

T1 – FORMES D'ÉNERGIE

Travaux dirigés

Exercice 1 : Paramètres intensifs et extensifs

Les paramètres suivants sont-ils intensifs ou extensifs ?

Masse, pression, volume, masse volumique, quantité de matière, volume massique, énergie cinétique, concentration.

Exercice 2 : Volume molaire d'un gaz parfait

Déterminer le volume molaire V_m occupé par un gaz parfait sous les CNTP (conditions normales de température et de pression : $P = 1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et $T = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$).

Exercice 3 : Equation d'état des gaz parfaits – pneu de voiture

On considère un pneumatique de voiture monté sur sa jante. On admettra que le pneu se comporte comme une enveloppe déformable, parfaitement étanche, qui délimite un volume qui reste toujours constant, et que le gaz qu'il contient se comporte comme un gaz parfait.

La pression dans ce pneumatique, mesurée à $\theta_A = 20^\circ\text{C}$, est $p_A = 3,0 \text{ bar}$, $V_A = 35 \text{ L}$.

- 1) Déterminer le nombre de moles de gaz contenues dans le pneu.
- 2) Quelle sera la pression dans le pneu pour une température du gaz à l'intérieur du pneu de $\theta_B = 10^\circ\text{C}$? de $\theta_C = 40^\circ\text{C}$?
- 3) Quatre pneumatiques identiques, dont la pression mesurée est p_A à T_A , sont montés sur une voiture de tourisme de masse totale $m = 1,440 \text{ t}$ répartie de manière équilibrée sur les deux essieux. Déterminer la surface de contact entre le pneu et le sol (suppose parfaitement dur et horizontal). On prendra $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Aide : La pression est une force surfacique ($p = \frac{\text{force}}{\text{surface}}$) ; le sol exerce sur les pneus 4 forces qui équilibrent le poids du véhicule.

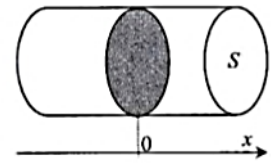
Exercice 4 : Equilibre entre 2 récipients

Une enceinte parfaitement calorifugée contient deux compartiments séparés par une paroi mobile initialement maintenue par des cales. La paroi mobile de masse négligeable laisse parfaitement l'équilibre thermique s'établir entre les deux compartiments. Le premier compartiment noté A de volume $V_A = 1,00 \text{ L}$ contient $0,30 \text{ mol}$ d'un gaz parfait de température $T_A = 293 \text{ K}$. Le second compartiment noté B de volume $V_B = 2,00 \text{ L}$ contient $0,10 \text{ mol}$ d'un gaz parfait de température $T_B = 293 \text{ K}$. On donne $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

1. Calculer les pressions initiales dans les 2 compartiments quand la paroi est bloquée.
2. La paroi mobile est libérée. Calculer les volumes, les températures et les pressions dans l'état d'équilibre final, pour les deux compartiments.
3. Reprendre l'étude dans le cas où $T_A = 293 \text{ K}$ et $T_B = 343 \text{ K}$.

Exercice 5 : Enceinte à 2 compartiments

On place dans les deux compartiments d'une enceinte la même quantité $n = 2,00 \text{ mol}$ de deux gaz parfaits monoatomiques identiques. Ces deux compartiments sont séparés par un piston mobile de section $S = 200 \text{ cm}^2$. Initialement, les deux gaz ont même température $T_0 = 300 \text{ K}$, même volume $V_0 = 10,0 \text{ L}$ et même pression $P_0 = 5,00 \text{ bar}$, et le piston est au centre de l'enceinte, à l'abscisse $x = 0$.



On donne : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. On élève la température du gaz du compartiment de gauche jusqu'à $T_F = 350 \text{ K}$, tout en maintenant la température du compartiment de droite à T_0 . Calculer l'abscisse x du piston une fois le nouvel état d'équilibre atteint.
2. Calculer les variations d'énergie interne des gaz des compartiments gauche et droit, puis la variation d'énergie interne de l'ensemble des deux gaz, entre les 2 états d'équilibre.

Exercice 6 : Capacités thermiques à volume constant de gaz parfaits

L'argon Ar est un gaz monoatomique d'énergie interne : $U(T) = \frac{3}{2} nRT$ et le dioxygène O_2 un gaz diatomique, d'énergie interne : $U(T) = \frac{5}{2} nRT$ (hypothèse gaz parfaits). Pour chaque gaz, donner les expressions de :

- a) la capacité thermique à volume constant C_v .
- b) la capacité thermique molaire à volume constant C_{vm} .
- c) la capacité thermique massique à volume constant c_v .
- d) La valeur de la variation d'énergie interne pour une augmentation de température de 10°C d'un kg de gaz ; comparer à la variation d'altitude nécessaire à une masse de 10 kg pour obtenir une variation d'énergie potentielle équivalente.

Application numérique : $M(Ar) = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exercice 7 : Pour chauffer de l'eau

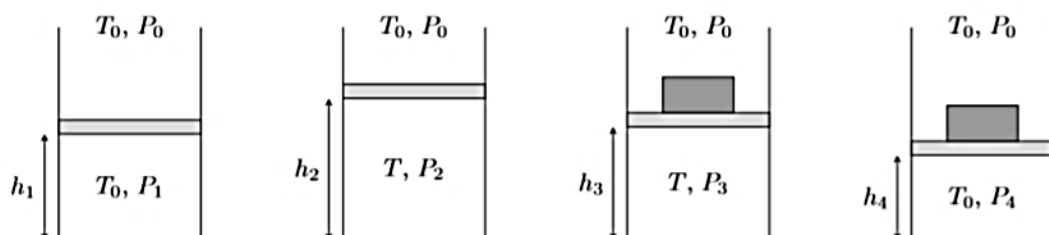
Quelle énergie thermique apporter à 1 L d'eau liquide pour la chauffer de 0° à 100°C à pression atmosphérique ?

Exercice 8 : Gaz parfait dans une enceinte

Une quantité de matière n de gaz parfait est enfermée dans une enceinte de surface de base S . Cette enceinte est fermée par un piston de masse m , à même de coulisser sans frottement, et permet les transferts thermiques, si bien que lorsqu'on attend suffisamment longtemps le gaz contenu dans l'enceinte est en équilibre thermique avec l'extérieur. Le milieu extérieur se trouve à température et pression constantes T_0 et P_0 . On fait subir au gaz la série de transformations suivante.

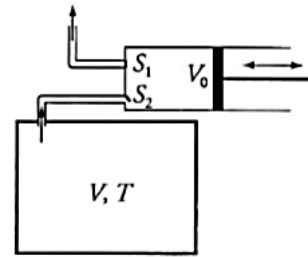
- ▷ Initialement, dans l'état (1), le système est au repos depuis suffisamment longtemps pour avoir atteint l'équilibre thermique et mécanique ;
- ▷ Le gaz est chauffé jusqu'à ce qu'il atteigne la température $T > T_0$, plaçant le système dans l'état (2) ;
- ▷ Une masse supplémentaire M est brusquement placée par dessus le piston : avant tout transfert thermique, le système est dans l'état (3) ;
- ▷ Enfin, l'équilibre thermique est atteint, le système est alors dans l'état (4).

Déterminer les quatre positions du piston h_1 à h_4 .



Exercice 9 : Pompe à vide

Pour faire le vide dans une enceinte, contenant de l'air et de volume V , on utilise une pompe. Elle est composée d'un cylindre à l'intérieur duquel se déplace, sans frottement, un piston. Le volume maximum d'air admissible dans le corps de pompe est V_0 , lorsque le piston est tiré complètement vers la droite. Lorsqu'il est poussé complètement à gauche, le piston peut atteindre le fond du cylindre. Deux soupapes, S_1 et S_2 , permettent l'admission de l'air venant de l'enceinte et son refoulement vers l'atmosphère extérieure dont la pression est P_0 . Un moteur électrique déplace le piston qui fait un aller et un retour quand le moteur a fait un tour. On assimilera l'air à un gaz parfait dont la température T reste constante lors du fonctionnement de la pompe.



Au départ, la pression dans l'enceinte est $P_0 = 1,000 \times 10^5 \text{ Pa}$. On néglige le volume du tuyau reliant la pompe à l'enceinte.

1. On étudie le premier aller-retour du piston. Au départ, la pression dans l'enceinte est P_0 , le piston est poussé à gauche. Puis, S_2 étant ouverte et S_1 fermée, il est tiré complètement vers la droite. Lors du retour du piston, S_1 est ouverte et S_2 est fermée, l'air contenu dans le cylindre est refoulé vers l'extérieur. Déterminer la pression P_1 à la fin de cette opération.
2. En reprenant le raisonnement précédent, déterminer la pression P_2 , dans l'enceinte, à la fin du deuxième aller du piston.
3. En déduire la pression P_N à l'intérieur de l'enceinte au bout de N allers-retours.
4. La fréquence de rotation du moteur est de $300 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Déterminer le temps t pour obtenir une pression de $0,001 \times 10^5 \text{ Pa}$. On donne $V = 10,0 \text{ L}$ et $V_0 = 50,0 \text{ cm}^3$.

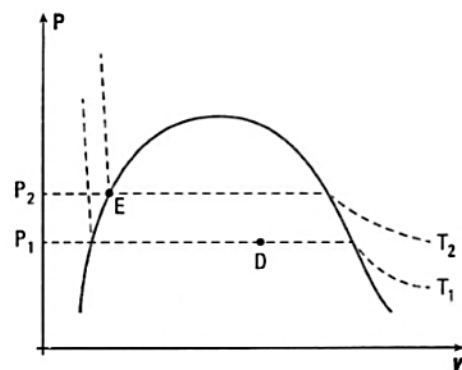
Exercice 10 : Pompe et pneus

- 1) La pression d'un pneu est ajustée l'hiver à -10°C à 2 atm (pression préconisée "à froid" par le constructeur). Sachant que le conducteur est capable de ressentir les effets néfastes d'un écart de 10 % par rapport à cette pression, sera-t-il nécessaire de corriger celle-ci l'été lorsque la température sera devenue $+30^\circ \text{C}$?
- 2) On gonfle un pneu automobile supposé initialement vide avec de l'air à 10°C et à la pression atmosphérique normale. Pendant l'opération, la température passe à 40°C et le volume est comprimé à 28% de sa valeur initiale.
 - a) Quelle est la pression dans le pneu ?
 - b) Quand l'automobile roule à grande vitesse, la température augmente à 85°C et le volume interne de pneu s'accroît de 2%. Quelle est alors la pression dans le pneu ?

Exercice 12 : Isothermes d'Andrews

Dans le diagramme de Clapeyron ci-contre, on considère deux isothermes d'Andrews de température T_1 et T_2 .

1. La température T_1 est-elle supérieure ou inférieure à la température T_2 ?
2. Placer sur le diagramme les points suivants :
 - A : Vapeur saturante à la pression P_1 sans liquide
 - B : Vapeur sèche à la pression P_1 à la température T_2
 - C : Liquide seul à la pression P_2 à la température T_2
3. Quel est l'état du système aux points D et E?



Exercice 13 : Chauffage isobare d'un mélange liquide-vapeur

Un cylindre muni d'un piston contient $0,1\text{m}^3$ d'eau liquide et $0,9\text{m}^3$ d'eau vapeur en équilibre sous 5 bars. Un transfert thermique isobare porte la température à 200°C .

1. Quelle est la température initiale?
2. Quelle est la masse totale d'eau?
3. Quel est le volume final?
4. Représenter la transformation en diagramme de Clapeyron.

On donne quelques extraits de tables thermodynamiques de l'eau :

- Sous 5 bars, la température d'ébullition de l'eau est $151,86^\circ\text{C}$, le volume massique du liquide est $\nu_l = 1,093 \times 10^{-3} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ et le volume massique de la vapeur est $\nu_v = 0,3749 \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Pour l'eau, entre 100 et 200°C , la pression de vapeur saturante est donnée, de façon approchée, par la formule de Duperray : $P(\text{en bars}) \approx \left(\frac{t}{100}\right)^4$ (t en $^\circ\text{C}$).

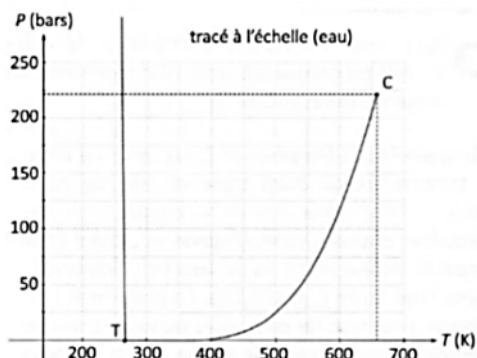
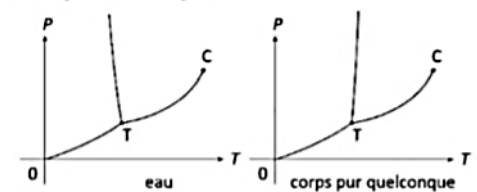
Exercice 14 : Quelques propriétés de l'eau

La figure ci-dessous représente l'allure du diagramme PT de l'eau pure et celui d'un corps pur quelconque.

Sur le second tracé à l'échelle, les coordonnées du point T sont $(273,16 \text{ K}; 6,11 \times 10^{-3} \text{ bar})$ et la pente de la courbe pratiquement verticale vaut $-133 \text{ bars} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Placer les trois états de l'eau sur ce diagramme en justifiant. Quelle spécificité le diagramme de l'eau présente-t-il?
2. On place de la vapeur d'eau à $P_0 = 1 \text{ bar}$ dans un cylindre dont les parois sont perméables à la chaleur, au contact d'un thermostat. On comprime lentement la vapeur d'eau : elle reste en équilibre thermique avec le thermostat.
 - (a) Qu'observe-t-on lorsque l'on comprime cette vapeur d'eau à une température $T_1 = 800 \text{ K}$? Représenter la transformation sur le diagramme.
 - (b) Mêmes questions pour la même opération à $T_2 = 600 \text{ K}$. Montrer qu'un phénomène remarquable se produit pour une pression P_L que l'on déterminera. Ce phénomène est-il observé pour tous les corps purs?

Allure générale du diagramme PT :



- L'eau est maintenant placée à la température $T_3 = 272\text{K}$, toujours sous une pression $P_0 = 1\text{bar}$.
 Quel est, d'après le diagramme PT, son état physique? Est-ce conforme à l'expérience quotidienne?
 Qu'observe-t-on en comprimant ce système tout en régulant sa température à $T_3 = 272\text{K}$? Déterminer la pression P_F pour laquelle une transformation remarquable se produit. Cette transformation est-elle spécifique au cas de l'eau?
 Qu'observe-t-on, pour une pression P_s , en abaissant la pression de ce système, toujours à $T_3 = 272\text{K}$ et en partant de P_0 ? Cette transformation est-elle spécifique au cas de l'eau?
- Expliquer le principe du patin à glace. Peut-on patiner sur un autre corps pur à l'état solide? Évaluer l'ordre de grandeur de la pression exercée par la lame d'un patin sur le sol et comparer à P_F . Commenter.

Exercice 15 : Stockage d'eau chaude

Une masse $m = 100\text{ kg}$ d'eau chaude est stockée dans une cuve fermée de volume $V_0 = 200\text{ L}$, que l'on modélise comme étant indéformable. Pour simplifier, on ne tient pas compte de l'air contenu dans la cuve en plus de l'eau. Suite à un échauffement accidentel, l'eau normalement maintenue à $T_0 = 60^\circ\text{C}$ passe à $T = 500^\circ\text{C}$.

La vapeur d'eau est modélisée par un gaz parfait. On tient compte de la légère compressibilité et dilatabilité de l'eau liquide par une équation d'état de la forme

$$\ln \frac{V}{V_0} = \alpha(T - T_0) - \chi_T(P - P_0) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \alpha = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \\ \chi_T = 5,0 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1} \end{cases}$$

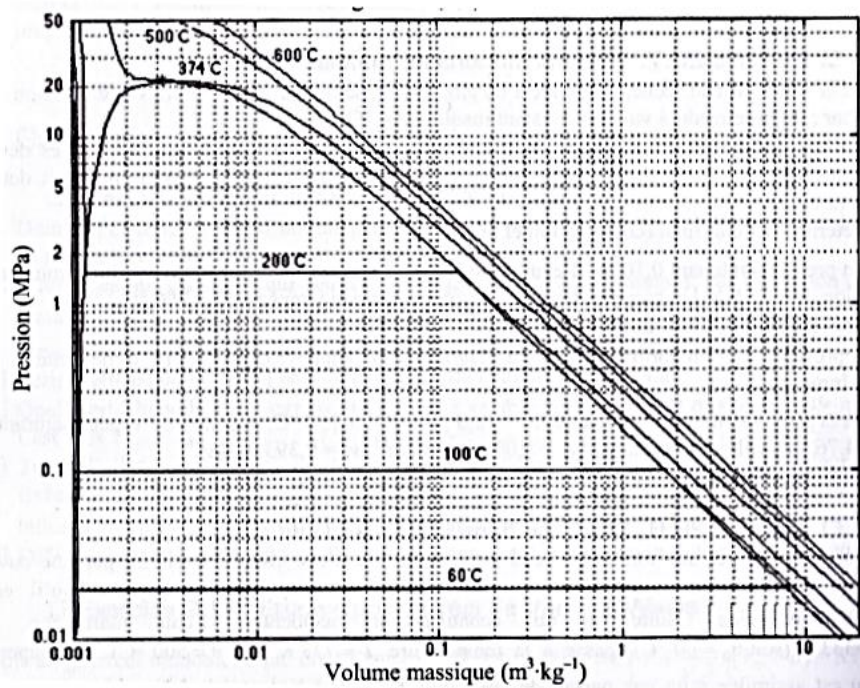


Figure 1 – Diagramme de Clapeyron (P, v) de l'eau. Plusieurs isothermes sont représentées pour des températures allant de 60 à 600°C. Attention, les échelles sont logarithmiques.

- En utilisant le diagramme de Clapeyron figure 1, déterminer la composition du mélange liquide-gaz initial.
- Sous quelle forme trouve-t-on l'eau après l'échauffement accidentel? Déterminer la pression P correspondante. Commenter.
- La soupape de sécurité permet au fur et à mesure du chauffage de laisser de la vapeur d'eau s'échapper : la cuve est finalement presque vide et ne contient plus que $m' = 400\text{ g}$ d'eau. Déterminer la pression finale et conclure.