

SCIENCES PHYSIQUES

ATS – LYCÉE LOUIS ARMAND

Thème 2 : Structure et transformations de la matière

Travaux dirigés

Exercice faisant uniquement appel à des outils mathématiques _____	√x
Exercice facile et/ou proche du cours _____	🔒
Exercice accessible mais demandant du recul sur le cours et/ou sur les outils mathématiques _____	🔒
Exercice complexe, de par son côté calculatoire et/ou astucieux _____	🔒

Il est normal de « bloquer » sur les **exercices** : personne ne s'attend à ce que vous sachiez les faire en cinq minutes seulement. Il faut cependant persévérer, avoir le cours à côté afin de voir si un raisonnement similaire a déjà été abordé, et ne pas hésiter à parler avec vos camarades ou votre professeur.

Les **problèmes** sont issus d'annales de concours et/ou d'examens. Ils sont au moins aussi importants à aborder que les exercices, car ils sont les plus proches (en terme de rédaction et de questions « bout-à-bout ») de ce que vous aurez en devoir surveillé ainsi qu'au concours.

Chapitre 1 : Description de la matière

Capacités exigibles et exercices associés

Capacités exigibles	Exercice(s)
Déterminer la quantité de matière d'une entité dans une masse donnée, et inversement, sa masse molaire étant fournie.	1.2, 1.3, 1.4
Exploiter l'équation d'état du gaz parfait.	1.6, 1.8, 1.9, 1.10
Déterminer la masse volumique d'un gaz parfait en fonction de la température, de la pression et de sa masse molaire.	1.8
Déterminer le volume molaire d'un système en phase condensée à partir de sa masse volumique et de sa masse molaire.	1.2, 1.3
Déterminer la variation d'énergie interne d'un système assimilé à un gaz parfait ou à une phase condensée incompressible et indilatable en fonction de la variation de température pour une capacité thermique à volume constant indépendante de la température.	1.7

Questions de cours

- ☐ Déterminer la composition du noyau de thorium $^{232}_{90}\text{Th}$ et du thorium $^{229}_{90}\text{Th}$. Que peut-on dire de ces noyaux ?
- ☐ Déterminer, parmi les entités de la liste suivante, lesquelles sont des molécules, des atomes, des anions et des cations : SN , H_2^+ , CO_2 , He , CO_3^{2-} , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, Sn , NH_4^+ .
- ☐ Donner la définition de la masse molaire M et son unité SI. Démontrer la relation entre une grandeur massique g et sa grandeur molaire G_m associée.

- ☐ Quelle est la masse volumique de l'eau liquide ? En déduire son volume massique et son volume molaire, sachant que sa masse molaire est $M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- ☐ Convertir 70°C en kelvin et 300 K en degrés Celsius.
- ☐ Définir ce qu'est une grandeur extensive ; donner deux exemples. Définir ce qu'est une grandeur intensive ; donner deux exemples.
- ☐ Que représente physiquement l'énergie interne d'un système ?
- ☐ En quoi consiste le modèle de la phase condensée idéale (ou phase condensée incompressible et indilatable) ? Donner l'expression de l'énergie interne d'une phase condensée idéale en fonction notamment de sa capacité thermique massique à volume constant c_V .
- ☐ En quoi consiste le modèle du gaz parfait ? Donner l'expression de l'énergie interne d'un gaz parfait en fonction notamment de sa capacité thermique molaire à volume constant $C_{V,m}$.
- ☐ Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits, ainsi que les noms et unités SI de chacune des grandeurs. Donner le volume de 5 mol d'argon, gaz parfait à pression de 3 bar et à température de 27°C . Que vaut sa masse volumique, sachant que la masse molaire de l'argon est $M = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$?

Exercices

Pour l'ensemble des exercices, on rappelle la valeur de la Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Sont aussi données les masses et symboles de certains atomes :

Nom	Symbole	Masse (kg)
Hydrogène	H	$1,67 \times 10^{-27}$
Carbone	C	$1,99 \times 10^{-26}$
Sodium	Na	$3,82 \times 10^{-26}$
Oxygène	O	$2,66 \times 10^{-26}$
Chlore	Cl	$5,89 \times 10^{-26}$
Or	Au	,

1.1 Surfaces et volumes

- Convertir les surfaces suivantes :
 - 1 mm^2 en m^2 ;
 - 20 mm^2 en cm^2 ;
 - $0,15 \text{ m}^2$ en mm^2 ;
 - 150 cm^2 en m^2 .
- Convertir les volumes suivants :
 - 12 L en m^3 ;
 - 300 mm^3 en mL ;
 - $0,220 \text{ m}^3$ en cL ;
 - 68 cL en cm^3 .

1.2 Un lingot d'or

Un atome d'or a 197 nucléons, tandis que son noyau a une charge $Q = 1,26 \times 10^{-17} \text{ C}$.

On rappelle la masse d'un nucléon $m_N = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ et la charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

- Combien de protons sont contenus dans le noyau de l'atome d'or ?
- Calculer la masse m de l'atome d'or.
- Calculer le nombre d'atomes présents dans un lingot d'or de masse $m = 300 \text{ g}$.
- La masse molaire de l'or est $M(\text{Au}) = 197 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, et sa masse volumique est $\rho = 19,3 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Calculer le volume molaire de l'or.

1.3 Une bouteille d'eau

Donnée :

- Masse volumique de l'eau liquide : $\rho = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
 - Masse molaire de l'eau liquide : $M(\text{eau}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Combien y a-t-il de molécules d'eau dans une bouteille de $1,5 \text{ L}$?
 - Quelle est la quantité d'eau correspondante ?
 - Combien cela fait-il de moles d'atomes d'hydrogène ? et d'oxygène ?
 - Calculer le volume molaire de l'eau.

1.4 Un peu de cuisine

Données :

- Formule brute du sucre : $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$;
- Masse d'un morceau de sucre : $6,0 \text{ g}$;
- Formule brute du sel : NaCl ;
- Masse d'une pincée de sel : $3,0 \text{ g}$.

Dans un plat, on ajoute trois pincées de sel et deux morceaux de sucre.

- Calculer la quantité de sel n_{sel} .
- Calculer la quantité de sucre n_{sucre} .
- Quelle est l'espèce chimique majoritairement présente ?

1.5 Proportions de chlore sur Terre

La masse molaire atomique du chlore vaut $M(\text{Cl}) = 35,453 \text{ g/mol}$. Sachant que le chlore est un mélange des isotopes ${}^3_5\text{Cl}$ et ${}^3_7\text{Cl}$, dont les masses molaires atomiques valent $M({}^3_5\text{Cl}) = 34,969 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M({}^3_7\text{Cl}) = 36,966 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, calculer les proportions de ces deux isotopes dans le chlore naturel.

1.6 Loi des gaz parfaits

Dans tout cet exercice, les gaz seront supposés parfaits.

1. Quel est le volume occupé par une tonne d'air dans les conditions atmosphériques normales ($p_0 = 1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $T = 20^\circ\text{C}$). On donne $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ la masse molaire de l'air.
2. Quel volume de propane occuperait le contenu d'une citerne de 500 L sous pression de 100 bar à 25°C , s'il se libérait dans l'atmosphère à la même température ?
3. On note $p_0 = 1 \text{ bar}$ la pression atmosphérique. Soit un ballon de gaz sphérique de rayon $r = 5,0 \text{ cm}$ au niveau de la mer. Plongé 10 m sous la surface de l'eau, le ballon se rétrécit jusqu'à un rayon $r' = 3,97 \text{ cm}$. En déduire la pression de l'eau à cette profondeur. On suppose la température constante et uniforme, et on admet que le volume d'une sphère de rayon R est $\frac{4}{3}\pi R^3$.
4. Soit une mole de gaz emprisonné dans un ballon infiniment souple soumis à la pression constante de l'atmosphère p_0 et initialement à la température T_0 . On chauffe lentement le système. Représenter l'allure de la courbe $V = f(T)$.

1.7 Variations d'énergie

Pour les problèmes suivants, établir la variation d'énergie totale $\Delta\mathcal{E}$. Pour les valeurs numériques, utilisez ce que vous savez du quotidien et reprenez les capacités thermiques du cours.

On admet que l'énergie due à la vitesse d'un corps est son énergie cinétique $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$, où m est la masse du corps et v sa vitesse.

1. Une casserole remplie d'eau liquide, initialement à température ambiante, est portée à une température de 90°C ;
2. Une météorite de 80 kg en fer traverse l'atmosphère. À l'impact au sol, elle a une température d'environ 1000°C et une vitesse de $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
3. Un glaçon à -30°C est lancé contre un mur à la vitesse du son. Cela le fait passer à une température de -2°C .

1.8 Masse volumique d'un gaz

1. Expliquer pourquoi il est plus difficile de mesurer la masse volumique d'un gaz que celle d'un liquide ou d'un solide.
2. Soit un gaz parfait. Montrer que l'on peut réécrire son équation d'état sous la forme : $M \times p = \mu \times R \times T$, où μ est sa masse volumique et M sa masse molaire.
3. En déduire la valeur de la masse volumique de l'air dans les conditions normales de pression et de température, sachant que $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
4. Lié à la raréfaction du dioxygène, le *soroche* (ou mal aigu des montagnes) touche les personnes effectuant un séjour à haute altitude, sans acclimatation préalable.
 - (a) Déterminer la masse volumique de l'air à 15°C pour une altitude de 3810 m (pression de 630 hPa).
 - (b) Exprimer sous la forme d'un pourcentage la variation de la quantité de dioxygène occupant un litre d'air au niveau du lac Titicaca (Bolivie, altitude de 3810 m). On admet que le dioxygène compose l'air à une hauteur de 20% (4 molécules de diazote pour une molécule de dioxygène).

1.9 Transformations d'un gaz

L'état initial d'une mole de gaz parfait est caractérisé par $p_0 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $V_0 = 14 \text{ L}$. On fait subir successivement à ce gaz les transformations suivantes :

- une détente à pression constante qui double son volume ($A \rightarrow B$) ;
- une compression à température constante qui le ramène à son volume initial ($B \rightarrow C$) ;
- un refroidissement à volume constant qui le ramène à l'état initial ($C \rightarrow A$).

À quelle température T_{BC} s'effectue la compression $B \rightarrow C$? Faire l'application numérique. En déduire la pression maximale atteinte.

1.10 Poussée d'un piston

Soit un cylindre vertical de rayon $R = 3\text{ cm}$ bouché en son extrémité basse. L'air l'emplissant est considéré comme parfait. Un piston, de surface $S = \pi R^2$, empêche l'air intérieur de sortir.

Initialement, le piston est à la position telle que le volume intérieur vaut $V_0 = 500\text{ mL}$. On note p la pression à l'intérieur du cylindre et $p_{\text{atm}} = 1\text{ bar}$ la pression atmosphérique. La température initiale est $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

1. Calculer la hauteur initiale de la colonne d'air intérieure au cylindre.
2. Expliquer pourquoi, si le piston est à l'équilibre, on a alors $p = p_{\text{atm}}$.
3. Calculer la quantité n d'air dans le cylindre. Évoluera-t-elle au cours du temps ?

On ajoute progressivement du sable sur le haut du piston. La masse de sable ajouté dépend du temps ; on la note $m(t)$. On rappelle que la force de pesanteur (c'est-à-dire le poids) d'un objet de masse M est $M \times g$, avec $g = 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

4. Exprimer la pression p_{ext} qu'exerce le piston sur l'air en fonction de $m(t)$, g , p_{atm} et S .
5. On suppose que le sable est ajouté suffisamment lentement pour que $p = p_{\text{ext}}$ pour tout t . Exprimer $V(t)$, volume intérieur au cylindre en fonction du temps, puis $h(t)$.
6. On a $m(t) = \alpha \times t$ avec $\alpha = 10\text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$. Au bout de quelle durée $t_{1/2}$ la hauteur de la colonne d'air est-elle divisée par deux ?
7. Le modèle du gaz parfait est-il valide si $t \rightarrow \infty$? Expliquer.

Chapitre 2 : Transformations de la matière

Capacités exigibles et exercices associés

Capacités exigibles	Exercice(s)
Identifier une transformation physique, une transformation chimique ou une transformation nucléaire à partir d'un bilan fourni.	2.1
Caractériser les transformations isothermes, isobares, monobares et isochores.	2.2
Exploiter un diagramme (p, T) fourni.	2.3
Exploiter les isothermes d'Andrews d'un diagramme de Clapeyron. Reconnaître et interpréter les courbes de rosée et d'ébullition. Identifier le point critique.	2.4
Exploiter le théorème des moments pour déterminer la composition d'un système diphasé.	2.4
Exploiter une équation de réaction chimique ajustée fournie pour réaliser un bilan de matière. Identifier le ou les réactifs limitants d'un système réactionnel.	2.5, 2.6

Questions de cours

- ☐ Définir les termes suivants : quasi-statique, isochore, monobare, isobare, monotherme, isotherme.
- ☐ Qu'est-ce qu'un diagramme de Watt ? Y tracer l'allure d'une transformation isochore (en précisant les sens pour un refroidissement et un chauffage), d'une transformation isobare (en précisant les sens pour un refroidissement et un chauffage) et d'une transformation isotherme d'un gaz parfait (en précisant les sens pour une compression et une détente).
- ☐ Expliquer brièvement ce que sont une transformation nucléaire, une transformation physique et une transformation chimique.

- ☐ Rappeler les trois états classiques de la matière ainsi que les noms de chacune des transformations physiques permettant d'accéder de l'un à l'autre. Que peut-on dire de la température d'un corps pur lorsqu'il change de phase ?
- ☐ Tracer le diagramme de phase d'un corps pur. Désigner les domaines du solide, du liquide et du gaz, ainsi que le point critique et le point triple (en donnant leurs définitions).
- ☐ Tracer l'allure du diagramme de Clapeyron en faisant apparaître la courbe de rosée, la courbe d'ébullition, les domaines du gaz, du liquide et du mélange liquide-vapeur et une courbe isotherme pour $T < T_C$, $T = T_C$ et $T > T_C$, où T_C est la température critique du corps pur étudié.
- ☐ Rappeler les définitions des titres massiques en liquide x_ℓ , en vapeur x_v et en solide x_s d'un corps pur. Montrer que la somme de ces trois quantités est égale à 1 ; commenter.
- ☐ Énoncer le théorème des moments.
- ☐ Établir le tableau d'avancement de la réaction $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$. Déterminer le réactif limitant, en supposant que l'on a initialement 4 mol de N_2 et 1 mol de H_2 .

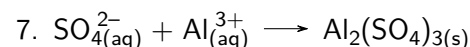
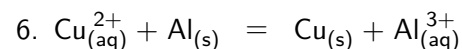
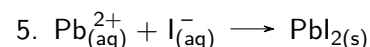
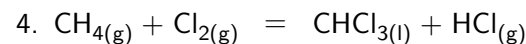
Exercices

2.1 Transformations physiques, chimiques et nucléaires



Indiquer la nature des transformations suivantes. Dans le cas de transformations chimiques, équilibrer les équations associées.

- ${}^{14}_7\text{N} + n \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + p$
- $\text{N}_2(\dots) \xrightarrow{-196^\circ\text{C}} \text{N}_2(\dots) \xrightarrow{-210^\circ\text{C}} \text{N}_2(\dots)$
- $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$



2.2 Grandeurs conservées lors d'une transformation d'un gaz parfait

Dans cet exercice, X_i représente la grandeur X à l'instant initial et X_f représente la grandeur X à l'instant final.

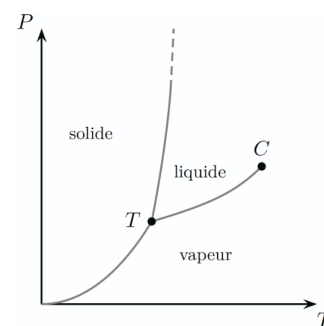
1. Montrer que, pour une transformation isochore d'un gaz parfait, on a $\frac{p_i}{T_i} = \frac{p_f}{T_f}$.
2. Montrer que, pour une transformation isobare d'un gaz parfait, on a $\frac{T_i}{V_i} = \frac{T_f}{V_f}$.
3. Montrer que, pour une transformation isotherme d'un gaz parfait, on a $p_i V_i = p_f V_f$.

Application : soit un gaz parfait initialement à la température $T_0 = 20^\circ\text{C}$, à la pression $p_0 = 1 \text{ bar}$ et ayant un volume $V_0 = 5 \text{ L}$. L'objectif est de répondre aux questions suivantes sans avoir accès à la quantité n de gaz.

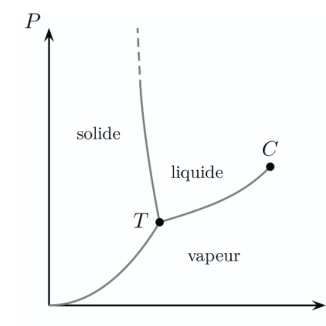
4. Le gaz subit une transformation isotherme qui l'amène à une pression $p_1 = 2 \text{ bar}$. Déterminer sa température T_1 et son volume V_1 .
5. Ensuite, le gaz subit une transformation isochore qui l'amène à une température $T_2 = 80^\circ\text{C}$. Déterminer son volume V_2 et sa pression p_2 .
6. Enfin, le gaz subit une transformation isobare qui l'amène à un volume $V_3 = 1 \text{ L}$. Déterminer sa pression p_3 et sa température T_3 .

2.3 Quelques observations sur les diagrammes de phases

On donne ci-dessous les allures du diagramme (p, T) dans le cas usuel ainsi que dans le cas de l'eau.



Cas usuel

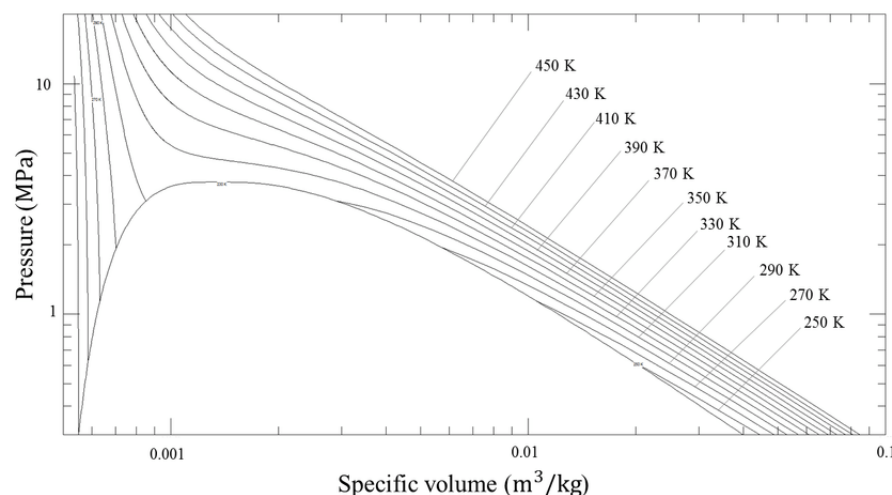


Cas particulier de l'eau

1. La température de vaporisation d'un liquide est-elle plus élevée en altitude ? Quelle conséquence peut-on en tirer pour la cuisson des aliments en altitude ?
2. Quel est l'intérêt d'une cocotte minute ?
3. Quelle différence remarquez-vous dans le diagramme de phases de l'eau ?
4. À l'aide de la question précédente, expliquer pourquoi l'on glisse sur la glace avec des patins à glace.

2.4 Diagramme de Clapeyron du SF₆

On donne ci-dessous le diagramme de Clapeyron de l'hexafluorure de soufre SF₆.



1. Compléter les isothermes passant sous le point critique. Selon vous, pourquoi ne sont-elles pas tracées ?
2. Identifier le point critique. Donner la pression critique, le volume massique critique ainsi qu'un encadrement pour la température critique.
3. Identifier la courbe de rosée ainsi que la courbe d'ébullition. Que représentent-elles ?
4. Sous une pression de 10 bar, à quelle température se fait la vaporisation de l'hexafluorure de soufre ? Et sa condensation liquide ?
5. Quel est le volume massique de l'hexafluorure de soufre lorsqu'il est à l'état de vapeur saturante sous une pression de 2 MPa ? Et lorsqu'il est sous forme de liquide saturant ?
6. On considère de l'hexafluorure de soufre à une température de -3°C et à un volume massique de $0,01 \text{ m}^3/\text{kg}$. Dans quel état se situe-t-il ? Déterminer alors la fraction massique en liquide x_{ℓ} à l'aide du théorème des moments.

2.5 Équations de réaction à ajuster

Ajuster les équations suivantes à l'aide des coefficients stœchiométriques entiers les plus petits :

1. $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{HCl}$
2. $\text{Fe} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{FeCl}_3$
3. $\text{SnO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SnO}_2$
4. $\text{Mg} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CO} + \text{MgO}$
5. $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
6. $\text{C}_6\text{H}_6\text{O} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

2.6 Réactifs limitants

À l'aide de tableaux d'avancement, déterminer les réactifs limitants des réactions chimiques de l'exercice précédent, en supposant que le premier réactif est introduit avec une quantité $n_1 = 1 \text{ mol}$ et que le deuxième est introduit avec une quantité $n_2 = 2 \text{ mol}$.