

Thème III. L'énergie : conversions et transferts (Thermodynamique) TD n°17 Descriptions microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

Exercice n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacités										
Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.	☞		☞				☞			
Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes expérimentales en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.							☞			
Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique.			☞			☞		☞		
Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.			☞			☞		☞		
Positionner les phases dans le diagramme (P, T) .				☞						
Analyser un diagramme (P, T) .				☞						
Positionner les phases dans un diagramme (P, v) .					☞					
Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v) .					☞					
Utiliser la notion de pression partielle pour adapter les connaissances sur l'équilibre liquide-vapeur d'un corps pur au cas de l'évaporation en présence d'une atmosphère inerte.									☞	

Parcours possibles

- ☁ Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : n°1, n°2, n°3, n°4 et n°5
- ☁ Si vous vous sentez moyennement à l'aise, mais pas en difficulté : n°1, n°3, n°5, n°6
- ☀ Si vous êtes à l'aise : n°6, n°7, n°8, n°9

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Gonflage d'une chambre à air

Une chambre à air de volume constant $V_c = 6 \text{ dm}^3$ contient initialement de l'air (assimilé à un gaz parfait) sous une pression $P_0 = 1 \text{ bar}$.

On souhaite porter la pression dans la chambre à air à la valeur $P_1 = 5 \text{ bar}$ à l'aide d'une pompe à main constituée d'un cylindre de volume $V_0 = 125 \text{ cm}^3$ et d'un piston coulissant permettant de refouler la totalité de l'air contenu dans le cylindre à la pression P_0 .

L'opération de gonflage a lieu à température constante $T_0 = 17 \text{ °C}$. On donne la masse volumique de l'air $\rho(T_0, P_0) = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

R1. Exprimer la quantité de matière initiale dans la chambre à l'air, et la quantité de matière finale.

Solution:

D'après la loi des gaz parfaits : $n_i = \frac{P_0 V_c}{RT_0} = 2,5 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$ et $n_f = \frac{P_1 V_c}{RT_0} = 1,2 \text{ mol}$

R2. Exprimer la quantité de matière que la pompe peut refouler dans la chambre à air au cours d'un coup de pompe.

Solution:

À chaque coup de pompe, le cylindre contient un volume d'air de V_0 à la pression P_0 , donc d'après la loi des gaz parfaits : $n_0 = \frac{P_0 V_0}{RT_0} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

R3. En déduire le nombre de coups de pompe nécessaire pour mener la chambre à air jusqu'à la pression P_1 , en fonction de P_0 , P_1 , V_c et V_0 .

Solution: Pour mener la chambre à air jusqu'à la pression P_1 , il faut $N = \frac{n_f - n_i}{n_c} = \frac{(P_1 - P_0)V_c}{P_0 V_0}$, soit

$$N = \left(\frac{P_1}{P_0} - 1 \right) \times \frac{V_c}{V_0} = 192$$

R4. Quelle est la pression dans la roue après k coups de pompe ?

Solution: À chaque coup de pompe, est ajoutée la quantité de matière n_0 .

Ainsi, après k coups de pompe, la quantité de matière dans la chambre à air : $n_k = n_i + k \times n_0 = \frac{P_0}{RT_0}(V_c + kV_0)$

La pression dans la chambre à air est donc : $P_k = \frac{n_k RT_0}{V_c} = P_0 \frac{V_c + kV_0}{V_c}$, soit $P_k = P_0 \left(1 + k \frac{V_0}{V_c} \right)$

R5. Quelle est la masse d'air contenue dans la chambre à air à l'état final en fonction de ρ_0 , V_c , P_0 et P_1 ?

Solution: À la fin, $m_f = \rho(T_f, P_f) \times V_c$

or la masse volumique d'un gaz parfait est donnée par : $\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V} = \frac{PM}{RT}$

ainsi $\rho_f = \frac{P_1 M}{RT_0} = P_1 \times \frac{\rho_0}{P_0}$

ainsi $m_f = \frac{P_1}{P_0} \rho_0 V_c$

Exercice n°2 Variations d'énergie interne

R1. Calculer la variation d'énergie interne de 25 cL d'eau liquide initialement à 15 °C et finalement à 100 °C.

R2. Calculer la variation d'énergie interne d'une mole de vapeur d'eau dont la température passe de 115 °C à 200 °C, à volume constant.

R3. Calculer la variation d'énergie interne d'une mole d'hélium initialement à 10 °C à 35 °C. On assimilera l'hélium à un gaz parfait.

R4. À la fin de la descente du cycliste, les disques du vélo sont à une température de 220 °C (contre 20 °C initialement). Leur masse est de $m = 0,5$ kg et la capacité thermique massique de l'acier est $c_V \approx 1000 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Calculer leur augmentation d'énergie interne.

Solution: Les disques du vélo peuvent être assimilés à un système fermé (la perte de matière est très faible lors du freinage!), et à une phase condensée incompressible et indilatable.

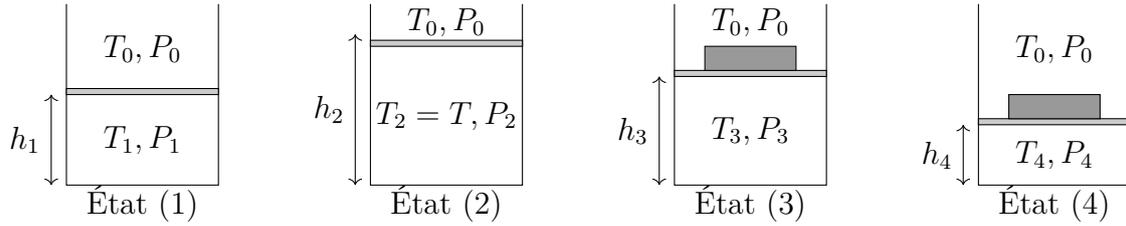
Ainsi $\Delta U = mc_V(T_f - T_i) = 100 \text{ kJ}$

Exercice n°3 Gaz parfait dans une enceinte

On enferme une quantité n de gaz parfait dans une enceinte fermée par une paroi mobile de section S et de masse m pouvant coulisser sans frottement. On considère que les parois sont diathermanes sur un temps long (permettent les échanges d'énergie thermiques). La pression de l'atmosphère extérieure est constante et notée P_0 . On fait subir au système les transformations suivantes :

- 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).



R1. Déterminer la température du gaz dans l'état (1) et l'état (4).

Solution: L'équilibre thermique est atteint dans l'état (1) et l'état (4), donc de part et d'autres des parois diathermanes les températures sont égales, donc $T_1 = T_0 = T_4$

R2. En étudiant l'équilibre du piston, exprimer la pression qui règne dans l'enceinte dans les états (1) et (2). Faire de même pour les états (3) et (4)

Solution:
 Dans les états (1) et (2), l'équilibre mécanique est atteint, donc $P_1 = P_2 = P_0 + \frac{mg}{S}$
 De même dans les états (3) et (4), donc $P_3 = P_4 = P_0 + \frac{(m+M)g}{S} = P_1 + \frac{Mg}{S}$

R3. Exprimer les hauteurs h_i dans les quatre états, en fonction de $n, S, m, M, T_0, T, T_3, P_0, g$ et R .

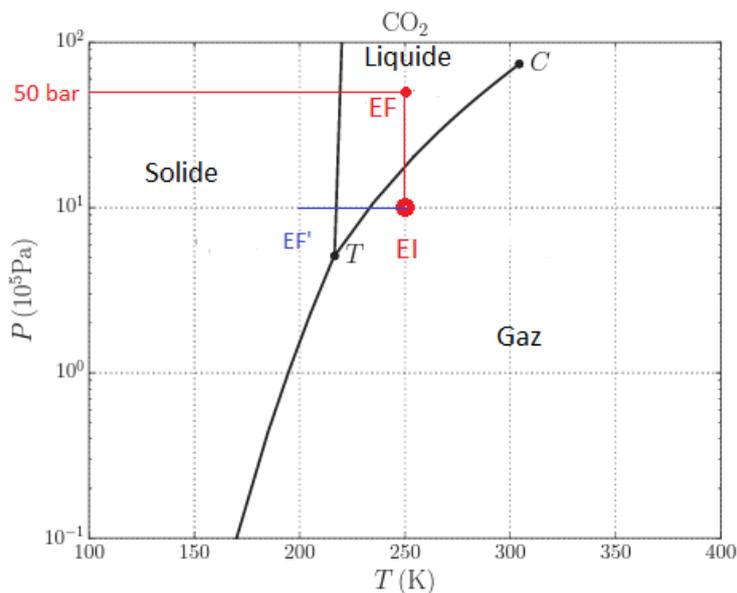
Solution: En appliquant la loi des gaz parfaits : $P_i V_i = nRT_i$, soit $P_i S h_i = nRT_i$, soit $h_i = \frac{nRT_i}{P_i S}$

État (1) : $h_1 = \frac{nRT_0}{P_0 S + mg}$
 État (2) : $h_2 = \frac{nRT}{P_0 S + mg} = \frac{T}{T_0} h_1$
 État (3) : $h_3 = \frac{nRT_3}{P_0 S + (m+M)g}$
 État (4) : $h_4 = \frac{nRT_0}{P_0 S + (m+M)g} = \frac{P_0 S + mg}{P_0 S + (m+M)g} h_1 = \frac{h_1}{1 + \frac{Mg}{P_0 S + mg}}$

Exercice n°4 Lecture d'un diagramme (P, T)

La figure ci-contre montre le diagramme (P, T) du dioxyde de carbone.

- R1. Placer les phases sur le diagramme.
 R2. On se place dans les conditions initiales suivantes $T_i = 250 \text{ K}$, $P_i = 10 \text{ bar}$. Placer ce point dans le diagramme (P, T) et en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état initial.



Solution: Le dioxyde de carbone est à l'état gazeux dans l'état initial.

- R3. Partant de cet état, on comprime lentement le dioxyde de carbone à température constante, pour terminer à la pression $P_f = 50 \text{ bar}$. Placer le point final sur le graphe, en déduire dans quelle phase se trouve le dioxyde de carbone dans l'état final. Décrire alors les différentes étapes de cette compression.

Solution: Le dioxyde de carbone est à l'état liquide dans l'état final.

- R4. Tracer l'allure du graphe qui représente la pression du CO_2 en fonction du temps.

Solution: Au cours de la compression, tant que le CO_2 est à l'état gazeux, la pression augmente. À partir de l'apparition de la première goutte de $\text{CO}_2(\ell)$ et jusqu'à disparition de la dernière bulle de $\text{CO}_2(g)$, la pression reste constante égale à $10,7 \text{ bar}$ (environ) lors de la compression, car le système est à l'équilibre sous deux phases et la température est fixée. Une fois le $\text{CO}_2(\ell)$ entièrement liquide, la pression augmente à nouveau.

- R5. Faire la même analyse si à la place d'une compression isotherme, on réalise un refroidissement lent à pression constante amenant le CO_2 dans l'état final $T'_f = 200 \text{ K}$, $P'_f = 10 \text{ bar}$. On tracera cette fois l'évolution de la température avec le temps.

Solution: Le dioxyde de carbone est à l'état solide dans l'état final EF' .
 Au cours du refroidissement, tant que le CO_2 est à l'état gazeux, la température diminue. À partir de l'apparition de la première goutte de $\text{CO}_2(\ell)$ et jusqu'à disparition de la dernière bulle de $\text{CO}_2(g)$, la température reste constante lors de la compression, car le système est à l'équilibre sous deux phases et la pression est fixée. Une fois le $\text{CO}_2(\ell)$ entièrement liquide, la pression augmente à nouveau, jusqu'à l'apparition du premier grain de $\text{CO}_2(s)$. La température reste alors constante jusqu'à disparition de la dernière goutte de $\text{CO}_2(\ell)$. Une fois qu'il n'y a que du $\text{CO}_2(s)$, la température continue à augmenter.

Exercice n°5 Règle des moments

On considère une masse $m = 1,0 \text{ kg}$ d'argon enfermée dans une enceinte indéformable de volume $V_0 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$, à la température $T_i = 90 \text{ K}$. La figure ci-dessous montre le diagramme de Clapeyron de l'argon, de masse molaire $M_{Ar} = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- R1. Indiquer sur ce diagramme les zones correspondant à l'argon liquide, gazeux, et diphasé.

Solution: Petit volume massique : liquide ; Grand volume massique : gaz ; sous la courbe de saturation : gaz+liquide à l'équilibre.

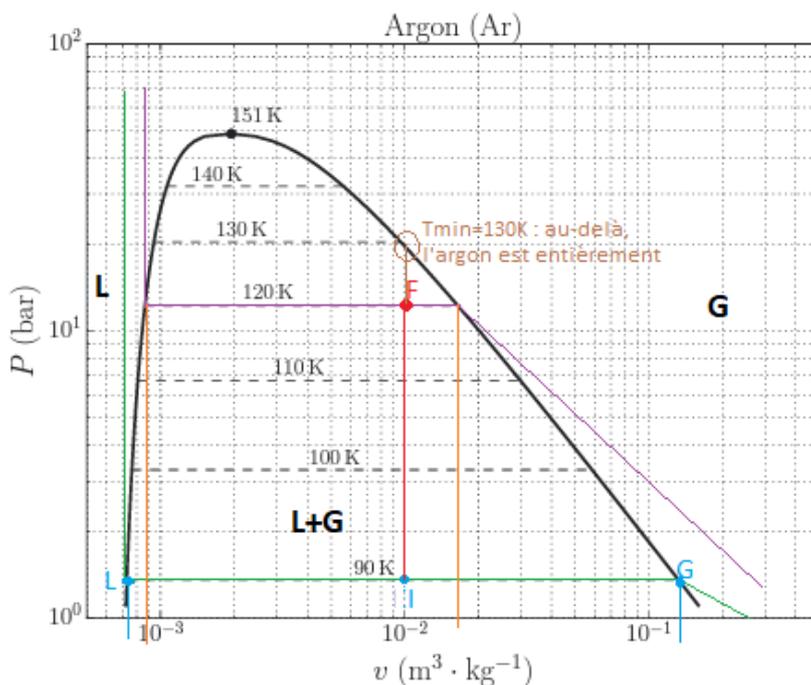
R2. Compléter ce diagramme en traçant l'allure des isothermes $T = 90\text{ K}$ et $T = 120\text{ K}$.

Solution:

Les isothermes sont horizontales dans le domaine G+L.

Elles sont quasiment verticales dans le domaine du liquide car il est très peu compressible et son volume reste donc constant malgré l'augmentation de la température.

Elles sont de type $P = \frac{k}{V}$ (si GP) dans le domaine du gaz, en échelle log cela donne une droite d'équation $\log(P) = \log(k) - \log(V)$ de pente -1 .



R3. Placer sur le graphe le point I correspondant aux conditions de température et de volume données ci-dessus. En déduire la fraction massique $x_{I,\ell}$ en argon liquide présent initialement dans l'enceinte, ainsi que la pression de vapeur saturante de l'argon à 90 K .

Solution: Volume massique initial : $v_I = \frac{V_0}{m} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ et $T_i = 90\text{ K}$.

Le théorème des moments donne le titre massique en liquide

$$x_{I,\ell} = \frac{MG}{LG} = \frac{v_g(90\text{ K}) - v_I}{v_g(90\text{ K}) - v_\ell(90\text{ K})} = \frac{0,12 - 10^{-2}}{0,12 - 7,5 \cdot 10^{-4}} = 0,92$$

Pression de vapeur saturante de l'argon à 90 K : $P_{\text{sat}}(T_i) = 1,2\text{ bar}$

R4. On chauffe à présent l'enceinte jusqu'à la température de 120 K . Indiquer sur le graphe la position du point final F , et le chemin suivi pour aller de I à F . Déterminer la fraction massique $x_{F,\ell}$ en argon liquide présent dans l'enceinte dans l'état final, ainsi que la valeur de la pression de vapeur saturante de l'argon à 120 K . Le mélange s'est-il appauvri ou enrichi en liquide ?

Solution:

Fraction finale massique en liquide $x_{F,\ell} = \frac{MG}{LG} = \frac{v_g(120\text{ K}) - v_F}{v_g(120\text{ K}) - v_\ell(120\text{ K})} = \frac{1,7 \cdot 10^{-2} - 10^{-2}}{1,7 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{-4}} = 0,43$:

le mélange s'est appauvri en liquide.

R5. Déduire du graphe la température minimale à imposer à l'enceinte pour que l'argon soit entièrement sous forme gazeuse. À quelle pression correspond-elle ?

Solution: Le volume massique est constant, la température minimale à imposer à l'enceinte pour que l'argon soit entièrement sous forme gazeuse est la température de l'isotherme qui passe par l'intersection entre la verticale de $v_I = v_F$ et la courbe de rosée. On lit donc $T_{\text{min}} = 130\text{ K}$, et la pression $P = 20\text{ bar}$.

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°6 Équilibre d'un piston (d'après oral CCP)

Un récipient aux parois diathermane (permettant l'équilibre thermique avec l'extérieur) est fermé par un piston lui-même diathermane, dont la masse sera négligée.

Le récipient contient une mole d'eau dont la fraction en vapeur sera considérée comme un gaz parfait.

À l'état initial d'équilibre, le piston est bloqué de telle sorte que le volume du récipient soit égal à $V_i = 0,10 \text{ m}^3$.

On note T_i, P_i respectivement la température initiale et la pression initiale de l'eau dans le récipient.

La température et la pression extérieures valent respectivement $T_0 = 373 \text{ K}$ et $P_0 = 1,01 \text{ bar}$.

Le piston est lâché à l'instant $t = 0$, puis bloqué de telle sorte que le volume du récipient soit égal à $V_f = 0,010 \text{ m}^3$. On note P_f, T_f respectivement la pression et la température finales de l'eau dans le récipient.

R1. Dans quel état se trouve initialement l'eau ?

Solution:

Système : 1 mole eau contenue dans l'enceinte

EI	isochore	EF
$V_i = 0,10 \text{ m}^3$		$V_f = 0,010 \text{ m}^3$
$P_i = ?$		$P_f = ?$
$T_i = T_0$		$T_f = T_0$

Les parois étant diathermanes, le système est à l'équilibre thermique si sa température est la même que la température extérieure, donc

$$T_i = T_0$$

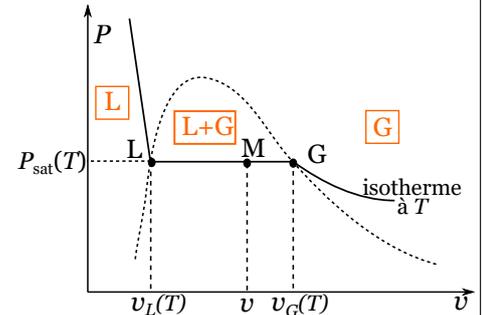
Faisons l'hypothèse que l'eau est entièrement à l'état gazeux et appliquons la loi des gaz parfaits pour

déterminer la pression :
$$P_i = \frac{nRT_0}{V_i}$$

A.N. : $P_i = 3,110^4 \text{ Pa} < P_{\text{sat}}(T_0)$: l'hypothèse est vérifiée.

Le système est donc entièrement à l'état gazeux à l'état initial.

On peut également calculer la volume massique du système : $v_i = \frac{V_i}{m} = \frac{V_i}{n \times M} = 5,6 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} > v''$, donc le système est entièrement gazeux.



R2. Montrer que l'eau est sous deux phases à l'état final et calculer la fraction massique en vapeur d'eau.

Solution:

Volume massique du système : $v_f = \frac{V_f}{m} = \frac{V_f}{n \times M} = \frac{0,01}{1 \times 18 \cdot 10^{-3}} = 0,56 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$

$v' < v_f < v''$: donc le système est à l'équilibre liquide-gaz.

Appliquons le théorème des moments : $x_G = \frac{v - v_L}{v_G - v_L}$,

avec $v_L = v' = 1,0 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; $v_G = v'' = 1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$

Ainsi $x_G = 0,33$

Données de la vapeur saturée :

T (°C)	P (bar)	v'' ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)
100	1,01	1,7

Le volume massique v' de l'eau liquide saturant sera pris égal à $1,0 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ aux deux températures envisagées.

Exercice n°7 Gaz de Clausius

R1. Donner l'équation d'état d'un gaz parfait et rappeler les hypothèses qui permettent définir un tel gaz, à l'échelle microscopique.

L'Argon est un gaz noble qui peut être caractérisé par l'équation d'état suivante, à l'équilibre : $P(V_m - b) = RT$, où P est la pression du gaz, V_m sont volume molaire, b une constante propre au gaz, R la constante des gaz parfaits et T la température.

R2. Quelle est la dimension de b ? Donner son unité en système international.

Le diagramme d'Amagat prend en ordonnée le produit PV_m et en abscisse P .

- R3. Tracer l'allure de deux isothermes de l'Argon dans le diagramme d'Amagat. Vous préciserez laquelle correspond à la température la plus haute.
- R4. Si l'on arrive à tracer de telles courbes expérimentalement, comment en extraire la valeur de b ?
- R5. Que devient l'équation d'état lorsque P tend vers zéro ? Commenter.

Exercice n°8 Cocotte minute

Au voisinage de $100\text{ }^\circ\text{C}$, la pression de vapeur saturante de l'eau vaut : $P_s = P_0 \left(\frac{t}{100}\right)^4$ où $P_0 = 1\text{ bar}$ et t la température en $^\circ\text{C}$.

On considère une cocotte-minute dont la soupape a une masse de 40 g et le tuyau de soupape une section de 4 mm^2 . On met de l'eau dans la cocotte-minute et on ferme hermétiquement le couvercle. L'ensemble est ensuite placé sur un brûleur de cuisinière. Au bout d'un certain temps, la soupape se met en rotation. Quelle est la température à l'intérieur de la cocotte-minute ? Commentaire.

Solution: La soupape est soumise :

- à la force de pression extérieure $-P_0 S \vec{u}_z$
- à la force de pression intérieure $+P_i S \vec{u}_z$
- à son poids $m \vec{g} = -mg \vec{u}_z$

Au début, la pression qui règne dans la cocotte minute vaut P_0 , et la soupape est en butée, et ne peut bouger librement.

Quand on chauffe, la pression dans la cocotte augmente, quand elle dépasse $P_0 + \frac{mg}{S}$, la soupape se soulève et se met en rotation sous l'effet du départ de gaz de la cocotte.

On peut penser que l'air quitte rapidement la cocotte minute, avant l'eau, devenue vapeur (et toujours en formation tant qu'il reste de l'eau liquide).

Rapidement, il n'y aura plus d'air dans la cocotte.

Alors la soupape bouge quand $P_s > P_0 + \frac{mg}{S}$, soit $t > 100 \times \left(1 + \frac{mg}{P_0 S}\right)^{1/4} = 119\text{ }^\circ\text{C}$

Exercice n°9 Bassine d'eau

On entend parfois qu'il peut être bien de placer une bassine d'eau dans sa chambre pour dormir, lorsque l'air de celle-ci est trop sec.

On considère une chambre de 12 m^2 au sol, et de hauteur de plafond de $2,5\text{ m}$. La bassine utilisée contient $2,0\text{ L}$ d'eau, de masse volumique à température ambiante $\rho = 1,0\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, et de masse molaire $M_{\text{eau}} = 18\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

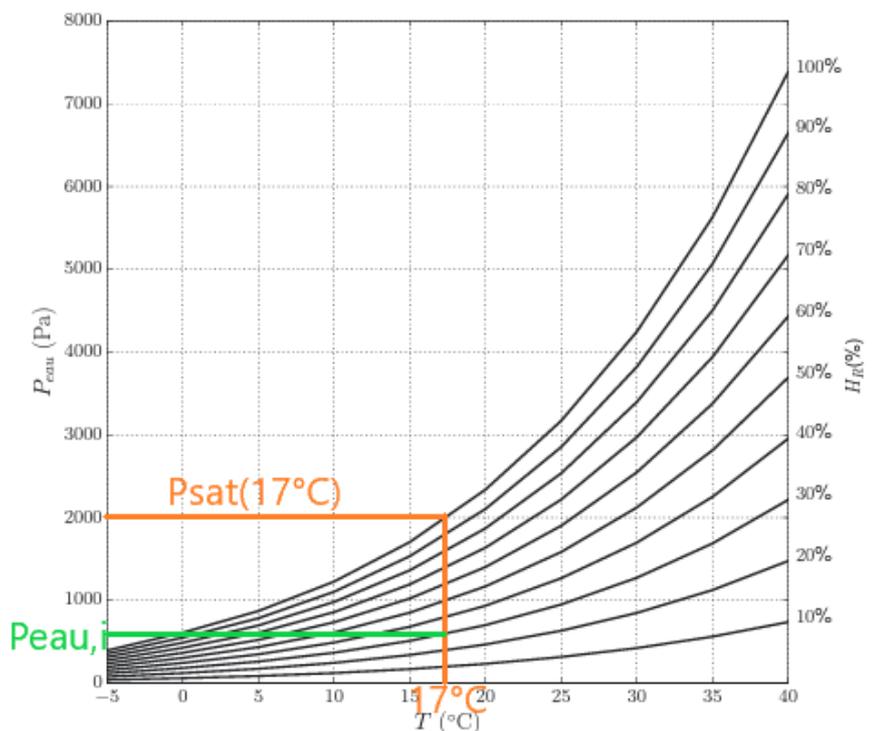
On définit l'humidité relative H_R comme le rapport de la pression partielle en vapeur d'eau dans l'air sur la pression de vapeur saturante de l'eau, à la même température :

$$H_R = \frac{P_{\text{eau}}}{P_{\text{sat, eau}}(T)}$$

Le diagramme ci-contre représente un abaque définissant la valeur de la pression partielle en vapeur d'eau en fonction de la température et de l'humidité relative.

Avant de mettre la bassine, l'humidité relative de la chambre est de 30% , la pression totale est de $1,0\text{ bar}$ et la température est de $17\text{ }^\circ\text{C}$.

- R1. Déterminer, à partir du diagramme, la pression de vapeur saturante de l'eau à la température de la chambre, ainsi que la pression partielle initiale en vapeur d'eau.



Solution:

La pression de vapeur saturante à la température de 17 °C se lit sur la courbe de $H = 100\%$ à la température de 17 °C : $P_{\text{sat}} = 2000 \text{ Pa}$

On en déduit la pression partielle en eau : $P_{\text{eau}}^i = H_i \times P_{\text{sat}} = 600 \text{ Pa}$ (ce qu'on aurait également pu lire sur la courbe d'humidité à 30 %).

R2. En déduire la quantité d'eau vapeur en moles initialement présente dans la chambre et la masse correspondante.

Solution: D'après la loi des gaz parfaits : $n_i = \frac{P_{\text{eau}}^i V}{RT} = 7,5 \text{ mol}$

Masse d'eau vapeur initialement : $m_i = n_i \times M_{\text{eau}} = 0,13 \text{ kg}$

R3. Pourquoi l'eau liquide contenue dans la bassine s'évapore-t-elle ? Jusqu'à quand ce phénomène se produira-t-il ?

Solution: La pression partielle en eau dans l'atmosphère est inférieure à la pression de vapeur saturante à la température de la chambre, donc l'eau est à l'équilibre à l'état vapeur. L'eau s'évapore jusqu'à ce que la pression partielle en eau soit égale à la pression de vapeur saturante ou jusqu'à ce que la bassine soit vide.

R4. Déterminer la quantité d'eau en moles qui s'évaporera de la bassine, ainsi que la masse et le volume qui correspondent. Restera-t-il de l'eau dans la bassine ?

Solution: Calculons la masse d'eau vapeur qui sature l'atmosphère en eau :

$$m_{\text{sat}} = n_{\text{sat}} \times M_{\text{eau}} = \frac{P_{\text{sat}} V M_{\text{eau}}}{RT} = 0,45 \text{ kg}$$

Ainsi la masse d'eau liquide issue de la bassine qui doit s'évaporer pour saturer la pièce en eau est de $m_{\text{sat}} - m_i = 0,31 \text{ kg}$

Initialement, il y avait dans la bassine la masse d'eau : $m_{\text{bassine}}^i = \rho \times V_{\text{bassine}} = 2,0 \text{ kg}$

Par conséquent, il restera la masse de 1,69 kg d'eau liquide dans la bassine.

III Résolutions de problème

Exercice n°10 Existence d'une atmosphère ?

On donne les caractéristiques de trois planètes telluriques du système solaire.

Système solaire	Mercure	Vénus	Terre
Diamètre	4 880 km	12 100 km	12 700 km
Masse	$3,30 \cdot 10^{23} \text{ kg}$	$4,87 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Température maximale à sa surface	430°C	470°C	40°C

Expliquer l'existence ou non d'atmosphère sur ces planètes.

Solution:

Pour qu'il existe une atmosphère il faut que la vitesse de libération soit supérieure à la vitesse d'agitation thermique, sinon avec l'agitation les molécules de l'atmosphère quitteraient l'attraction de la planète.

La vitesse de libération est définie comme la vitesse minimale à communiquer depuis le sol de la planète à un système pour qu'il puisse s'échapper de l'attraction de la planète. Cela se produit quand le système a

une énergie mécanique nulle : $\mathcal{E}_m = 0 = \frac{1}{2} m v_{\text{lib}}^2 - \frac{GMm}{R}$, soit $v_{\text{lib}} = \sqrt{2 \frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{4GM}{D}}$

La vitesse d'agitation thermique est donnée par : $\frac{3}{2}k_B T = \frac{1}{2}m(v^*)^2$, soit $v^* = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3k_B N_A T}{M}}$

En considérant l'air $M = 29,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Système solaire	Mercure	Vénus	Terre
Diamètre	4 880 km	12 100 km	12 700 km
Masse	$3,30 \cdot 10^{23} \text{ kg}$	$4,87 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Température maximale à sa surface	430°C	470°C	40°C
Vitesse de libération	$4,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	$10,4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	$11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Vitesse d'agitation thermique	$765 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$787 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$511 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

La vitesse de libération est supérieure à toutes les vitesses d'agitation thermique, une atmosphère peut exister sur ces trois planètes.

Cependant, la vitesse d'agitation thermique ne donne qu'une moyenne des vitesses des molécules, donc certaines ont des vitesses bien plus importantes. On peut imaginer que sur Mercure davantage de molécules pourront s'échapper, et l'atmosphère sera moins dense.

Sur wikipedia : L'atmosphère de Mercure s'est dissipée rapidement après la formation de la planète, sous l'action conjuguée de la faible gravité de la planète, de la haute température de surface et des effets du vent solaire. Néanmoins, de nos jours, il y a encore des traces d'une atmosphère extrêmement ténue, contenant de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'hélium, du sodium, du calcium, du potassium et de la vapeur d'eau, avec un niveau de pression combiné mal connu.