

Physique B : Thermodynamique

(2 heures) (10h30-12h30)

Les calculatrices sont autorisées, PAS les téléphones cellulaires !!

CULTURE SOUS SERRE ET STOCKAGE EN CHAMBRE FROIDE

Cet énoncé est accompagné d'un document réponse à rendre avec la copie. Ce document contient également un certain nombre de valeurs numériques utiles.

I Puisage de l'eau pour l'irrigation

Pour l'irrigation des cultures sous serre, l'eau est puisée à une profondeur $h = 30$ m. À la surface libre du puits, la pression de l'eau P_E équivaut à la pression atmosphérique $P_0 = 1,0 \times 10^5$ Pa. La pression d'utilisation au niveau du sol est de $P_S = 1,5 \times 10^5$ Pa. Le débit volumique est de $Q = 1,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. La conduite possède une section $\Sigma = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ constante.

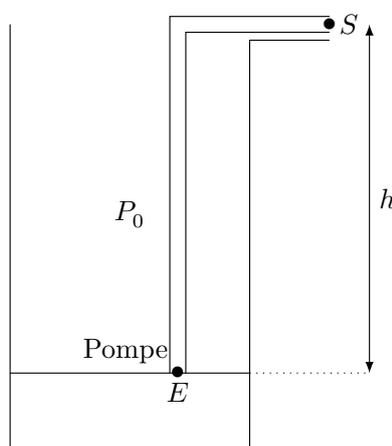


Figure 1

Q 1. On considère l'écoulement d'un fluide parfait incompressible en régime stationnaire. Exprimer la grandeur \mathcal{C} homogène à une pression qui se conserve le long d'une ligne de courant.

Q 2. Existe-t-il des situations pour lesquelles la grandeur \mathcal{C} n'est pas conservée ? Justifier votre réponse en utilisant le schéma de puisage ci-dessus.

On néglige par la suite les pertes de charge.

Q 3. Montrer que la vitesse de l'eau aux points E et S est identique : $v_E = v_S$.

Q 4. Exprimer le travail massique w_i que doit fournir la pompe. Effectuer l'application numérique.

Q 5. En déduire la puissance mécanique de la pompe P_{meca} nécessaire.

Q 6. Le rendement de la pompe vaut $\eta = 0,8$. En déduire la puissance électrique absorbée par la pompe. Effectuer l'application numérique.

La figure 2 présente les caractéristiques de différentes pompes. L'abscisse Q du graphe est le débit volumique de la pompe et son ordonnée H la hauteur manométrique. Ici, $H = h + \frac{P_S - P_0}{\rho_{\text{eau}}g}$.

Q 7. Parmi les pompes dont les caractéristiques sont présentées figure 2, quel est le numéro de la pompe la mieux adaptée à cette utilisation ? Justifier la réponse.

(La figure 2 est à retrouver en ANNEXE)

III Étude thermique de la serre

III.A – Équation de diffusion à travers une paroi latérale de la serre en polycarbonate

On modélise la paroi de polycarbonate par un objet parallélépipédique qui a pour dimensions $L \times l \times e$ avec $e \ll L$ et $e \ll l$ (figure 6).

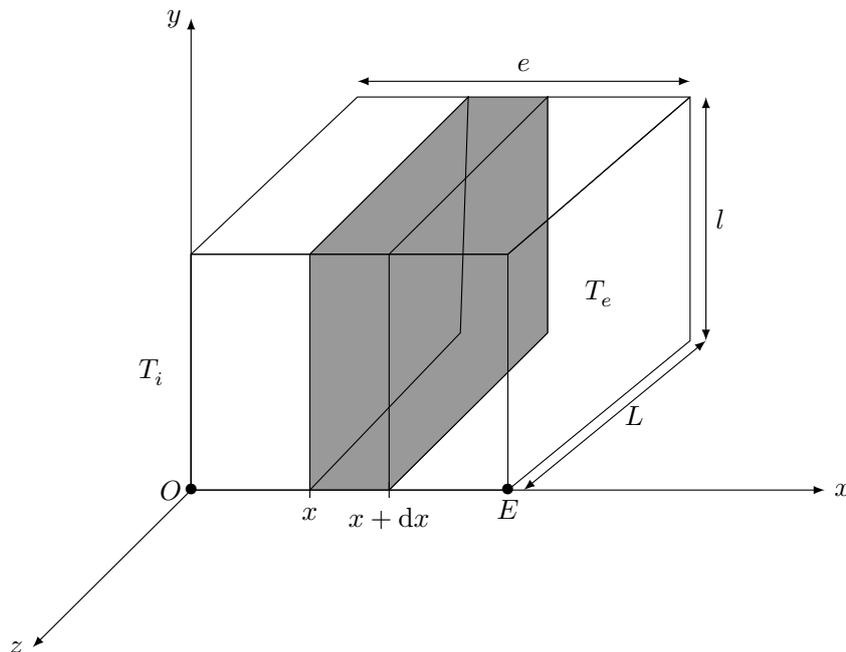


Figure 6

Le point O appartient à la face intérieure qui est à la température T_i . Le point E appartient à la face extérieure qui est à la température T_e .

L'origine de l'axe x est prise en O .

On note Σ_0 le système constitué de la tranche comprise entre les abscisses x et $x + dx$ de surface $S = Ll$ représentée en grisé sur la figure 6.

On note :

— c , la capacité thermique massique du polycarbonate ;

— ρ , la masse volumique du polycarbonate ;

— λ , la conductivité thermique du polycarbonate ;

— $\vec{j}(x, t) = j(x, t)\vec{e}_x$, le vecteur densité de flux thermique.

Q 23. Justifier qu'on recherche un champ de température dans le parallélépipède de la forme $T(x, t)$.

Q 24. En appliquant le premier principe de la thermodynamique, montrer que

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{\rho c} \frac{\partial j}{\partial x}.$$

Q 25. La loi de Fourier relie la densité de flux thermique \vec{j} et le gradient de température. En notant λ la conductivité thermique du matériau, cette loi s'écrit $\vec{j} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T$. Que traduit la présence du signe $-$ dans cette relation ?

Q 26. Écrire la relation de Fourier dans le cadre de notre étude unidimensionnelle selon l'axe (Ox) .

Q 27. En déduire l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}.$$

Comment nomme-t-on la grandeur D ? En quelle unité s'exprime-t-elle ? Exprimer D en fonction de λ , ρ et c .

Q 28. Estimer le temps caractéristique τ de diffusion de la chaleur à travers la paroi de polycarbonate. Effectuer l'application numérique.

III.B – Étude du régime stationnaire

On se place désormais dans le cadre d'étude du régime stationnaire.

Q 29. Réécrire dans ce cas, l'équation de diffusion thermique et en déduire l'évolution de la température $T(x)$ dans le solide.

Q 30. Exprimer le flux thermique ϕ traversant la plaque de section S orthogonale à l'axe (Ox) orientée dans le sens des $x > 0$ en fonction de S , λ , e , T_i et T_e .

Q 31. Relier la différence de température $T_i - T_e$ au flux thermique ϕ par analogie avec la loi d'Ohm. Faire apparaître la résistance thermique du parallélépipède R_{th} et l'exprimer en fonction des données de l'énoncé. Effectuer l'application numérique de R_{th} .

Le chauffage nécessaire au maintien de la paroi à une température T_i peut être modélisé par une source idéale de courant. On appelle la résistance thermique de conduction de la paroi en polycarbonate R_{th} et la résistance conducto-convective traduisant des échanges thermiques de la paroi avec l'air extérieur R_{cc} (figure 7).

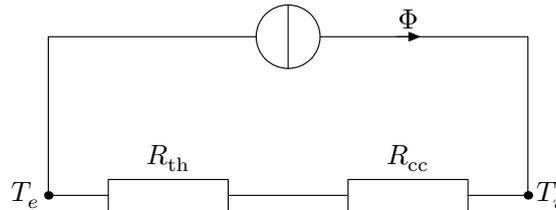


Figure 7

Q 32. Exprimer la puissance thermique P_{th} nécessaire au maintien de la paroi à une température intérieure T_i . Effectuer l'application numérique. Commenter.

IV Étude thermodynamique de la chambre froide

Le stockage des récoltes s'effectue dans une chambre froide. On se propose dans cette partie d'étudier cette machine thermique. Le fluide réfrigérant étudié est du R134a. Pour les futures constructions, le fluide sera du R1234ze pour sa moindre contribution à l'effet de serre.

IV.A – Généralités

Le fluide réfrigérant décrit le cycle thermodynamique présenté figure 8.

On modélise la machine frigorifique par une machine ditherme schématisée en figure 9.

On utilise les notations suivantes :

- Q_c : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source chaude à la température T_c ;
- Q_f : transfert thermique algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de la source froide à la température T_f ;
- W : travail algébriquement reçu par le fluide au cours d'un cycle de la part de l'extérieur.

Q 33. Au niveau de quel organe de la machine thermique se trouve la chambre froide ? Justifier votre réponse.

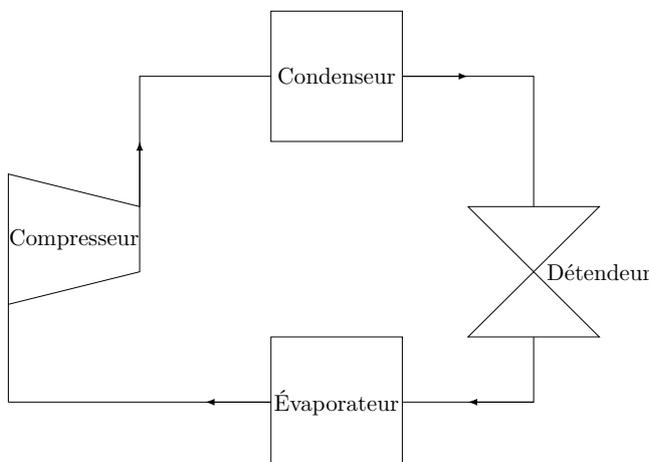


Figure 8

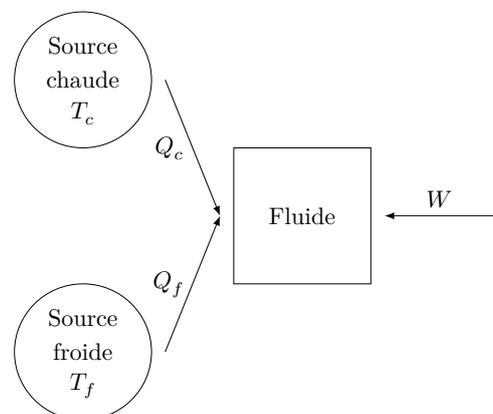


Figure 9

- Q 34.** Préciser en justifiant les signes de Q_c , Q_f et W .
- Q 35.** Définir l'efficacité e (également appelé COefficient de Performance COP) de la machine frigorifique.
- Q 36.** Établir l'expression de l'efficacité de Carnot e_c , en fonction de T_c et T_f . Que peut-on dire l'efficacité réelle e par rapport à l'efficacité de Carnot e_c ?
- Q 37.** Calculer numériquement e_c avec $T_c = 45\text{ °C}$ et $T_f = 3\text{ °C}$. Interpréter le résultat obtenu.

IV.B – Description du cycle

Le cycle comprend les successions de transformations suivantes :

- 1 → 2 : compression adiabatique réversible en phase gazeuse dans le compresseur ;
- 2 → 3 : refroidissement isobare de la vapeur ;
- 3 → 4 : compression totale et isobare ;
- 4 → 5 : sous-refroidissement isobare ;
- 5 → 6 : détente isenthalpique ;
- 6 → 7 : chauffage isobare ;
- 7 → 1 : surchauffe de la vapeur.

Le tableau 2 donne le relevé thermodynamique du fluide aux différents points de ce cycle.

- Q 38.** Représenter le cycle thermodynamique sur le diagramme des frigoristes (figure A du document réponse).
- Q 39.** Relier le sens de parcours du cycle au mode de fonctionnement de la machine.
- Q 40.** Qualifier l'état du fluide aux points 3 et 4.
- Q 41.** Lire graphiquement le titre en vapeur x_v du point 6.
- Q 42.** Rappeler l'expression du premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement stationnaire, dans lequel on néglige les variations d'énergie cinétique massique Δe_c et d'énergie potentielle de pesanteur massique Δe_p devant la variation d'enthalpie massique Δh .

Point du cycle	Pression P (bar)	Température T (°C)	Enthalpie massique h (kJ·kg ⁻¹)	Débit massique D_m (kg·s ⁻¹)
1	2,7	3,0	402	0,16
2	11,6	63,1	442	0,16
3	11,6	45,0	421	0,16
4	11,6	45,0	264	0,16
5	11,6	40,0	256	0,16
6	2,7	-2,0	256	0,16
7	2,7	-2,0	397	0,16

Tableau 2

- Q 43.** Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique massique q_f reçu par le fluide dans l'évaporateur.
- Q 44.** Exprimer puis calculer numériquement le transfert thermique massique q_c reçu par le fluide dans le condenseur.
- Q 45.** Exprimer puis calculer numériquement le travail indiqué w_i reçu par le fluide de la part du compresseur.
- Q 46.** En déduire l'efficacité réelle e de la machine frigorifique.
- Q 47.** Exprimer puis calculer numériquement la puissance thermique extraite de la chambre froide $P_{th,f}$.

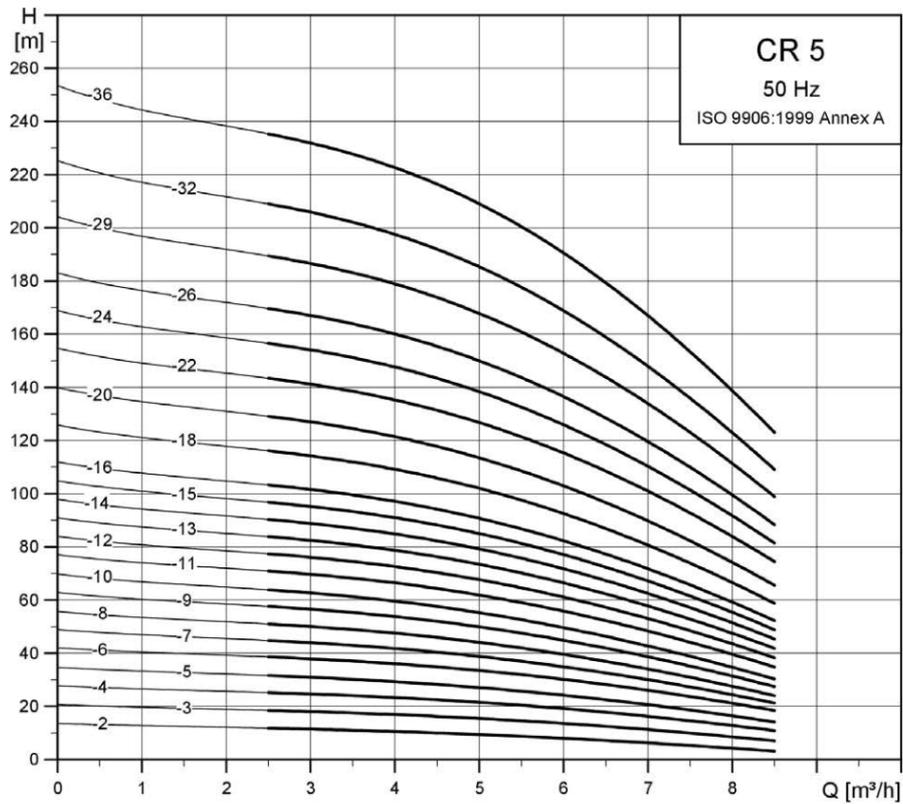
ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Figure 2

Données en rapport avec la serre

Épaisseur de la paroi de polycarbonate

$$e = 1,0 \text{ cm}$$

Masse volumique du polycarbonate

$$\rho = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Conductivité thermique du polycarbonate

$$\lambda = 0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Capacité thermique massique du polycarbonate

$$c = 1674 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Résistance conducto-convective entre la paroi et l'air extérieur

$$R_{cc} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$$

Surface du mur

$$S = 30 \text{ m}^2$$

Température à l'intérieur de la serre

$$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Température à l'extérieur de la serre

$$T_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

NOM :

PRENOM :

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

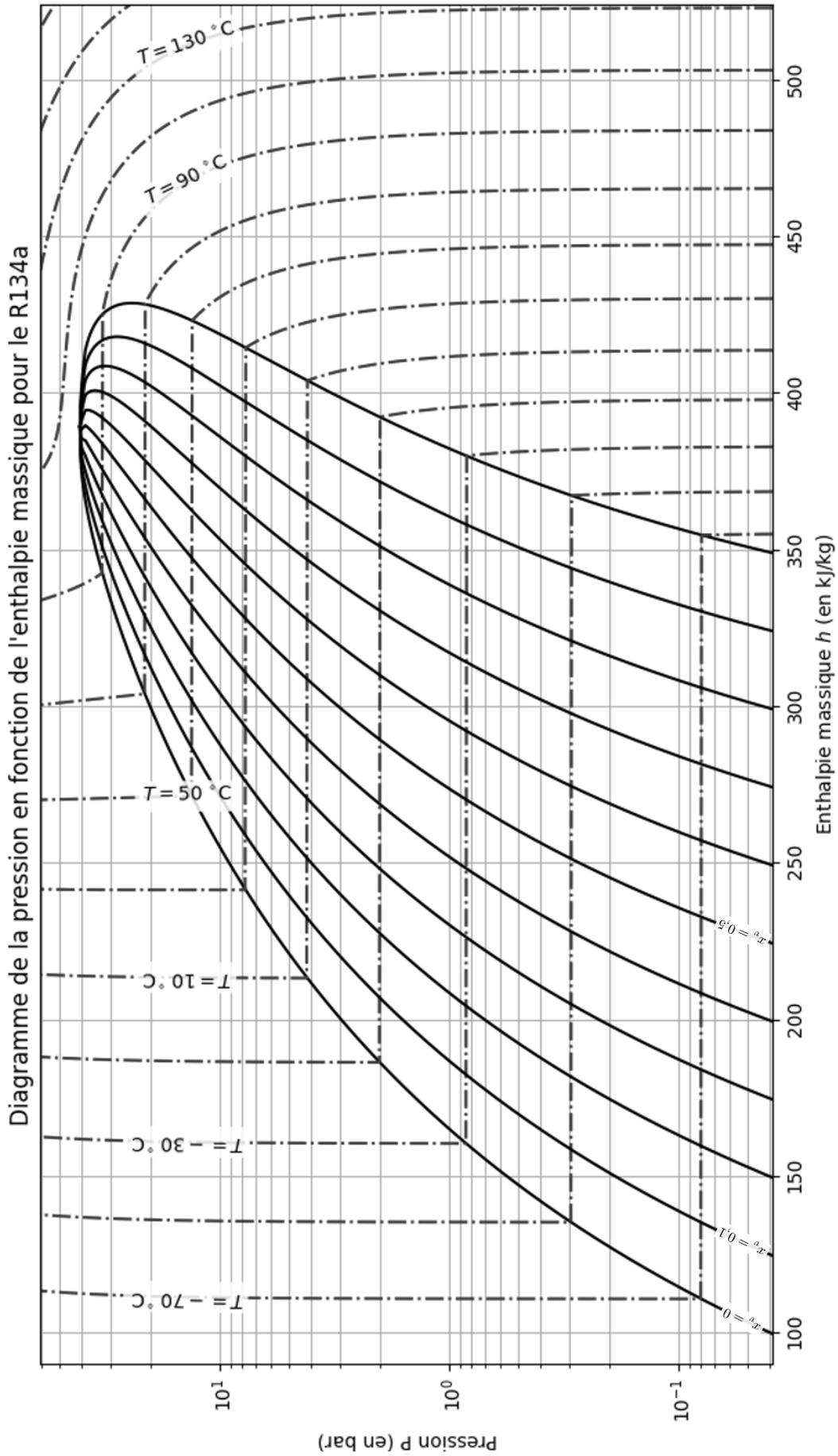


Figure A