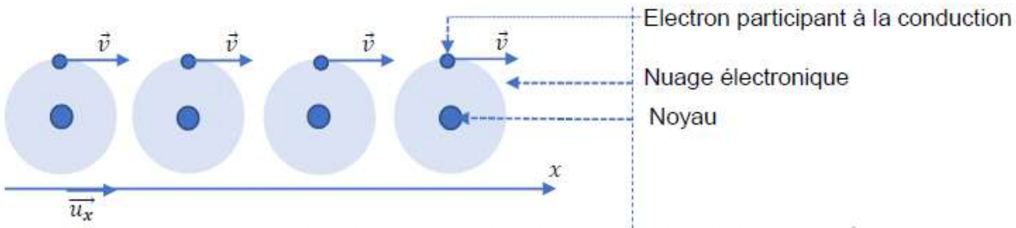
Exercice 1 (Annale ATS 2019)

On considère un échantillon de cuivre dont on note la masse volumique ρ et la masse molaire M. On adopte un modèle classique de la conduction électrique pour lequel chaque atome de cuivre possède un électron susceptible de se déplacer sur l'ensemble de l'échantillon sous l'action d'une force électrique.



On prête à chaque électron participant à la conduction une vitesse commune $\vec{v}$ (mesurée par rapport au référentiel galiléen lié à l'échantillon).

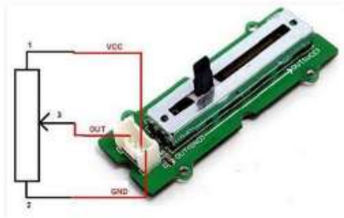
1) Etablir l'expression de la concentration volumique n^* d'électrons mobiles (en m^{-3}) en fonction de ρ, M et N_a la constante d'Avogadro. On pourra utiliser l'analyse dimensionnelle ou toute autre méthode.
2) Calculer n^* sachant que $\rho \approx 10^4\ \mathrm{kg.m^{-3}}$, $M \approx 6 \times 10^1\ \mathrm{g.mol^{-1}}$ et $N_a \approx 6 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$.

On impose à tout l'échantillon un champ électrique $\vec{E}$ uniforme et stationnaire tel que $\vec{E} = -E\vec{u}_x$ (avec $E > 0$). On rappelle que la charge de l'électron est $-e$ avec $e \approx 10^{-19} C$. Dans ces conditions, chaque électron est affecté d'une énergie potentielle de la forme $E_p = -eEx + E_{p0}$ où E_{p0} est une constante. Le mouvement rectiligne suivant $\overrightarrow{u_x}$ de chaque électron s'accompagne d'une force de frottement $\vec{f}$ donnée par $\vec{f} = -\frac{m}{\tau}\vec{v}$ où m est la masse d'un électron et $\tau > 0$ est une constante. On négligera le poids de l'électron.

3) Appliquer le théorème de la puissance mécanique à un électron afin de montrer que $\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = KE$. On donnera l'expression de K en fonction des constantes du sujet.
4) Donner la dimension de τ et proposer une interprétation de cette grandeur.
5) Donner l'expression de $v(t)$ sachant que $v(0) = 0$. Tracer l'allure de $v(t)$ et en déduire l'expression de sa valeur limite v_∞ en fonction de E, e, m et τ.
6) On donne $\tau \approx 10^{-14}\ \mathrm{S.I.}$, $m \approx 10^{-30}\ \mathrm{kg}$, $E \approx 10^{-1}\ \mathrm{V.m^{-1}}$. Calculer v_∞ en $\mathrm{m.s^{-1}}$.

L'échantillon étudié est un barreau de cuivre cylindrique, homogène, de section S, de longueur ℓ. Le champ électrique uniforme et stationnaire est obtenu en appliquant une tension $U > 0$ entre les deux extrémités de ce cylindre. Le mouvement des électrons est à l'origine d'un courant dont l'intensité est notée $I > 0$.

8) Démontrer la relation entre U, E et ℓ.
9) Donner la relation entre I, j et S.
10) Obtenir à partir des résultats précédents la loi d'Ohm $U = RI$ et donner l'expression de R en fonction de γ, S et ℓ.



11) La photo ci-contre représente un potentiomètre à glissière utilisé, par exemple, dans les tables de mixage. Expliquer succinctement le principe de fonctionnement de ce potentiomètre.

Exercice 2 Annale ENSEA 2007

Données à 298 K	$CH_{4(g)}$	$O_{2(g)}$	$H_2O_{(g)}$	$CO_{2(g)}$
Enthalpie standard de formation $\Delta_f H^o$ (en kJ.mol^{-1})	$-74,81$	0	$-241,8$	$-393,5$
Capacités thermiques molaires à pression constante, supposées indépendantes de T, C^o_{pm} (en J.K^{-1}.mol^{-1})	35,3	29,4	33,6	37,1

	C	O	H
Masses molaires (en g.mol^{-1})	12	16	1

On utilise la notation habituelle ${}^A_Z\mathrm{X}$ où Z est le numéro atomique et A le nombre de masse du nucléide X.

1- Principe de la fusion thermonucléaire

La fusion nucléaire est un processus selon lequel deux noyaux légers donnent par réaction nucléaire un noyau plus lourd avec libération d'énergie. C'est le mécanisme à la base de la production d'énergie dans le Soleil dans lequel des noyaux d'hydrogène ${}^1_1\mathrm{H}$ fusionnent pour donner des noyaux d'hélium ${}^4_2\mathrm{He}$. Les réactions de fusion du Soleil ne peuvent pas être reproduites sur Terre. En revanche, il est envisagé de produire de l'énergie grâce à une autre réaction de fusion nucléaire, la réaction deutérium $\left({}^2_1\mathrm{D}\right)$- tritium $\left({}^3_1\mathrm{T}\right)$ dont le bilan s'écrit :

$${}^2_1\mathrm{D} + {}^3_1\mathrm{T} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0\mathrm{n}$$

Cette réaction de fusion produit un noyau d'hélium et un neutron.

1.1 Donner la composition des noyaux apparaissant dans ce bilan : ${}^2_1\mathrm{D}$, ${}^3_1\mathrm{T}$ et ${}^4_2\mathrm{He}$.

1.2 De quel élément le deutérium est-il l'isotope ? Même question pour le tritium.

2- Comparaison avec d'autres sources d'énergie

2.1 La réaction d'un noyau de deutérium avec un noyau de tritium libère une énergie de 17,6 MeV. On rappelle que $1\ \mathrm{eV} = 1,6.10^{-19}\ \mathrm{J}$ et que $1\ \mathrm{MeV} = 10^6\ \mathrm{eV}$. Quelle énergie peut-on produire avec un mélange de 1 kg comprenant autant de noyaux de deutérium que de noyaux de tritium ?

2.2 La production d'énergie dans les centrales nucléaires actuelles est basée sur la fission nucléaire. La fission est un mécanisme inverse de la fusion. Il s'agit de briser un noyau très lourd, en le bombardant de neutrons, pour produire des noyaux plus légers. Le processus libère de l'énergie. On peut, par exemple, avoir le bilan suivant pour la fission d'un noyau d'uranium 235 :

$${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^1_0\mathrm{n} \rightarrow {}^{93}_{36}\mathrm{Kr} + {}^{140}_{56}\mathrm{Ba} + 3\,{}^1_0\mathrm{n}$$

Les produits de fission sont des noyaux instables, radioactifs, ici de krypton et de baryum. Il y a également émission de trois neutrons. Ces neutrons peuvent à leur tour entrer en collision avec un noyau d'uranium 235 et provoquer sa fission. Il se produit alors une réaction en chaîne. Pourquoi doit-on, dans une centrale nucléaire, introduire des matériaux absorbeurs de neutrons pour absorber une partie des neutrons produits ? A-t-on le même type de problème avec la fusion thermonucléaire ?

ATS Devoir Revisions_2

2.3 Vérifier la conservation de la charge au cours de la réaction de fission.

2.4 La réaction de fission de l'uranium produit une énergie d'environ 200 MeV par noyau d'uranium ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$. Quelle énergie pourrait-on produire avec 1 kg d'uranium 235 ?

2.5 Comparer la fusion et la fission au niveau de la nocivité des produits de réaction.

2.6 Une autre source d'énergie est fournie par les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel). On peut obtenir de l'énergie par des réactions chimiques de combustion. Étudions la réaction de combustion du méthane CH_4, constituant principal du gaz naturel, où tous les constituants sont en phase gazeuse et se comportent comme des gaz parfaits :

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$$

Calculer numériquement l'enthalpie standard de réaction à 298 K.

2.7 Calculer numériquement la chaleur dégagée par la réaction lorsque 1 kg de méthane a réagi.

2.8 Quel est le volume occupé par 1 kg de méthane à une pression $P^o = 1\ \mathrm{bar}$ et une température $T = 298\ \mathrm{K}$?

2.9 Calculer numériquement l'enthalpie standard de réaction à une température de 2000 K. La différence relative par rapport à sa valeur à 298 K est-elle importante ?

2.10 La réaction de combustion du méthane produit du dioxyde de carbone. Connaissez-vous un inconvénient qui peut en résulter ?

Problème

SESSION 2019 TSIPC03

CONCOURS COMMUN INP

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE TSI

PHYSIQUE - CHIMIE

Mardi 30 avril : 8 h - 12 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Autour de la randonnée

Présentation générale

Le sujet aborde, sous l'angle de la physique et de la chimie, différents thèmes liés à la pratique de la randonnée : l'étude mécanique de la marche à pied, le repas du randonneur et la beauté de la nature.

Partie I - La marche à pied

I.1 - Marcher en montagne

Tout le monde en a fait l'expérience : marcher en montée est plus fatigant que marcher à plat. Le randonneur est un système articulé complexe dont l'étude dépasse le cadre de ce sujet. Nous nous contenterons ici de réfléchir aux différentes contributions énergétiques mises en jeu lorsqu'il se déplace.

On considère un randonneur de masse m, de centre d'inertie I, en mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni d'un repère cartésien $(O, \vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z})$.

L'accélération de la pesanteur, notée $\vec{g} = -g\,\vec{e_z}$, est supposée uniforme.

Le randonneur se déplace d'un point A situé en bas d'une colline à un point B situé en haut de la colline comme indiqué sur la **figure 1**.

On note h le dénivelé parcouru par le randonneur $h = z_B - z_A$: où z_A est la coordonnée du point A selon l'axe $(O, \vec{e_z})$ et z_B celle du point B.

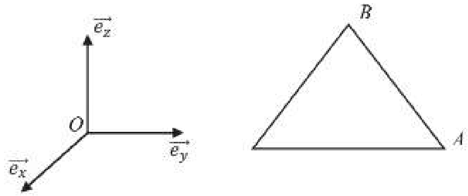


Figure 1 - Colline et base cartésienne

Les frottements de l'air sur le randonneur seront négligés.

Q1. Lorsqu'il marche, le randonneur est soumis à la réaction $\vec{R}$ du sol sur ses pieds. La réaction du sol s'applique à chaque instant en un point de vitesse nulle (le point d'appui du pied). On assimile le pied à un point matériel. Que vaut la puissance de la réaction du sol sur le pied ? Justifier.

On cherche la variation d'énergie mécanique du randonneur. Pour cela, on assimile le randonneur à un point matériel placé en I de coordonnées (x_I, y_I, z_I).

Q2. Le randonneur est soumis à son poids. Donner sans démonstration l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur E_p du randonneur en fonction de m, g, z_I et d'une constante. Cette énergie potentielle est la seule prise en compte dans notre étude.

Q3. À l'instant initial, le randonneur est en A et a une vitesse nulle. Il s'arrête à l'arrivée en B pour contempler le paysage. Que vaut la variation de son énergie cinétique entre A et B ?

Q4. Rappeler la définition de l'énergie mécanique. Déterminer la variation d'énergie mécanique ΔE_m du randonneur entre A et B en fonction de m, g et h.

Q5. Lors d'une randonnée, un individu de 60 kg parcourt une distance de 7 km avec un dénivelé de 1 km. L'accélération de la pesanteur est approximée à 10 m·s^{-2}. Calculer numériquement la variation de son énergie mécanique.

Q6. Calculer à nouveau la variation d'énergie mécanique pour une distance parcourue de 10 km sans dénivelé. Comparer les deux résultats précédents en s'appuyant sur le début de l'introduction de la **sous-partie I.1**.

L'énergie nécessaire à l'ascension du randonneur est apportée par les muscles (assimiler le randonneur à un point matériel n'est ici plus possible : on doit tenir compte des actions intérieures et du travail associé). Lors d'une journée « normale », sans randonnée, un individu consomme $E_0 = 12$ MJ en moyenne (pour maintenir sa température à 37 °C, respirer, bouger, réfléchir …).

Q7. Quel est le pourcentage d'énergie dépensée en plus par l'individu lors de l'ascension décrite à la question **Q5** par rapport à une journée « normale » ? Commenter sachant qu'une randonnée avec un dénivelé de 1 km dure en moyenne trois heures.

Cette énergie lui est apportée par ce qu'il mange : un joule ingurgité est supposé apporter un joule d'énergie pour le métabolisme de l'individu.

Q8. Combien de joules le randonneur doit-il ingurgiter le jour de son ascension pour compenser les dépenses totales de son organisme ? On attend une valeur numérique.

I.2 - Le champ de pesanteur et l'altitude

On souhaite dans cette sous-partie discuter l'hypothèse d'indépendance de l'accélération de la pesanteur avec l'altitude. L'accélération de la pesanteur est due à deux phénomènes : l'attraction gravitationnelle et le mouvement de la Terre autour de l'axe des pôles, dont l'effet est très faible devant celui de l'attraction gravitationnelle.

Ainsi, on assimile l'accélération de la pesanteur $\vec{g}$ à $\vec{\mathcal{G}}$ le champ d'attraction gravitationnelle créé en un point M par la planète Terre.

La planète Terre est modélisée par une sphère pleine de centre T, de masse M_T et de rayon R_T. La masse M_T est supposée uniformément répartie dans la boule terrestre.

On travaille dans le repère sphérique de centre O : $(O, \vec{e_r}, \vec{e_\theta}, \vec{e_\varphi})$ pour repérer le point $M(r, \theta, \varphi)$.

Données 1
Masse de la Terre : $M_T = 6\cdot 10^{24}$ kg
Rayon de la Terre : $R_T = 6\cdot 10^3$ km
Constante de gravitation universelle : $G = 7\cdot 10^{-11}$ USI (Unité du Système International)

Q9. Démontrer que le champ gravitationnel est porté par le vecteur $\vec{e_r}$.

Q10. Démontrer que la composante radiale du champ gravitationnel ne dépend que de la variable r.

On donne le théorème de Gauss gravitationnel

$$\oiint \overrightarrow{\mathcal{G}(M)}.\overrightarrow{dS} = -4\pi G\, m \qquad (1)$$

où G est la constante de gravitation universelle et m la masse contenue à l'intérieur de la surface fermée à travers laquelle on calcule le flux de $\vec{\mathcal{G}}$.

Q11. Donner, en les nommant, les grandeurs analogues à $\overrightarrow{\mathcal{G}(M)}$, m et G dans le théorème de Gauss de l'électrostatique.

Q12. Déterminer avec soin l'unité de G. On l'exprimera à partir des unités de base du Système International.

Q13. En utilisant le théorème de Gauss gravitationnel, déterminer l'expression de $\overrightarrow{\mathcal{G}(M)}$ à l'extérieur de la Terre en fonction de M_T, G et r et d'un vecteur unitaire.

Q14. Montrer que la variation de la norme $\mathcal{G}$ de $\overrightarrow{\mathcal{G}(M)}$ entre un point situé sur la surface de la Terre (altitude nulle) et un point situé à une altitude, notée a, faible devant R_T est, à l'ordre 1 en $\frac{a}{R_T}$:

$$|\Delta\mathcal{G}| = 2\frac{GM_T a}{R_T^3}. \qquad (2)$$

Q15. Calculer numériquement $|\Delta\mathcal{G}|$ lors d'une randonnée dont le dénivelé est égal à 1 km. À quelle valeur de $\mathcal{G}$ faut-il le comparer pour savoir si $|\Delta\mathcal{G}|$ est négligeable ? Y a-t-il lieu de tenir compte des variations de la norme de $\overrightarrow{\mathcal{G}(M)}$ lors de l'étude énergétique menée dans la **sous-partie I.1** ?

Fin de la partie 1 pour vous, les questions suivantes (après Q15) sont hors programme ATS (😊).

Partie II - Le repas en altitude

Pour préparer un repas chaud une fois arrivé au sommet de la colline, notre randonneur utilise un réchaud à combustible solide pour chauffer de l'eau qu'il aura préalablement purifiée à l'aide d'agents chimiques.

Document 1 - Set de cuisson (extrait du site marchand « monrechaud.com »)

Le set de cuisson Esbit® (popote/réchaud en aluminium anodisé dur, idéal pour les sorties en solo) comprend une casserole d'une capacité de 585 mL, un couvercle et un support de réchaud à combustible solide.

Le support de casserole permet de déposer une tablette de combustible solide Esbit® et fait office de pare-vent. Lors du transport, il se range à l'intérieur de la casserole.

L'ensemble est extrêmement léger et compact. Le set de cuisson Esbit® est livré avec un filet de rangement.

Document 2 - Tablettes de combustible solide (d'après le site marchand « monrechaud.com »)

Vingt tablettes de 4 g de combustible solide permettent de recharger les réchauds pliants Esbit®. Elles peuvent être également utilisées pour allumer un feu de camp, un barbecue ou une cheminée. Deux tablettes de 4 grammes permettent de faire bouillir 0,25 litre d'eau en 5 minutes. Une tablette de 4 g brûle approximativement en 5 minutes.

Matériaux : substances non toxiques dont l'hexamine.

Informations complémentaires :

- Non explosif
- S'allume avec une allumette ou un briquet
- Pas d'étincelles
- Puissance de chauffe forte
- Pouvoir calorifique de l'hexamine : $7\cdot10^3$ kcal·kg^{-1} = 31 MJ·kg^{-1}
- Ne laisse pas de cendres après la combustion
- Aucune fumée visible
- Léger et compact
- Lorsqu'il est bien entreposé, le combustible solide Esbit® conserve ses caractéristiques techniques pendant de nombreuses années
- Fonctionne également à des températures inférieures à 0 °C et à haute altitude.

Données 2

Capacité thermique massique de l'eau liquide à pression constante : $c_{eau} = 4{,}2$ kJ·K^{-1}·kg^{-1}

Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_{eau} = 1{,}0$ kg·L^{-1}

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau sous 1 bar : $\ell_V = 2{,}3\cdot10^3$ kJ·kg^{-1}

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}3$ J·K^{-1}·mol^{-1}

Données spécifiques à l'hexamine

Aspect : poudre blanche

Formule brute : $C_6H_{12}N_4$

Masse molaire : $M_h = 140$ g·mol^{-1}

Masse volumique supposée indépendante de la température : $\mu_h = 1{,}33$ g·cm^{-3}

Les produits de combustion de l'hexamine dans l'air varient selon les conditions : diazote N_2, eau H_2O et dioxyde de carbone CO_2 dans les conditions optimales.

Enthalpies standard de formation à 25 °C

Espèce	H_2O(gaz)	CO_2(gaz)	$C_6H_{12}N_4$(solide)
$\Delta_f H°$ en kJ·mol^{-1}	$-2{,}5\cdot10^2$	$-4{,}0\cdot10^2$	$1{,}23\cdot10^2$

ATS Devoir Revisions_2

II.1 - La combustion des tablettes d'hexamine solide

Le but de cette sous-partie est de vérifier le pouvoir calorifique annoncé par le fournisseur.

Q27. La réaction de combustion dans l'air s'écrit

$$C_6H_{12}N_4(\text{solide}) + a\,O_2(\text{gaz}) = b\,N_2(\text{gaz}) + c\,CO_2(\text{gaz}) + d\,H_2O(\text{gaz}) \quad (5)$$

où a, b, c et d sont des coefficients stœchiométriques.

Déterminer a, b, c, d.

Q28. Que valent les enthalpies standard de formation du diazote gazeux et du dioxygène gazeux à 25 °C ? Justifier.

Q29. Déterminer numériquement l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H°$ de la réaction (5) à 25 °C. On suppose cette grandeur indépendante de la température.

Pourquoi la valeur trouvée est-elle cohérente avec le fait que la réaction est une combustion ?

Le pouvoir calorifique est le transfert thermique libéré lors de la combustion complète d'un kilogramme de combustible sous une pression de 1 bar et à une température de 25 °C.

Q30. Démontrer avec soin que le pouvoir calorifique de l'hexamine est : $PC = -\frac{\Delta_r H°}{M_h}$. On précisera entre autres les conditions d'application des lois utilisées.

Q31. Calculer numériquement PC. La donnée fournisseur est-elle juste ?

Q32. Lorsque l'on monte en altitude, la pression diminue. On suppose que la réaction (5) reste un équilibre. Quel est l'effet de cette diminution de pression à température constante sur l'équilibre ? Le réchaud restera-t-il performant en altitude ?

On s'interroge maintenant sur l'affirmation lue sur le site du fournisseur : « Deux tablettes de 4 grammes permettent de faire bouillir 0,25 litre d'eau en 5 minutes ».

Q33. Quelle est la valeur numérique de l'énergie délivrée lors de la combustion des deux tablettes de combustible sous 1 bar et à 25 °C ? On utilisera le pouvoir calorifique fourni dans le **document 2**, page 7.

Q34. On considère le système thermodynamique fermé constitué par un volume $V = 0{,}25$ L d'eau liquide. On le chauffe de manière monobare (pression extérieure constante égale à 1 bar) depuis une température de $T_1 = 20$ °C jusqu'à une température $T_2 = 100$ °C (température d'ébullition sous 1 bar). Déterminer, en justifiant soigneusement, l'expression littérale du transfert thermique reçu par l'eau lors de ce chauffage. Faire l'application numérique.

Q35. En conséquence, quel est le rendement espéré par le fournisseur lorsqu'il affirme « deux tablettes de 4 grammes permettent de faire bouillir 0,25 litre d'eau » ?

Une fois l'eau portée à ébullition, il faut encore apporter de l'énergie au système contenu dans la casserole pour maintenir l'ébullition.

Q36. Déterminer, en justifiant soigneusement, l'expression littérale du transfert thermique reçu par l'eau lors de la vaporisation monobare d'un volume $V' = 0{,}05$ L d'eau liquide déjà portée à 100 °C. Faire l'application numérique. Commenter.

Q37. Dans le set de cuisson, on dispose d'un couvercle. Quel est son rôle ? Nommer précisément un phénomène physique en partie évité grâce au couvercle.

II.2 - Utilisation du réchaud en altitude

Tout randonneur chevronné sait que le temps de cuisson des aliments dans l'eau bouillante change avec l'altitude. Ceci est lié au fait que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude. On cherche ici à retrouver la loi d'évolution de la pression avec l'altitude.

Le graphe de la fonction f(x) = exp(-x) figure en fin d'énoncé.

On rappelle la loi fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme, donnant les variations de la pression p avec l'altitude z (l'axe des z est vertical ascendant)

$$\frac{dp}{dz} = -\mu_{air}\, g \qquad (6)$$

où μ_{air} est la masse volumique de l'air et g la norme de l'accélération de la pesanteur supposée uniforme.

L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique de masse molaire M_{air}. L'atmosphère est supposée isotherme. On note T_o la température et p_o la pression à altitude nulle : $z = 0$. R est la constante des gaz parfaits.

Q38. Pourquoi considère-t-on l'air comme un gaz diatomique ?

Q39. Déterminer l'expression de la masse volumique de l'air en fonction de p, R, T_o et M_{air}.

Q40. En déduire que p est solution de l'équation différentielle

$$\frac{dp}{dz} + \frac{p}{D} = 0 \qquad (7)$$

où on exprimera D en fonction de g, R, T_o et M_{air}.

Q41. Déterminer, en justifiant, l'unité de D à l'aide de l'équation différentielle, puis à l'aide de son expression. On l'exprimera à partir des unités de base du Système International.

Q42. Déterminer l'expression de p en fonction de z, de la pression p_o et de D. Cela confirme-t-il que la pression diminue avec l'altitude ?

Q43. D est de l'ordre de 8 km. Que vaut la pression atmosphérique à 2 km d'altitude sachant que p_o vaut 1 bar ?

Q44. On donne, **figure 3**, page 10, l'allure du diagramme d'équilibre pression-température du corps pur eau. Recopier ce diagramme et identifier les domaines. Préciser le nom du point d'intersection des trois courbes qui y apparaissent.

ATS Devoir Revisions_2

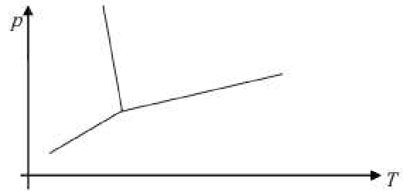


Figure 3 - Diagramme pression – température du corps pur eau

Q45. On assimile l'ébullition à une vaporisation. Justifier à l'aide du diagramme de la **figure 3**, page 10 que la température d'ébullition diminue avec l'altitude.

On donne, **figure 4**, la courbe d'évolution de la pression de vapeur saturante en bar (ou pression d'équilibre liquide-vapeur) de l'eau en fonction de θ, la température en degrés Celsius.

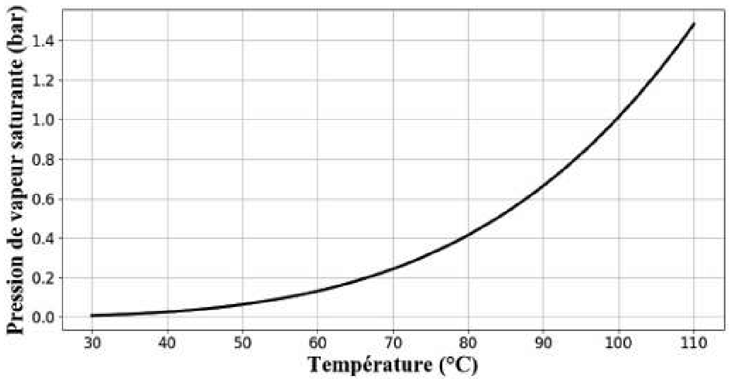


Figure 4 - Graphe de $p_s(\theta)$

Q46. Déterminer la température d'ébullition de l'eau à 2 km d'altitude. La cuisson des aliments dans l'eau bouillante va-t-elle être plus longue ou plus courte en altitude ?