PREPARATION AUX ORAUX – ATS

THERMODYNAMIQUE ET TRANSFERTS THERMIQUES

Table des matières

- Rapports du jury ATS pour l'oral 1
- Autour du cours de thermodynamique 2
- De la mecanique à la thermodynamique 3
- Transformations simples de phases condensées 4
- Transformations simples de Gaz parfaits 4
- Gaz parfait : comparaison de deux chemins différents 7
- Transformations avec bilans entropiques 9
- Changements d'état et Réactions chimiques 11
- cycles thermodynamiques 12
- Machines thermiques 17
- Transferts thermiques en régime stationnaire 21
- Transferts thermiques en régime variable 25
- Révisions complémentaires ne faisant pas partie des sujets d'oraux 29

RAPPORTS DU JURY ATS POUR L'ORAL

- **Extrait du rapport du jury 2021**

L'épreuve orale de physique se divise en trente minutes de préparation et vingt-cinq minutes d'interrogation. Les sujets donnés aux candidats comprennent deux exercices qui portent sur deux parties différentes du programme. La calculatrice n'est pas autorisée.

Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées

Thermodynamique. Les candidats ne savent pas que $\Delta H = Q$ dans le cas d'une évolution isobare. Il peut y avoir confusion entre le travail des forces extérieures de pression et le travail indiqué massique. Pour une machine ditherme, beaucoup d'erreurs sur les signes de Qc, Qf et W.

Transferts thermiques. La connaissance de la loi de Fourier est attendue. La notion de régime permanent n'est pas toujours bien comprise, les candidats ne font pas les simplifications qui en découlent.

- **Extrait du rapport du jury 2019**

L'épreuve orale de physique se divise en trente minutes de préparation et vingt-cinq minutes d'interrogation. Les sujets donnés aux candidats comprennent deux exercices qui portent sur deux parties différentes du programme. La calculatrice n'est pas autorisée.

Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées

Thermodynamique. Bien définir le système et indicer les grandeurs. Sur un cycle justifier correctement $\Delta U = 0$ et $\Delta S = 0$, ce n'est pas parce que le fonctionnement est réversible !
Il devient rare de voir un candidat tracer un cycle correct et calculer sans faute Q ou W pour une transformation. Ne pas utiliser de formule de rendement apprise par cœur, qui ne s'applique pas forcément à l'exercice. Connaitre le nom de C_V et C_P serait souhaitable.

Transferts thermiques. La connaissance de la loi de Fourier est attendue. L'étude de la diffusion thermique se limite au cas unidimensionnel, cela n'exclut pas les systèmes à géométrie cylindrique ou sphérique lorsque la seule dimension considérée est la dimension radiale.

- **Extrait du rapport du jury 2018 – *Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées***

Thermodynamique. Ne pas oublier les hypothèses d'application des lois, notamment la loi de Laplace.
Définition du système. Signe des grandeurs.
Savoir appliquer à bon escient $Q = C_v\,\Delta T$ ou $Q = C_p\,\Delta T$. Savoir tracer des transformations dans un diagramme (P, V). Savoir expliquer qualitativement le fonctionnement d'une machine thermique.

Conduction thermique. Différence entre conduction et convection mal connue. Loi de Fourier mal connue, $R_{th} = \frac{e}{lS}$ connue par cœur mais pas sa démonstration. La réalisation d'un bilan thermique sur un tronçon x, $x + dx$ est très difficile. Analogie entre conduction électrique et conduction thermique mal maitrisée.

- **Extrait du rapport du jury 2017 – *Liste non exhaustive de difficultés souvent rencontrées***

Manque de rigueur dans l'expression du travail des forces pressantes.
Difficultés à tracer les courbes isothermes et adiabatiques dans le diagramme (P, V). Il faudrait savoir justifier si le cycle est moteur ou récepteur à partir du diagramme.
Des candidats pensent que l'on peut toujours écrire $Q = C\Delta T$ quelle que soit la nature de la transformation !
La loi de Fourier est relativement bien connue. Il faudrait être capable de faire un bilan thermique sur un tronçon de conducteur entre x et x +dx.

AUTOUR DU COURS DE THERMODYNAMIQUE

Exo T1 Principes de la thermodynamique (3 fois, 2013)

Énoncer le premier et le second principe de la thermodynamique.
Citer les phénomènes entraînant une création d'entropie.

Exo T2 ❤ Transformation isobare d'un gaz parfait (1 fois)

Soit la transformation isobare de $n = 10\ mol$ d'hélium assimilable à un gaz parfait monoatomique pour lequel $\gamma = \frac{5}{3}$ de l'état initial $(T_1 = 20°C, P_1 = 1\ bar)$ à l'état final $(T_2 = 100°C)$.

Calculer :

1. Les variations des fonctions d'état ΔU_{12} et ΔH_{12}.
2. Les transferts d'énergie W_{12} et Q_{12}.

Exo T3 ❤ Transformation lente, transformation rapide (1 fois, 2010)

Soit un gaz supposé parfait dans une enceinte aux parois diathermanes subissant une transformation lente. Effectuer les bilans énergétique et entropique de la transformation. Si le gaz subit une transformation rapide, de quelle manière sont modifiés les bilans énergétique et entropique ?

Exo T4 Questions Flash

1. Validité de la relation $\Delta U = C_v \Delta T$?
2. Dans quelles conditions a-t-on $P_{ext} = P$?

3. Que représente S ?
4. Soit une transformation adiabatique quasi-statique d'un gaz parfait. Déterminer T_f, V_f, V_i, en connaissant P_i, T_i et P_f.
5. Enoncer les 3 lois de Laplace. Quelles sont les hypothèses pour pouvoir les appliquer ?
6. Quelle est la différence entre une transformation quasi-statique et réversible ?
7. Définition de γ. Ordre de grandeur de γ_{air}. Unités de C_p et C_v.
8. Déterminer le rendement de Carnot en fonction des températures T_1 et T_2 d'un moteur ditherme.

Exo T5 ♥ Moteur ditherme (cours) (1 fois, 2011)

Formule générale du rendement d'un moteur ditherme, expliquer les termes.
Comment retrouve-t-on la formule du rendement qui utilise les températures ? (= plan de la démonstration)

Exo T6 ♥ Réfrigérateur (1 fois, 2010)

Soit un réfrigérateur réversible. Effectuer le schéma des différents échanges. Déterminer le rendement.

Exo T7 Transferts thermiques (1 fois, 2016) *énoncé peu précis*

1. Énoncer et expliquer la loi de Fourier.
2. Analyse dimensionnelle.
3. Mettre en relation la résistance thermique avec un circuit électrique.
4. Calcul du flux thermique à travers 2 surfaces

Exo T8 ♥ Analogie entre la loi d'Ohm et la loi de Fourier (2 fois, 2021)

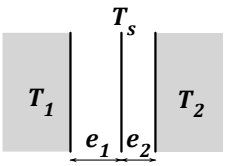
1. Enoncer les lois d'Ohm et de Fourier. Donner les équivalents en transfert thermique des grandeurs électriques suivantes : potentiel électrique, tension électrique, intensité électrique, résistance électrique, conductivité. Donner chaque unité.
2. Donner les formules des associations de résistances.

Version 1

3. Calculer la résistance thermique d'un barreau cylindrique de conductivité λ, de rayon R et de longueur L.

Version 2

4. Soit un mur d'épaisseur e_1 et un isolant collé au mur d'épaisseur e_2. Le mur est en contact avec la température T_1, l'isolant en contact avec la température T_2. Trouver la température T_S entre le mur et l'isolant.



DE LA MECANIQUE A LA THERMODYNAMIQUE

Exo T9 ♥ Bilan énergétique d'un freinage (1 fois)

Une automobile de masse $M = 900\,kg$ roule à une vitesse de $50\,km.h^{-1}$. L'automobiliste freine brusquement et s'arrête au bout de $40\,m$.

5. Calculer la quantité d'énergie transférée au niveau des freins.
6. Si toute cette énergie était fournie à une masse $m = 1\,kg$ d'eau, quelle serait sa variation de température ? On rappelle que $c_{eau} = 4{,}18\,kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

Exo T10 Utilisation d'un agitateur (1 fois)

Un réservoir rigide et adiabatique (calorifugé) contient $m = 1\ kg$ d'hélium (considéré comme un gaz parfait) à la température $T_1 = 300\ K$ et à la pression $P_1 = 300\ kPa$.
L'hélium est brassé à l'aide d'un agitateur de puissance utile $15\ W$. On le fait fonctionner pendant $\tau = 30\ min$.

Déterminer la température finale T_2 et la pression finale P_2 de l'hélium.

Donnée : capacité thermique massique à volume constant de l'hélium : $c_v = 3{,}1156\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

TRANSFORMATIONS SIMPLES DE PHASES CONDENSEES

Exo T11 ♥ Pour chauffer de l'eau sur une plaque électrique (1 fois, 2017)

On dispose d'une plaque électrique de puissance $1{,}5\ kW$.
Calculer le temps nécessaire pour faire passer 2 litres d'eau de $20°C$ à $100°C$ sachant que $70\ \%$ de l'énergie reçue est effectivement transmise à l'eau. Les données relatives à l'eau sont supposées connues.

TRANSFORMATIONS SIMPLES DE GAZ PARFAITS

Exo T12 Gaz dans une enceinte (1 fois, 2023)

Cas 1 : Un piston de masse M comprime un gaz à l'intérieur d'un cylindre de section S.

Cas2 : On rajoute à ce piston une petite masse.

1. Déterminer la pression extérieure subit par le gaz dans le cas 1.
2. Déterminer la pression extérieure subit par le gaz dans le cas 2.
3. Déterminer le travail de la pression extérieure en fonction de P_0 et de la variation de volume.
4. Déterminer le travail des forces de pesanteur en fonction de M, g, m, S et de la variation de volume.

Exo T13 Gaz dans une bouteille – détente isotherme (1 fois, 2012)

Une bouteille de dioxygène (gaz diatomique assimilé à un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1{,}4$) est mise sous une pression de 100 bars à une température de 27°C.

1. Calculer le nombre de moles.
2. Calculer le volume occupé par le gaz quand il est à P_{atm} et une température de 27°C.
3. Calculer le travail et la chaleur échangés pour une détente isotherme quasi-statique de ce gaz.

Exo T14 Chauffage d'un gaz contenu dans une enceinte calorifugée (5 fois, 2023)

n moles d'air assimilé à un gaz parfait sont situées dans une enceinte calorifugée, indéformable. On donne $C_v = \frac{3}{2}nR$ et $C_p = \frac{5}{2}nR$
Le gaz est chauffé par une résistance $R_0 = 100\ \Omega$ alimentée par un courant $I = 1\ A$

1. Quelle est la puissance thermique reçue par le gaz ?

2. Etablir l'expression de la température du gaz en fonction du temps. A l'instant initial $t = 0$, le gaz a les caractéristiques suivantes : $P_0 = 1\ bar, T_0 = 27°C$ et $V_0 = 100\ L$

3. Calculer la température et la pression finale après une durée $t\ =\ 500\ s$.

4. Dans un second temps, on considère la même étuve mais cette fois déformable car fermée par un piston se déplaçant sans frottements. On pourra considérer la transformation comme isobare, avec $P_{ext} = P_{int}$. Etablir la nouvelle expression de la température en fonction du temps. La calculer à $t\ =\ 500\ s$

Questions complémentaires à l'oral

5. calcul du travail W des forces de pression dans le 2ème cas (cuve ferme par un piston se déplaçant librement).

6. calcul du volume final dans le 2ème cas

Petite note : je n'avais pas de schéma sur le sujet pour l'étuve. J'en ai donc proposé un ; "n" n'était pas donné il fallait le calculer avec $PV = nRT$

Version 2 : Chauffage d'un gaz parfait

On enferme $n = 0{,}1\ mol$ d'azote, de coefficient $\gamma = 1{,}4$ dans un cylindre thermostaté à $t_0 = 27°C$, fermé par un piston mobile sans frottement de section $S = 100\ cm^2$.

La pression atmosphérique est $P_0 = 1\ bar$. On néglige la force pressante due au poids du piston devant la force pressante atmosphérique.

1. Calculer la hauteur h_0 occupé par le gaz dans le cylindre.

2. Le piston étant bloqué, on élève la température du thermostat à $t_1 = 50°C$.

Déterminer le travail W et le transfert thermique Q échangés par le gaz ainsi que la variation d'énergie interne ΔU.

3. En repartant de l'état initial, on élève à nouveau la température jusqu'à t_1, mais en laissant libre le piston. Déterminer les nouvelles valeurs des grandeurs énergétiques $\Delta U'$, W' et Q' échangés par le gaz. Commenter.

Exo T15 ♥ Compression lente d'un gaz parfait (1 fois, 2022)

Soit une enceinte contenant un gaz parfait à la pression P_1. La pression extérieure est P_{atm}. Une masse m est déposée lentement sur un piston de section S. Le gaz contenu dans l'enceinte, supposé parfait, passe de l'état 1 à l'état 2 par une transformation isotherme. $T = 300$ K.

1. Déterminer les pressions P_1 et P_2 respectivement à l'état initial et à l'état final.

2. Effectuer un bilan énergétique de cette transformation.

Version 2 : Compression isotherme d'un gaz parfait (2 fois ; 2010)

Soit une enceinte contenant un gaz parfait à la pression P_1. Une masse m est déposée sur un piston de section S. Le gaz contenu dans l'enceinte, supposé parfait, passe de l'état 1 à l'état 2 par une transformation isotherme.

$P_1 = 1\ bar, T_1 = 300\ K$.

3. Déterminer $x = \frac{P_2}{P_1}$.

4. Déterminer la variation d'énergie interne, ainsi que le travail et le transfert thermique liés à cette transformation.

5. Calculer la variation d'entropie.

Exo T16 ♥ Détente adiabatique d'un gaz parfait (5 fois, 2010)

Un gaz parfait diatomique ($\gamma = 1{,}4$) subit une détente adiabatique réversible de l'état A caractérisé par la pression $P_i = 5$ bar et la température $T_i = 343$ K à l'état B tel que $P_f = 1\ bar$.

1. Calculer T_f.
2. Représenter la transformation dans le diagramme de Clapeyron.
3. Superposer une isotherme dans le diagramme de Clapeyron. Est-elle au-dessus ou en dessous de l'adiabatique ?
4. Exprimer le travail échangé en fonction des données et C_v.

Exo T17 Compression adiabatique brutale d'un gaz parfait (1 fois, 2013)

Soit une enceinte cylindrique adiabatique fermée par un piston calorifugé de masse m_P négligeable, renfermant un gaz diatomique supposé parfait ($C_V = \frac{5}{2}nR$).
A l'intérieur du cylindre, la température est de $T_i = 300$ K, et à l'extérieur, $P_0 = P_{ext} = 1$ bar. On pose une masse M sur le piston, le gaz atteint alors une pression et température P_1, T_1. Déterminer P_1 et T_1.

Exo T18 Détente adiabatique brutale d'un gaz parfait (2 fois, 2011)

Soit une enceinte cylindrique adiabatique fermée par un piston de masse m négligeable, situé à $h = 50\ cm$ de la base du cylindre, renfermant un gaz monoatomique supposé parfait $\left(C_V = \frac{3}{2}nR\right)$. A l'intérieur du cylindre, les conditions initiales sont les suivantes : $T_1 = 300\ K$, $P_1 = 1{,}2\ bar$, $V_1 = 1\ L$ et à l'extérieur, $P_0 = P_{ext} = 1\ bar$. De plus, une masse M se trouve sur le piston que l'on retire brutalement.

1. A partir des données, déterminer M.
2. Déterminer la pression finale P_2.
3. Effectuer un bilan énergétique et en déduire T_2 et V_2.

Exo T19 Compression adiabatique brutale puis variation de température (1 fois)

Un volume d'air $V_1 = 2{,}00$ L est enfermé dans un cylindre vertical, fermé par un piston de surface $S = 20$ cm² et de masse négligeable. Le piston peut se déplacer verticalement sans frottement à l'intérieur du cylindre. L'air est considéré comme un gaz parfait diatomique ($\gamma = 1{,}4$) et se trouve initialement à la température $T_1 = 298{,}0$ K sous la pression $p_1 = 1{,}013$ bar.

On pose sur le piston une masse $M = 1$ kg.

Le piston descend brusquement puis se stabilise. La compression, rapide, est supposée adiabatique. Calculer la pression p_2, la température T_2 et le volume V_2 du gaz à la fin de cette compression.

À la suite d'échanges thermiques à travers les parois du cylindre, le gaz revient lentement à la température $T_3 = T_1$. Déterminer la pression finale p_3 et le volume final V_3 du gaz. Données : $g = 9{,}81$ m.s^{-2}.

Exo T20 ♥ Bouteille d'oxygène avec fuite – détente atmosphérique 1 monobare (9 fois, 2021)

A l'hôpital, une bouteille contient du dioxygène O_2 (considéré comme un gaz parfait diatomique) comprimé sous une pression $p_0 = 100\ bar$, de volume $V_0 = 20\ L$ et à la température T_0 de la pièce. Le dioxygène est détendu pour atteindre la pression atmosphérique $p_{atm} = 1\ bar$ et la température T_0.

1. Exprimer et calculer le volume V_1 qu'occupe tout le dioxygène de la bouteille relâché dans la pièce.

2. Calculer le travail des forces de pression W et la quantité de chaleur Q si la transformation est considérée comme monobare. Commenter les signes de ces grandeurs.
3. Le dioxygène s'échappe de la bouteille de telle sorte que la variation de pression dans la bouteille est proportionnelle à la différence de pression : $dp = -\alpha\ (p - p_{atm})\ dt$, avec $\alpha = 4.10^{-4}\ s^{-1}$. Au bout de combien de temps la pression à l'intérieur de la bouteille sera-t-elle égale à $2\ bar$?

   Aide au calcul : $ln(10) = 2{,}7$

questions posées par l'examinateur :

- *différence isobare et monobare.*
- *« comment passe-t-on de $-p_e dV$ à celle de $-pdV$? » J'avais dit que la transformation était lente et du coup mécaniquement réversible, il attendait un autre mot, et j'ai fini par dire quasi-statique et il m'a dit que c'est ce qu'il attendait.*

Exo T21 Transformation polytropique (2 fois, 2010)

1. Démontrer pour un gaz parfait la relation de Mayer : $C_p - C_v = nR$.

   En déduire les expressions des capacités thermiques molaires C_{pm} et C_{vm} en fonction de R et γ.
2. Considérons une transformation quasi-statique d'un gaz parfait dite polytropique, telle qu'à tout instant de la transformation, la pression et le volume du gaz vérifient la relation : $pV^k = cte$, k étant une constante.
   - **a.** Déterminer l'expression du travail W_{12} des forces de pression pour un gaz parfait subissant une transformation polytropique entre (P_1, V_1, T_1) et (P_2, V_2, T_2) en fonction des pressions et volumes ainsi que de k.
   - **b.** Déterminer l'expression de la variation d'énergie interne ΔU_{12} en fonction de T_1, T_2 et γ.
   - **c.** En déduire l'expression du transfert thermique Q_{12} au cours de la transformation. Le mettre sous la forme : $Q_{12} = C(T_2 - T_1)$ où C est une constante.
   - **d.** Donner une interprétation physique de C.
   - **e.** Etudier en les interprétant physiquement les cas suivants : $k = \gamma$; $k = 0$; $k \to \infty$ et $k = 1$.

GAZ PARFAIT : COMPARAISON DE DEUX CHEMINS DIFFERENTS

Exo T22 ❤ Comparaison de transformations : remplir une bouteille : chemin isotherme ou adiabatique réversible (12 fois, 2023)

Un candidat d'ATS ayant terminé ses épreuves part faire de la plongée. Il désire remplir une bouteille d'air comprimé à l'aide d'un compresseur à piston. Un volume V_1 d'air à la température T_1 et la pression P_1 est comprimé jusqu'à atteindre un volume $V_2 < V_1$. L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique.

1. On suppose dans un premier temps que l'évolution est isotherme. Déterminer la pression finale P_2, la température finale T_2 et le travail W fourni à l'air en fonction de P_1, T_1, V_1 et V_2.
2. On suppose désormais que l'évolution est adiabatique réversible. Déterminer la pression finale $P_2{}'$, la température finale $T_2{}'$et le travail W' fourni à l'air en fonction de P_1, T_1, V_1 et V_2.
3. Représenter ces 2 évolutions dans un même diagramme de Clapeyron.
4. En déduire si le travail W' est supérieur ou inférieur à W.

Questions orales :

- *Pourquoi les isothermes ont-elles cette forme (sur le diagramme de Clapeyron) ?*

- *Pourquoi la courbe de $T_2{}'$ est-elle au-dessus de celle de T_1 ?*
- *Prouver que le travail correspond à l'aire sous la courbe ?*

Version 2

On s'intéresse à un gaz parfait, de coefficient isentropique γ, initialement dans l'état P_1, V_1.

a. Le gaz subit une détente isotherme réversible jusque V_2. Que vaut P_2 ? Calculer le travail reçu par le gaz.

b. Repartant du même état initial, le gaz subit une détente adiabatique réversible jusque V_2. Que vaut P_2' ? Calculer le travail reçu par le gaz.

c. Représenter les deux évolutions dans un diagramme de Clapeyron.

d. Quel est le travail le plus important ?

Exo T23 ♥ Transformation isotherme comparée à isobare + isochore (10 fois, 2018)

Soit un gaz parfait à l'état initial P_0, V_0, T_0 amené à l'état final P_1, V_1, T_0 par 2 chemins différents :
- une transformation isotherme ;
- une transformation isobare puis isochore.

a. Tracer le diagramme (P, V)

b. Calculer W et Q sur chaque transformation

c. Vérifier le 1er principe sur le second chemin.

Plus quelques questions orales sur les noms de C_p, C_v et γ.

Exo T24 Transformation adiabatique réversible comparée à isobare + isochore (1 fois, 2010)

Un gaz parfait passe d'un état A à un état B soit :
- suivant une transformation adiabatique réversible.
- suivant une transformation isobare puis une transformation isochore.

1. Représenter sur un schéma ces différentes transformations.

2. Effectuer un bilan énergétique de l'état A à l'état B pour les deux chemins.

3. Effectuer un bilan entropique de l'état A à l'état B pour les deux chemins.

[L'énoncé n'est pas très précis ou directif, essayez de donner des conclusions intéressantes, quelles que soient les variables utilisées.]

Exo T25 Variation de l'ordre de 2 transformations isochore/isotherme (TV/VT) (4 fois, 2022)

Soit $n = 0{,}5$ moles de gaz parfait diatomique fermé par un piston. On le chauffe pour passer d'une température $T_A = 360°C$ à $T_B = 480°C$ et d'un volume $V_A = 1\ L$ à $V_B = 7{,}5\ L$. On a $\gamma = 1{,}4$.

Première évolution : isochore de T_A à T_B $(A \to C)$ puis isotherme de V_A à V_B $C \to B)$.

Deuxième évolution : isotherme de V_A à V_B $(A \to D)$ puis isochore de T_A à T_B $(D \to B)$.

1. Donner le diagramme de Clapeyron des deux évolutions puis donner le signe du travail.

2. Calculer le travail W_1 puis le transfert thermique Q_1 et enfin la variation d'énergie interne ΔU_1 pour l'évolution 1.

3. Même chose pour l'évolution 2

4. Comparer les deux évolutions.

TRANSFORMATIONS AVEC BILANS ENTROPIQUES

Exo T26 ❤ Transformation adiabatique réversible comparée à isotherme + isobare (1 fois, 2010)

On considère une mole de gaz parfait diatomique ($\gamma = 1{,}40$) initialement dans l'état 0 ($P_0 = 1$ *atm* ; $T_0 = 273$ *K* ; V_0). On amène ce gaz dans l'état 1 ($P_1 = 10$ *atm* ; T_1 ; V_1) de deux manières différentes :

- a : par compression adiabatique réversible,
- b : par compression isotherme réversible jusqu'à la pression $P_1 = 10$ *atm* puis échauffement à pression constante jusqu'à la température T_1.

1. Représenter les évolutions a. et b. sur un diagramme de Clapeyron.
2. Calculer les travaux W_a, W_b et les quantités de chaleur Q_a, Q_b au cours de chacune des évolutions ainsi que les variations d'énergies internes ΔU_a et ΔU_b.
3. Calculer ΔS_a et ΔS_b.

Questions complémentaires :
- Justifier les pentes des adiabatique et isotherme autrement que par : "la pente de l'isotherme est une branche d'hyperbole et l'adiabatique est plus pentue".
- Justifier que le cycle est moteur autrement que par : "parce que le cycle tourne dans le sens horaire".

Exo T27 Compression brutale (6 fois, 2013)

On considère un cylindre de section S, dont les parois sont perméables à la chaleur, fermé par un piston, contenant n mol de gaz parfait, initialement dans l'état : p_1, T_1
On pose une masse M sur le piston.

a. Déterminer l'état final p_2, T_2 ; on notera pour la suite $x = p_2/p_1$.
b. Bilan énergétique : exprimer W, Q et ΔU en fonction de x.
c. Bilan entropique : exprimer ΔS. La transformation est-elle réversible ? Justifier.

Donnée : La variation d'entropie de n mol de gaz parfait peut s'écrire : $\Delta S = C_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - nR \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$

Exo T28 Cylindre à parois adiabatiques (1 fois, 2006)

Soit un système calorifugé composé d'un cylindre fermé par un piston de masse négligeable, comportant un gaz parfait diatomique. Initialement, le système est à l'équilibre à pression atmosphérique normale p_0 et température $T_0 = 280$ K.
Données : section : $s = 0{,}01$ m^2 ; $g = 9{,}81$ m.s^{-2}.

a. On pose une masse $M = 10^3$ kg sur le piston. Calculer p_1 et T_1 pour le nouvel état d'équilibre.
b. On enlève la masse, calculer p_2 et T_2 pour l'équilibre final.

Version 2 (1 fois, 2013)

Soit une enceinte cylindrique adiabatique fermée par un piston calorifugé de masse m_P négligeable, renfermant un gaz diatomique supposé parfait ($C_V = 5/2\, nR$). À l'intérieur du cylindre, la température est de $T_i = 300$ K, et à l'extérieur, $P_0 = P_{ext} = 1$ bar. On pose une masse M sur le piston, le gaz atteint alors une pression et température P_1, T_1.

1. Déterminer P_1 et T_1.
2. Effectuer un bilan entropique.

3. Monter que la transformation est irréversible.

Exo T29 ♥ Étude entropique d'un transfert thermique (8 fois, 2015)

Un gaz parfait diatomique est contenu dans un récipient dont les parois sont rigides et diathermes.
$p_A = 1\ bar$; $V_A = 1\ L$; $T_A = 293\ K$.

On plonge ce dernier dans une étuve à $T_B = 333\ K$.

a. Déterminer la variation d'entropie du gaz.

b. Déterminer le transfert thermique reçu par le gaz.

c. Analyser la réversibilité de la transformation.

On donne, pour n mol de gaz parfait diatomique : $\Delta S = \frac{5}{2} nR \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

Exo T30 ♥ Détente dans le vide (5 fois, 2011)

Données : Entropie d'un gaz parfait :

$$S(T,V) = S_0(T_0,V_0) + C_v\ ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + nR\ ln\left(\frac{V}{V_0}\right) \qquad S(T,p) = S_0(T_0,p_0) + C_p\ \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - nR \ln\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

Soit un récipient adiabatique comportant deux compartiments séparés par une paroi.

Dans le premier compartiment, de volume V_1, se trouve une mole de dioxygène considérée comme un gaz parfait, dans les conditions $T_1 = 300\ K$ et $p_1 = 1\ bar$. Dans l'autre compartiment, de volume $10\ V_1$, il y a du vide. On ôte la paroi (le travail nécessaire est négligé).

a. Calculer la variation d'énergie interne du gaz.

b. En déduire la température et la pression finales.

c. Calculer la variation d'entropie du gaz. Commentaire. (*questions : 2nd principe ; lien entropie / désordre).*

Version 2 (3 fois, 2013)

Soit un cylindre indéformable isolé thermiquement. On crée deux chambres de volume identique à l'aide d'une paroi. Dans la première chambre, on a introduit du dioxyde de carbone, assimilé à un gaz parfait ($P_1 = 8$ bar, $V_1 = 2$ L, $T_1 = 300$ K), dans la seconde règne le vide. On enlève la paroi, le travail mis en jeu pour cela est négligé.

Données : $M_C = 12$ g.mol^{-1}, $M_O = 16$ g.mol^{-1}, $R = 8{,}31$ J.K^{-1}.mol^{-1} ; $C_{vm} = \frac{3}{2} R$

a. Déterminer la masse de gaz présente dans l'enceinte *(calcul d'une valeur approchée, sans calculatrice)*

b. Effectuer un bilan d'énergie interne de la transformation, commenter.

c. Effectuer un bilan d'entropie interne de la transformation, commenter.

Exo T31 Bilan entropique lors d'un transfert thermique (1 fois, 2013)

Donnée : La variation d'entropie d'une phase condensée peut s'écrire : $\Delta S = C \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$.

Soit 1 kg d'eau qui chauffe de 300 K à 350 K sur une plaque électrique telle que $T_p = 1000$ K.

1. Déterminer la variation d'entropie de l'eau.

2. Déterminer la variation d'entropie de la source de chaleur.

3. Déterminer l'entropie crée.

Donnée : $c_e = 4{,}18$ J.g^{-1}.K^{-1}

CHANGEMENTS D'ETAT ET REACTIONS CHIMIQUES

Exo T32 ♥ Mélange eau liquide + glace (2 fois, 2011)

On mélange $90\ cL$ d'eau liquide à $20°C$ et $100\ g$ de glace à $-20°C$. Quel est l'état final ?

Données : $\ell_f = 330\ kJ.kg^{-1}$; $c_\ell = 4{,}0\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$; $c_s = 2{,}0\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

Exo T33 ♥ Une soupe trop chaude (1 fois, 2023)

On dispose de $0{,}5\ L$ de soupe à $T_1 = 100°C$, assimilable à de l'eau du point de vue thermodynamique. On la refroidit avec de l'eau (soit liquide, soit solide) pour amener l'ensemble à $T_f = 40°C$. Les évolutions sont considérées très rapides.

Données : Capacité thermique massique de l'eau : $4{,}2\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$

Chaleur latente de fusion de la glace : $330\ kJ.kg^{-1}$

1) Quelles simplifications pouvez-vous faire en tenant compte de l'énoncé ?

2) Calculer la masse d'eau nécessaire si l'eau qui refroidit la soupe est liquide et à température $T_2 = 0°C$.

3) Calculer la masse d'eau nécessaire si l'eau qui refroidit la soupe est solide et à température $T_2 = 0°C$.

On laisse maintenant refroidir la soupe à température ambiante.

L'équation différentielle liant la température de la soupe et le temps est :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{RC} = \frac{T_{ext}}{RC}$$

(R et C sont la résistance et la capacité thermique de la soupe).

4) Résoudre cette équation.

5) Question supplémentaire : Rappeler la définition de l'enthalpie et justifier $\Delta H = 0$ pour le système {eau, soupe}

Exo T34 Vaporisation de l'eau (1 fois, 2010)

Une masse de $1\ kg$ d'eau liquide est contenue dans un récipient fermé par un piston, à $100°C$ sous la pression atmosphérique P_{atm}. Par déplacement infiniment lent du piston, l'ensemble étant dans un thermostat à $100°C$, on réalise la vaporisation totale de l'eau. À l'état final, le volume V_f est égal à 1,67 m^3.

Données :

- enthalpie massique de vaporisation : $\ell_v = \Delta_{vap}h = 2{,}25.10^6\ J.kg^{-1}$
- $P_{atm} = 1{,}013.10^5\ Pa.$

Calculer la chaleur fournie par le thermostat, le travail échangé, les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie de l'eau.

Exo T35 ♥ Mélange diphasé (1 fois, 2012)

On considère la transformation adiabatique réversible $A \rightarrow B$

$T_A = 583K$; $p_A = 3\ bar$; $p_B = 0{,}05\ bar$; $s_A = 7{,}35\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$

a. Donner l'allure du diagramme T, s pour l'eau en considérant les formes liquide et vapeur.

b. Justifier qu'il y a un mélange liquide-vapeur en B (on exploitera le tableau ci-dessous).

c. Déterminer T_B et calculer x_v, h_B.

Tableau d'équilibre liquide vapeur de l'eau :

		Liquide ($x_v = 0$)		Vapeur ($x_v = 1$)	
T	p	h_ℓ	s_ℓ	h_v	s_v
K	bar	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}.K^{-1}$	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
407	3	561,4	1,80	2725	7,15
373	1,013	419,1	1,30	2676	7,36
306	0,05	137,8	0,50	2562	8,45

Exo T36 Système diphasé (1 fois, 2015)

Une enceinte diathermane de volume $V = 1\ L$ est au contact d'un thermostat à $\theta = 100°C$. On introduit $1\ g$ d'eau liquide à l'intérieur. On donne la chaleur massique de vaporisation de l'eau.

(Toutes les hypothèses sont à faire soi-même)

a. L'eau est-elle totalement vaporisée ? sinon, fraction massique en vapeur ?

b. Calculer ΔH, ΔU.

c. En déduire Q.

d. Démontrer et justifier $\Delta H = Q_p$.

Données : Masse molaire de l'eau : $M = 18\ g.mol^{-1}$
Chaleur massique de vaporisation de l'eau : $\Delta_{vap}h = 2300\ kJ.kg^{-1}$

Exo THM.88. Combustion de l'éthanol et Élévation de température (4 fois, 2023)

On donne la réaction chimique :

$$C_2H_5OH_{(l)} + 3\ O_{2\ (g)} = 3\ H_2O_{(g)} + 2\ CO_{2\ (g)}$$

On introduit $n_1 = 1\ mol$ d'éthanol C_2H_5OH et $n_2 = 3\ mol$ de dioxygène O_2 dans un réacteur calorifugé.

L'enthalpie de cette réaction est $\Delta_r H^0 = -1{,}6.10^3\ kJ.mol^{-1}$.

Les capacités thermiques molaires de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone sont $C_{pm} = 36\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

1. Donner la composition finale du système

2. Justifier que la variation d'enthalpie est nulle

3. On note T_i la température initiale du système, donner l'expression de $T_f - T_i$.

4. Question supplémentaire possible : que devient $T_f - T_i$ si l'oxygène utilisé est l'oxygène de l'air ?

On donne : $C_{pm}(N_2) = 30\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

CYCLES THERMODYNAMIQUES

Exo T37 ♥ Cycle (pTV) (7 fois, 2018) (nombreuses variantes)

1 mol de gaz parfait monoatomique, de constante de Laplace γ, décrit le cycle suivant de transformations quasi-statiques à partir du point 0 : p_0, V_0

transformation 0→1 : isobare, telle que le volume au point 1 soit doublé : point 1 : $2V_0$
transformation 1→2 : isotherme
transformation 2→0 : isochore

1. Représenter le cycle dans un diagramme (p, V). Quel est le nom d'un tel diagramme ? S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur (justifier) ?
2. Calculer la température de la transformation isotherme ainsi que la pression au point 2.
3. Calculer W et Q échangés au cours de chaque transformation en fonction de P_0, V_0 et γ.
4. Montrer que $\Delta U = 0$ pour le cycle.

Parfois : Pour chaque transformation, calculer les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie.

Exo T38 Cycle (TVS) (3 fois, 2011)

Cycle parcouru par n mol de gaz (*parfait*, *coefficient isentropique* $\gamma = 1{,}4$) dans le sens horaire en diagramme de Clapeyron, composé de : Isotherme de A à B ; Isochore de B à C ; Adiabatique réversible de C à A

Données :

La température la plus basse T_{min}
La température la plus haute T_{max} = 500 K
La pression la plus haute p_{max} = 5 bar
La pression la plus faible p_{min} = 1 bar

a. Etablir les expressions des pressions, volume et température en chaque point et tracer l'allure du cycle.
b. Déterminer le travail échangé au cours de chaque transformation.
c. S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?
d. Etablir l'expression du rendement de ce cycle.

Question subsidiaire : connaissez-vous un cycle réversible ?

Version 2 :

Un moteur ditherme fonctionne entre deux thermostats de températures $T_1 = 400$ K et $T_2 = 278$ K.

Le fluide thermique est constitué par une mole de gaz parfait (de coefficient γ) décrivant le cycle ci-dessous :

- Une détente adiabatique, quasistatique AB ;
- Une compression isotherme, quasistatique BC ;
- Un chauffage à volume constant CA.

1) Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron.
   (le jury a posé des questions sur la justification des pentes de l'isotherme et de l'adiabatique)
2) Pour chaque transformation, exprimer le travail reçu W, le transfert thermique reçu Q et la variation d'entropie ΔS du gaz en fonction de γ, R, T_1 et T_2.
3) Calculer le rendement de ce moteur thermique
4) Calculer l'efficacité de Carnot d'un moteur réversible qui fonctionnerait entre ces deux sources.

Exo T39 ♥ Cycle moteur T,P,S (8 fois, 2021)

Version 1 : (2017) :

On considère n moles d'un gaz parfait diatomique, passant :

- d'un état A à un état B par une compression isotherme quasistatique ($T_B = T_A$).
- D'un état B à l'état C par un échauffement isobare quasistatique

- D'un état C à A par une détente adiabatique quasi-statique.

a. Tracer le diagramme de Clapeyron.
(le jury a posé des questions sur la justification des pentes de l'isotherme et de l'adiabatique, a demandé de démontrer les relations utilisées)

b. Calculer les coordonnées des points A, B, et C en fonction de n, T_A, p_A,T_C et γ.

c. Calculer le transfert thermique et le travail reçus par le GP pour chaque transformation.

d. Calculer le rendement de la machine.

Application numérique ? $n = 2\ mol$; $P_{max} = 5\ bar$; $P_{min} = 1\ bar$; $T_{max} = 500K$; $\gamma = 1{,}4$.

Version 2 (2021)

Une mole de gaz parfait subit une série de transformation selon le cycle réversible suivant :

AB compression isotherme ;

BC échauffement isobare ;

CA détente adiabatique.

1. Représenter le cycle.
2. Travaux et transferts thermiques sur chaque transformation.
3. Rendement en fonction de T_A et T_C.

Complément d'énoncé nécessaire (laissé à l'initiative du candidat ?)

Par exemple :

On note α le rapport des pressions ($\alpha > 1$).

On donne C_{pm} (ou on donne γ).

Exo T40 ♥ Moteur Stirling (T,V,T,V) (6 fois, 2023)

Il s'agit d'un cycle moteur pour un gaz parfait diatomique composé :
d'une isotherme entre A et B à $T_1 = 300\ K$,
puis d'une isochore entre B et C à $V_2 = 0{,}5\ L$,
puis d'une isotherme entre C et D à $T_2 = 600\ K$,
enfin d'une isochore entre D et A à $V_1 = 2{,}5\ L$. Les transformations sont toutes considérées réversibles.

1. Tracer le diagramme de Clapeyron de ce cycle. Que représente l'aire du cycle ? S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ? Justifier.

2. Justifier la forme de la courbe d'une isotherme. Retrouver l'expression du travail d'une transformation isotherme.

3. Calculer W et Q pour chaque transformation.

J'ai fait remarquer qu'on ne mentionnait pas C_v dans l'énoncé, l'examinatrice m'a dit "on travaille en expression littérale", je n'ai pas trop compris le rapport...

4. Calculer le rendement du moteur + application numérique.

Et une question en rapport avec le cycle de Carnot mais je n'ai pas compris où elle voulait en venir.

Version 2 (2023)

On considère le cycle suivant : AB isotherme ; BC isochore ; CD isotherme ; DA isochore
Le gaz est supposé parfait.

Données : $T_A = 301\ \mathrm{K}$; $p_A = 1\ \mathrm{bar}$; $V_A = 2{,}5\ L$; $V_B = 0{,}5\ L$; $T_C = 903\ K$;
$C_{vm} = 20\ \mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$; $\ln(5) = 1{,}6$ et $R = 8{,}31\ \mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$.

a. Tracer le cycle dans un diagramme (p, V) *[éventuellement : tracé dans un diagramme* (T, S)*].*

b. Calculer le nombre de mol de gaz.

c. Calculer p_B, p_C et p_D.

d. Calculer les travaux et transferts thermiques échangés.

e. Montrer que $Q_{BC} + Q_{DA} = 0$.

f. Le rendement est défini par $r = \frac{-W_{AB}-W_{CD}}{Q_{CD}}$ *[commenter]* ; exprimer r en fonction de T_A et T_C [commenter].

+ Question de cours : *Relation de Mayer ? Pourquoi le cycle est-il moteur ?*

Exo T41 Cycle de Lenoir (V,S,P) (31 fois, 2023)

C'est un cycle réversible pour un gaz parfait constitué de 3 transformations :
- une transformation isochore entre 1 et 2
- une détente adiabatique entre 2 et 3
- retour vers l'état originel par une transformation isobare

On donne : $T_1 = 5°C$; $T_2 = 105°C$; $T_3 = 55°C$; $\gamma = 1{,}4$.

1. Tracer le cycle dans un diagramme de Clapeyron. Quel type de machine est-ce ? (ou simplement est-ce un cycle moteur ou récepteur ?). Justifier.

2. Représenter sur le cycle le sens des différents échanges thermiques.

3. Calculer les travaux et transferts thermiques pour chaque transformation (pour n mol de gaz parfait diatomique). Parfois, la question est plus restreinte : Que représente ΔU_{12} sur l'isochore ? Exprimer ΔU_{12} en fonction des températures. Que représente ΔH_{31} sur l'isobare ? Exprimer ΔH_{31} en fonction des températures.

4. **Version 1 :** Calculer le rendement en fonction de γ, T_1, T_2, T_3 (ces valeurs était données)

Version 2 : Exprimer le rendement sous la forme : $r = 1 - f(\gamma, T_1, T_2, T_3)$ puis application numérique.

questions supplémentaires:
- justifier les pentes des adiabatique et isotherme autrement que par : "*la pente de l'isotherme est une branche d'hyperbole et l'adiabatique est plus pentue*".
- justifier que le cycle est moteur autrement que par : "*parce que le cycle tourne dans le sens horaire*".

Version 2 (2 fois en 2022)

Soit le cycle moteur composé de :
- une combustion isochore
- une détente adiabatique réversible
- un échappement isobare

a. Tracer le cycle dans un diagramme de Clapeyron

b. À quoi reconnait-on qu'il s'agit d'un moteur sur le cycle ?

c. Que représente ΔU_{12} sur l'isochore ? calculer ΔU_{12}.
Que représente ΔH_{31} sur l'isobare ? calculer ΔH_{31}.

d. Définir et exprimer le rendement en fonction de ΔU_{12} et ΔH_{31} puis en fonction de T_1, T_2, T_3 et $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$.

Exo T42 ♥ Moteur Diesel (5 fois, 2021)

On considère n moles de gaz parfait décrivant le cycle :

A – B : compression adiabatique réversible ; B – C : échauffement isobare

C – D : détente adiabatique réversible ; D – A : refroidissement isochore

Données : $\alpha = \frac{V_A}{V_B}$; $\beta = \frac{V_A}{V_C}$; γ.

1) Tracer l'allure du cycle dans un diagramme $p(V)$.

2) Déterminer les transferts thermiques en fonction des températures.

3) Définir et exprimer le rendement en fonction des transferts thermiques puis des températures et γ.

4) **Exprimer T_B, T_C, T_D en fonction de T_A, γ et des rapports volumétriques.

5) **Exprimer le rendement en fonction de γ et des rapports volumétriques.

Version 2 (2 fois)

Une mole de gaz parfait subit les transformations réversibles suivantes :

(1) → (2) : compression adiabatique ; (2) → (3) : échauffement isobare

(3) → (4) : détente adiabatique ; (4) → (1) : refroidissement isochore.

Chaque état est défini par la pression P_i, la température T_i et le volume V_i (i variant de 1 à 4).

On appelle γ le rapport des chaleurs molaires $\gamma = C_{Pm} / C_{vm}$; On définit $\alpha = \frac{V_1}{V_2}$ et $\beta = \frac{V_4}{V_3}$.

1) Représenter sommairement le cycle sur un diagramme de Clapeyron.
2) Déterminer l'expression du rendement en fonction de T_1, T_2, T_3, T_4.
3) ** Donner l'expression du rendement en fonction de γ, α et β.
4) Application numérique avec $\gamma = 1{,}4$; $\alpha = 9$ et $\beta = 3$.

Exo T43 ♥ Cycle de Carnot (2 fois, 2010)

Un système de n moles de gaz parfait décrit le cycle A_1, A_2, A_3, A_4, A_1, dit « de Carnot », composé de la suite de transformations infiniment lentes et mécaniquement réversibles (pas de frottement solide) :

- $A_1 \rightarrow A_2$: isotherme (T_1) ; $A_2 \rightarrow A_3$: adiabatique
- $A_3 \rightarrow A_4$: isotherme (T_2) ; $A_4 \rightarrow A_1$: adiabatique

Le cycle est supposé moteur et $T_2 < T_1$

1. Tracer le cycle dans le diagramme de Clapeyron.

2. Évaluer les énergies thermiques Q_1 et Q_2 échangées au cours des évolutions isothermes (T_1) et (T_2) et en déduire que :

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0$$

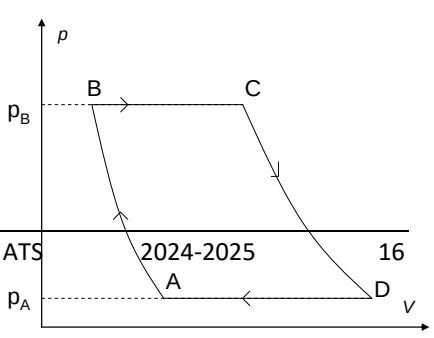
3. Exprimer le travail total W, échangé au cours du cycle par le gaz parfait avec l'extérieur, en fonction de Q_1, T_1 et T_2, et vérifier que ce cycle est « moteur ».

Exo T44 ♥ Cycle de Brayton (turbine à gaz) (9 fois, 2023)

Version 1

On considère le cycle réversible décrit par un gaz parfait diatomique ($\gamma = 1{,}4$). Les évolutions AB et CD sont adiabatiques, les évolutions BC et DA sont isobares. Le rapport $\frac{p_B}{p_A}$, noté α, est appelé taux de compression.

1) Le cycle correspond-il à un moteur thermique ou à une machine frigorifique ?
2) Exprimer le rendement ou le coefficient de performance de cette machine en fonction des températures.



3) Exprimer le rendement ou le coefficient de performance de cette machine en fonction de γ et du taux de compression.

4) Question supplémentaire : Tracer le cycle dans un diagramme entropique.

Version 2 (2023)

Un gaz parfait en écoulement subit les transformations suivantes :

- De A à B : une compression isentropique
- De B à C : l'air se réchauffe : transformation isobare
- De C à D : une détente isentropique
- De D à A : l'air se refroidit : transformation isobare

Le rapport $\frac{p_B}{p_A}$, noté α, est appelé taux de compression.

1. Représenter le cycle dans un diagramme de Clapeyron. S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?
2. Calcul des travaux et des chaleurs pour chacune des transformations du cycle
3. Définition du rendement
4. Exprimer le rendement que en fonctionne des températures T_A et T_B.
5. Estimer le rendement
6. Questions posées :

* Donner le premier principe
* Pourquoi le rendement est inférieur à 1 (physiquement et par le calcul)
* Pourquoi ces travaux et ces chaleurs ont-ils ces signes (physiquement et par le calcul) ?

Exo THM55-ter : Cycle d'Ericsson (13 fois, 2023, et de très nombreuses variantes)

Considérons n mol d'un gaz parfait diatomique $\left(C_{pm} = \frac{7}{2}R\right)$, subissant le cycle de transformations suivant :

Transformation isotherme $(P_1, T_1, V_1) \rightarrow (P_2 > P_1, T_1, V_2)$

Transformation isobare $(P_2, T_1, V_2) \rightarrow (P_3, T_2 > T_1, V_3)$

Transformation isotherme $(P_3, T_2, V_3) \rightarrow (P_4, T_2, V_4)$

Transformation isobare $(P_4, T_2, V_4) \rightarrow (P_1, T_1, V_1)$

a. Décrire le cycle sur un diagramme de Clapeyron (P, V).

b. Dire si le cycle est moteur ou récepteur.

c. Calculer la chaleur échangée (parfois : ainsi que le travail) pour chacune des transformations puis sur le cycle en fonction de $n, R,\ T_1, T_2$ et $a = P_2/P_1$.

d. Définir le rendement (ou COP) et l'exprimer en fonction de T_1, T_2 et $a = P_2/P_1$.

e. (parfois) Donner l'expression du rendement (ou COP) maximum. (parfois, démontrer cette expression du rendement maximum).

MACHINES THERMIQUES

Exo T45 ♥ Pompe à chaleur (2 fois, 2010)

a. Définir le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur à l'aide d'un schéma ;

b. Définir et calculer le coefficient de performance maximal ;

c. La pompe fournit une puissance totale $\mathcal{P}_{\text{tot}} = 1{,}5$ kW dans une pièce chauffée à 20°C, alors qu'il fait 0°C dehors.

- définir la puissance électrique consommée pour chauffer la pièce

- on remplace la pompe par des résistances électriques : quelle est alors la puissance électrique consommée par les résistances ?

d. Pourquoi utilise-t-on des chauffages électriques plutôt que des pompes à chaleur dans les foyers courants ?

Exo T46 PAC pour chauffer l'eau d'une piscine (2 fois, 2018)

Données :

- Température air extérieur : $T_a = 7°C$
- Température eau piscine : $T_p = 20°C$
- Volume de la piscine : $V = 30\ m^3$
- Capacité thermique de l'eau : $c = 4{,}2\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
- Pour une variation de la température de l'eau de $\Delta T = 1K$, il faut $\Delta t = 1000\ s$

Questions :

1. Donner le schéma thermodynamique de la PAC. Signe des échanges d'énergie à justifier.
2. Calculer le coefficient de performance.
3. Calculer la puissance électrique de l'installation.

Paul : *« Pour la puissance aucune donnée n'était imposée, nous avions à définir par nous même P = W / delta(t) (delta(t) = 1000s) , puis ensuite repartir de la définition du CoP pour avoir une puissance en fonction de Qc, CoP et delta(t) et sachant que nous étions a pression constante et que la capacité massique de l'eau était donné, le Qc était égale à $mc_p\Delta T$ (la piscine pouvait contenir 1500L d'eau avec $\Delta T = 1K$), la suite était donc de l'A.N. »*

Exo T47 ❤ Machine à glaçons (4 fois, 2022)

On considère une machine à glaçons fonctionnant réversiblement. La machine a une puissance $P = 1\ kW$ et fonctionne entre deux sources de températures $T_c = 24°C$ et $T_f = 0°C$.

1) Faire un schéma thermodynamique et donner le sens réel des échanges énergétiques.
2) Exprimer et calculer Q_f en considérant un temps de fonctionnement $\Delta t = 4\ min$ et en faisant l'hypothèse que T_f reste égale à $0°C$.
3) Calculer la masse d'eau transformée en glace pendant Δt sachant que $L_{fus} = 300\ J/g$.

Exo T48 Machine frigorifique tritherme (4 fois, 2013)

Soit une machine frigorifique fonctionnant avec 3 sources :
intérieur du frigo T_1 (−8°C), extérieur air ambiant T_2 (22°C), source chaude T_3 (180°C)

À ces sources correspondent respectivement des transferts thermiques Q_1, Q_2 et Q_3, et il n'y a pas de travail échangé.

(l'examinateur m'a dit plus tard lors de l'oral que le fonctionnement était réversible)

1. Signes de Q_1, Q_2 et Q_3 ?
2. Efficacité (définition, expression, + expression en fonction de la température)
3. Avantage face au frigo classique ?

NB : il ne nous restait plus beaucoup de temps (≈ 10 min) je lui ai dit que j'avais un peu de mal et il a répondu c'est normal il n'est pas facile, j'ai dessiné le schéma (frigo classique mais W remplacé par Q_3), puis j'ai écrit l'efficacité (il m'a aidé un peu) puis essayé de trouver Q_3 avec l'inégalité de Clausius et $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ puis après j'arrivais pas trop et il a dit "c'est pas grave, on va s'arrêter là".

Exo T49 ♥ Climatiseur avec pseudo-source (6 fois, 2023)

☑ *Énoncé amélioré (mais hors-programme)*

On considère un climatiseur réversible, qui abaisse la température d'une pièce de $2\,K$ en $100\,s$. (valeur raisonnable ??)

$P = 100\,W$; $T_{ext} = T_c = 300\,K$; $T_{pièce}(t=0) = T(t=0) = 286\,K$.

1. Donner le schéma thermodynamique du fonctionnement d'un climatiseur
2. Appliquer les 2 principes de la thermodynamique sur un cycle élémentaire au cours duquel les échanges sont δW, δQ_c et δQ_f, la température de la pièce étant $T(t)$. En déduire l'équation différentielle liant T et t si on note C la capacité thermique de la pièce.
3. Calculer la capacité thermique C de la pièce.

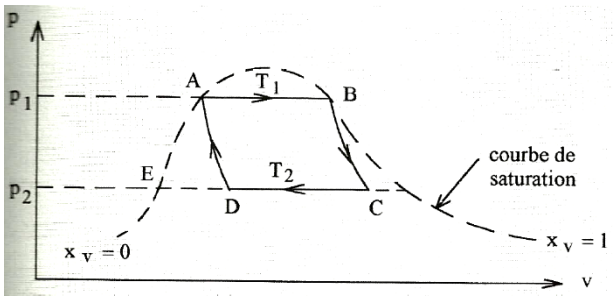
Version 2 (4 fois, 2023)

On considère un climatiseur réversible.

On donne : Puissance mécanique du compresseur : $P = 100\,W$; $T_{ext} = 300\,K$; valeur moyenne de la température de la pièce : $T_{pièce} = 286\,K$.

1. Donner le schéma thermodynamique du fonctionnement d'un climatiseur
2. Ecrire les relations issues du premier et du second principe sur un cycle.
3. Exprimer la puissance thermique échangée avec la source froide.
4. Établir l'expression du coefficient de performance moyen du climatiseur.
5. **Calculer C, la capacité thermique de la pièce, s'il faut $100\,s$ pour abaisser la température de $2\,K$.

Exo T50 ♥ Etude d'une machine vapeur



Le cycle d'une machine à vapeur dans un diagramme p, v (v volume massique) possède l'allure suivante :

Il s'agit d'un cycle de Carnot :

- BC et DA sont isentropiques
- AB et CD représentent des changements d'état à p et T constants.

On donne : $p_1 = 1\ bar, T_1 = 453\,K$, $\ell_v(T_1) = 2\,013\ kJ.kg^{-1}$

$p_2 = 0{,}1\ bar, T_2 = 318\,K$, $\ell_v(T_2) = 2\,394\ kJ.kg^{-1}$

$\ell_v(T_i)$ représente la chaleur latente de vaporisation à la température T_i.

1. Compléter le tableau ci-dessous dans lequel h et s représentent respectivement les enthalpies et entropies massiques. On pourra pour caractériser les points C et D utiliser le point E.

Etat	A	B	C	D	E
$h\ (kJ.kg^{-1})$	762,0				188,0
$s\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$s	2,13				0,628

2. Calculer le transfert thermique q_1 reçu par l'unité de masse du fluide au contact de la source chaude ainsi que le travail reçu par le fluide au cours du cycle.

3. En déduire le rendement de ce cycle moteur.

Exo T51 ♥ Centrale nucléaire (5 fois, 2023)

On étudie une centrale nucléaire qui fournit une puissance $P = 1000$ MW.

Son refroidissement est assuré grâce à l'eau d'un fleuve de débit volumique $D_v = 400\ m^3.s^{-1}$.

En amont, le fleuve, qui lui sert donc de source froide, a une température $T_2 = 15°C$.

La température de l'eau à la sortie de la chaudière de la centrale, correspondant à la température de la source chaude, est à $T_1 = 700\ K$.

La centrale nucléaire a un rendement de 60 % de celui d'un cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes sources.

Données :
Capacité thermique massique de l'eau : $c\ =\ 4$ kJ/kg/K
Masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1$ kg/L.
On note Δt_{cycle} la durée d'un cycle, η l'efficacité de la centrale, et ΔT la variation de température du fleuve liée au refroidissement de la centrale nucléaire (élévation de température du fleuve entre l'amont et l'aval de la centrale nucléaire).

1) Donner un schéma du cycle thermodynamique en précisant son sens de parcours ainsi que le signe des différents échanges d'énergie.
2) Exprimer la quantité de chaleur Q_f fournie par la source froide en fonction de P, η, Δt_{cycle}.
3) Exprimer Q_f en fonction de ΔT, Δt_{cycle} et des autres données de l'énoncé.
4) En déduire ΔT en fonction notamment de ρ, c_{eau}, D_v. Application numérique

Exo T52 Turboréacteur (3 fois, 2023)

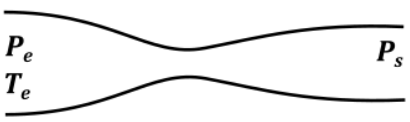
On considère de l'air s'écoulant dans un turboréacteur, considéré comme un gaz en écoulement constituant un système ouvert.
1ère transformation subie par l'air : combustion isobare de $P_A = 4\ bar$ et $T_A = 10^3 K$ jusqu'à B avec P_B et T_B (combustion libérant $q = 10^6 J.kg^{-1}$)
2ème transformation de B à C : détente adiabatique réversible jusqu'à $P_C = 1\ bar$ (tuyère) et T_C
On prend $\gamma = 1{,}4$, $c_p = 10^3 J.kg^{-1}.K^{-1}$, $D_m = 50\ kg.s^{-1}$. On néglige la vitesse lors de la combustion.
Aide au calcul : $\sqrt{1{,}4} \approx 1{,}2$

1. Trouver T_B
2. Trouver T_C (on prendra $T_C \approx 1300\ K$)
3. Trouver la vitesse en sortie de tuyère v_C
4. Trouver la puissance thermique P_{th}
5. On a pour rendement $\eta = \frac{D_m \times e_c}{P_{th}}$, trouver η

Comme je l'ai fini très rapidement le jury m'a posé des questions supplémentaires comme : "Comment je ferais pour calculer la vitesse dans le tuyau sans avoir le débit ou la section".

Version abrégée :

Un gaz parfait traverse une tuyère dans laquelle il subit une détente adiabatique réversible.
Déterminer la vitesse de sortie v_s du gaz.
Données :
c_p, γ, P_e, T_e, T_s



TRANSFERTS THERMIQUES EN REGIME STATIONNAIRE

Exo T53 ❤ Barreau métallique (2 fois, 2023)

Un barreau de longueur L est maintenue à température à chaque extrémités ($T(x=0)=T_0$ et $T(x=L)=T_1$), le barreau a une conductivité λ, une capacité thermique massique c, est une masse volumique ρ.

1. Rappeler la loi de Fourier, en déduire l'équation différentielle en fonction de $T(x)$.
2. Donner l'expression de $T(x)$.
3. Calculer le flux à travers le barreau
4. En déduire l'expression de la résistance thermique du barreau.

« J'ai fait l'hypothèse dès le début que l'étude se fera en régime permanent, à la fin de l'oral il m'a expliqué que c'était fait exprès que ce n'était pas précisé, il laissait l'étudiant choisir, c'est pour cela qu'il donne ρ et c, mais que pour lui au vu des questions d'après c'était logique de faire l'étude en régime permanent. »

Exo T54 ❤ Simple et double vitrages (18 fois, 2023)

Version 1 : Une vitre d'épaisseur e_v de surface $S=1\ m^2$ sépare l'intérieur à la température T_i de l'extérieur à la température T_e. On donne λ_v la conductivité thermique du verre.

1. Déterminer le flux thermique $\varphi_1$traversant la fenêtre ; donner l'expression de la résistance thermique de la vitre R_{th1}.
2. On place une deuxième vitre d'épaisseur e_v à une distance e_a de la première. On donne λ_a la conductivité thermique de l'air.
   Déterminer φ_2. Comparer φ_1 et φ_2.
3. On prend maintenant en compte les effets convectifs au niveau de la paroi extérieure. On donne la relation de Newton : $\varphi_c = hS(T_s - T_e)$ où T_s est la température de la surface soumise à la convection.
   Déterminer le nouveau flux thermique φ.

AN. Version 1 : $e_v = e_a = 3\ mm$; $T_i = 290\ K$; $T_e = 270\ K$; $\lambda_v = 1{,}25\ SI$; $\lambda_a = 0{,}025\ SI$; $h = 10\ SI$.
AN. Version 2 : $e_v = e_a = 3\ mm$; $T_i = 20°C$; $T_e = 10°C$; $\lambda_v = 1{,}2\ W.K^{-1}.m^{-1}$; $\lambda_a = 0{,}024\ W.K^{-1}.m^{-1}$; $h = 50\ W.K^{-1}.m^{-1}$.

Questions et remarques complémentaires :

« Après ça il me restait du temps. Elle m'a demandé de retrouver l'équation de diffusion thermique. J'ai donc fait comme dans le cours avec bilan enthalpique ! Après l'avoir redémontré, elle m'a demandé si un bilan d'énergie interne marchait aussi : Je lui ai répondu que oui. Et après ça elle m'a dit que c'était très bien que c'était fini ! »
Remarque : On pourrait s'intéresser aussi à la température de surface de la vitre.

Questions de cours : Énoncer et expliquer la loi de Fourier ; analyse dimensionnelle.

Mettre en relation la résistance thermique avec un circuit électrique.
Calcul du flux thermique à travers 2 surfaces.

Version 2 : Simple et double vitrage

Une vitre de surface $S=1\ m^2$, d'épaisseur $e_V = 3\ mm$ sépare l'intérieur à la température $T_i = 20°C$ de l'extérieur à la température $T_e = 10°C$. On donne $\lambda_V = 1{,}2\ W.K^{-1}.m^{-1}$ la conductivité thermique du verre.
On se place en régime stationnaire.
Dans un 1er temps, on ne prend en compte que la conduction thermique.

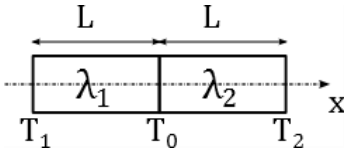
1. Calculer le flux thermique ϕ_1, donner l'expression de la résistance de la vitre R_{Th1}.
2. On place une deuxième vitre d'épaisseur e_V à une distance $e_A = 12\,mm$ de la première. On donne $\lambda_A = 0{,}024\,W.K^{-1}.m^{-1}$ la conductivité thermique de l'air. Calculer le flux thermique ϕ_2, donner l'expression de la résistance de la vitre R_{ThA}. Que peut-on dire de $\frac{\phi_2}{\phi_1}$?
3. Retour au simple vitrage. On prend maintenant en compte la conducto-convection régie par la loi de Newton : $\phi_{cc} = h\,S(T_{air\ ext} - T_{solide})$ où S est la surface d'échange entre l'air extérieur et le verre et $h = 50\,W.K^{-1}.m^{-2}$. Déterminer le nouveau flux ϕ_3.

Questions de cours : Énoncer et expliquer la loi de Fourier ; analyse dimensionnelle.

Mettre en relation la résistance thermique avec un circuit électrique.
Calcul du flux thermique à travers 2 surfaces.

Exo THM 63-bis : Sensation de chaleur au toucher (14 fois, 2023)

Deux cylindres de section S et de longueurs $L = 5\,mm$ sont mis bout-à-bout le long d'un axe Ox, l'un de conductivité λ_1, l'autre de conductivité λ_2 (*des valeurs numériques étaient données a priori*). On maintient constantes les températures aux extrémités, respectivement $T_1 = 37°C$ et $T_2 = 20°C$. Entre les deux cylindres, on a la température T_0.



On suppose connues les grandeurs T_1, T_2, λ_1, λ_2 (voir valeurs numériques en fin d'énoncé).
Soient $\overrightarrow{j_1}$ et $\overrightarrow{j_2}$ les vecteurs densité de flux de chaleur des cylindres 1 et 2, de conductivités thermiques λ_1 *et* λ_2 .

1. Exprimer $\overrightarrow{j_1}$ et $\overrightarrow{j_2}$ en fonction de T_1, T_2, T_0, λ_1 et λ_2.
2. Quel est le lien entre $\overrightarrow{j_1}$ et $\overrightarrow{j_2}$?
3. Exprimer la température $T(x)$ en fonction de x pour $-L < x < +L$.
4. Calculer T_0 sur l'interface

Application numérique vue en exercice dans l'année :

$T_1 = 37°C$ (main) et $T_2 = 20°C$ (bois ou acier) ;
$\lambda_1 = \lambda_{épiderme} = 10\,W.m^{-1}.K^{-1}$ (main) et $\lambda_2 = \lambda_{bois} = 1\,W.m^{-1}.K^{-1}$ (bois) ou $\lambda_2 = \lambda_{métal} = 100\,W.m^{-1}.K^{-1}$ (acier)

Pour quel matériau, T_0 sera-t-elle la plus grande ? commenter

Questions du jury pour aider ou pour faire préciser (vu sur d'autres candidats) :

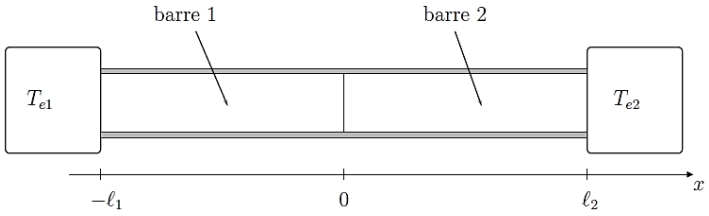
1. Loi de Fourier ? Interprétation ?
2. Parallèle avec la loi d'Ohm locale (pour un candidat qui ne connaissait pas)

Exo T55 ♥ Barres cylindriques en contact (3 fois, 2022)

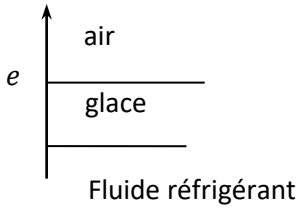
Soit une barre cylindrique de section S, de longueur ℓ, de capacité thermique c, de masse volumique ρ et de conductivité thermique λ. Elle est enroulée dans un matériau isolant tel que l'on puisse négliger les pertes latérales. On s'intéresse à une tranche de la barre située entre les abscisses x et $x + dx$.

1. Effectuer un bilan d'énergie sur la tranche d'épaisseur dx pour en déduire l'équation différentielle vérifiée par la température de la barre.

2. On met bout à bout deux barres, de conductivité thermique λ_1 et λ_2, de section identique calorifugée pour éviter les pertes sur les surfaces latérales. Les extrémités, en contact avec des fours sont respectivement à la température T_{e1} et T_{e2}. Les barres sont orientées selon Ox et on prend l'origine des abscisses au niveau de la jonction des deux barres. Etablir la température T_j de la jonction entre les deux barres une fois le régime établi.



Exo T56 Patinoire (3 fois, 2023)

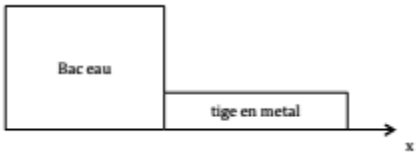


On considère une patinoire avec une surface de glace $S = 2{,}5.10^3 m^2$, d'une épaisseur $e = 10\ cm$. On prend comme origine de l'axe (Oz) ascendant le bas de la couche de glace en contact avec un échangeur de chaleur dans lequel circule un fluide réfrigérant. Ce fluide réfrigérant impose en régime stationnaire une température $T_0 = T(z = 0) = -10°C$ au bas de la dalle de glace. Le système de refroidissement a une puissance $P = 50\ kW$.

La conductivité thermique de la glace est de $\lambda = 2\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

1. Donner la loi de Fourier
2. Etablir la loi vérifiée par la température $T(z)$ au sein de la couche de glace en régime stationnaire.
3. Exprimer cette température $T(z)$ au sein de la couche de glace en fonction de $T(e)$ et $T(0)$
4. Déterminer l'expression du vecteur densité de flux thermique j_{th}.
5. Calculer R_{th} la résistance thermique de cette couche de glace.
6. Exprimer le travail à fournir à la machine frigorifique chargée de la patinoire.

Exo T57 ❤ Ailette de refroidissement (1 fois, 2017)



On considère une ailette de refroidissement, c'est-à-dire une tige métallique parallélépipédique, de dimensions a (épaisseur), b (largeur) et c (longueur). On pourra admettre que a est négligeable devant b. La tige est fixée d'un côté sur un bac d'eau à ébullition ($T_0(x = 0) = 100\ °C$), le reste de la tige baignant dans l'air à température ambiante ($T_a = 20\ °C$).

Dans la tige, on admettra que le transfert thermique, de type conductif, est monodimensionnel dans la direction de l'axe Ox. Il obéit à la loi de Fourier, la conductivité thermique étant λ.

On note $T(x)$ la température de l'ailette à l'abscisse x. Il existe aussi un transfert conducto-convectif de surface de l'ailette vers l'air ambiant. Le flux thermique au niveau d'une surface dS de l'élément de l'ailette de longueur dx est de la forme :

$$dP = h\,[\,T(x) - T_a]\,dS.$$

On se place en régime stationnaire.

1. Expliquer la différence entre la conduction et la convection.
2. Etablir l'équation de la chaleur, et donner la forme générale de la solution.
3. Donner les conditions aux limites qui permettent de déterminer la répartition de température dans la tige.

4. On suppose à présent que la tige est infinie. Déterminer $T(x)$.

5. On met de la paraffine qui fond à $60\ °C$ sur une tige de cuivre et sur une tige en acier. La paraffine fond aux abscisses suivantes : $x_{cuivre} = 13{,}6\ cm$ et $x_{acier} = 6\ cm$. Dire dans quelle partie de la tige la paraffine fond et expliquer qualitativement pourquoi les abscisses sont différentes.

6. On place un ventilateur en direction des tiges. Que se passe-t-il ?

Exo T58 Manchon cylindrique (3 fois, 2021)

On considère un manchon cylindrique de conductivité λ, de hauteur H, de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2. Un liquide chaud à la température T_1 circule à l'intérieur du manchon ; ainsi la paroi intérieure du manchon est portée à la température T_1 tandis que la paroi extérieure est à la température $T_2 < T_1$ de l'air extérieur. On considèrera le régime stationnaire établi, avec un transfert thermique radial.

En coordonnées cylindriques :

$$div\ \vec{A} = \vec{\nabla}.\vec{A} = \frac{1}{r}\frac{\partial(rA_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \text{ et } \overrightarrow{grad}\ f = \vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r}\overrightarrow{u_r} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\overrightarrow{u_\theta} + \frac{\partial f}{\partial z}\overrightarrow{u_z}$$

Version 1 (2016)

1. Représenter les lignes de densité de courant de transfert thermique. Réfléchir aux invariances et aux symétries.

2. En déduire la forme de dépendance en fonction de r du vecteur densité de courant de transfert thermique et de la température $T\ (r)$.

3. Montrer qu'en régime stationnaire, on a : $j_{th} = \frac{K}{r}$.

4. Calculer le flux thermique ϕ à travers la surface latérale de ce manchon. En déduire l'expression de la constante K en fonction de ϕ.

5. En exploitant la loi de Fourier, montrer que $dT = -\frac{K}{\lambda}\frac{dr}{r}$.

6. On introduit la résistance thermique du manchon : $R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\phi}$. Déterminer l'expression de R_{th}.

Version 2 (2021)

1. Rappeler la loi de Fourier en précisant les unités, ainsi que son interprétation physique. Traduit-elle un phénomène physique réversible ou irréversible ?

2. Etablir l'expression de la quantité de chaleur absorbée par l'atmosphère, par mètre de tuyau et par seconde.

3. Déterminer l'expression de la résistance thermique R_{th}.

Exo T59 Manchot (1 fois, 2016)

Un manchot se modélise par un parallélépipède rectangle, de section carrée, de côté a et de hauteur h. Le manchot, animal à sang chaud, maintient sa température interne T_i au moyen d'un apport métabolique P_1 qui compense les pertes par conduction thermique au travers d'un revêtement de plumes d'épaisseur e et de conductivité λ, face à une température extérieure T_e.

1. À partir d'un bilan énergétique, donner l'allure de $T(x)$, pour x compris entre 0 et e.

2. Déterminer l'aire totale A du parallélépipède.

3. Déterminer la valeur de la conductivité thermique λ du revêtement de plumes correspondant à un

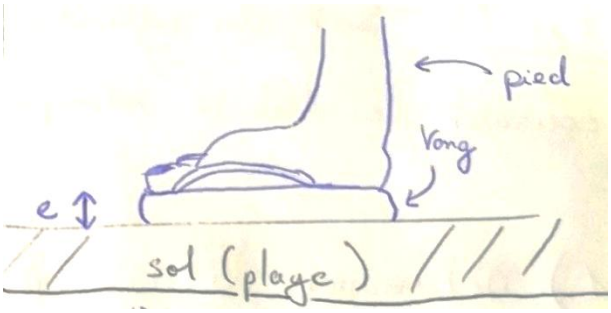
métabolisme apportant une puissance $P_1 = 50\,W$, pour une température intérieure $T_i = 37°C$, une température extérieure $T_e = -20°C$ (y compris au niveau du sol), une épaisseur $e = 1\,cm$, un côté $a = 0{,}10\,m$ et une hauteur $h = 0{,}50\,m$.

On précisera la dimension ou l'unité du coefficient de conductivité λ.

TRANSFERTS THERMIQUES EN REGIME VARIABLE

Exo T60 Tongs sur la plage au soleil (7 fois, 2023)

Un étudiant d'ATS marche sur la plage en tongs. La capacité thermique c, la conductivité thermique λ et la surface S et l'épaisseur $e = 1\,cm$ de la semelle de la tong étaient données, ainsi que la température $T_{sable} = 70°C$ du sable. La température de l'air extérieur vaut $T_2 = 28°C$.



Le flux thermique est supposé être selon uniquement l'axe vertical.

1. Enoncer la loi de Fourier.
2. Etablir l'équation de la chaleur en régime variable.
3. Démontrer l'équation de diffusion de la chaleur en régime variable, en faisant apparaître la diffusivité thermique de la tong, que l'on exprimera à l'aide des grandeurs thermophysiques associées. Quelle est son unité ?
4. Déterminer le temps caractéristique à partir duquel la tong est significativement trop chaude. Quel phénomène a-t-on négligé ? *(la notion de trop chaude n'était pas précisée mais à définir)*
5. Quelle forme prend l'équation de la chaleur en régime stationnaire ?
6. Etablir l'expression de la résistance thermique de la tong.
7. Quel serait le flux nécessaire pour que la personne ne se brûle pas les pieds ?

Données

Conductivité thermique de la semelle de la tong : $\lambda = 2{,}0\ W.K^{-1}.m^{-1}$

Masse volumique de la semelle de la tong : $\rho = 1\ \mathrm{g.cm^{-3}}$

Capacité thermique massique de la semelle de la tong : $c = 2\ \mathrm{kJ.K^{-1}.kg^{-1}}$

Exo T61 ♥ Refroidissement d'un plat (2 fois, 2017)

On considère un plat de surface S à la température $T_i = 50\,°C$. Exposé à l'air ambiant ($T_a = 20\,°C$), il se refroidit par convection selon la loi de Newton : $\Phi = h\,[\,T - T_a\,]\,S$.
On donne c, m, H et S du plat.

1. À l'aide d'un bilan d'échange thermique, retrouver l'équation :

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{T - T_a}{t_0}$$

en précisant l'expression de t_0 ainsi que sa dimension.

2. Résoudre cette équation et donner le profil de température.

3. À quel moment le plat atteint la température ambiante T_a ?

5. On remplace le plat par un liquide, une soupe. Quel autre phénomène observe-t-on ?

Exo T62 ♥ Armoire électrique (4 fois, 2022)

On considère l'intérieur d'un tableau (d'une armoire) électrique refroidie par convection forcée.

• la puissance thermique générée au sein de l'armoire par effet Joule est $P_1 = P_{thermique} = 1{,}0\ kW$;

• la résistance thermique des parois du tableau est $R_{th} = 0\ ,1\ K/W$;

• La capacite thermique de du système est $C = 1{,}0\ kJ\ /K$.

On considère, pour les deux premières questions, que la température de la pièce dans laquelle se trouve le tableau électrique est constante et vaut $T_{pièce} = 20°C$.

1. En faisant un bilan énergétique en régime non stationnaire, donner l'équation différentielle qui régit l'évolution temporelle de la température du système.

2. Calculer la température limite et donner l'ordre de grandeur de la durée nécessaire pour atteindre cette température limite.

3. Calculer la puissance thermique évacuée par convection naturelle puis en déduire celle à évacuer en convection forcée.

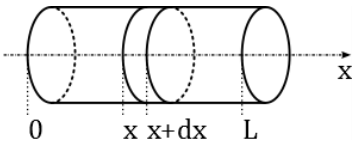
4. En déduire le débit d'air à envoyer sachant que sa température variait de 30°C entre l'entrée et la sortie de l'armoire.

La température à l'intérieur est de $50°C$, $\rho_{air} = 1\ kg/m^3$, $c_p(air) = 1{,}0\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$. ⋯

Exo T63 Equation de diffusion thermique dans une barre cylindrique (2 fois, 2022)

On considère un cylindre homogène de section S, d'axe Ox, de longueur $L = 10\ cm$, de masse volumique $\rho = 8\,960\ kg.m^{-3}$, dont la conductivité thermique est $\lambda = 390\ W.m^{-1}.K^{-1}$ et la capacité thermique massique $c = 380\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

Le cylindre est calorifugé latéralement, et la température est supposée uniforme dans une section, de sorte que le problème est unidirectionnel : T ne dépend que de x.



L'équation de diffusion de la chaleur s'écrit :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \qquad (1)$$

1) Redémontrer cette équation (ou parfois : Retrouver les conditions d'écriture de l'équation précédente). Énoncer les lois utilisées. Donner la dimension de a.

2) τ étant un temps caractéristique de la diffusion thermique dans le cylindre, relier τ à L et α. *Application numérique*.

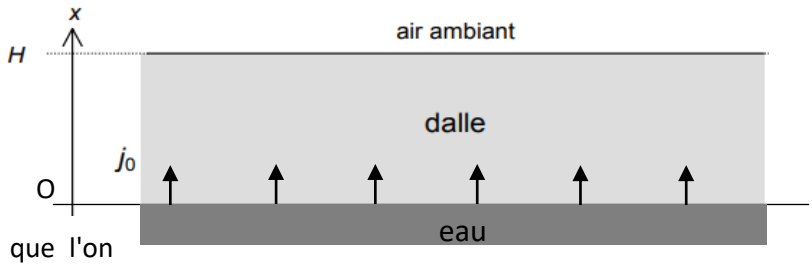
3) Dans le cas d'un problème stationnaire, que devient l'équation (1) ? Commentaires ?

4) Au bout de combien de temps s'établit le régime stationnaire ? *Application numérique. Commentaires ?*

(analogie attendue avec temps de charge et décharge d'un condensateur).

Exo T64 Dalle (3 fois, 2021)

Version 1 (1 fois, 2017)



Une dalle en béton dense, de propriétés thermophysiques homogènes (conductivité thermique λ, masse volumique ρ, chaleur massique c).

On s'intéresse ici au comportement dynamique de la dalle solaire d'épaisseur H, que l'on peut caractériser en régime stationnaire par sa réponse à une densité de flux de chaleur $j_0(t)$ imposée sur sa face inférieure. Les dimensions transversales de la dalle sont très grandes devant H, de sorte que le problème peut être supposé unidimensionnel. La direction perpendiculaire à la surface S de la dalle est repérée par la cote verticale x à partir du fond.

La température de l'air ambiant dans le bâtiment est homogène, de valeur moyenne T_i.

1. Que peut-on dire du flux thermique ?
2. Rappeler la loi de Fourier unidimensionnelle liant la densité de flux de chaleur $j(x,t)$, la température $T(x,t)$ dans la dalle et la conductivité λ.
3. Quelle est l'unité de j ? En déduire l'unité de λ.
4. Démontrer l'équation de diffusion de la chaleur en régime variable, en faisant apparaître la diffusivité thermique de la dalle, que l'on exprimera à l'aide des grandeurs thermophysiques de la dalle. Quelle est son unité ?
5. L'échange de chaleur par convection entre la face supérieure de la dalle et l'air ambiant est bien représenté par la loi de Newton :

$$j(H,t) = h\,[\,T(H,t) - T_i]$$

où le coefficient d'échange thermique h est considéré comme constant et uniforme sur toute la surface. Quelle est l'unité de h ? De quelles grandeurs et de quels phénomènes physiques dépend ce coefficient ?

6. On suppose qu'un flux constant j_0 est maintenu en $x = 0$. Après un temps très long $t \gg \tau_d$ on peut considérer le régime comme établi, de sorte que $j(x)$ et $T(x)$ sont indépendants du temps.

Montrer que le profil thermique de la dalle est alors donné par :

$$\mathrm{T}(x) = T_i + j_0\left(\frac{H}{\lambda} + \frac{1}{h}\right) - \frac{j_0}{\lambda}x$$

Version 2 (2 fois, 2021)

On considère une dalle en béton dense, de propriétés thermophysiques homogènes (conductivité thermique λ, masse volumique ρ, chaleur massique c), d'épaisseur H. Les dimensions transversales de la dalle sont très grandes devant H, de sorte que le problème peut être supposé unidimensionnel. La direction perpendiculaire à la surface S de la dalle est repérée par la cote verticale x à partir du fond.

La température de l'air ambiant dans le bâtiment en contact avec la face supérieure de la dalle est homogène, de valeur moyenne T_i.

On se place ici en régime stationnaire. Le béton reçoit sur sa face inférieure un flux de chaleur $\varphi(x = 0) = \varphi_0 = cte$ imposé par l'eau. Il cède à l'air ambiant extérieur un flux de chaleur $\varphi(x = H)$.

1. Etablir le lien entre les deux flux thermiques φ_0 et $\varphi(x = H)$.
2. Rappeler la loi de Fourier unidimensionnelle liant la densité de flux de chaleur $j(x)$, la température $T(x)$ dans la dalle et la conductivité λ.
3. Quelle est l'unité de j ? En déduire l'unité de λ.

4. Montrer que la température vérifie l'équation $\frac{\mathrm{d}^2T}{\mathrm{dx}^2} = 0$.

5. Etablir la relation suivante : $-\lambda \frac{dT}{dx}\Big|_{x=0} S = \varphi_0$.

L'échange de chaleur par convection entre la face supérieure de la dalle et l'air ambiant est bien représenté par la loi de Newton :

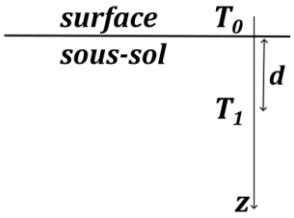
$$j(H,t) = h\,[\,T(H,t) - T_i]$$

où le coefficient d'échange thermique h est considéré comme constant et uniforme sur toute la surface. Quelle est l'unité de h ? De quelles grandeurs et de quels phénomènes physiques dépend ce coefficient ?

6. Montrer que le profil thermique de la dalle est alors donné par :

$$\mathrm{T}(x) = T_i + \frac{\varphi_0}{S}\left(\frac{H}{\lambda} + \frac{1}{h}\right) - \frac{\varphi_0}{\lambda S}x$$

Exo T65 ♥ Conductivité thermique dans la croûte terrestre (10 fois, 2023)



On remarque qu'à $d = 1\ km$ en dessous de la croûte terrestre, la température est à $T_1 = T_0 + \Delta T$; T_0 température de l'atmosphère et $\Delta T = 30\ K$.

On se place en régime permanent

données : conductivité thermique $\lambda = 3{,}3\ W.K^{-1}.m^{-1}$;

Diffusivité thermique $D = 10^{-5}\ m^2.s^{-1}$; rayon de la Terre : $R_T = 6400\ km$

Aide aux calculs :	$4\pi \times 6{,}4^2 \approx 5.10^2$	$\frac{4}{3}\pi \times 6{,}4^3 \approx 1.10^3$	$24\ h \approx 10^5\ s$

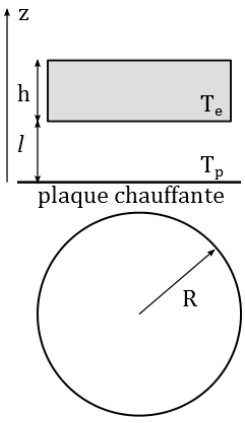
1. Montrer que $T(z) = Az + B$. Déterminer A et B.

2. En déduire l'expression de la puissance thermique transférée de la Terre vers l'atmosphère à travers une surface S du sol. Commenter son signe. En déduire l'expression puis la valeur de la puissance thermique totale perdue par la Terre.

3. Variante 2022 : Retrouver la résistance thermique de la croûte terrestre

4. On n'est plus en régime permanent. La nuit, la température diminue, et en prenant $T = 24\ h$ le temps caractéristique de cette alternance jour/nuit, déterminer l'ordre de grandeur de la distance L en dessous du sol pour laquelle on ne ressent plus les variations de température.

Exo T66 Caléfaction (ou effet Leidenfrost) (1 fois, 2017)



☑Énoncé recomposé, très incertain

Une goutte d'eau est lâchée au-dessus d'une plaque chauffante dont la température est très supérieure à la température d'ébullition de l'eau. On observe alors que la goutte lévite sur de la vapeur d'eau et ne se vaporise pas instantanément.

Ce phénomène de caléfaction est dû à la formation d'une couche de vapeur entre la surface chauffante et le liquide, rendant le transfert thermique beaucoup plus lent.

Données :

λ Conductivité thermique de la vapeur d'eau

c_p Capacité thermique massique à pression constante de la vapeur d'eau

ρ_v Masse volumique de la vapeur d'eau à $100°C$

On assimile la goutte à un cylindre aplati, et on s'intéresse à la diffusion thermique dans le film de vapeur situé en-dessous.

1. Régime variable.

Faire un bilan d'énergie sur une tranche d'épaisseur dz du film de vapeur. En déduire l'équation différentielle régissant l'évolution de la température de la vapeur d'eau constituant le film : équation de la diffusion thermique.

On note D_{th} la diffusivité thermique de l'eau vapeur que l'on l'exprimera en fonction de c_p, λ et ρ_v.

2. Régime stationnaire.

Donner le profil de température de la vapeur d'eau en régime quasi-stationnaire, entre T_p, température de la plaque et T_e, température d'ébullition (à la base de la goutte d'eau).

3. Comment va évoluer la masse m de la goutte d'eau ?

On donne ℓ_{vap} : chaleur latente de vaporisation de l'eau à $100°C$.

Établir l'expression de $\frac{dm}{dt}$ en fonction de R, λ, ℓ, T_p, T_e et ℓ_{vap}.

Exo T67 Onde thermique (1 fois, 2019)

Pas d'énoncé transmis, mais un exo onde thermique donné (cf. fin du poly)

REVISIONS COMPLEMENTAIRES NE FAISANT PAS PARTIE DES SUJETS D'ORAUX

Exo T68 ♥ Machine frigorifique, diagramme des frigoristes

Le fluide d'une machine frigorifique décrit un cycle en quatre étapes.

- Le fluide diphasé (point A du cycle) est vaporisé à pression constante $P_1 = 1\ bar$ au contact de la source froide de température $T_f = 10°C$ jusqu'à la vapeur saturante (B).

- La vapeur est ensuite comprimée réversiblement et adiabatiquement jusqu'à la pression $P_2 = 3\ bar$ (C).

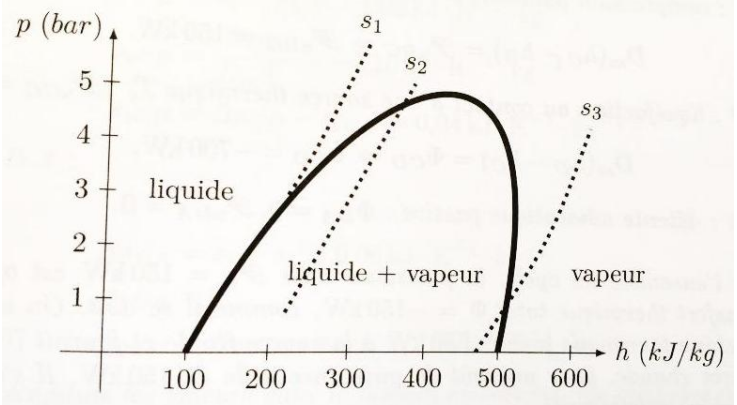
- Dans le condenseur, la vapeur est complètement liquéfiée à pression constante au contact de la source chaude de température $T_c = 50°C$. Le liquide obtenu est saturant.

- Le liquide est détendu jusqu'à la pression P_1 dans un détendeur passif adiabatique.

On donne le diagramme (p, h) du fluide. La courbe en trait plein est la courbe du fluide diphasé liquide-vapeur. Les courbes en pointillés sont des isentropiques dont certaines sont tracées : $s_1 = 4{,}10\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$; $s_2 = 4{,}16\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$; $s_3 = 5{,}16\ kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.

On néglige les variations d'énergies cinétique et potentielle du fluide.

Le débit de fluide dans la machine est $D_m = 2\ kg.s^{-1}$.



a. Tracer le cycle sur le diagramme, en plaçant les points A, B, C et D.

b. Calculer les travaux et les transferts thermiques sur chaque étape.

c. Déterminer le coefficient de performance de cette machine. Commenter.

Exo T69 ♥ Survie dans un igloo

Évaluer l'épaisseur e de glace nécessaire pour que dans un igloo cubique de côté $a = 1\ m$, un esquimau puisse maintenir, par la puissance thermique $P = 50\ W$ qu'il dégage, une température $T_i = +10°C$ alors que la température extérieure est de – $10°C$.
Les déperditions au niveau du sol sont supposées négligeables.
On donne la conductivité de la glace : $\lambda = 0{,}05\ \mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}}$.

Exo T70 Mur avec source interne

On considère par exemple une paroi ou d'un plancher chauffé intérieurement par des résistances électriques.
Notations :

T_0 température aux extrémités de la paroi et q la puissance volumique des sources.

λ conductivité de la paroi

$2e$ épaisseur de la paroi, située entre les plans d'équations $x = -e$ et $x = e$.

On néglige les échanges convectifs.

a. Montrer que l'équation de la chaleur s'écrit : $\frac{d^2T}{dx^2} = -\frac{q}{\lambda}$

b. Déterminer la répartition en température $T(x)$ dans la paroi. Que vaut la température maximale ? Tracer $T(x)$.

c. Exprimer le vecteur densité de flux thermique $\vec{j}_Q(x)$. Commenter.

d. Application numérique : Calculer $T_{max} - T_0$ pour une paroi de douche en verre trempé d'épaisseur $8\ mm$, de hauteur 2 m, de largeur 1 m, délivrant une puissance de $640\ W$. On donne : $\lambda = 0{,}8\ USI$.

Exo T71 Chauffage d'une habitation

On rappelle la loi de Newton, donnant la puissance thermique cédée par convection entre un solide à température T_1 et un fluide à température T_2 : $\phi = h\,[\,T_1 - T_2]\,S$.

Les pertes de chaleur relatives à une pièce d'habitation sont estimées à $4\ kW$. On utilise, pour la maintenir à sa température interne de $20°C$, des convecteurs (radiateurs) à la température de $70°C$ (température de l'eau chaude). Le coefficient d'échanges superficiels de la surface d'échanges des convecteurs est estimé à $10\ W.m^{-2}.K^{-1}$.

1) Calculer la surface d'échange S.

2) Le convecteur est constitué d'un ensemble d'ailettes, parallèles, rectangulaires, de dimensions $10\ cm \times 30\ cm$, exposées sur leurs deux faces, espacées de $1\ cm$. Calculer le nombre d'ailettes ainsi que l'encombrement du convecteur.

3) Les pertes de chaleur ont lieu à travers un mur de béton de $80\ m^2$ de surface, de $0{,}30\ m$ d'épaisseur, de conductivité $1{,}2\ W.m^{-1}.K^{-1}$. Les surfaces intérieure et extérieure sont égales et de coefficient d'échanges superficiels $h_i = 0{,}6\ h_e$. La température extérieure étant de $0°C$, donner les valeurs de h_i et h_e.

Exo T72 ♥ Cuisson d'un œuf d'autruche

La cuisson d'un œuf de poule à la coque dure $3\ min$. Un œuf moyen de poule a une masse comprise entre $53\ g$ et $63\ g$. Quelle serait la durée pour faire cuire à la coque un œuf d'autruche, sachant que la masse de celui-ci est comprise entre $1{,}2\ kg$ et $1{,}8\ kg$?

Exo T73 Temps caractéristique de diffusion

Une tige cylindrique pleine, de $10\ cm$ de longueur, de surface latérale calorifugée, est soumise à un gradient de température par l'intermédiaire de deux thermostats placés à chacune de ses extrémités, qui génèrent en son sein de la diffusion thermique.
La tige est en cuivre, de masse volumique $\rho = 8960\ kg.m-3$, de coefficient thermique $\lambda = 390\ W.m^{-1}.K^{-1}$ et de capacité massique $c = 380\ J.K^{-1}.kg^{-1}$.
Estimer la durée caractéristique de mise en place du phénomène de diffusion thermique depuis l'instant où la tige est mise en contact avec les deux thermostats.

Exo T74 Refroidissement d'un fil électrique

Un fil électrique de longueur $L = 10\ cm$, de section $S = 2{,}5\ mm^2$, est chauffé par effet Joule. Il est porté à la température $t_0 = 50\ °C$. Au temps $t = 0$, on coupe l'alimentation, le fil se refroidit par convection naturelle de

facteur h.

On donne : $h = 25\ USI$; $c = 380\ J.kg^{-1}.K^{-1}$ et $\rho = 9{,}0.10^3\ kg.m^{-3}$.

La température extérieure est de $t_e = 20\ °C$.

On rappelle la loi de Newton, donnant la puissance thermique échangée par convection : $\phi = h\,S[\,T - T_e]$.

1. Quelle est l'unité du coefficient de convection h ?

2. Quelle sera la température finale du fil ?

3. Écrire la conservation de l'énergie pour $t \geq 0$ pour déterminer l'équation différentielle liant la température du fil T et le temps t.

4. Donner un temps caractéristique de l'évolution de $T(t)$. Contrôler l'homogénéité. Application numérique.

5. Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression littérale de $T(t)$.

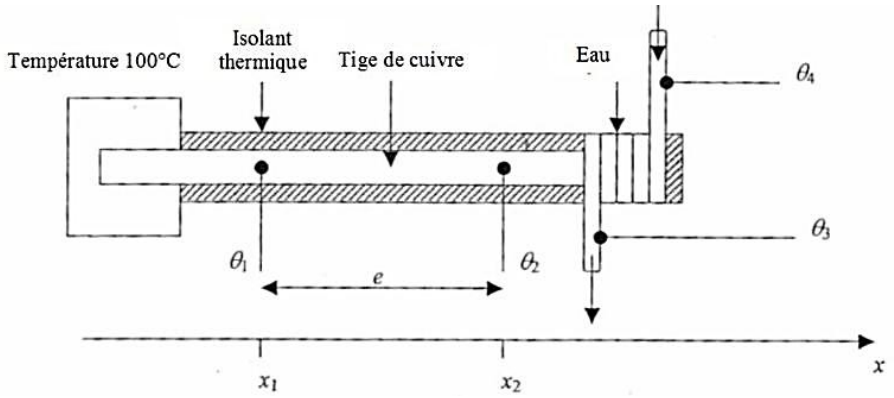
6. Quelle est la température au bout de 1 minute, de 5 minutes?

7. Tracer l'allure de la courbe $T(t)$.

Exo T75 Mesure expérimentale d'une conductivité thermique

On réalise le montage suivant afin de mesurer la conductivité thermique λ du cuivre de masse volumique ρ.

L'extrémité gauche de la barre cylindrique de cuivre, de section $S = 11{,}5\ cm^2$, est placée dans une étuve maintenue à $100°C$.



- L'autre extrémité est en contact avec un serpentin dans lequel circule de l'eau (de capacité thermique massique $c = 4{,}18\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$) avec un débit massique $D_m = 0{,}80\ g.s^{-1}$. L'échangeur thermique ainsi constitué permet de réchauffer l'eau de θ_4 à θ_3.
- La barre est calorifugée latéralement à l'aide d'enveloppes isolantes.

- On mesure les températures θ_1 à θ_2 de la barre en deux points de celle - ci distants de $e = 10\ cm$ ainsi que les températures θ_4 à θ_3 de l'eau juste avant et après la zone d'échange thermique.
- Le problème est unidimensionnel, le matériau homogène et on négligera tout phénomène de rayonnement et de convection au niveau de la barre.

1. Pourquoi calorifuge-t-on la surface latérale de la barre ? Citer un exemple de matériau isolant thermique pouvant être utilisé dans ce montage ?

2. On attend que le régime stationnaire soit établi. En appliquant l'équation de la conduction thermique, exprimer la température $T(x)$ le long de la barre en fonction de la variable x et des constantes x_1, e, T_1 et T_2.

3. Déterminer la puissance thermique traversant la section S de la barre. Celle - ci dépend-elle de x ?

4. Déterminer la puissance thermique reçue par l'eau circulant dans le serpentin en fonction de θ_4 à θ_3 (on pourra d'abord réaliser un bilan sur la masse dm d'eau traversant le serpentin pendant dt).

5. En déduire l'expression de la conductivité thermique λ du cuivre. On obtient expérimentalement $\lambda = 374$ USI ; Donner l'unité de λ.