EXERCICES — Chapitre 15 – Premier principe de la thermodynamique et bilan énergétique

Exercice 1 **L'air**

On appelle **CNTP** les **C**onditions **N**ormales de **T**empérature et de **P**ression, soit une température de 0°C et 1013 hPa la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.

(1) L'air est constitué, en première approximation, de 80% de diazote et de 20% de dioxygène. Quelle est la masse molaire de l'air ?

(2) Quelle est la masse molaire du dioxyde de carbone ?

(3) Quelles sont, par analyse dimensionnelle, les unités de la constante des gaz parfaits ($R = 8.314$ uSI) ?

(4) Exprimer la masse volumique ρ de l'air considéré comme un gaz parfait. La calculer (CNTP).

(5) On reprend la question précédente avec une température de 20°C. Comment varie la masse volumique d'un gaz quand sa température augmente ?

(6) On mélange 2 gaz. Montrer qu'à température et pression égale, le rapport de leur masse volumique est le rapport de leur masse molaire.

(7) Que se passe-t-il si on mélange 2 gaz de densité proche, comme le diazote et le dioxygène ?

(8) Que se passe-t-il si on mélange 2 gaz de densité différente, comme l'air et le dioxyde de carbone ?

(9) Une chambre funéraire égyptienne dans une pyramide avait toujours un accès par un tunnel descendant. Juste avant de se retirer pour la dernière fois, les égyptiens versaient de grande quantité de vinaigre sur du calcaire ($CaCO_3$). Pourquoi ?
Comment les pilleurs de tombe ont-ils réagit ?

Exercice 2 **Comparaison gaz réel et gaz parfait**

On considère un volume $V = 5.00$ L contenant une quantité $n = 1.00$ mol de gaz à la température $T = 300$ K.

(1) Le modèle du gaz parfait est un modèle dans lequel on néglige la taille des particules devant la distance moyenne entre 2 particules de ce gaz, ce qui amène aussi à négliger les interactions entre particules au sein du gaz. Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits.

Pour mieux décrire un gaz réel, Johannes Diderik Van der Waals, en 1873, propose un modèle plus sophistiqué prenant en compte à la fois la taille des particules (via un coefficient b parfois appelé covolume) et les interactions entre particules (via un coefficient a).

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

(2) Montrer que lorsque le volume augmente, les autres paramètres étant constants, l'équation de Van der Waals tend vers l'équation du gaz parfait. Pourquoi ?

(3) Par analyse dimensionnelle, montrer que b s'exprime en $\mathrm{m^3.mol^{-1}}$.

(4) En déduire comment compléter les valeurs de b pour l'eau et le butane dans le tableau de donnée ci-dessous. Puis le volume du néon et du dioxyde de carbone.

(5) Calculer la pression p_{GP} du gaz si on le suppose parfait.

(6) Compléter le tableau de donnée en calculant pour chaque gaz la pression p_{VdW} en supposant que le gaz suit le modèle de Van der Waals.

(7) Lequel de ces gaz se rapproche le plus d'un gaz parfait ? Interpréter.

(8) Expliquer l'allure des courbes de la Figure 1.

(9) Expliquer l'allure des courbes de la Figure 2.

Gaz	a ($\mathrm{Pa^2.m^6.mol^{-2}}$)	b ($\mathrm{m^3.mol^{-1}}$)	volume d'une particule ($\mathrm{m^3}$)	pression p_{VdW} (10^5 Pa)
Néon	0.02135	1.71×10^{-5}		
Dioxyde de carbone	0.364	4.267×10^{-5}		
Eau	0.554		5.06×10^{-29}	
Butane	1.47		2.04×10^{-28}	

La constante des gaz parfait est $R = 8.314$ uSI et le nombre d'Avogadro est $\mathcal{N}_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

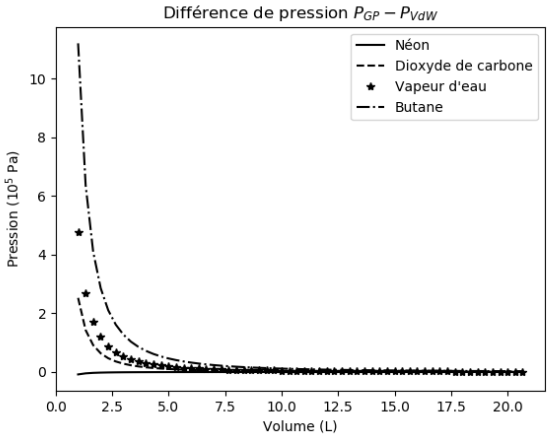


Figure 1

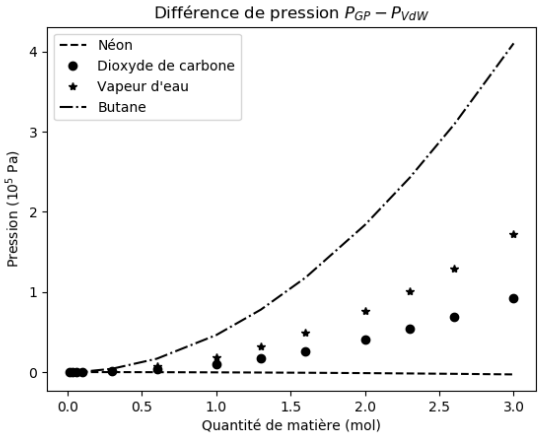


Figure 2

Exercice 3 **Energie interne, température et changement d'état**

(1) Pour chaque affirmation suivante, expliquer en quoi elle est vraie ou fausse.

(a) Il est plus facile d'augmenter de 1°C 1 kg de béton que de fer.

(b) Il faut la même quantité d'énergie pour augmenter d'un degré la température de l'eau liquide et celle de la glace.

(c) A 10% près environ, la vapeur d'eau et la glace ont le même comportement thermique.

(d) Il faut environ deux fois plus d'énergie pour augmenter d'un degré Celsius la température du béton par rapport au fer, à masse égale.

(e) A masse et apport d'énergie égaux, l'eau voit sa température augmenter moitié moins vite que la glace et la vapeur d'eau.

(f) A 10% près environ, il faut la même énergie pour augmenter d'un degré Celsius la température d'un m^3 d'air qu'un m^3 de béton. La masse volumique de l'air est d'environ 1.3 kg.m^{-3}, celle du béton, 2 tonne.m^{-3}.

(g) La chaleur latente de solidification de l'eau (le contraire de la fusion) est $L_{sol} = 334$ kJ.kg^{-1}.

(h) Faire fondre un kg de glace à 0°C pour obtenir un kg d'eau liquide à 0°C consomme 334 000 J.

(i) Condenser (le contraire de vaporiser) un kg de vapeur d'eau libère 2257 kJ d'énergie qui était contenue dans la vapeur d'eau.

(2) Un moyen de chauffage apporte 2.34 kJ.minute^{-1} à 100 g d'eau initialement à 10°C. Au bout de combien de temps, l'eau atteindra-t-elle 80°C ?

(3) On reprend la question précédente pour déterminer la température finale au bout de 1.35h de chauffe.

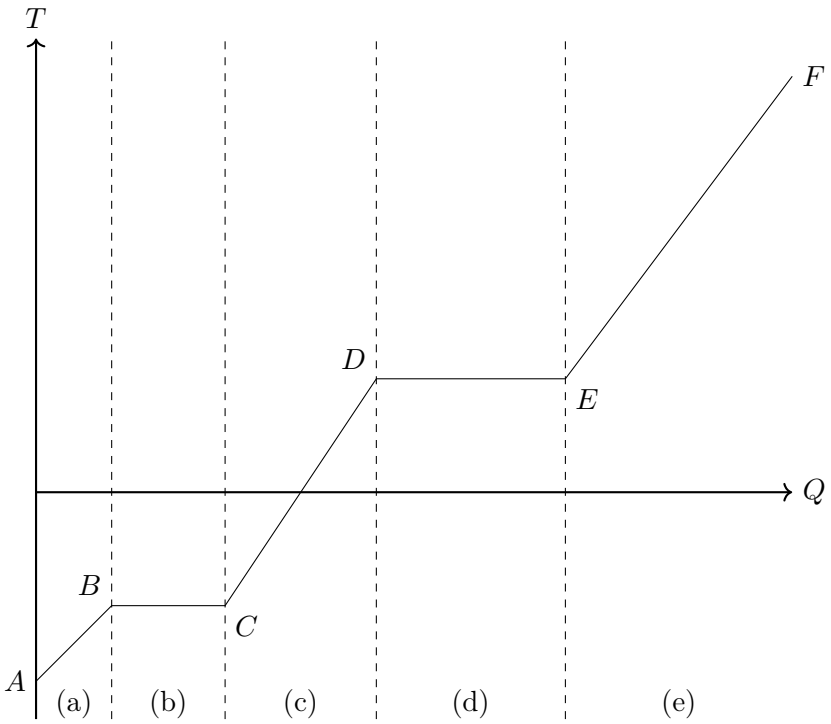
Capacité thermique massique (en J.K^{-1}.kg^{-1})

Eau (gaz)	1850
Eau (liquide)	4185
Eau (glace)	2060
Béton / Brique	880
Fer	444
Air	1004

Enthalpie de changement d'état pour l'eau
Chaleur latente de vaporisation de l'eau : $L_{vap} = 2257$ kJ.kg^{-1}
Chaleur latente de fusion de l'eau : $L_{fus} = 334$ kJ.kg^{-1}

On supposera toutes ces valeurs (capacité thermique et chaleur latente) **constantes** dans les gammes de température considérées.

Exercice 4 **Changement d'état et variation de température**



Variation de la température T en fonction de l'énergie reçue Q pour un **corps pur**.

(1) Faire correspondre les zones suivantes avec chaque lettre minuscule : solide, liquide, gaz, solide + liquide, liquide + gaz.

(2) En quel point apparaît la première parcelle de liquide ? de gaz ?

(3) En quel point disparaît la dernière parcelle solide ? liquide ?

(4) A quoi reconnaît-on sur une telle courbe que l'on a affaire à un corps pur ?

(5) Quel est le coefficient directeur de la droite entre A et B ? entre C et D, entre E et F ?

(6) Où situer sur le graphique la température de fusion T_{fus} ? la température de vaporisation T_{vap} ?

(7) Un transfert thermique Q est une grandeur algébrique. Qu'est-ce que cela signifie ? Peut-on prouver ici que Q est bien positif ?

(8) On considère une masse $m = 150$ g d'eau à la température $T_A = -15$°C. On apporte une énergie Q telle que sa température finale soit $T_F = 250$°C. Déterminer Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD}, Q_{DE} et Q_{EF}.

(9) En se référant aux valeurs de l'exercice 3, calculer la valeur de Q_{AE}.

Exercice 5 **Calorimètre**

Un calorimètre est une enceinte isolée thermiquement de manière à empêcher tout échange thermique avec l'extérieur. Sa partie interne peut quand même absorber de l'énergie thermique : sa capacité thermique est $C = 190$ J.K^{-1}.

On considère un morceau de laiton (alliage de cuivre et de zinc) dont on veut mesurer la capacité thermique. Tous les corps en jeu dans cet exercice sont incompressibles.

On met une masse $m_1 = 250$ g d'eau. Au bout de 5 minutes, on mesure une température $\theta_1 = 15.2$°C. Le morceau de laiton de masse $m_2 = 132$ g est mise à l'étuve. Au moment où on le transfère dans le calorimètre, il a la température $\theta_2 = 88.0$°C. Une dizaine de minutes plus tard, la température se stabilise à $\theta_f = 18.1$°C.

(1) On considère le système {calorimètre + eau + laiton} dont la variation d'énergie interne est ΔU. Quelle est la valeur de ΔU ?

(2) On appelle Q et Q' les transferts thermiques du corps chaud (le laiton) vers respectivement le calorimètre et l'eau. On appelle ΔU_{calo}, ΔU_{eau} et ΔU_{laiton} les variations d'énergie interne respectivement des sous-systèmes {calorimètre}, {eau} et {laiton}. Exprimer chaque variation d'énergie interne en fonction de Q et/ou Q'.

(3) Exprimer chaque variation d'énergie interne des 3 sous-systèmes en fonction des données de l'énoncé parmi C, m_1, m_2, θ_1, θ_2, θ_f et des capacités thermiques.

(4) Montrer que ΔU_{calo} et ΔU_{eau} sont positifs tandis que ΔU_{laiton} est négatif.

(5) Déterminer l'expression de la capacité thermique c_{laiton} du laiton en fonction des données du problème. Faire l'application numérique sachant que la capacité thermique de l'eau est $c_{\text{eau}} = 4185$ J.K^{-1}.kg^{-1}.

Exercice 6 **Chauffe-eau électrique**

Une famille de 5 personnes utilise un chauffe-eau électrique de 300 L. Chaque jour, la moitié du volume du ballon est porté de la température du réseau d'eau (14.0°C) à 65.0°C (pour tuer tout germe de salmonelle dans les canalisations). La résistance électrique du ballon a une puissance de 1500 W.
Les liquides sont incompressibles. Le ballon d'eau chaude est isolé thermiquement.
EDF utilise une unité d'énergie appelée le kilo-watt-heure (kWh). 1 kWh représente l'énergie associée à une puissance de 1 kW utilisée pendant 1 h. Le prix moyen du kWh est de 0.15€.
Combien de temps faut-il pour chauffer l'eau ? Combien cela coûte-t-il à l'année ? par mois ?
Si vous n'y arrivez pas, ne regardez pas la correction, passez à l'exercice suivant qui reprend l'exercice en développant les questions.
Données : $c_{\text{eau}} = 4185$ J.K^{-1}.kg^{-1} et $\rho_{\text{eau}} = 1.000$ g.cm^{-3}.

Exercice 7 **Chauffe-eau électrique 2**

On reprend les données de l'exercice précédent, mais les questions seront détaillées.

(1) On considère le système {eau contenue dans le ballon + résistance chauffante} : lui appliquer le premier principe. Montrer que $\Delta U = 0$.

(2) Quels sont les 2 sous-systèmes qui constituent le système ?

(3) Quel est le lien entre ΔU, ΔU_{eau} et $\Delta U_{\text{résistance}}$?

(4) Quel est le signe de $\Delta U_{\text{résistance}}$?

(5) Exprimer $\Delta U_{\text{résistance}}$ en fonction de la puissance P de la résistance chauffante et la durée de chauffage Δt.

(6) Quel est le signe de ΔU_{eau} ?

(7) Exprimer ΔU_{eau} en fonction des données de l'énoncé. Faire l'application numérique.

(8) En déduire la durée de chauffage en heure/minute.

(9) Calculer l'énergie correspond à une année de 365.25 jours de chauffe de l'eau chaude en kWh. En déduire le coût annuel puis mensuel pour la famille.

Exercice 8 **Ballon sonde**

On modélise un ballon sonde par une sphère de diamètre 4.0 m remplie de dihydrogène (à 20°C et 1013 hPa) dont l'enveloppe a une masse $m_e = 1.2$ kg. On veut l'équiper d'une nacelle de masse m avec des instruments de mesure.

(1) Quelle est la masse de dihydrogène contenue dans le ballon ?

(2) Déterminer le poids du ballon-sonde.

(3) Déterminer la poussée d'Archimède exercée sur le ballon.

(4) A quelle condition le ballon va-t-il s'élever dans les airs ? Quelle est la masse maxiale pouvant être emportée par le ballon-sonde ?

(5) Point de vue sécurité : à quoi faut-il faire attention ?

Données :

- volume d'une sphère de rayon r : $V = \dfrac{4}{3}\pi r^3$
- $g = 9.81$ N.m^{-1}