Concours National Commun (CNC), Maroc

Session 2021, filière TSI

Physique II

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : approche énergétique de l'effet de peau
- Partie 2.1 : diagramme d'état du CO2
- Partie 2.2 : liquéfaction du CO2
- Partie 2.3 : stockage du CO2
- Partie 2.4 : le CO2 comme fluide frigorigène

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/cnc/tsi/2021/physique2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

- *On veillera à une présentation et une rédaction claires et soignées des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les références des questions abordées.*
- *Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant clairement les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.*
- *Toutes les réponses devront être très soigneusement justifiées.*
- *Si un résultat donné par l'énoncé est non démontré, il peut néanmoins être admis pour les questions suivantes. Ainsi, les diverses parties du problème sont relativement indépendantes entre elles.*
- *Tous les résultats numériques seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les données fournies.*

Le sujet de cette épreuve est constitué de deux parties indépendantes : la première partie est notée sur ***4 points***, la deuxième sur ***16 points***.

Partie 1

Approche énergétique de l'effet de peau

Le demi-espace $z \geq 0$ est occupé par un milieu conducteur métallique ohmique de conductivité γ. La surface du conducteur, supposée plane et d'extension infinie, coïncide avec le plan (Oxy) et est surmontée par l'air assimilé au vide. Dans ce conducteur règne le champ électrique $\underline{\vec{E}} = E_0 e^{-\alpha z} \exp\left(i(\omega t - \alpha z)\right)\vec{e}_x$. On note ε_0 et μ_0 respectivement la permittivité électrique et la perméabilité magnétique du vide. On donne :

- Équations de Maxwell dans le conducteur assimilé au vide :

$$div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \overrightarrow{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$div\vec{B} = 0 \qquad \overrightarrow{rot}\vec{B} = \mu_0\left(\vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)$$

- Loi d'Ohm locale : $\vec{j} = \gamma \vec{E}$.

1. Exprimer le champ magnétique $\underline{\vec{B}}$ associé à l'onde électromagnétique représentée par le champ $\underline{\vec{E}}$.

2. On définit le vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ par $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$. Exprimer $\vec{\Pi}$. En déduire sa moyenne temporelle $<\vec{\Pi}>$.

3. On considère un cylindre d'axe $\vec{e}_z$, de section droite S et situé entre z (face d'entrée) et $z+dz$ (face de sortie).

3.1. Exprimer la puissance moyenne $<P_e(z)>$ entrant par la face située en z et la puissance moyenne $<P_z(z+dz)>$ sortant par la face en $z+dz$.

3.2. Exprimer la puissance volumique moyenne dissipée par effet Joule dans la tranche de volume Sdz.

3.3. En écrivant que la puissance moyenne entrant dans le conducteur mais n'en sortant pas est cédée au conducteur, déduire la distance δ sur laquelle pénètre l'onde avant d'être atténuée. On exprimera δ en fonction de α puis de μ_0, γ et ω.

3.4. Commenter la dépendance de δ en fonction de γ et ω.

Partie 2

Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est le principal gaz associé à l'activité humaine. Il est l'une des causes principales du réchauffement climatique. Afin de réduire les émissions de dioxyde de carbone CO_2, plusieurs voies d'action se dégagent : la maîtrise de la consommation d'énergie, le développement de technologies ne produisant pas, ou très peu, de gaz à effet de serre, le captage et le stockage géologique du CO_2 …

Cette partie a pour but d'étudier quelques propriétés et utilisations du CO_2.

Données relatives au CO_2 :

- Masse molaire : $M = 44.10^{-3} kg.mol^{-1}$.
- Volume molaire en M_2 (figure 1) : $v_{n,M_2} = 0{,}095.10^{-3} m^3.mol^{-1}$.
- Volume massique de la vapeur saturante à $0°C$: $v_{m,V} = 0{,}0104 m^3.kg^{-1}$.
- Masse volumique du liquide de saturation à $0°C$: $\rho_L = 912 kg.m^{-3}$.
- Chaleur latente massique de vaporisation : $l_V = 232 kJ.kg^{-1}$ à $0°C$.
- La vapeur de CO_2 sèche est assimilée à un gaz parfait de constante $R = 8{,}314 J.K^{-1}.mol^{-1}$.

1. Diagramme d'état du dioxyde de carbone

La figure 1 représente le diagramme pression-température (P,T) du dioxyde de carbone.

1.1. Identifier les points particuliers M_1 et M_2 du diagramme (P,T) du dioxyde de carbone, les courbes C_1, C_2 et C_3 et l'état physique dans lequel se trouve ce dernier dans les zones : E_1, E_2, E_3 et E_4.

1.2. On se place à la pression $P_i = 1{,}0 bar$ et dans l'état CO_2 gazeux. Quelle est la plage de température correspondant à ces contraintes ?

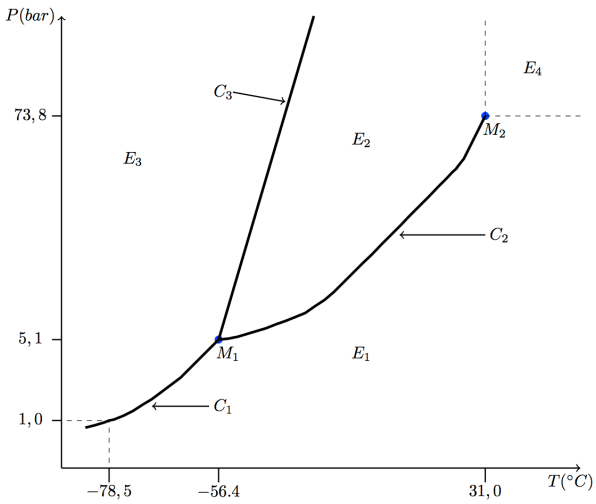


Figure 1 : Diagramme d'état du CO_2

1.3. Le dioxyde de carbone est pris initialement dans les conditions suivantes : $P_i = 1,0bar$ et $T_i = -73°C$.

1.3.1. Dans quel état se trouve le dioxyde de carbone ? Décrire les phénomènes observés lors d'un refroidissement à pression fixée, amenant le CO_2 à la température finale $T_f = 150K$.

1.3.2. Tracer la courbe d'analyse thermique, graphe représentant la température de CO_2 en fonctions du temps, lors de ce refroidissement à pression constante.

2. Liquéfaction du dioxyde de carbone

Dans un cylindre à parois diathermanes muni d'un piston mobile, initialement vide, on introduit du dioxyde de carbone CO_2 gazeux. Le cylindre se trouve constamment en contact avec un thermostat à $T_0 = 0°C$. La pression initiale du gaz est $P_1 = 1,0.10^5 Pa$, et son volume $V_1 = 100L$. On comprime de façon quasi-statique le volume du fluide jusqu'à $V_2 = 1L$. On suppose, au départ, le CO_2 à l'état de gazeux.

2.1. Exprimer la relation entre le volume molaire v_n et le volume massique v_m. Calculer les volumes molaires $v_{n,V}$ et $v_{n,L}$ respectivement de la vapeur saturante et du liquide de saturation à $0°C$.

2.2. Calculer le volume molaire $v_{n,1}$ du CO_2 à l'état initial dans le volume V_1. Vérifier que CO_2 est bien à l'état gazeux.

2.3. Vérifier qu'après compression du CO_2 au volume V_2, il y a coexistence de deux phases.

2.4. Représenter la compression considérée dans le diagramme (P, v_n). On fera apparaître la courbe de saturation.

2.5. On suppose que la vapeur saturante obéit aux lois des gaz parfaits. À quelle pression P a lieu le début de la condensation ? La valeur expérimentale de la pression de vapeur CO_2 à $0°C$: $P_{\text{exp}} = 34,6.10^5 Pa$. Comparer et conclure.

2.6. Écrire la relation donnant le volume molaire de CO_2 en fonction du titre x_V en vapeur, des volumes molaires $v_{n,L}$ et $v_{n,V}$ respectivement de du liquide et de la vapeur. En déduire le titre x_V en vapeur à la fin de l'expérience.

2.7. Calculer le travail de compression W ainsi que le transfert thermique Q reçu de la part du thermostat au cours de cette expérience.

2.8. Calculer la variation d'énergie interne ΔU, la variation d'enthalpie ΔH et la variation d'entropie ΔS au cours de cette transformation. Commenter le résultat pour ΔS.

3. Stockage du dioxyde de carbone

On souhaite stocker une masse m de dioxyde de carbone dans un ballon modélisé par une cuve fermée supposée initialement vide, indéformable et de volume V_0 à la température $T_0 = 260K$. La cuve est prévue pour résister jusqu'à une pression $P_{\max} = 50bar$.

3.1. La figure 2 représente le diagramme de Clapeyron du dioxyde de carbone en échelle logarithmique. Reproduire ce diagramme sur votre copie et tracer l'allure des isothermes $T_0 = 260K$, $T_1 = 290K$ et $T_2 = 304K$. Compléter ce diagramme en précisant les domaines correspondant au CO_2 liquide, gazeux, diphasé et supercritique.

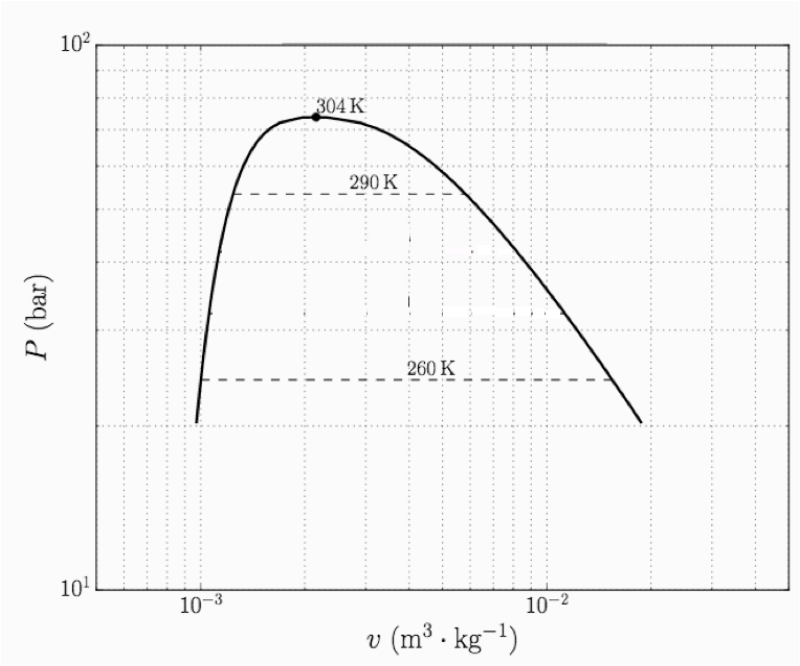


Figure 2

3.2. En utilisant le diagramme de Clapeyron de la figure 2, déterminer la valeur de la pression de vapeur saturante à la température $T_0 = 260K$. Déterminer de même les volumes massiques du liquide saturant v_l et de la vapeur saturante v_v à cette température.

3.3. Suite à un échauffement accidentel, le dioxyde de carbone maintenue à $T_0 = 260K$ passe à la température $T_1 = 290K$.

3.3.1. Expliquer comment choisir le volume V_0 pour que la cuve n'explose pas.

3.3.2. En déduire le titre massique initial en vapeur limite pour éviter l'explosion.

3.3.3. Sous quelle forme se trouve le CO_2 après l'échauffement accidentel ?

3.4. Lorsqu'on stocke un fluide, est-il préférable que le volumique massique v soit supérieur ou inférieur au volume massique critique v_C pour éviter une explosion ?

4. Utilisation du CO_2 comme fluide frigorigène

Du fait des contraintes environnementales, de plus en plus lourdes, les frigoristes ont suscité de nombreuses études récentes sur le CO_2 qu'ils souhaitent voir réemployer. En effet, le CO_2 (R744) est un fluide frigorigène dont les caractéristiques thermodynamiques sont excellentes et permettent d'envisager un bel avenir pour ce fluide, malgré les pressions de service

beaucoup plus élevées que celles des HFC qui peuvent poser des problèmes de sécurité.

On s'intéresse à un cycle réfrigérant décrit par une masse $m = 1kg$ de CO_2 dans une machine thermique ditherme. Les différentes étapes du cycle, supposé réversible, sont données dans le désordre :

- A : Le fluide est mis en contact thermique isobare avec la source chaude de température T_C. Le transfert thermique massique associé à ce contact est q_C. À l'issue de ce contact thermique, le fluide est à la température T_C.
- B : Le fluide est mis en contact thermique isobare avec la source froide de température T_F. Le transfert thermique massique associé à ce contact est q_F. À l'issue de ce contact thermique, le fluide est à la température T_F.
- C : Le fluide passe dans le compresseur adiabatique qui lui fournit un travail massique w_{comp}.
- D : Le fluide traverse un détendeur adiabatique à parois rigides.

Le diagramme (P,h) des frigoristes du CO_2 représenté figure 3 donne la pression P en fonction de l'enthalpie massique h. Il correspond au dioxyde de carbone pouvant être liquide, gazeux ou à l'équilibre entre les deux phases. Il comporte les isothermes (température allant de -50 à $170°C$), les courbes isentropiques (entropie massique s allant de 1300 à $2600 J.kg^{-1}.K^{-1}$), les courbes isotitre dans la zone diphasée (valeurs de 0,1 en 0,1) et les courbes d'égal volume massique (allant de 1,5 à $100 dm^3.kg^{-1}$).

Le cycle décrit ci-dessus est représenté sur le digramme de la figure 3. Il est décrit dans l'ordre $1 \to 2 \to 3 \to 4 \to 1$.

On rappelle l'expression du premier principe pour un fluide en écoulement stationnaire : $\Delta(h + e_c + e_p) = w_u + q_{th}$, où h est l'enthalpie massique, e_c l'énergie cinétique massique et e_p l'énergie potentielle massique du fluide, w_u le travail mécanique utile qu'il reçoit et q_{th} l'énergie thermique reçue.

On néglige au cours des différentes étapes les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle macroscopiques.

4.1. À l'aide d'un schéma, expliquer le fonctionnement d'une machine frigorifique. Définir l'efficacité e de cette machine.

4.2. Justifier que l'étape D correspondant à la traversée du détendeur est une détente isenthalpique du fluide (détente de Joule – Kelvin).

4.3. Reprendre le diagramme de la figure 4 et compléter le en indiquant par les lettres A, B, C et D les parties du cycle associées à ces étapes et en plaçant les points correspondants aux états 1, 2, 3 et 4.

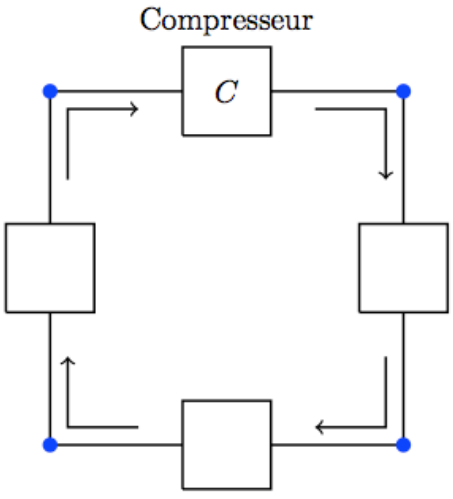


Figure 4 :

4.4. Dans un tableau, indiquer, lorsque c'est possible, les valeurs de P, T, h et s pour les points 1, 2, 3 et 4.

4.5. Identifier au cours de quelles transformations se font les échanges thermiques avec la source chaude et la source froide.

4.6. Que valent la température T_C de la source chaude, la température T_F de la source froide et la température T_A à l'état de départ A ?

4.7. Donner l'allure du cycle sur un diagramme (p,V) faisant apparaître la courbe de saturation de CO_2. Préciser le sens dans lequel le cycle est parcouru. Justifier l'allure des courbes isothermes en utilisant les cas limites.

4.8. Calculer les chaleurs q_F et q_C échangées respectivement avec la source froide et la source chaude.

4.9. Calculer le travail w_{comp} reçu par le fluide frigorifique.

4.10. Dire, en justifiant, si la machine décrite fonctionne en moteur ou en pompe à chaleur.

4.11. Calculer l'efficacité e du cycle et la comparer avec celle (e_C) du cycle de Carnot. Expliquer comment améliorer e.

4.12. Expliquer comment on peut, sur le diagramme de la figure 3, évaluer l'efficacité du cycle (indiquer le principe sans chercher à effectuer de calcul).

4.13. Calculer la valeur de l'entropie $s_{créée}$ créée par unité de masse parcourant le cycle.

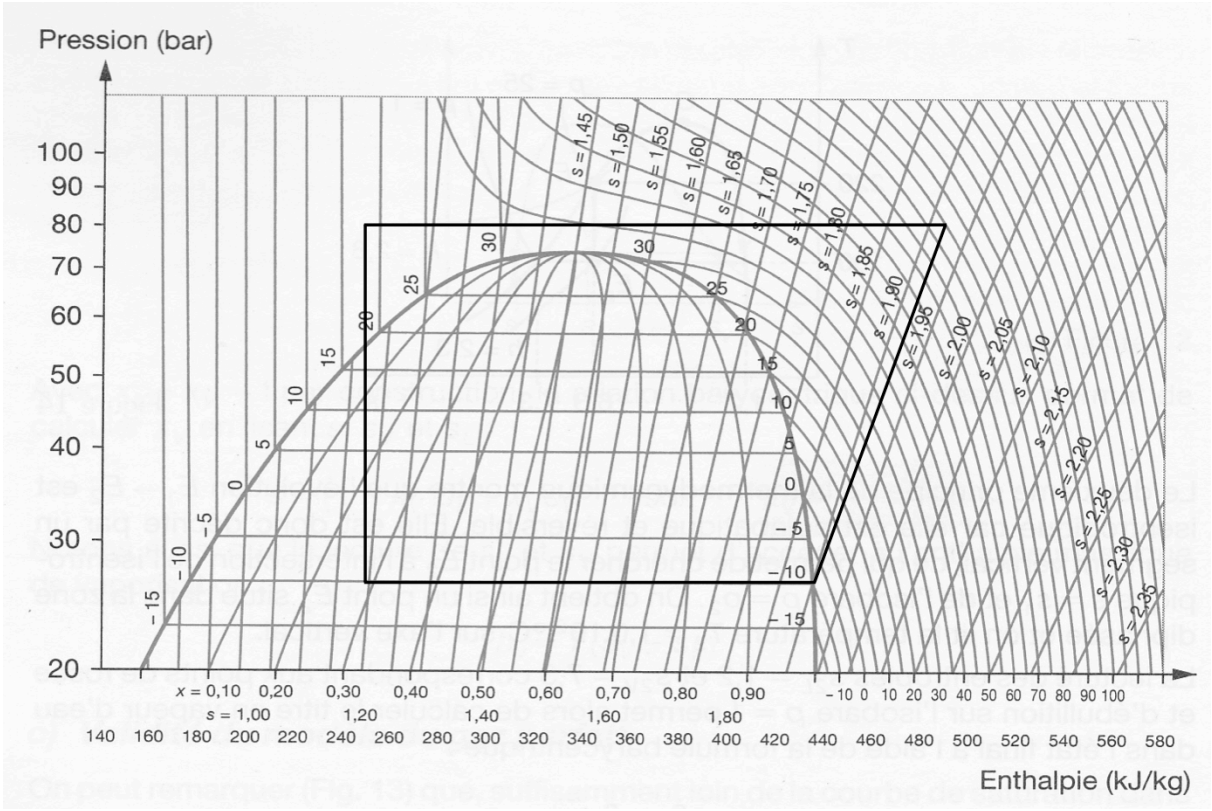


Figure 3 : Diagramme (P,h) des frigoristes du CO_2

Prepa Help

prepahelp.com · classes préparatoires, Maroc et France

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/cnc/tsi