctionne en régime permanent échange de la chaleur avec une source chaude à 20°C (atmosphère extérieure) et une source froide à -18°C (intérieur du congélateur). On note T la température absolue et θ la température Celsius.

Le schéma général de fonctionnement avec sens de circulation du fluide est défini ci-après :



Le cycle décrit par le fluide présente les caractéristiques suivantes (4 transformations successives) :

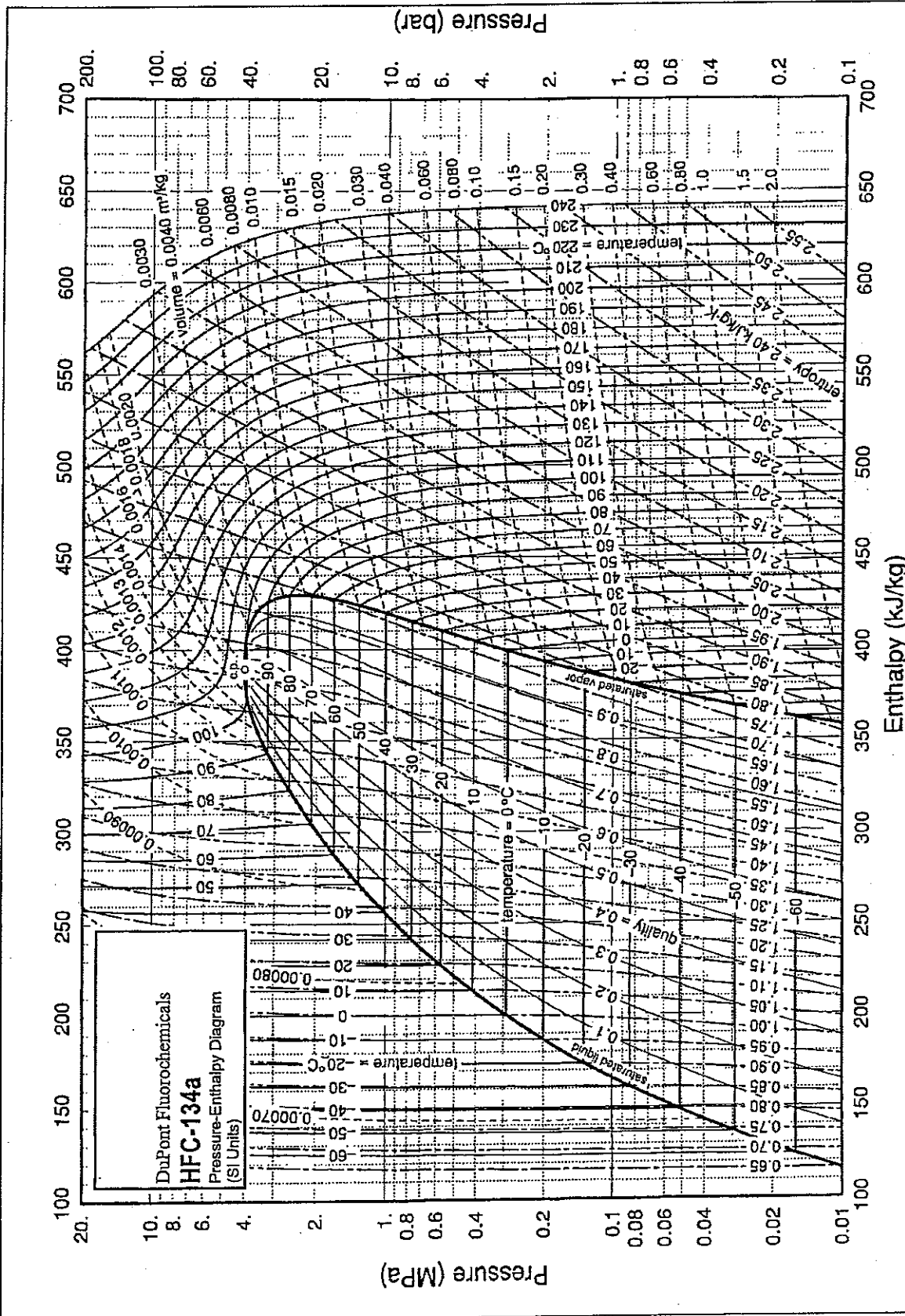
- la compression de 1 à 2 est adiabatique et réversible,
- le passage dans les deux échangeurs (de 2 à 3 et de 4 à 1) est isobare
- la vanne est considérée comme un tuyau indéformable ne permettant pas les échanges de chaleur.

Dans tout le problème, on supposera que l'état du fluide n'est pas modifié dans les tuyauteries de liaison entre deux éléments consécutifs et on négligera les variations d'énergie mécanique.

- 5- Pour chacune des transformations du cycle et pour une masse unité de fluide, on pose :
- w : travail massique total échangé avec l'extérieur,
 - q : chaleur massique échangée avec l'extérieur,
 - h : enthalpie massique.
- Montrer que le premier principe de la thermodynamique peut s'écrire : $\Delta h = w' + q$ et donner l'expression de w' en fonction de w et des variables pression P et volume massique u .
- 6- Donner la signification physique de $w'_{1 \rightarrow 2}$. En considérant l'une des étapes du cycle, retrouver la caractéristique d'une détente de Joule Kelvin.
- 7- Lorsque la masse unité de fluide décrit un cycle, quelle est la relation entre w'_{cycle} et w_{cycle} ?
- 8- Quelle propriété remarquable lie les isothermes et les isobares dans la zone mélange liquide-vapeur ?
- 9- On donne les indications suivantes :
- La température du fluide lors de l'évaporation dans l'évaporateur est -30°C .
 - La pression de fin de compression en 2 est 8 bar.
 - Le point 3 est du liquide saturé.
 - La quantité de chaleur échangée dans l'évaporateur avec l'extérieur permet une évaporation complète du fluide venant de 4 et conduit la vapeur de façon isobare jusqu'à 1, état saturé.
- Placer les 4 points du cycle 1, 2, 3, 4 sur le diagramme joint, y représenter le cycle (diagramme à rendre avec la copie) et déterminer, par lecture et interpolation linéaire sur ce même diagramme, les valeurs de P , θ , h , s (entropie massique) en ces différents points. Regrouper les résultats dans un tableau.
- 10- Si le compresseur était adiabatique mais non réversible, comment se situerait sa température de sortie sous la même pression P_2 par rapport à la température θ_2 ?
- 11- Comment peut-on trouver, de deux façons différentes, sur le diagramme la valeur de la chaleur latente massique ℓ de vaporisation du fluide à une température T donnée ?
- Application numérique: pour une pression de 3 bars, quelles sont les valeurs de ℓ et de θ ?
- 12- Peut-on trouver la valeur de ℓ au point critique représenté sur le diagramme ? Quelle est la nature de la transition de phase au point critique ?
- 13- Si au lieu d'évaporer toute la masse de fluide on ne fait changer d'état qu'une fraction massique x donnée, comment peut-on trouver géométriquement le point correspondant au mélange liquide vapeur ainsi obtenu et réciproquement ? Calculer le titre massique en vapeur x en vapeur aux points 3, 4 et 1. Peut-on définir un titre y en liquide ?
- 14- En utilisant le tableau de résultats, calculer les quantités de chaleur massique q_C et q_F échangées par le fluide avec l'extérieur (q_C est échangée de 2 à 3 et q_F de 4 à 1).
- 15- Calculer de même le travail absorbé lors de la compression de 1 à 2 : $w'_{1 \rightarrow 2}$
- 16- Pourquoi définit-on l'efficacité de la machine frigorifique étudiée par $\eta = \frac{q_F}{w'_{1 \rightarrow 2}}$?

La calculer numériquement.

Document Annexe à rendre avec la copie



CHIMIE

L'acide sulfurique est l'un des composés de synthèse les plus importants de l'industrie chimique.

Par ailleurs, c'est l'acide minéral type utilisé par l'industrie dans de nombreux procédés.

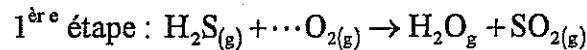
La synthèse industrielle de cet acide est réalisée par une succession d'oxydations : c'est la filière :



enfin passage à H_2SO_4 .

On se propose d'étudier quelques points relatifs à cette filière.

- 1- Indiquer, en les justifiant, les degrés d'oxydation du soufre dans les composés intervenant au cours des différentes étapes de cette filière.
- 2- Le soufre est récupéré, à haute température, à l'état liquide, à partir du sulfure d'hydrogène par oxydation. C'est le procédé de Claus qui consiste en deux étapes successives de traitement.



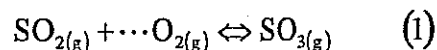
2-a. Équilibrer l'équation précédente

2-b. Quelle est la réaction qui a lieu au cours de la seconde étape sachant qu'aucun autre réactif n'est introduit ?

2-c. Écrire l'équation bilan de ces deux réactions.

- 3- L'obtention du dioxyde SO_2 se fait par combustion du soufre. Le soufre est pulvérisé dans une chambre de combustion dans laquelle est également introduit de l'air en excès préalablement séché. On considère un atelier qui traite, en continu, une quantité journalière de 5 t de soufre. Calculer le débit minimum horaire d'air, exprimé en $m^3 \times h^{-1}$, ramené dans les conditions normales de température et de pression, nécessaire à la chambre de combustion pour que tout le soufre soit transformé en SO_2 sachant que la réaction de combustion est totale.

- 4- La réaction de conversion de SO_2 en SO_3 est une réaction équilibrée :



Elle nécessite l'utilisation d'un catalyseur.

4-a. Quel est le catalyseur employé ?

4-b. Équilibrer l'équation

- 4-c. Calculer la constante de l'équilibre (1) à 650 K (dans l'approximation d'Ellingham). Commenter le résultat obtenu.
- 4-d. Définir et estimer la valeur du rendement de synthèse lorsqu'on fait réagir à 650 K des volumes égaux de dioxyde de soufre et d'air, la pression à l'équilibre étant de 1 bar.
- 4-e. On opère dans les mêmes conditions que précédemment mais en utilisant cette fois un mélange équimolaire de soufre et de dioxygène. Que devient alors le rendement de synthèse ?
- 5- Le trioxyde de soufre est ensuite dirigé vers un absorbeur qui est alimenté en acide sulfurique. On obtient alors un mélange binaire (SO_3 , H_2SO_4) appelé oléum. On dissout, avec les précautions nécessaires, un échantillon de 10,012 g d'oléum dans de l'eau afin d'obtenir 1 l d'une solution d'acide sulfurique. On effectue un prélèvement de 100,0 ml de cette solution et on ajoute quelques gouttes de phénolphtaleine. On dose par une solution d'hydroxyde de sodium à 0,50 mol.L⁻¹. Le virage de l'indicateur coloré a lieu pour un volume versé de 42,6 ml. Déterminer la composition pondérale de cet oléum.

Données :

- masses molaires atomiques (g.mol⁻¹)

$$M(H) = 1 \quad M(O) = 16 \quad M(S) = 32$$

- constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.mo}^{-1}.K^{-1}$

	$O_2(g)$	$SO_2(g)$	$SO_3(g)$
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	0	-296,9	-395,18
S° (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)	205,03	248,53	256,23