

Description d'un système thermodynamique à l'équilibre

QUESTIONS DE COURS

- ↪ Définir un système thermodynamique, un système fermé/isolé/ouvert. Donner des exemples.
- ↪ Quelles sont les 3 échelles de description d'un système ?
- ↪ Qu'est-ce qu'un paramètre d'état ?
- ↪ Quelles sont les caractéristiques de la force pressante ?
- ↪ Qu'est-ce qu'une grandeur extensive/intensive ? Donner 2 exemples dans chaque cas.
- ↪ Définir l'équilibre thermodynamique. Expliquer les conditions d'équilibre thermique et mécanique.
- ↪ Qu'est-ce qu'une équation d'état ? La préciser pour un gaz parfait et une phase condensée idéale (les 2 modèles sont à définir).
- ↪ Qu'est-ce qu'une fonction d'état ? Que peut-on dire de la variation d'une fonction d'état entre deux états d'équilibre ?
- ↪ Citer quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens. Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
- ↪ Définir l'énergie interne d'un système.
- ↪ Quelle est l'énergie interne pour un gaz parfait monoatomique ?
- ↪ Donner la 1^{ère} loi de Joule. Pour quels systèmes s'applique-t-elle ?
- ↪ Définir la capacité thermique à volume constant, ainsi que les capacités thermiques à volume constant molaires et massiques. Donner l'expression des capacités thermiques à volume constant pour un gaz parfait monoatomique, pour un gaz parfait diatomique.
- ↪ Quel lien existe-t-il entre la variation d'énergie interne entre deux états et la capacité thermique à volume constant (à démontrer) ?

SAVOIR-FAIRE

Savoir-faire 1 - Utiliser l'équation d'état des gaz parfaits

La pression préconisée pour les pneus d'une voiture est de l'ordre de 2,2 bar à froid.

On suppose qu'après avoir roulé une vingtaine de kilomètres, la température est de 40°C, alors qu'actuellement, la température extérieure est de l'ordre de 20°C.

Quelle sera la pression à froid des pneus, si on les a, au préalable, gonflés à 2,2 bar, après un trajet d'une vingtaine de kilomètres ? On considère que le volume des pneus reste à peu près constant au cours du trajet.

Savoir-faire 2 - Déterminer les paramètres d'état à l'équilibre

On considère un gaz de pression P_i , température T_i et volume V_i contenu dans un récipient dont la paroi supérieure est mobile.

- 1/ On laisse le système longtemps dans une pièce à température T_0 et pression P_0 atmosphérique. Quel est l'état final du système ?
- 2/ On ajoute une masse m sur la paroi mobile. Le système évolue-t-il ? Si oui, déterminer les paramètres d'état du système à l'état final.

L'INCONTOURNABLE

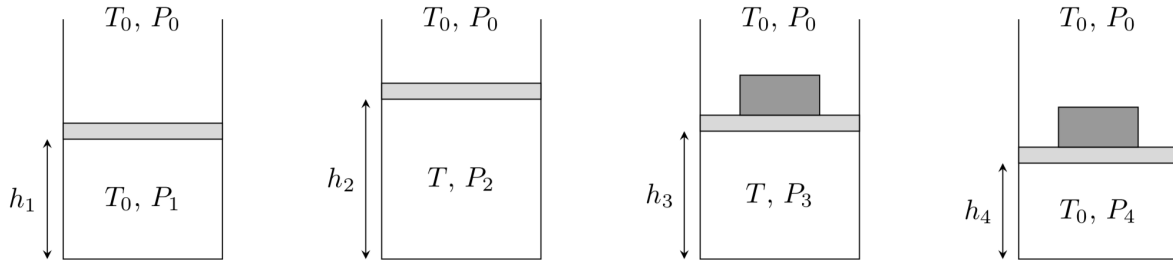
Exercices à maîtriser pour pouvoir appréhender sereinement un sujet d'oxydoréduction.

Exercice 1 : 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 thermodynamique ;
- ↪ 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 .

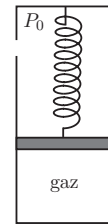


POUR S'ENTRAÎNER

On prend l'incontournable et on l'étoffe.

Exercice 2 : Compression d'un gaz

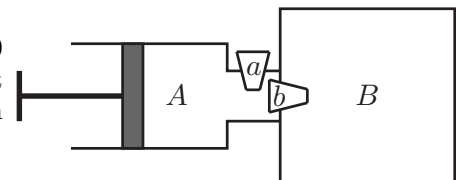
Considérons le système représenté sur la figure suivante à l'équilibre thermodynamique. La piston est libre de se déplacer sans frottement. La masse du piston m_p est de 4,0 kg et sa section S de 35 cm². De plus, le ressort de raideur $k = 6,0 \cdot 10^3$ N.m⁻¹ est comprimé de $b = 1,0$ cm.



Sachant que la pression atmosphérique ambiante P_0 est de 0,95 bar, déterminer la pression au sein du gaz.

Exercice 3 : Pompe à vélo

On utilise une pompe dont le corps A a un volume maximal $V_P = 200$ mL pour gonfler d'air une chambre à air B supposée de volume constant $V_0 = 5$ L. Les soupapes (a) et (b) ne laissent passer l'air que dans un sens.



Lors de chaque coup de pompe, le piston effectue un aller-retour complet faisant varier A d'un volume 0 à un volume V_P , on suppose les évolutions isothermes. Au début de l'opération, la température de l'air est $T = 298$ K et sa pression $P_0 = 10^5$ Pa dans tous les compartiments et à l'extérieur, on précise que la pompe est préalablement remplie d'air au volume V_P .

- 1/ Préciser le sens dans lequel les soupapes laissent passer l'air.
- 2/ Calculer la pression de l'air P_1 à l'intérieur de B au bout du premier aller-retour.
- 3/ Établir la relation entre P_k, P_0, V_P, V_0 , et k . (P_k désigne la pression dans la chambre à air après k coups de pompe). Calculer le nombre de coups de pompe nécessaires à gonfler jusqu'à $P_f = 5$ bar.

POUR ALLER PLUS LOIN

Exercices pas nécessairement plus difficiles mais moins classiques.

Exercice 4 : Modélisation d'un gaz réel

Dans cet exercice, on se propose d'analyser et de discuter des modèles alternatifs à celui du gaz parfait pour décrire un gaz.

Modèle de Clausius :

Le modèle de Clausius conduit à l'équation suivante :

$$P(V_m - b) = RT$$

où b est un coefficient empirique positif.

- 1/ Écrire l'équation d'état du gaz pour une quantité de matière n .
- 2/ Tracer les isothermes du gaz de Clausius dans le diagramme d'Amagat. Comment vérifier expérimentalement la validité de ce modèle et déterminer la valeur de b ?
- 3/ Quelle est la dimension de b ?
- 4/ Que vaut le volume limite du gaz lorsque la pression devient très grande ? En déduire le sens physique de b .

Modèle de Van der Waals :

La modélisation de Van der Waals fondée sur la prise en compte des interactions entre les particules, conduit à l'équation d'état suivante :

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

où a et b sont des coefficients empiriques positifs.

- 5/ Analyser l'effet sur la pression du terme $\frac{n^2 a}{V^2}$. Quelle réalité physique traduit-il ?
- 6/ Montrer que pour $\frac{b}{V_m} \ll 1$, hypothèse dont on donnera le sens, l'équation d'état du gaz de Van der Waals devient :

$$PV_m = RT \left(1 + \frac{A(T)}{V_m}\right)$$

où on donnera l'expression de $A(T)$.

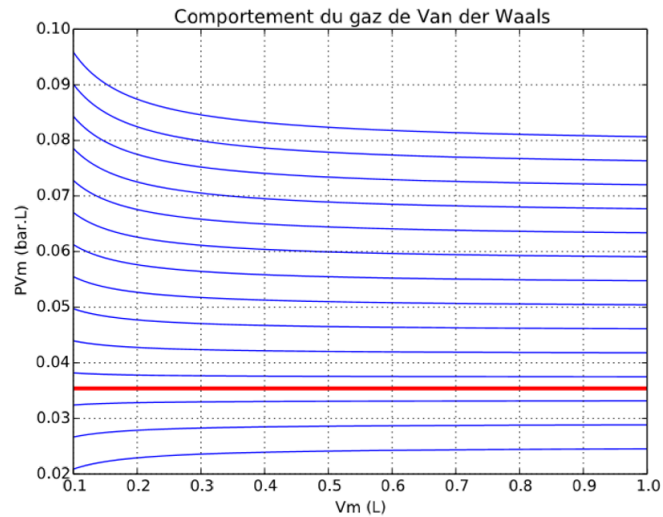
- 7/ Pour $a = 0,137 \text{ J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-2}$ et $b = 3,87 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, a été tracé ci-dessous le réseau d'isothermes $PV_m = f(V_m)$ pour des températures comprises entre 300 K et 1000 K pour V_m compris entre 0,1 L et 1 L. Commenter.
- 8/ Montrer qu'il existe une température T_M , dite température de Mariotte, pour laquelle le modèle est identique à celui du gaz parfait dans les conditions où $\frac{b}{V_m} \ll 1$ et déterminer sa valeur. Ajouter l'isotherme T_M au diagramme précédent.

Exercice 5 : Énergie interne d'un gaz

Les valeurs expérimentales de l'énergie interne massique de la vapeur en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'eau sont les suivantes :

T (K)	523	573	623	673
à $P = 10$ bars	2711	2793	2874	2956
à $P = 20$ bars	2683	2773	2859	2944

- 1/ Tracer les courbes donnant l'énergie interne en fonction de la température.
- 2/ A-t-on un gaz parfait ? Justifier.
- 3/ Comparer la capacité thermique à volume constant à celle d'un gaz parfait monoatomique.



Exercice 6 : Atmosphère de Titan

Cet exercice demande un peu de réflexion...

Titan est un satellite naturel de Saturne, doté d'une atmosphère de N_2 à la température $T = 90$ K. Trouver l'ordre de grandeur de l'épaisseur de cette atmosphère. Données :

- masse de Titan : $M_0 = 1,3 \cdot 10^{23}$ kg ;
- rayon de la Terre : $6,4 \cdot 10^3$ km ;
- masse molaire du diazote : $M_{N_2} = 28$ g \cdot mol $^{-1}$;
- constante de gravitation : $\mathcal{G} = 6,7 \cdot 10^{-11}$ N \cdot m 2 \cdot kg $^{-2}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,3$ J \cdot K $^{-1}$ \cdot mol $^{-1}$.